

Ocena wpływu warunków
środowiskowych i agrotechnicznych
na wzrost, plonowanie i jakość ziarna
pszenicy orkisz (*T. aestivum* ssp. *spelta* L.)
i pszenicy zwyczajnej (*T. aestivum* ssp. *vulgare*)
oraz analiza emisji CO₂ powstającego
podczas uprawy tych podgatunków

Grażyna Szymańska

Ocena wpływu warunków
środowiskowych i agrotechnicznych
na wzrost, plonowanie i jakość ziarna
pszenicy orkisz (*T. aestivum* ssp. *spelta* L.)
i pszenicy zwyczajnej (*T. aestivum* ssp. *vulgare*)
oraz analiza emisji CO₂ powstającego
podczas uprawy tych podgatunków

Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu

Przewodniczący Komitetu Redakcyjnego
prof. dr hab. Jacek Wójtowski

Redaktor Wydziału Rolnictwa, Ogrodnictwa i Biotechnologii
prof. UPP dr hab. Stanisław Grześ

Recenzent
prof. UP w Lublinie dr hab. Sylwia Andruszczak
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

© Copyright by Grażyna Szymańska
© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu
Poznań 2024

Publikację sfinansowano ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego
w ramach Strategii Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu w latach 2024-2026
w zakresie doskonalenia badań naukowych i prac rozwojowych
w priorytetowych obszarach badawczych.



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

Opracowanie redakcyjne: Paulina Kaczmarek
Projekt, opracowanie graficzne i skład: Stanisław Tuchołka | panbook.pl
Projekt okładki: Tomasz Adamski | exemplum.pl

ISBN 978-83-68187-16-8
e-ISBN 978-83-68187-17-5

Ark. wyd. 20,9 Ark. druk. 17,3

Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu
61-693 Poznań, ul. Witosa 45, <https://wydawnictwo.up.poznan.pl>

Wydrukowano w Zakładzie Graficznym Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 67, 60-625 Poznań
<https://zakladgraficzny.up.poznan.pl>

Spis treści

1. Wstęp	7
2. Metodyka badań	14
2.1. Opis doświadczenia	14
2.2. Metody i zakres badań	15
2.3. Charakterystyka odmian	25
2.4. Ocena statystyczna wyników badań	26
3. Warunki prowadzenia badań	29
3.1. Warunki glebowe	29
3.2. Warunki agrotechniczne	30
3.3. Warunki pogodowe	31
4. Wyniki badań	37
4.1. Wpływ warunków pogodowych na wzrost, rozwój i plonowanie pszenicy	37
4.2. Wpływ czynników agrotechnicznych na wzrost, rozwój i plonowanie pszenicy	54
4.2.1. Plon kłosków pszenicy orkisz	54
Udział ziarna w plonie kłosków pszenicy orkisz	55
4.2.2. Plon ziarna	56
4.2.3. Komponenty plonowania	61
4.2.4. Zmienność plonowania	69
4.2.5. Udział komponentów plonowania w kształtowaniu plonu ziarna	75
4.2.6. Wzrost i rozwój roślin pszenicy oraz architektura łanu ...	82

4.2.7. Pomiary biometryczne kłosów	90
4.2.8. Skład chemiczny ziarna pszenicy	98
4.2.9. Wartość technologiczna ziarna pszenicy	104
4.2.10. Plon suchej masy części nadziemnych	112
4.2.11. Wskaźnik szybkości gromadzenia suchej masy w roślinach pszenicy	122
4.2.12. Odżywienie roślin azotem	127
Zawartość barwników chloroplastowych	133
Indeks odżywienia roślin (NNI)	136
4.2.13. Akumulacja azotu w roślinach pszenicy	141
4.2.14. Efektywność nawożenia azotem	145
4.2.15. Wskaźniki plonu	152
4.2.16. Zdrowotność roślin	156
4.3. Współzależności plonu oraz cech kształtujących plonowanie pszenicy	162
4.3.1. Analiza składowych głównych	162
4.3.2. Grupowanie obiektów i cech z hierarchiczną analizą skupień	170
4.4. Emisja gazów cieplarnianych w uprawie badanych pszenic	174
5. Dyskusja	178
5.1. Wpływ warunków środowiskowych na rozwój roślin, plonowanie i jakość ziarna	178
5.2. Wpływ odmiany i nawożenia na wzrost, rozwój i plonowanie ...	190
5.3. Wpływ odmiany i nawożenia na jakość ziarna	208
5.4. Wpływ odmiany i nawożenia obornikiem na plonowanie	225
5.5. Akumulacja biomasy oraz odżywienie roślin	227
5.6. Wskaźniki efektywności nawożenia oraz wskaźniki plonu	233
5.7. Wpływ odmiany i nawożenia na zdrowotność roślin	237
5.8. Emisja gazów cieplarnianych	239
6. Wnioski i podsumowanie	243
Literatura	247

1. Wstęp

Zboża należą do grupy roślin o dużym znaczeniu gospodarczym, o czym decydują przede wszystkim właściwości użytkowe ziarna oraz duża koncentracja związków odżywczych w suchej masie, wynosząca powyżej 85%. Za oczywisty uznaje się fakt, że towarzyszą one człowiekowi od tysięcy lat (Dostatny i in., 2020). Zboża i produkty zbożowe, obok ważnej roli w żywieniu zwierząt, są podstawowymi elementami prawidłowo zbilansowanej diety i zajmują główne miejsce w piramidzie żywieniowej człowieka, dostarczając składników odżywczych niezbędnych do prawidłowego rozwoju i funkcjonowania organizmu (Makowska i in., 2008a; Rachoń i Szumiło, 2009; Romankiewicz i in., 2014). Ponadto dane literaturowe wskazują, że produkty zbożowe pokrywają średnio 40% dziennego zapotrzebowania energetycznego (Karczevska i Ceglińska, 2013).

Z danych GUS wynika, że w 2022 roku powierzchnia uprawy zbóż w Polsce wynosiła ok. 7,2 mln ha, w tym ponad 2,5 mln ha zajmowała pszenica, co w skali kraju stanowiło 42,5% w strukturze zasiewów zbóż ogółem (GUS, 2023). Pszenica zwyczajna, z uwagi na istotne znaczenie w żywieniu człowieka i zwierząt oraz wysoki potencjał plonotwórczy, jest najważniejszym gospodarczo zbożem w kraju i na świecie. W ostatnich latach nie tylko w Polsce, ale i na całym świecie zwraca się szczególną uwagę na zwiększanie bioróżnorodności zarówno pod względem doboru prawidłowego następstwa roślin po sobie w płodozmianie, jak i w aspekcie żywienia człowieka (Troccoli i Codianni, 2005; Moudry i in., 2011; Salvatore, 2012). Wyraża się to m.in. powrotem do uprawy dawnych gatunków, w tym głównie form pszenicy, które zachowały się lokalnie w uprawie. Do takich można zaliczyć jedno z najstarszych zbóż wykorzystywanych przez człowieka – niewymłacającą się pszenicę orkisz (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* (L.) Pers. Mac Key), której uprawa jeszcze w XIX wieku była szeroko rozpowszechniona w Europie (Budzyński, 2012a). Z czasem jednak – z powodu słabej plenności, trudności

podczas zbioru oraz wymłacania ziarna – pszenica orkisz straciła na znaczeniu i została wyparta z uprawy przez plenniejszą, charakteryzującą się dużymi zdolnościami adaptacyjnymi do różnych warunków glebowo-klimatycznych, nagoziarnistą pszenicę zwyczajną (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare* Mac Key) (Raman i in., 2009; Sulewska, 2012; Podolska i in., 2015). Przez pewien czas pszenica orkisz była zbożem zapomnianym, jednak w okresie ostatnich kilkudziesięciu lat w Polsce, podobnie jak w całej Europie, popularność tego gatunku wzrosła. Jak podają źródła literaturowe, jest to bezpośrednio związane z dynamicznym rozwojem rolnictwa ekologicznego, gdzie głównie skoncentrowana jest współczesna uprawa pszenicy orkisz, oraz docenieniem walorów żywieniowych tego gatunku (Bonafaccia i in., 2000; Troccoli i Codianni, 2005; Tyburski i Babalski, 2006; Cacak-Pietrzak i Gondek, 2010; Andruszczak i in., 2011; Andruszczak, 2018; Dostatny i in., 2020). Ponadto wieloletni brak zainteresowania pszenicą orkisz, spowodowany masową uprawą i produkcją pszenicy zwyczajnej, stał się przyczyną niewielkiego postępu hodowlanego lub nawet jego braku. Dzięki temu, co potwierdzają krajowe i zagraniczne badania, odmiany pszenicy orkisz zachowały wiele cech roślin pierwotnych, dlatego bardzo dobrze nadają się do uprawy w warunkach ekstensywnych (Bonafaccia i in., 2000; Cyrkler-Degulis i Bulińska-Radomska, 2006; Neeson, 2011; Pospíšil i in., 2016; Su i Sun, 2016). Ponadto orkisz jest jedną z nielicznych pszenic, które mogą być uprawiane w surowym, zimnym i mokrym klimacie (Tyburski i Babalski, 2006; Ugrenović i in., 2018). Źródła literaturowe wskazują, że w mniej sprzyjających warunkach uprawy maleje różnica w plonowaniu pomiędzy pszenicą zwyczajną a pszenicą orkisz (Castagna i in., 1996), natomiast w rejonach wilgotnych i zimnych pszenica orkisz plonuje nawet wyżej niż pszenica zwyczajna (Rimle i in., 1995). Notowany w ostatnich latach wzrost zainteresowania uprawą pszenicy orkisz, jak podaje Sulewska (2004a), wynika między innymi z nadprodukcji zbóż podstawowych, wprowadzania technologii przyjaznych środowisku oraz rosnącego zainteresowania konsumentów nowymi produktami. Renesans popularności tego podgatunku pszenicy wynika również z wysokiej wartości odżywczej ziarna na tle innych zbóż (Sulewska i in., 2008b; Konvalina i in., 2013). Według niektórych autorów ziarno orkisz, w porównaniu do pszenicy zwyczajnej, charakteryzuje się korzystniejszym składem chemicznym, ponieważ ze względu na stosunkowo duży udział warstwy aleuronowej zawiera więcej białka (Bojňanská i Frančáková, 2002; Sulewska, 2004a), glutenu, błonnika i nienasyconych kwasów tłuszczowych. Ponadto białko zawarte w ziarnie orkisz cechuje wyższa strawność (> 80%) oraz wyższa wartość biologiczna (Campbell, 1997; Escarnot i in., 2012; Jablonský-Rašć i in., 2013). Jednym z parametrów różnicujących wartości odżywcze ziarna orkisz i pszenicy zwyczajnej jest także zróżnicowanie ilości i rodzaju prolaminy obecnych w bielmie, co według Bonafaccia i in. (2000) może się przyczynić do możliwości spożywania żywności wytworzonej na bazie orkisz przez osoby

cierpiące na alergię pokarmową. Ziarno orkisz w stosunku do ziarna pszenicy zwyczajnej charakteryzuje również podwyższona zawartość niemal wszystkich aminokwasów (Kwiatkowski i in., 2015), większa zawartość witamin rozpuszczalnych w tłuszczach (A, E i D) oraz witamin z grupy B (Grela, 1996). Ponadto badania naukowe jednoznacznie wskazują, że w porównaniu z mąką pszenną, mąka z ziarna orkisz jest bogatszym źródłem składników mineralnych i charakteryzuje się o 30–60% wyższym stężeniem takich składników jak: żelazo, cynk, fosfor, magnez i miedź (Ruibal-Mendieta i in., 2005; Gomez-Becerra i in., 2010). Zdaniem Zielińskiego i in. (2008b) chleb orkiszowy jest również lepszym źródłem związków przeciwutleniających niż chleb pszenny.

Od wielu lat zarówno w hodowli, jak i w uprawie pszenicy orkisz przodują takie kraje jak Niemcy, Szwajcaria oraz Austria. Dane szacunkowe wskazują, że w Europie powierzchnia uprawy pszenicy orkisz zajmuje ok. 100 tys. ha (Longin i Würschum, 2016). Z kolei w Polsce z danych szacunkowych wynika, że całkowita powierzchnia uprawy pszenicy orkisz łącznie z uprawą na cele pastewne (m. in. w mieszankach z pszenżytem) wynosi ok. 1200 ha (Sulewska, 2012). Niestety, mała powierzchnia uprawy pszenicy orkisz powoduje, że w danych udostępnianych przez GUS, Eurostat czy FAOSTAT powierzchnia uprawy tego podgatunku pszenicy ujęta jest razem z pszenicą zwyczajną, dlatego trudno podać aktualną powierzchnię uprawy orkisz (Radzikowska, 2020). W aktualnym Wspólnotowym Katalogu Odmian Roślin Rolniczych (CCA) znajdują się 84 odmiany pszenicy orkisz dopuszczone do obrotu na terytorium UE oraz 12 odmian zachowawczych (EC, 2023). Wśród nich znalazło się także pięć odmian ozimych oraz dwie odmiany jare wpisane do Krajowego Rejestru Odmian (COBORU, 2023). Dane te wskazują na znaczący wzrost liczby zarejestrowanych odmian pszenicy orkisz w porównaniu z rokiem 2016, w którym Skrajda-Brdak i in. (2018) odnotowali jedynie 45 odmian pszenicy orkisz oraz cztery odmiany zachowawcze. Rosnące zainteresowanie tym zbożem wynika z faktu, że podgatunek ten doskonale wpisuje się w system gospodarowania ekologicznego, poza tym uznaje się go za bardziej odporny na choroby i stresy środowiskowe niż pszenica zwyczajna z uwagi na ściśle przylegające do ziarna plewki, stanowiące naturalną ochronę przed agrofagami (Sulewska, 2004a; 2004c; Gawlik-Dziki i in., 2012; Stankowski i in., 2016a; Dostatny i in., 2020; Pospíšil i Pospíšil, 2021). Ponadto chronione skórzastymi plewkami ziarno dłużej zachowuje swoją wartość odżywczą (Pospíšil i in., 2016). Z drugiej strony pszenica orkisz charakteryzuje się cechami dzikości, takimi jak: łamliwa osadka kłosowa, niska wymłacalność kłosków oraz długie źdźbło, zwiększające podatność na wyleganie. Z tego względu uprawa pszenicy orkisz na większą skalę jest dużo trudniejsza i bardziej wymagająca niż uprawa pszenicy zwyczajnej (Campbell, 1997; Dostatny i in., 2020). Należy jednak mieć na uwadze, że globalizacja doprowadziła do ujednolicenia rynku produktów żywnościowych, co w połączeniu ze wzrostem popytu na żywność w wyniku dynamicznie

rosnącej populacji zwiększyło konkurencję o zasoby naturalne. Niektóre, dawniej powszechne w uprawie gatunki roślin zostały całkowicie wyeliminowane z uprawy oraz diety, inne zaś stały się gatunkami marginalnymi. Zjawisku utraty różnorodności genetycznej, które towarzyszy nowoczesnemu rolnictwu, można przeciwdziałać przez ochronę i spopularyzowanie uprawy dawnych i marginalnych gatunków roślin uprawnych (Dostatny i in., 2020). Rosnące zainteresowanie zrównoważonym rozwojem rolnictwa stwarza szansę na rozszerzenie płodozmianów przez wprowadzenie do uprawy pszenicy orkisz, prowadząc do wzrostu bioróżnorodności i ograniczając negatywny wpływ intensyfikacji rolnictwa na środowisko (Hillocks, 2012; Pospíšil i Pospíšil, 2021).

Poziom plonowania roślin rolniczych, w tym również pszenicy, jest wypadkową możliwości plonotwórczych danego gatunku oraz jego reakcji na aktualną produktywność siedliska, w którym znaczącą rolę odgrywają warunki glebowe oraz układ warunków pogodowych (Małecka, 2003). Wśród głównych czynników klimatycznych determinujących rodzaj i efektywność produkcji rolnej podstawowe znaczenie mają temperatura powietrza, opady atmosferyczne, usłonecznienie oraz długość okresu wegetacyjnego. Niestety, zachodzące zarówno w Polsce, jak i na świecie w ostatnich latach zmiany klimatu sprzyjają większej zmienności plonowania roślin, zmniejszeniu lub nawet utracie plonu, zmuszając producentów do poszukiwania nowych rozwiązań i metod produkcji. Ponadto istnieją liczne przesłanki do stwierdzenia, że globalne ocieplenie zwiększa ryzyko wystąpienia ekstremalnych zjawisk pogodowych, takich jak np. fale upałów i susze, intensywne opady, powodzie i silne wiatry, mające niekorzystny wpływ na potencjał plonotwórczy roślin (Skowera i Puła, 2004; Kundzewicz i Kozyra, 2011; Trnka i in., 2011; Pawlak, 2017). Dlatego problem adaptacji istniejących technologii produkcji do obserwowanych zmian klimatu staje się jednym z ważniejszych wyzwań dla producentów rolnych. Rolnictwo powinno spełniać restrykcyjne normy środowiskowe, nie tylko ograniczające ryzyko przedostania się substancji biogennych do wód powierzchniowych czy gruntowych, ale również zmniejszające emisję gazów cieplarnianych. W trosce o zahamowanie lub przynajmniej ograniczenie niekorzystnych zmian klimatycznych powodowanych przez rosnącą emisję gazów cieplarnianych do atmosfery, ściśle związanych m.in. z prowadzoną działalnością rolniczą, należy popularyzować wprowadzanie technologii przyjaznych środowisku naturalnemu (Pawlak, 2017). Za najbardziej efektywne uważa się ograniczenie nakładów na środki produkcji oraz optymalizację wielkości i sposobu stosowania nawozów azotowych (Kundzewicz i Kozyra, 2011). Niestety, zdaniem wielu autorów współczesne technologie uprawy zbóż skoncentrowane są przede wszystkim na bezpośrednich czynnikach plonotwórczych, takich jak nawożenie mineralne i środki ochrony roślin. Poszukiwania sposobów zwiększenia produktywności roślin przy minimalizacji kosztów produkcji często koncentrują się głównie na zagadnieniach związanych z nawożeniem mineralnym. Nie należy zapominać, że

drugim, bardzo ważnym ze względów produkcyjnych i środowiskowych źródłem makro- i mikroelementów są nawozy naturalne, które zawierają praktycznie wszystkie składniki pokarmowe konieczne do prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin. Należy również podkreślić ich funkcję prośrodowiskową, ponieważ działanie głównych składników w tych nawozach jest znacznie wolniejsze i dłuższe niż w przypadku nawozów mineralnych (Kopiński, 2018). Niezwykle ważną funkcją materii organicznej jest także retencja wody w glebie, nie do przecenienia w rejonach posusznych i na glebach lekkich. Niestety, dopływ do gleby materii organicznej w formie nawozów naturalnych w ostatnim czasie zmniejszył się, co jest wyraźnie niekorzystnym zjawiskiem z punktu widzenia bilansu materii organicznej w glebie. Ponadto duży udział gleb lekkich i specyfika klimatu naszego kraju sprawia, że coraz częściej pojawiają się problemy z utrzymaniem żyzności gleb na odpowiednim poziomie. Dlatego w obecnej sytuacji prowadzenie poprawnej gospodarki glebową materią organiczną jest bardzo ważnym elementem ochrony środowiska i sprzyja ograniczaniu efektu cieplarnianego. Szacuje się, że w skali globalnej glebowa materia organiczna wiąże dwukrotnie większą ilość węgla od jego całkowitej ilości występującej w powietrzu w formie CO₂. W związku z tym spadek zawartości materii organicznej w glebach (degradacja) zwiększa emisję gazów cieplarnianych, natomiast jej wzrost (wiązanina – sekwestracja) jest czynnikiem ograniczającym efekt cieplarniany (Kuś i Kopiński, 2012).

Nawożenie azotem to bez wątpienia jeden z czynników agrotechnicznych o bardzo dużym działaniu plonotwórczym, pozwalający na maksymalizację plonu (Małecka, 2003; Knapowski i Ralcewicz, 2004; Sułek i Podolska, 2008; Podolska, 2009) i w największym stopniu decydujący o jakości ziarna zbóż (Cacak-Pietrzak i in., 1999; Podolska i in., 2011; Pecio, 2021). Niezależnie od źródła azotu jego pobieranie intensyfikuje syntezę chlorofilu, procesy fotosyntezy, a także zwiększa produkcję białek (Stankowski in., 2016a). Ponadto nawożenie roślin zbożowych azotem wpływa korzystnie na tworzenie aparatu asymilacyjnego oraz dłuższe utrzymanie liścia flagowego i dokłosa w pełnej aktywności fotosyntetycznej, co rzutuje na kształtowanie się elementów struktury plonu, a w konsekwencji na plonowanie i jakość ziarna (Szafrński, 1995). W literaturze przedmiotu dość dużo uwagi poświęca się również badaniom dotyczącym zróżnicowanej efektywności produkcyjnej nawożenia azotowego (Grzebisz, 1988; Buniak, 1990; Jankowiak, 1991; Fotyma, 1997; Delogu i in., 1998; Koziara i in., 2007; Panasiewicz i in., 2011). Niestety, jest ona zmienna, gdyż zależy w dużej mierze od warunków siedliska (Małecka, 2003). Według Grzebisza (1988) i Jankowiaka (1991) mniej niż połowa azotu zastosowana w nawozach jest pobierana z plonami roślin, natomiast reszta jest częściowo wiązana w glebie, a częściowo ulega stratom. Istnieje więc uzasadniona potrzeba prowadzenia badań nad optymalizacją nawożenia, czyli dostosowaniem dawek nawozów do rzeczywistych potrzeb roślin uprawnych oraz stosowaniem nawozów we właściwym czasie i w odpowiedni sposób (Pecio, 2021).

Niestety, opracowanie uniwersalnych zasad nawożenia azotem jest zadaniem niezwykle trudnym, co wynika ze złożoności procesów przemian azotu w glebie, jak i z różnorodności funkcji tego składnika w roślinie (Fotyma, 1990). Ponadto uwarunkowania przyrodnicze naszego kraju oraz względy ekonomiczne, a także wdrażanie technologii bardziej przyjaznych środowisku stawiają coraz większe wymagania produkcji towarowej zbóż. Dlatego właściwa gospodarka azotem ma istotne znaczenie, szczególnie w rolnictwie, gdzie składnik ten wypełnia zarówno cele produkcyjne, przyczyniając się do wzrostu plonu roślin uprawnych, jak i środowiskowe – przez ograniczanie strat azotu (Pecio, 2017).

W literaturze przedmiotu dość często prezentowany jest pogląd, że pszenica orkisz w porównaniu do pszenicy zwyczajnej jest rośliną niskonakładową, która nie wymaga stosowania szczególnej ochrony przed agrofagami ani intensywnego nawożenia, dlatego jest to roślina świetnie wpisująca się w ekologiczny system gospodarowania (Sulewska, 2012; Rachoń i in., 2020). Jednak duża zdolność adaptacji pszenicy orkisz do ekstensywnej uprawy (Rimle i in., 1995; Castagna i in., 1996) sprawia, że choć podgatunek ten jest uznawany za modelowy dla potrzeb rolnictwa ekologicznego, może być przydatny również do uprawy w niskonakładowych gospodarstwach konwencjonalnych (Feledyn-Szewczyk i Duer, 2005; 2006; Cyrkler-Degulis i Bulińska-Radomska, 2006), poszukujących możliwości zwiększenia dochodów z produkcji roślinnej (Biel i in., 2010). Również Rachoń i in. (2009b) wskazują, że pszenica orkisz dobrze reaguje na intensyfikację uprawy. Z kolei Siebeneiher (1997) podkreśla, że orkisz w porównaniu z pszenicą zwyczajną lepiej wykorzystuje wszystkie składniki mineralne i charakteryzuje go niższe zapotrzebowanie na azot. W literaturze przedmiotu trudno znaleźć jednoznaczne zalecenia dotyczące nawożenia pszenicy orkisz, aczkolwiek dominuje pogląd, że ma ona niższe wymagania pokarmowe niż pszenica zwyczajna (Sulewska, 2012). Należy również mieć na uwadze fakt, że plonotwórczy efekt nawożenia w dużym stopniu uwarunkowany jest cechami genetycznymi roślin, czyli zdolnością danej odmiany do produktywnego wykorzystania składników z nawozu (Sułek i in., 2007). W związku z powyższym istnieje uzasadniona potrzeba podejmowania badań nad doskonaleniem technologii uprawy pszenicy orkisz w celu zwiększenia produktywności tego gatunku w warunkach glebowo-klimatycznych Polski. Fragmentaryczne i często rozbieżne dane literaturowe dotyczące uprawy pszenicy orkisz sprawiają, że niezbędne jest zwrócenie szczególnej uwagi na te czynniki agrotechniczne, których optymalizacja pozwoli ustabilizować wielkość i jakość jej plonu. Ponadto w naszym kraju pszenica orkisz jest traktowana jako roślina alternatywna i dotychczas wykonano niewiele badań, które mogłyby stać się podstawą do sformułowania zaleceń uprawowych dla tego gatunku w konwencjonalnym systemie gospodarowania. Podejmowanie działań dotyczących optymalizacji nawożenia pszenicy orkisz i zwiększenia efektywności jej wykorzystania pozwoli ocenić reakcję tego gatunku na intensyfikację technologii uprawy,

sprawdzić przydatność do innego niż ekologiczny systemu produkcji oraz ocenić obciążenia dla środowiska naturalnego, jakie niesie ze sobą stosowanie nawozów zarówno mineralnych, jak i naturalnych.

Wybór problemu badawczego oparty na obserwacjach polowych oraz przeglądzie piśmiennictwa pozwolił na sformułowanie hipotezy badawczej, że w warunkach glebowo-klimatycznych regionu Wielkopolski, przy zintensyfikowaniu agrotechniki i odpowiednim doborze odmian, nastąpi zwiększenie produktywności pszenicy orkisz, dzięki czemu ten podgatunek pszenicy będzie częściej wykorzystywany w konwencjonalnym systemie gospodarowania. Ponadto założono, że pszenica orkisz oraz pszenica zwyczajna są zróżnicowane pod względem cech biologicznych i gospodarczych, stąd ich wymagania dotyczące potrzeb nawozowych i adaptacyjnych są różne, dlatego szczególnie optymalizacja nawożenia przyczyni się do wzrostu plonowania, a w konsekwencji również do zmniejszenia śladu węglowego w uprawie tych podgatunków.

Głównym celem przeprowadzonych badań było poznanie reakcji pszenicy orkisz na nawożenie mineralne azotem lub naturalne obornikiem oraz określenie optymalnej dawki nawozu dla różnych odmian orkisz na tle odmian pszenicy zwyczajnej. Realizacja głównego celu badań była możliwa dzięki sformułowaniu celów szczegółowych, które dotyczyły:

- określenia wpływu przebiegu warunków pogodowych na wzrost, rozwój, plonowanie i elementy struktury plonu pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej,
- analizy zmienności plonu i jego komponentów w warunkach zróżnicowanych dawek nawożenia azotowego,
- ustalenia optymalnej dawki nawożenia azotowego w zależności od podgatunku pszenicy i odmiany,
- określenia jednostkowej produktywności azotu oraz wpływu odmiany i nawożenia azotowego na plonowanie oraz ważniejsze cechy jakościowe ziarna badanych podgatunków pszenicy,
- identyfikacji źródeł emisji gazów cieplarnianych oraz oceny ilościowej emisji CO₂, wyrażonej za pomocą tzw. śladu węglowego produktu w uprawie pszenicy orkisz i pszenicy zwyczajnej,
- poszerzenia charakterystyki badanych odmian.

2. Metodyka badań

2.1. Opis doświadczenia

Weryfikacji postawionej hipotezy badawczej dokonano na podstawie dwóch ścisłych doświadczeń polowych z pszenicą orkisz (*T. aestivum* ssp. *spelta* (L.) Pers. Mac Key) oraz pszenicą zwyczajną (*T. aestivum* ssp. *vulgare* Mac Key), założonych metodą losowanych bloków w układzie split-plot, w czterech powtórzeniach. Badania przeprowadzono w dwóch seriach, w Zakładzie Doświadczalno-Dydaktycznym Uprawy Roli i Roślin Gorzyń, Stacja Swadzim (N: 52°43'37" E: 16°75'30") oraz Złotniki (N: 52°29'0" E: 16°49'53"), należących do Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Pierwszą serię doświadczeń przeprowadzono w Stacji Swadzim, natomiast doświadczenia z serii drugiej z powodu reorganizacji jednostki zostały przeprowadzone w pobliskiej Stacji Złotniki, w warunkach glebowo-klimatycznych takich samych jak w serii pierwszej. Doświadczenia zakładano w sezonach wegetacyjnych 2011/2012–2017/2018 jako dwuczynnikowe z następującymi poziomami:

- czynnik I rzędu – odmiana pszenicy ozimej. W serii I w sezonach wegetacyjnych 2011/2012–2014/2015 testowano odmiany pszenicy orkisz ‘Badengold’, ‘Schwabenspelz’, ‘Schwabenkorn’ oraz pszenicy zwyczajnej ‘Bogatka’. Natomiast w serii II w sezonach wegetacyjnych 2015/2016–2017/2018 przebadano odmiany pszenicy orkisz ‘Zollernspelz’, ‘Badenstern’, ‘Badenkrone’ oraz pszenicę zwyczajną ‘KWS Dakotana’.
- czynnik II rzędu – nawożenie azotowe w formie nawożenia mineralnego lub nawożenia naturalnego (obornik): 0 kg N·ha⁻¹, 30 kg N·ha⁻¹, 60 kg N·ha⁻¹, 90 kg N·ha⁻¹, 15 t·ha⁻¹ obornika, 30 t·ha⁻¹ obornika.

Poziomy czynnik badawczy dotyczące nawożenia azotowego ustalono w odniesieniu do dwóch różnych źródeł azotu. Nawożenie azotem zastosowano w formie saletry amonowej (34% N) w trzech terminach: 30 kg N·ha⁻¹ wiosną przed

ruszeniem wegetacji oraz na odpowiednich obiektach $30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ w fazie rozpoczęcia strzelania w źdźbło (BBCH 30) i $30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ w fazie początku kłoszenia (BBCH 51). Nawożenie naturalne w formie obornika bydlęcego stosowano jesienią, po zbiorze przedplonu (owies), a przed wykonaniem orki przedsiewnej. Ilość azotu dostarczonego roślinom z obornikiem wyliczono na podstawie zawartości substancji organicznej i azotu ogólnego w suchej masie nawozu. Średnio dla lat każdego roku z 1 toną obornika wprowadzano do gleby $5,5 \text{ kg}$ azotu. Powierzchnia poletka doświadczalnego wynosiła 18 m^2 (10 m długość $\times$ 8 m szerokość), z czego do zbioru przeznaczono $15,0 \text{ m}^2$.

W trakcie badań prowadzono obserwacje przebiegu poszczególnych faz rozwojowych pszenicy orkisz i pszenicy zwyczajnej według Kaczyńskiego i in. (1998) i wyrażono w skali BBCH (Adamczewski i Matysiak, 2002). Za początek danej fazy rozwojowej przyjmowano stan, w którym 10% roślin na poletku osiągnęło daną fazę rozwojową, natomiast za pełnię, gdy 50% roślin znajdowało się w tej fazie.

2.2. Metody i zakres badań

W trakcie realizacji doświadczeń wykonano wymienione poniżej obserwacje i badania polowe, analizy laboratoryjne oraz obliczenia.

Rozwój roślin, plon i elementy plonowania

1. Pszenicę orkisz oraz pszenicę zwyczajną uprawiano w sezonach wegetacyjnych od 2011/2012 do 2017/2018 roku, co pozwoliło przeprowadzić ocenę wpływu warunków pogodowych na wzrost, rozwój oraz plonowanie tego gatunku w 7-letnim okresie badań.
2. Obsadę roślin po wschodach ($\text{szt.} \cdot \text{m}^{-2}$) oznaczono na każdym poletku metodą ramkową ($2 \times 0,25 \text{ m}^2$).
3. W trakcie prowadzenia badań wykonano ocenę tworzenia biomasy przez części nadziemne roślin pszenicy. Pomiary przeprowadzono w fazie strzelania w źdźbło (BBCH 35 – T_1), kłoszenia (BBCH 59 – T_2), dojrzałości mleczej (BBCH 75 – T_3) i dojrzałości pełnej (BBCH 89 – T_4). Materiał roślinny, w celu określenia dynamiki gromadzenia biomasy w nadziemnych częściach roślin i zawartości w nich azotu, pobierano z podziałem na poszczególne części rośliny: liście, źdźbła oraz kłosa. W każdym z terminów ze wszystkich poletek pobierano do analizy rośliny z powierzchni $0,1 \text{ m}^2$ i oznaczano świeżą i suchą masę (g).
4. W fazie kwitnienia (BBCH 65) wykonano nieinwazyjny test SPAD (tzw. indeks zieloności liści), polegający na pomiarze różnicy między ilością światła absorbowanego i przepuszczonego przez tkankę liścia. Pomiar przeprowadzano

bezpośrednio na polu, na każdym poletku, w czterech powtórzeniach, przy użyciu urządzenia Hydro N-Tester.

5. Zawartość barwników chloroplastowych (chlorofil *a*, *b*, suma chlorofilu *a* + *b* oraz karotenoidy) w liściu flagowym pszenicy oznaczono na spektrofotometrze (typu Spekol), wykonując pomiar absorpcji wyciągu z liści przy trzech długościach fal, które odpowiadają maksimum absorpcji poszczególnych barwników. Dla barwników chlorofilowych jest to długość fal odpowiadająca maksimum absorpcji w zakresie czerwieni, a dla karotenoidów – w niebieskim obszarze widma. Dla chlorofilu *a* pomiar absorpcji ekstraktu wykonano przy długości fali wynoszącej 665 nm, dla chlorofilu *b* – przy fali o długości 649 nm oraz karotenoidów – przy fali o długości 480 nm. Zawartość chlorofilu *a*, *b*, sumy chlorofilu *a* + *b* oraz karotenoidów wyliczono według zmodyfikowanych wzorów podanych przez Arnona (Wellburn, 1994).

$$\text{Chlorofil } a = (12,19 \cdot A_{665} - 3,45 \cdot A_{649}) \cdot V \cdot (1000 \text{ W})^{-1}$$

$$\text{Chlorofil } b = (21,99 \cdot A_{649} - 5,32 \cdot A_{665}) \cdot V \cdot (1000 \text{ W})^{-1}$$

$$\text{Suma } a + b = (18,09 \cdot A_{649} + 7,05 \cdot A_{665}) \cdot V \cdot (1000 \text{ W})^{-1}$$

$$\text{Karotenoidy} = (1000 \cdot A_{480} - 2,14 \cdot \text{chlorofil } a - 70,16 \cdot \text{chlorofil } b) \cdot 220^{-1}$$

gdzie: A – absorpcja przy danej długości fali,

V – całkowita objętość ekstraktu (cm³),

W – masa próbki (g).

Materiał roślinny (liście flagowe) do oznaczeń pobrano z każdego poletka w fazie kwitnienia roślin (BBCH 65), w godzinach porannych, bezpośrednio przed wykonaniem analiz. Naważki liści cięto na 2–3 mm odcinki i zalewano 5 ml DMSO (*Dimethyl sulfoxide*). Próby pozostawiono na ok. 1 godz. w ciemności, w temperaturze pokojowej, a następnie inkubowano w temp. 65°C (łaźnia wodna) przez 30 min. W otrzymanym ekstrakcie po schłodzeniu oznaczono spektrofotometrycznie zawartość chlorofilu *a*, *b* oraz karotenoidów. Koncentrację poszczególnych barwników chloroplastowych podano odpowiednio w µg·g⁻¹ lub mg·g⁻¹ świeżej masy.

6. Indeks powierzchni liści LAI (*Leaf Area Indeks*), określający ilość energii świetlnej absorbowanej przez łan, wykonano w fazie kwitnienia roślin pszenicy (BBCH 65). Pomiar wykonano za pomocą miernika SunScan Canopy Analysis System type SSI, w czterech powtórzeniach.
7. W przeprowadzonych badaniach z powierzchni całego poletka określono plony kłosków, ziarna (po przeliczeniu na wilgotność 15%) oraz słomy i przeliczono na hektar. Zbiór przeprowadzono kombajnem poletkowym firmy Wintersteiger z wbudowaną wagą automatyczną. Po zbiorze pszenicy orkisz kłoski odplewiono przy wykorzystaniu bukownika (IMP Wagner), ponownie zważono i określono plon ziarna oraz udział ziarna w plonie kłosków.
8. Komponenty plonowania określono, analizując następujące cechy:

- liczbę źdźbeł kłosonośnych – policzono je przed zbiorem z powierzchni 0,33 m², na każdym poletku, a następnie przeliczono na 1 m²,
 - liczbę ziaren w kłosie – ustalono na podstawie średniej liczby kłosków jedno-, dwu-, trzy- i czteroziarnowych z 25 kłosów, pobranych z każdego poletka,
 - masę 1000 ziaren – oznaczono zgodnie z ISTA (2011).
9. Dla określenia produktywności roślin i kłosów wykonano analizy biometryczne roślin na próbach pobranych w fazie dojrzałości pełnej (BBCH 89) z powierzchni 0,33 m². Oznaczono takie cechy jak:
- długość kłosa – mierzono od nasady kłosa do wierzchołka kłosa szczytowego, bez ości,
 - liczba kłosków jedno-, dwu-, trzy- i czteroziarnowych w kłosie – ustalona została na podstawie średniej liczby pobranych losowo z próby 25 kłosów,
 - zbitość kłosa – obliczono na podstawie wzoru (Dubas i Gładysiak, 1997):
- $$ZK = \frac{(L_k - 1) \cdot 100}{D_{ok}}$$
- gdzie: L_k – liczba kłosków w kłosie
 D_{ok} – długość osadki kłosowej (mm)
- masa kłosów (g·m⁻²) oraz ziarna z 1 kłosa wyliczona została na podstawie liczby ziaren w kłosie i masy 1000 ziaren,
 - wysokość rośliny – oznaczono, mierząc długość najwyższego pędu od ziemi do wierzchołka kłosa,
 - współczynnik krzewienia ogólnego – wyrażono jako ogólną liczbę źdźbeł, zarówno generatywnych, jak i wegetatywnych przypadających na jedną roślinę,
 - współczynnik krzewienia produkcyjnego – wyliczono jako różnicę między ogólną liczbą źdźbeł przypadających na roślinę a liczbą źdźbeł nieowocujących (niedogonów).
10. W celu określenia parametrów jakościowych ziarna oznaczono masę hektolitra, tzn. gęstość ziarna w stanie zsypanym, wyrażoną w kg·hl⁻¹. Pomiary wykonano w czterech powtórzeniach, przy wykorzystaniu miernika Dramiński GMDM, z wbudowaną wagą elektroniczną.
11. W fazie dojrzałości pełnej (BBCH 87) na podstawie oceny wzrokowej oszacowano wyleganie roślin w 9-stopniowej skali opracowanej przez Dubasa i Gładysiaka (1997), gdzie poszczególne stopnie oznaczały: 9° – brak pochyleń źdźbła, 7–8° – źdźbło bardzo słabo pochylone, 5–6° – źdźbło średnio pochylone, 3–4° – źdźbło silnie pochylone, 1–2° – źdźbło bardzo silnie pochylone. Wyniki przedstawiono jako średnią ważoną dla poszczególnych kombinacji doświadczalnych.

12. Zawartość azotu (N) w suchej masie organów wegetatywnych i generatywnych (liście, źdźbła, kłosa, słoma, ziarno) w poszczególnych fazach rozwojowych roślin pszenicy (BBCH 35, BBCH 59, BBCH 75, BBCH 89) oznaczono w laboratorium chemicznym Katedry Agronomii UP w Poznaniu powszechnie stosowaną metodą Kjeldahla, opisaną przez Mroczkowskiego i Cygańskiego (1983), wykorzystując aparat Kjeltec™ 2200 FOSS. Materiał roślinny do analiz pobierano z każdego poletka we wskazanych powyżej terminach, z powierzchni 0,1 m².
13. Analizy składu chemicznego ziarna wykonano w laboratorium Hodowli Roślin Strzelce Sp. z o.o. Grupa IHAR, wykorzystując analizator do badania ziarna zbóż PerCon Inframatic 9100 oraz NIRS™ DS2500 F. Pożniwną ocenę wartości technologicznej ziarna oznaczono na podstawie takich parametrów jak: zawartość glutenu (%), tłuszczu (%), włókna (%) oraz popiołu (%), wskaźnik sedymentacji Zeleny'ego, wskaźnik twardości technologicznej ziarna (HI), wodochłonność glutenu (%) oraz wskaźnik RMT (*Rapid Mix Test*).
14. Na podstawie analiz chemicznych obliczono wydajność białka i skrobi z ziarna oraz nagromadzenie (pobranie) azotu w poszczególnych organach roślin pszenicy. Pobranie azotu z plonem suchej masy organów wegetatywnych lub ziarna zostało wyliczone według następującego wzoru (Szulc, 2013):

$$N_a = \frac{P_{s.m.} \times N\%}{100}$$

gdzie: N_a – akumulacja (pobranie) azotu przez roślinę lub jej poszczególne organy (g·m⁻²)

$P_{s.m.}$ – sucha masa określonego organu lub całej rośliny (g)

N% – zawartość azotu w poszczególnych organach rośliny (% s.m.)

Właściwości chemiczne gleby

Próby do oznaczeń właściwości chemicznych gleby pobierano przed założeniem doświadczenia oraz po jego zakończeniu (zbiorze) z warstwy 0–30 cm. Analizy chemiczne wykonano według powszechnie przyjętych metod w Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Poznaniu. Zakres badań obejmował oznaczenie: pH gleby w 1 M KCl (zgodnie z PN-ISO 10390:1997), przyswajalnej formy P₂O₅ (zgodnie z normą PN-R-04023:1996), przyswajalnej formy K₂O (zgodnie z normą PN-R-04022:1996+Az1:2002) oraz przyswajalnej formy Mg (zgodnie z normą PN-R-04020:1994+Az1:2004).

Ocena zdrowotności roślin

W fazie dojrzałości młecznej (BBCH 73–75) przeprowadzono ocenę występowania patogenów chorób grzybowych na 40 liściach flagowych i podflagowych, losowo

wybranych roślin z każdego poletka, zgodnie z zaleceniami EPPO Standards (2012). Ocena polegała na określeniu występowania w skali 0–5° grzybów patogennych *Blumeria graminis* (DC.) Speer [*Erysiphe graminis* DC.], czyli sprawcy mączniaka prawdziwego zbóż i traw oraz *Puccinia recondita* Roberge ex Desm. [*Puccinia triticina* Erikss.], wywołującego rdzę brunatną pszenicy. Poszczególne stopnie w skali zostały określone w procentach powierzchni porażenia blaszek liściowych, gdzie: 0° – brak objawów; 1° – 1% powierzchni opalonej przez chorobę; 2° – 5% powierzchni opalonej przez chorobę; 3° – 10% powierzchni opalonej przez chorobę; 4° – 25% powierzchni opalonej przez chorobę; 5° – 50% powierzchni opalonej przez chorobę. W tym samym okresie wykonano również ocenę występowania patogena *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt. [*Septoria tritici* Thüm.], wywołującego septoriozę paskowaną liści pszenicy, do przeprowadzenia której przyjęto skalę 0–4°, gdzie poszczególne stopnie w skali stanowiły: 0° – brak objawów; 1° – 5% powierzchni opalonej przez chorobę; 2° – 10% powierzchni opalonej przez chorobę; 3° – 25% powierzchni opalonej przez chorobę oraz 4° – 50% powierzchni opalonej przez chorobę. Nazwy poszczególnych gatunków grzybów zostały podane według aktualnie stosowanej nomenklatury zamieszczonej na stronie internetowej (www.7).

Szczegółowa ocena porażenia liści w % powierzchni opalonej przez danego patogena stanowiła podstawę do wyznaczenia klasy porażenia oraz liczby liści w każdej klasie. Stopnie porażenia w skali wyrażono jako indeks porażenia (IP %) korzystając ze wzoru Townsend i Heubergera (1943):

$$IP\% = \left(\frac{\sum_0^i (n \cdot v)}{in} \right) \cdot 100$$

gdzie: IP – indeks porażenia,

i – najwyższy stopień skali porażenia,

n – liczba roślin w danym stopniu porażenia,

v – stopień porażenia,

N – całkowita liczba badanych roślin.

Uzyskane wyniki indeksów porażenia roślin pszenicy przez poszczególne patogeny grzybowe transponowano na stopnie kątowe Bliss'a i w tej postaci poddano analizie wariancji.

Wskaźniki syntetyczne

Wyniki bezpośrednich pomiarów wartości fizycznych pozwoliły na wyliczenie wybranych wskaźników syntetycznych:

1. Dynamika wzrostu roślin – absolutna szybkość wzrostu roślin (AGR – *Absolute rate of dry matter accumulation*) została wyliczona według wzoru (Szulc, 2012):

$$AGR = \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1}$$

gdzie: AGR – absolutna szybkość wzrostu roślin ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dzień}^{-1}$),
 W_1 – początkowa masa rośliny (liście, źdźbło, kłosa),
 W_2 – masa rośliny (liście, źdźbło, kłosa) w kolejnych terminach pobierania,
 $T_2 - T_1$ – czas pomiędzy oceną suchej masy w W_1 i W_2 (dni).

2. Efektywność wykorzystania azotu z nawozów – została wyliczona ze wzoru podanego przez Potarzyckiego (2010), korzystając z równania:

$$N(\%) = \frac{(N_f - N_c) \times 100}{D}$$

gdzie: $N\%$ – efektywność wykorzystania azotu z nawozów (%),
 N_f – pobranie N przez roślinę i poszczególne jej organy nawożone azotem ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$),
 N_c – pobranie N przez roślinę i poszczególne jej organy nienawożone azotem ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$),
 D – dawka N ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

3. Efektywność rolnicza nawożenia azotem (A_E – kg ziarna $\cdot \text{kg}^{-1}$ N) – została wyliczona jako stosunek przyrostu plonu ziarna pod wpływem nawożenia azotem do dawki zastosowanego nawożenia azotem (Novoa i Loomis, 1981) według wzoru:

$$A_E = \frac{PN_x - PN_0}{N_x}$$

gdzie: PN_x – plon ziarna roślin nawożonych azotem,
 PN_0 – plon ziarna roślin nie nawożonych azotem,
 N_x – dawka azotu.

4. Efektywność fizjologiczna nawożenia azotem (P_E – kg ziarna $\cdot \text{kg}^{-1}$ N pobranego) – została wyliczona jako stosunek przyrostu plonu ziarna pod wpływem nawożenia azotem do przyrostu plonu ziarna pod wpływem azotu pobranego z nawozów (Novoa i Loomis, 1981) według wzoru:

$$P_E = \frac{PN_x - PN_0}{PPN_x - PPN_0}$$

gdzie: PN_x – plon ziarna roślin nawożonych azotem,
 PN_0 – plon ziarna roślin nie nawożonych azotem,
 PPN_x – pobranie azotu przez rośliny nawożone azotem,
 PPN_0 – pobranie azotu przez rośliny nie nawożone azotem.

5. Współczynnik wykorzystania azotu z nawozu ($W_n - \%$) – został wyliczony jako iloraz efektywności rolniczej i efektywności fizjologicznej według Novoa i Loomis (1981).
6. Indeks odżywienia roślin azotem (NNI – *Nitrogen Nutrition Index*) – zastosowano do oceny stanu zaopatrzenia roślin w azot, wykorzystując zależność pomiędzy nagromadzeniem suchej masy a zawartością azotu. Indeks NNI obliczono według koncepcji Lemaire’a i Gastal (1997), korzystając z równania:

$$NNI = \frac{N_t}{N_c}$$

gdzie: N_t – zawartość azotu (%) w analizowanej próbce,
 N_c – krytyczna zawartość azotu (%).

Krytyczną zawartość azotu, niezbędną do niezaburzonego wzrostu i rozwoju roślin, wyznaczono na podstawie następujących równań regresji potęgowej, zaproponowanych dla polskich warunków przez Fotymę i Pecio (1999) według wzoru:

$$Y = 4,56 (W)^{-0,483}$$

gdzie: Y – krytyczna zawartość azotu ogólnego (%),
 W – plon suchej masy ($t \cdot ha^{-1}$).

7. Indeks plonowania (HI – *Harvest Index*) – został wyliczony w celu oceny produktywności roślin, na podstawie równania:

$$HI = \frac{\text{plon użytkowy } (t \cdot ha^{-1})}{\text{plon biologiczny } (t \cdot ha^{-1})} \times 100(\%)$$

8. Indeks żniwny azotu (NHI – *Nitrogen Harvest Index*) – został obliczony jako stosunek azotu pobranego z plonem użytkowym (ziarno) do azotu pobranego z plonem ziarna i słomy pszenicy. Wartości wyliczonego indeksu wyrażono w % (Delogu i in., 1998).

Dane meteorologiczne

W pracy zamieszczono wartości średniej miesięcznej temperatury powietrza oraz sum opadów atmosferycznych w latach 2011–2018. Dane zostały zestawione na podstawie odczytów ze Stacji Meteorologicznej ZDD Swadzim i Złotniki. Odrębnie obliczono średnią temperaturę powietrza oraz sumę opadów atmosferycznych odpowiadających terminom wystąpienia poszczególnych faz fenologicznych pszenicy orkisz i pszenicy zwyczajnej. Do określenia warunków pluwiometrycznych wykorzystano współczynnik hydrotermiczny Sielanianowa (K), który wyliczono według zamieszczonego poniżej wzoru (Molga, 1986):

$$K = \frac{P}{0,1 \times \sum_t}$$

gdzie: P – suma opadów atmosferycznych w miesiącu (mm),
 $\sum_t$ – miesięczna suma temperatur powietrza ($^{\circ}\text{C}$).

Miesięczną sumę temperatury powietrza otrzymano, mnożąc średnią temperaturę powietrza w miesiącu przez liczbę dni w miesiącu. W celu interpretacji współczynnika K wykorzystano podział na 10 klas, umożliwiające wyodrębnienie zarówno warunków ekstremalnie suchych, jak i ekstremalnie wilgotnych (Skowera i Puła, 2004):

- skrajnie suchy – extremely dry (ss) $k \leq 0,4$,
- bardzo suchy – very dry (bs) $0,4 < k \leq 0,7$,
- suchy – dry (s) $0,7 < k \leq 1,0$,
- dość suchy – quite dry (ds) $1,0 < k \leq 1,3$,
- optymalny – optimum (o) $1,3 < k \leq 1,6$,
- dość wilgotny – quite moist (dw) $1,6 < k \leq 2,0$,
- wilgotny – moist (w) $2,0 < k \leq 2,5$,
- bardzo wilgotny – very moist (bw) $2,5 < k \leq 3,0$,
- skrajnie wilgotny – extremely moist (sw) $k > 3,0$.

Na podstawie odchyleń temperatury powietrza od średniej z wielolecia w trakcie okresu wegetacji roślin lata, w których przeprowadzono badania, sklasyfikowano według kryteriów opracowanych przez Łyczko i in. (2000) i określono jako:

- bardzo ciepłe – powyżej $2,0^{\circ}\text{C}$,
- ciepłe – od $0,5^{\circ}\text{C}$ do $2,0^{\circ}\text{C}$,
- normalne (średnie) – od $0,5^{\circ}\text{C}$ do $-0,5^{\circ}\text{C}$,
- chłodne – od $-0,5^{\circ}\text{C}$ do $-2,0^{\circ}\text{C}$,
- bardzo chłodne – poniżej $-2,0^{\circ}\text{C}$.

Klasyfikację lat według sum opadów atmosferycznych opracowano według kryteriów przyjętych przez Kaczorowską (1962) i podzielono je na:

- skrajnie suche – suma opadów poniżej 50% normy średniej sumy wieloletniej (niedobór opadów przekracza 50%),
- bardzo suche – suma opadów stanowi 50–74% normy (niedobór wynosi 26–50%),
- suche – suma opadów stanowi 75–89% normy (niedobór wynosi 11–25%),
- przeciętne – suma opadów mieści się w granicach 90–110% normy (odchylenie od przeciętnej sumy wieloletniej nie przekracza 10%),
- wilgotne – suma opadów stanowi 111–125% normy (nadmiar opadów wynosi 11–25%),

- bardzo wilgotne – suma opadów stanowi 126–150% normy (nadmiar opadów wynosi 26–50%),
- skrajnie wilgotne – suma opadów przewyższa 150% normy (nadmiar opadów przekracza 50%).

Emisja gazów cieplarnianych

W celu skwantyfikowania wpływu produkcji pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej na środowisko przeprowadzono kalkulację ilości emitowanych gazów cieplarnianych (GHG – *Greenhouse Gases*). Wielkość emisji gazów przedstawiono jako sumę emisji bezpośrednich i pośrednich, które powstały w całym cyklu polowej uprawy pszenicy. Dane dotyczące emisji GHG obejmowały emisje bezpośrednie wytwarzane w trakcie spalania paliw przez ciągniki i maszyny biorące udział we wszystkich operacjach technologicznych podczas uprawy pszenicy, emisje bezpośrednie i pośrednie z pól związane z uprawą pszenicy w wyniku stosowania nawozów mineralnych i naturalnych, z zaprawianiem nasion, stosowaniem pestycydów, a także emisje pośrednie związane z produkcją nawozów mineralnych, zapraw nasiennych, pestycydów, z wykorzystaniem energii elektrycznej oraz ciągników i maszyn rolniczych. W obliczeniach emisji gazów cieplarnianych z obornika uwzględniono jedynie straty gazów powstające na etapie stosowania obornika na polu, nie analizowano emisji powstałych w trakcie jego produkcji i podczas składowania. Z uwagi na duże ilości emitowane w całym cyklu produkcji rolniczej takich gazów jak: podtlenek azotu (N_2O), metan (CH_4) i dwutlenek węgla (CO_2), w określeniu ilości emisji GHG skupiono się na tych trzech najważniejszych gazach, a wielkość ich emisji wyrażono jako ekwiwalent CO_2 . Do obliczenia emisji z każdego źródła wykorzystano odpowiednie współczynniki emisji dostępne w literaturze przedmiotu (tab. 1), a ich suma stanowiła całkowitą emisję z 1 ha uprawy, którą podzielono przez uzyskany w eksperymencie plon ziarna. Do obliczeń emisji gazów powstających podczas spalania paliwa przez maszyny rolnicze w trakcie prowadzonych prac polowych wykorzystano współczynniki emisji dla 1 litra oleju napędowego i wymnożono przez ilość paliwa zużytego do przeprowadzenia takich prac polowych, jak: orka, uprawa przedsiewna, nawożenie, siew, ochrona chemiczna oraz zbiór.

W obliczeniach przyjęto, że średnie zużycie oleju napędowego podczas wykonywanych prac polowych wynosiło $2,05 \text{ dm}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ ziarna, wartości wskaźników jednostkowej energochłonności skumulowanej wyrażonej w $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ wynosiły 43,33 $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ oraz współczynnik emisji wynosił 73,33 $\text{kg CO}_2 \text{ GJ}^{-1}$. Na podstawie tych danych wyliczono, że spalanie każdego litra oleju napędowego wytwarza 2,67 kg ekwiwalentu CO_2 (Wójcik-Gront i Bloch-Michalik, 2016). Ponadto w kalkulacjach uwzględniono również, że emisja gazów podczas produkcji i transportu oleju napędowego może zwiększyć udział gazów cieplarnianych o 20% (Maraseni i in.,

Tabela 1. Zestawienie wskaźników emisji z poszczególnych źródeł dla wyróżnionych gazów cieplarnianych (ekwiwalent CO₂) w uprawie pszenicy**Table 1.** Summary of emission factors from individual sources for the greenhouse gases distinguished (CO₂ equivalent) in wheat cultivation

Źródło emisji Source of the emission	Rodzaj gazu Gas type	Wskaźnik emisji Emission factor	Jednostka emisji Emission unit	Źródło literaturowe Literature source
Emisje gazów powstałe w wyniku zużycia paliw i energii elektrycznej Gas emissions resulting from the consumption of fuel and electricity				
Elektryczność Electricity	CO ₂ , CH ₄ , NO ₂	0,264	kg CO ₂ ekw.-kWh ⁻¹	Martin-Gorriz i in. (2014) Martin-Gorriz et al. (2014)
Olej napędowy Diesel fuel	CO ₂ , CH ₄ , NO ₂	3,18	kg CO ₂ ekw.-kg ⁻¹	
Emisje gazów powstałe w trakcie produkcji, transportu, przechowywania i przewozu środków chemicznych Gas emissions resulting from the production, transport, storage and transportation of chemicals				
N	CO ₂	6,98	kg CO ₂ ekw.-kg ⁻¹	Wójcik-Gront i Bloch-Michalik (2016) Wójcik-Gront and Bloch-Michalik (2016)
P ₂ O ₅	CO ₂	2,90	kg CO ₂ ekw.-kg ⁻¹	
K ₂ O	CO ₂	1,77	kg CO ₂ ekw.-kg ⁻¹	
Fungicydy Fungicides	CO ₂	3,30	kg CO ₂ ekw.-kg ⁻¹	
Herbicydy Herbicides	CO ₂	5,08	kg CO ₂ ekw.-kg ⁻¹	Hryniewicz i in. (2015) Hryniewicz et al. (2015)
Materiał siewny Seeds material	CO ₂	0,37	kg CO ₂ ekw.-kg ⁻¹	

2010). Emisje bezpośrednie N₂O z gleby i CO₂ związane z zastosowaniem nawozów wapniowych oraz emisje pośrednie N₂O związane z wytwarzaniem i stosowaniem nawozów mineralnych obliczono na podstawie metodologii IPCC (2006). Do kalkulacji przyjęto współczynniki emisji opracowane przez Wójcik-Gront i Bloch-Michalik (2016) na podstawie pracy Hughes i in. (2011) oraz danych zgromadzonych na potrzeby projektu sfinansowanego przez Defra National Non-Food Crops Centre (NNFCC), służących do opracowania narzędzia do oceny oddziaływania środowiska dla biomateriałów. To samo źródło wykorzystano do określenia współczynników emisji związanych z zastosowaniem pestycydów. Do obliczeń emisji GHG związanych z zastosowaniem nawozów mineralnych i obornika, ilości składników pokarmowych zawarte w tych nawozach podano w przeliczeniu na czysty składnik w formie N, P₂O₅ oraz K₂O. Z kolei na podstawie zawartości poszczególnych makroskładników w świeżej masie przyjęto, że z 1 toną obornika wprowadzono do gleby 5,5 kg N, 2,4 kg P₂O₅ oraz 3,5 kg K₂O. Ponadto, biorąc pod uwagę dostępne dane literaturowe (Wójcik-Gront i Bloch-Michalik, 2016), w kalkulacjach nie uwzględniono emisji i sekwestracji dwutlenku węgla z gleby,

zakładając, że CO₂ jest usuwany z atmosfery w trakcie uprawy roślin. Emisję gazów cieplarnianych wyrażono jako kg ekwiwalentu CO₂ na 1 ha, natomiast ślad węglowy jako kg ekwiwalentu CO₂ na tonę ziarna.

2.3. Charakterystyka odmian

Charakterystyki odmian użytych w doświadczeniach dokonano na podstawie listy opisowej odmian zamieszczonej na stronie internetowej Bundessortenamt (www.1), Wspólnotowego Katalogu Odmian Roślin Rolniczych (CCA) (www.2), informacji dostępnych na stronach internetowych hodowców (www.3; www.4; www.5) oraz portali rolniczych (www.6).

‘Badengold’ – jedna z najmłodszych odmian orkiszu ozimego, która znalazła się na liście CCA w 2005 r. Cechuje się nadzwyczaj wysoką odpornością na wyleganie. Rośliny tej odmiany wykazują wysoką odporność na mączniaka oraz septoriozę plew pszenicy, natomiast średnią odporność na rdzę żdźbłową. Kłosa charakteryzują się mniejszą liczbą ziaren w kłosie, ale o wysokiej masie tysiąca ziaren.

‘Schwabenspelz’ – odmiana ta została przyjęta do rejestru w Niemczech w 2000 r. Należy do najniższych jak dotąd odmian orkiszu ozimego. Rośliny tej odmiany charakteryzują się najmniejszą podatnością na wyleganie oraz mają wysoką plenność. Ponadto cechują się dość dużą podatnością na mączniaka, dlatego też odmiana ta nie jest polecana do uprawy na polach dobrze zaopatrzonych w azot i wilgotnych. Odporność na septoriozę i rdzę, według dostępnych danych, kształtuje się na średnim poziomie. Odmiana ta charakteryzuje się dorodnością ziaren mimo przeciętnej ilości ziaren w kłosie i MTZ.

‘Schwabenkorn’ – jedna z najstarszych odmian orkiszu, która znalazła się na niemieckiej liście opisowej już w 1988 r. Rośliny są dość wysokie (90–110 cm), cechują się bardzo wysoką podatnością na wyleganie. Odmiana ta zalecana jest do uprawy na glebach słabszych lub po słabszych przedplonach, z powodu mniejszej dostępności azotu na tych stanowiskach. Wykazuje jednak dużą wrażliwość na opóźnianie terminu siewu, co może skutkować znacznym spadkiem plonu. Charakteryzuje się słabą tolerancją na choroby. Ponadto odmianę tę cechuje bardzo dorodne ziarno i duża zawartość ziaren w kłosie o średniej MTZ.

‘Zollernspelz’ – ma wysoką zawartość białka oraz glutenu w ziarnie. Jest to odmiana bardzo odporna na choroby i złe warunki atmosferyczne, np. suszę. Wykazuje również wysoki poziom zimotrwałości. Jest wczesną plenną odmianą odporną na wyleganie (w porównaniu do innych odmian pszenicy orkisz), ponieważ rośliny osiągają niższą wysokość. Cechuje ją bardzo dobra mrozoodporność i wysoka zdrowotność. Polecana jest do uprawy na wszystkich rodzajach gleb oraz w uprawach ekologicznych. Według informacji podanych przez hodowcę jest odmianą ekstensywną.

‘Badenstern’ – odmiana charakteryzująca się bardzo dobrymi parametrami jakościowymi ziarna, o wysokiej zawartości białka. Cechuje się wysoką odpornością na wyleganie oraz wysoką plennością. Nadaje się do uprawy zarówno na dobrych, jak i na gorszych glebach. Optymalny termin siewu to od końca września do połowy października. Bardzo dobra mrozoodporność, zimotrwałość i odporność na choroby.

‘Badenkrone’ – jest stosunkowo nową, krótko obecną na rynku odmianą, charakteryzującą się dużą stabilnością plonowania o wysokiej wydajności ziarna, przeznaczoną do intensywnej uprawy. Cechuje się wysoką zdrowotnością roślin, mrozoodpornością oraz odpornością na choroby. Posiada duży potencjał plonotwórczy. Charakteryzuje się dużą liczbą ziaren w kłosie i wysoką masą tysiąca ziaren. Według informacji podanych przez hodowcę istnieje możliwość uprawy tej odmiany zarówno na dobrych glebach, jak i w gorszych lokalizacjach. Najlepszy termin siewu dla tej odmiany to koniec września do połowy października.

‘Bogatka’ – to odmiana chlebowa pszenicy zwyczajnej, przydatna do uprawy w całym kraju, o bardzo dobrym i stabilnym w latach plonowaniu. Ziarno charakteryzuje się wysoką zawartością glutenu o niskiej rozplywalności. Ponadto rośliny charakteryzują się bardzo dobrą tolerancją na mróz, którą hodowca ocenia na 6 w skali 9-stopniowej, oraz dobrą odpornością na popularne choroby grzybowe pszenic. Jest to odmiana wczesna o sztywnej i krótkiej słomie, odpornej na wyleganie. Kłosa są dobrze wypełnione, a ziarno charakteryzuje wysoka MTZ oraz dobre wyrównanie i niski udział pośladu.

‘KWS Dakotana’ – jest wydajną pszenicą ozimą należącą do grupy jakościowej o bardzo dobrej plenności. Ma doskonałe parametry jakościowe ziarna oraz wysoki potencjał plonotwórczy. Jest bardzo tolerancyjna na choroby, zwłaszcza na rdzę żółtą i brunatną. Cechuje się również dobrą zimotrwałością oraz regeneracją po zimie. Możliwa jest uprawa tej odmiany na terenie całego kraju. Ziarno charakteryzuje się wysoką zawartością białka oraz glutenu. Jest odmianą niską, bardzo odporną na wyleganie, polecaną do intensywnej uprawy.

2.4. Ocena statystyczna wyników badań

Zebrane wyniki badań zestawiono za pomocą arkusza kalkulacyjnego MS Excel w środowisku Windows. Następnie poddano ocenie statystycznej, stosując analizę wariancji (ANOVA) dla doświadczeń czynnikowych ortogonalnych oraz analizę w układzie split-plot (Elandt, 1964; Łubkowski, 1968). Do obliczeń statystycznych wykorzystano pakiet programów statystycznych STATPAKU, opracowany w Katedrze Metod Matematycznych i Statystycznych. Najmniejszą istotną różnicę (NIR) obliczono dla poziomu istotności α 0,05. Istotność różnic między badanymi poziomami czynnika oceniono testem Tukeya. Natomiast brak istotnych różnic

między badanymi czynnikami oznaczono jako różnicę nieistotną (r.n.). W celu weryfikacji wykrytych prawidłowości i powiązań między plonem, komponentami plonu, składem chemicznym oraz innymi cechami biometrycznymi obliczono współczynniki korelacji prostej. Macierz współczynników korelacji badano za pomocą wielozmiennej analizy czynnikowej opisanej w opracowaniu Webera (2011) i przedstawiono w postaci wykresów zmiennych uwzględniających położenie wektorów ładunków względem dwóch składowych głównych (ang. *Principal Components Analysis*, PCA), wykorzystując opracowanie Kolasy-Więcek i Koszeli (2013). W celu wyróżnienia jednostek, które są do siebie najbardziej podobne, a jednocześnie maksymalnie różne od innych pod względem wyróżnionych cech (Ostasiewicz, 1998), wykonano analizę skupień, wykorzystując metodę Warda (Ward, 1963) jako jedną z hierarchicznych metod grupowania. Wykorzystano metodę tzw. map ciepła (*heat map*), która jest graficznym przedstawieniem danych, gdzie poszczególne wartości zawarte w macierzy są reprezentowane jako barwniki. Dla potrzeb tej analizy dokonano normalizacji wartości zmiennych. Natężeniu koloru od najsłabszego (kolor najjaśniejszy) do najsilniejszego (kolor najbardziej intensywny) odpowiada intensywność występowania badanego zjawiska. Opisywane powyżej opracowania statystyczne wykonano z użyciem arkusza kalkulacyjnego MS Excel oraz pakietu STATISTICA 13.0 (StatSoft, 2017). Wyniki badań dotyczące procentowego występowania patogenów wywołujących choroby grzybowe transponowano na stopnie kątowe Bliss'a i w tej postaci poddawano analizie wariancji. Dla większej czytelności wykresów, przygotowanych na podstawie zgromadzonych w trakcie badań danych, pominięto podanie wartości NIR, a różnicowanie między odmianami lub poziomami nawożenia zaznaczono, tworząc grupy jednorodne oznaczone jako a, b, c.

Ponadto w celu oceny współzależności pomiędzy badanymi cechami wyliczono współczynniki korelacji liniowej Pearsona, które interpretowano według skali opracowanej przez Stanisza (1998):

- $r_{xy} = 0$ – zmienne nie są skorelowane,
- $0 < r_{xy} < 0,1$ – korelacja nikła,
- $0,1 \leq r_{xy} < 0,3$ – korelacja słaba,
- $0,3 \leq r_{xy} < 0,5$ – korelacja przeciętna,
- $0,5 \leq r_{xy} < 0,7$ – korelacja wysoka,
- $0,7 \leq r_{xy} < 0,9$ – korelacja bardzo wysoka,
- $0,9 \leq r_{xy} < 1,0$ – korelacja prawie pewna,
- $r_{xy} = 1$ – korelacja pewna.

Analizę wariancji uzupełniono o analizę regresji liniowej oraz obliczono podstawowe parametry badanych zmiennych, takie jak: średnia, odchylenie standardowe (SD), współczynnik zmienności (CV) oraz wartość minimalna i maksymalna. Współczynnik zmienności dla analizowanych cech wyliczono ze wzoru:

$$CV = \frac{S}{X} \times 100(\%)$$

gdzie: S – odchylenie standardowe,
 X – średnia arytmetyczna.

3. Warunki prowadzenia badań

3.1. Warunki glebowe

Doświadczenia polowe przeprowadzono na polach Zakładu Doświadczalno-Dydaktycznego Uprawy Roli i Roślin Gorzyń, zlokalizowanych w środkowej części województwa wielkopolskiego. Doświadczenia przeprowadzono w obrębie wysoczyzny morenowej o wyniesieniu 97,5–110,0 m n.p.m., leżącej w obrębie zlodowacenia bałtyckiego, której warstwa przypowierzchniowa została utworzona z glin i piasków bezpośredniej akumulacji lodowcowej. Gleba pól doświadczalnych charakteryzowała się uziarnieniem piasków gliniastych lekkich (niekiedy piasków gliniastych mocnych), zawierających 12,0–15,0% części spławialnych, z czego 3,0–4,0% to il koloidalny. W podłożu zalega glina lekka o zawartości części spławialnych na poziomie 27,0–32,0%, w której występują szczeliny wypełnione piaskami luźnymi (tzw. kliny piaskowe) sięgające do głębokości 80,0–120,0 cm, mające wpływ na większe i szybsze przesychnanie gleby. Miąższość poziomu orno-próchnicznego wynosiła 26,0–28,0 cm. Ponadto niski poziom wody gruntowej i budowa podłoża powodowały, że gleby te charakteryzowały się okresowym przesuszeniem oraz częstymi niedoborami wody.

Według aktualnie obowiązującej Polskiej Klasyfikacji Gleb (Kabała i in., 2019) gleby pól doświadczalnych zakwalifikowano do gleb gliniasto-iluwialnych, a zgodnie z międzynarodową klasyfikacją FAO (WRB 2006) do *Albic Luvisols*. Natomiast pod względem uziarnienia według międzynarodowej klasyfikacji określono ją jako *loamy sand underlined by loam*. W ocenie bonitacyjnej gleba pól doświadczalnych została zaliczona do klas IVa i IVb, a według przydatności rolniczej do kompleksu żytniego bardzo dobrego i dobrego. Analiza chemiczna oraz ocena zasobności gleby w składniki pokarmowe wykazała, że gleba z pól doświadczalnych charakteryzowała się następującymi parametrami:

- odczyn pH (w 1 M KCl) od 6,2 do 7,3 – lekko kwaśny do obojętny,
- mg $P_2O_5 \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby od 28,0 do 35,5 – bardzo wysoka,
- mg $K_2O \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby od 16,0 do 24,2 – średnia do wysoka,
- mg $Mg \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ gleby od 6,5 do 7,6 – średnia do wysoka.

Zawartość poszczególnych składników pokarmowych w glebie pól doświadczalnych została oznaczona zgodnie z następującymi procedurami badawczymi: odczyn pH – PB.63 ed.7 z dn. 1.09.10; P_2O_5 – PN–R–04023: 1996; K_2O – PN–R–04022: 1996+Azl: 2002; Mg – PN–R–04020: 1994+Azl: 2004.

3.2. Warunki agrotechniczne

We wszystkich latach badane podgatunki pszenicy uprawiane były w systemie uprawy konwencjonalnej, na stanowisku po owsie. Wszystkie zabiegi uprawowe wykonano zgodnie z zasadami Dobrej Praktyki Rolniczej i Eksperymentalnej dla tego gatunku i kierunku użytkowania. Oryginalny materiał siewny przed założeniem doświadczeń został zakupiony w firmach hodowlano-nasiennych. Materiał siewny pszenicy orkisz stanowiły kłoski, które wysiewane były rzutowo, a następnie mieszane z glebą przy użyciu ciężkiej brony. Kłoski orkiszu wysiewano średnio w ilości 250 kłosek na 1 m^2 , na głębokość ok. 5–6 cm. Natomiast ziarno pszenicy zwyczajnej wysiewano poletkowym siewnikiem zbożowym na głębokość 3–4 cm w ilości 380 kielkujących ziaren na 1 m^2 . Zbiór przeprowadzano w fazie dojrzałości pełnej ziarna (BBCH 89) kombajnem poletkowym Wintersteiger NM Elite z wbudowaną wagą automatyczną. Terminy siewu i zbioru pszenicy w poszczególnych latach badań przedstawiono w tabeli 6. Nawożenie fosforem w postaci superfosfatu potrójnego granulowanego (46% P_2O_5) w dawce $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, potasem w formie soli potasowej (60% K_2O) w dawce $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ oraz obornikiem w dawkach zgodnych ze schematem doświadczenia stosowano jesienią przed orką siewną. Na obiektach, gdzie stosowano nawożenie obornikiem, zastosowano dodatkowe nawożenie mineralne (P, K), w celu zbilansowania ilości składników pokarmowych trafiających do gleby. Przy ustalaniu dawek uzupełniającego nawożenia mineralnego wykorzystano równoważniki nawozowe, uwzględniające stopień wykorzystania poszczególnych składników pokarmowych z obornika. Wczesną wiosną, przed ruszeniem wegetacji roślin pszenicy, trzy tygodnie przed planowanym zastosowaniem pierwszej dawki azotu stosowano nawożenie magnezem i siarką w postaci kizerytu (25% MgO i 50% SO_3) w dawce $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Finalnie z nawozami mineralnymi każdego roku wprowadzono do gleby następujące ilości czystego składnika: P – $30,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, K – $74,7 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, Mg – $18,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ oraz S – $24,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Nawożenie azotem w formie saletry amonowej (34% N) stosowano wiosną w trzech terminach, zgodnie ze schematem

doświadczenia. W każdym z sezonów wegetacyjnych prowadzono chemiczną ochronę pól doświadczalnych, którą każdorazowo dostosowywano do potrzeb roślin pszenicy oraz presji wywieranej przez patogeny grzybowe. Ochronę herbicydową we wszystkich latach wykonywano jesienią, stosując Legato Plus 600 SC w dawce $1,5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$.

3.3. Warunki pogodowe

Dane meteorologiczne w latach badań (2011–2018) dotyczące temperatury i opadów atmosferycznych zestawiono na podstawie danych ze Stacji Meteorologicznej zlokalizowanej w każdym Zakładzie Doświadczalnym. Dekadowy rozkład temperatury powietrza i opadów atmosferycznych występujących w okresie wegetacji pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej przedstawiono w tabelach 2 i 3.

Klimat województwa wielkopolskiego należy do strefy klimatu umiarkowanego w obszarze wzajemnego przenikania się wpływów morskich i kontynentalnych. Przejściowość ta uwidacznia się dużą zmiennością i różnorodnością typów pogody w tym regionie, która uwarunkowana jest rodzajem napływających mas powietrza. Potwierdza to przebieg warunków pogodowych w analizowanych siedmiu latach badań, który był mocno zróżnicowany. W tym okresie odnotowano częste odchylenia zarówno średnich temperatur, jak i sum opadów atmosferycznych od wieloletnich, przeciętnych warunków w regionie.

Średnia roczna temperatura w analizowanym okresie badań wahała się od $9,3^{\circ}\text{C}$ w roku 2017 do $11,0^{\circ}\text{C}$ w 2014 r., przy średniej z wielolecia $9,0^{\circ}\text{C}$. Analiza częstotliwości występowania miesięcy z temperaturą wyższą od średnich wartości z wielolecia wykazała, że dla stycznia, czerwca, lipca i października wykazano pięć takich lat, dla lutego, marca, kwietnia i maja sześć lat, natomiast dla sierpnia i grudnia siedem lat. Ujęte w pracy lata, w których przeprowadzono badania, sklasyfikowano także według kryteriów opracowanych przez Łyczko i in. (2000) i podzielono na: normalne (średnie) – 2012, 2013, 2016 i 2017 rok oraz ciepłe – 2011, 2014, 2015 i 2018 rok.

Roczne sumy opadów w analizowanym okresie badań kształtowały się od 360,1 mm w 2018 r. do 720,3 mm w 2017 r. i dla większości lat były wyższe od sumy z wielolecia (518,2 mm). Wyjątek stanowiły lata 2014, 2015 i 2018, ponieważ w tych latach badań sumy opadów stanowiły odpowiednio 91,5%, 80,1% oraz 69,5% sumy opadów z wielolecia. Posługując się charakterystyką wilgotnościową roku opracowaną przez Kaczorowską (1962), ujęte w pracy lata badań podzielono na: bardzo wilgotne – 2012, 2016 i 2017 rok, przeciętne – 2011, 2013 i 2014 rok oraz jeden rok suchy (2015) i bardzo suchy (2018). W tym ujęciu warunki uwilgotnienia w trakcie prowadzenia badań były korzystne, jednak ta ocena nie uwzględnia nierównomierności rozkładu opadów atmosferycznych. Duże

Tabela 2. Średnia temperatura powietrza w latach prowadzenia badań (2011–2018)
Table 2. Average air temperature in the years studied (2011–2018)

Dekada Decade	Średnia temperatura powietrza (°C) – Mean air temperature (°C)												Średnia Mean
	miesiąc – month												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2011													
I (1 st –10 th)	−0,6	3,2	0,8	11,2	11,4	20,3	17,5	19,1	16,1	12,9	7,4	3,9	9,7
II (11 th –20 th)	3,9	−1,8	5,3	10,6	16,7	17,4	19,3	18,5	15,6	6,7	1,1	2,6	
III (21 st –30 th /31 st)	−1,4	−7,9	7,3	16,1	17,7	17,5	16,0	19,1	13,2	7,8	2,6	3,3	
Średnia – Mean	0,6	−2,2	4,5	12,7	15,3	18,4	17,6	18,9	15,0	9,1	3,7	3,3	
2012													
I (1 st –10 th)	4,1	−12,2	2,0	5,3	16,2	14,9	22,2	20,3	16,9	10,8	7,2	−5,9	9,4
II (11 th –20 th)	1,6	−3,2	7,9	7,9	13,4	18,1	17,0	19,6	14,9	9,4	4,3	−2,9	
III (21 st –30 th /31 st)	−3,6	4,3	9,1	15,5	19,0	17,9	20,6	19,3	13,0	6,0	5,3	4,1	
Średnia – Mean	0,7	−3,7	6,3	9,6	16,2	17,0	19,9	19,7	14,9	8,7	5,6	−1,6	
2013													
I (1 st –10 th)	2,5	1,0	1,9	2,3	16,1	17,0	21,4	23,9	16,0	9,3	8,4	1,8	9,5
II (11 th –20 th)	−5,0	−0,6	−3,5	11,6	17,2	21,0	19,9	19,1	12,7	10,1	4,8	2,4	
III (21 st –30 th /31 st)	−3,1	1,2	−2,3	12,8	13,8	17,3	24,4	18,0	9,5	12,7	3,6	4,2	
Średnia – Mean	−1,9	0,5	−1,3	8,9	15,7	18,4	21,9	20,3	12,7	10,7	5,6	2,8	
2014													
I (1 st –10 th)	4,5	2,9	6,0	9,6	11,2	19,1	22,5	22,8	17,1	13,6	8,8	0,1	11,0
II (11 th –20 th)	0,7	3,6	7,9	9,6	13,9	17,7	23,7	17,6	18,0	13,6	6,9	5,4	
III (21 st –30 th /31 st)	−7,9	5,0	8,8	15,1	18,3	16,9	23,6	16,2	12,8	6,7	2,5	1,5	
Średnia – Mean	−0,9	3,8	7,6	11,4	14,5	17,9	23,3	18,9	16,0	11,3	6,1	2,3	
2015													
I (1 st –10 th)	1,7	−0,9	5,2	5,4	13,2	17,9	21,5	25,4	16,2	9,8	6,4	6,1	10,7
II (11 th –20 th)	3,9	1,3	5,5	9,7	13,5	16,6	20,3	24,1	16,8	6,7	9,0	5,1	
III (21 st –30 th /31 st)	1,0	4,1	6,3	13,0	14,8	16,2	18,5	21,0	12,5	8,1	2,4	5,7	
Średnia – Mean	2,2	1,5	5,7	9,4	13,8	16,9	20,1	23,5	15,2	8,2	5,9	5,6	
2016													
I (1 st –10 th)	−6,6	5,5	2,5	10,2	13,7	18,1	17,6	17,3	18,0	9,8	3,4	2,7	9,4
II (11 th –20 th)	−1,6	2,2	2,5	9,3	12,9	16,4	18,0	16,3	18,2	6,9	2,8	0,9	
III (21 st –30 th /31 st)	2,2	2,8	6,0	6,4	19,2	20,4	20,6	18,7	13,3	7,2	2,6	1,5	
Średnia – Mean	−2,0	3,5	3,7	8,6	15,3	18,3	18,7	17,4	16,5	8,0	2,9	1,7	
2017													
I (1 st –10 th)	−3,2	−2,9	5,2	10,6	8,3	16,3	16,4	21,1	14,5	10,3	7,4	2,3	9,3
II (11 th –20 th)	−2,2	−0,5	4,8	5,3	15,9	17,7	17,9	18,4	12,8	13,0	3,7	1,1	
III (21 st –30 th /31 st)	−1,3	5,6	8,3	6,1	16,6	18,0	19,5	17,3	12,6	8,7	4,2	4,1	
Średnia – Mean	−2,2	0,7	6,1	7,3	13,6	17,4	17,9	18,9	13,3	10,7	5,1	2,5	
2018													
I (1 st –10 th)	3,1	−1,6	−2,7	10,2	14,9	20,1	18,7	24,7	18,0	10,8	10,3	3,7	10,3
II (11 th –20 th)	−0,6	−0,2	2,0	14,5	16,0	18,8	18,8	21,0	17,9	14,3	4,8	0,0	
III (21 st –30 th /31 st)	2,8	−7,1	2,4	13,9	19,5	16,6	22,8	18,4	11,4	7,8	0,2	3,9	
Średnia – Mean	1,8	−3,0	0,6	12,9	16,8	18,5	20,1	21,4	15,8	11,0	5,1	2,6	
Średnia – Mean 1951–2018	−1,2	−0,2	3,5	8,8	14,3	17,5	19,3	18,6	13,9	9,1	3,9	0,2	9,0

Tabela 3. Suma opadów atmosferycznych w latach prowadzenia badań (2011–2018)**Table 3.** Total precipitation in the years studied (2011–2018)

Dekada Decade	Suma opadów atmosferycznych (mm) – Total monthly rainfall (mm)												Suma Sum
	miesiąc – month												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2011													
I (1 st –10 th)	3,1	23,4	0,0	3,5	2,6	8,0	33,0	10,6	15,2	11,0	0,8	23,8	525,3
II (11 th –20 th)	14,0	12,6	13,7	0,0	12,2	16,2	57,6	12,8	12,6	10,4	0,2	15,8	
III (21 st –30 th /31 st)	5,0	0,0	1,5	0,6	2,7	38,2	124,2	14,6	0,8	0,4	2,2	22,0	
Suma – Sum	22,1	36,0	15,2	4,1	17,5	62,4	214,8	38,0	28,6	21,8	3,2	61,6	
2012													
I (1 st –10 th)	33,9	8,2	4,7	6,6	70,0	16,1	54,2	18,3	3,9	30,6	21,2	10,9	710,0
II (11 th –20 th)	31,8	17,2	1,5	5,4	14,4	51,0	43,1	14,4	23,2	1,0	6,6	9,4	
III (21 st –30 th /31 st)	14,5	17,6	10,9	5,4	0,0	51,0	38,9	20,0	1,3	4,8	38,4	9,6	
Suma – Sum	80,2	43,0	17,1	17,4	84,4	118,1	136,2	52,7	28,4	36,4	66,2	29,9	
2013													
I (1 st –10 th)	21,6	17,5	1,1	1,2	25,3	22,3	3,1	13,7	22,7	0,0	30,4	9,9	572,2
II (11 th –20 th)	9,0	17,8	14,3	5,1	7,7	0,0	18,5	18,7	44,6	9,0	6,9	2,1	
III (21 st –30 th /31 st)	17,4	10,3	7,7	4,2	62,5	92,6	31,3	0,0	8,6	6,3	7,0	1,8	
Suma – Sum	48,0	45,6	23,1	10,5	95,5	114,9	52,9	32,4	75,9	15,3	44,3	13,8	
2014													
I (1 st –10 th)	16,2	0,0	0,0	12,4	6,4	12,9	19,6	32,3	16,6	0,7	7,8	0,2	474,0
II (11 th –20 th)	12,7	5,5	22,7	17,3	21,1	11,7	8,1	11,2	5,3	14,7	3,3	10,5	
III (21 st –30 th /31 st)	0,3	1,0	32,9	20,6	53,2	7,1	23,8	13,0	17,3	13,6	3,4	18,6	
Suma – Sum	29,2	6,5	55,6	50,3	80,7	31,7	51,5	56,5	39,2	29,0	14,5	29,3	
2015													
I (1 st –10 th)	13,9	10,5	1,9	13,9	19,6	15,7	12,9	5,1	21,5	0,0	8,7	6,7	415,3
II (11 th –20 th)	0,1	0,0	1,4	0,0	6,8	16,3	29,4	29,5	6,6	19,0	32,5	15,7	
III (21 st –30 th /31 st)	6,4	0,7	20,5	3,7	0,8	34,6	43,1	0,8	0,0	0,0	12,3	4,7	
Suma – Sum	20,4	11,2	23,8	17,6	27,2	66,6	85,4	35,4	28,1	19,0	53,5	27,1	
2016													
I (1 st –10 th)	6,4	6,8	18,6	10,0	16,6	9,6	25,2	20,4	5,4	68,4	22,0	12,4	671,8
II (11 th –20 th)	16,2	7,6	8,0	24,0	19,4	59,4	100,4	0,4	0,0	23,2	22,2	15,8	
III (21 st –30 th /31 st)	9,0	22,4	22,4	3,4	7,0	14,6	23,2	19,8	0,2	13,4	3,6	14,4	
Suma – Sum	31,6	36,8	49,0	37,4	43,0	83,6	148,8	40,6	5,6	105,0	47,8	42,6	
2017													
I (1 st –10 th)	11,1	0,8	18,8	5,4	21,6	35,4	42,4	47,4	31,4	44,6	25,0	6,2	720,3
II (11 th –20 th)	6,6	8,8	15,4	26,4	0,4	8,0	27,4	30,0	5,2	4,4	7,4	9,0	
III (21 st –30 th /31 st)	2,0	8,8	11,2	8,8	34,8	24,8	98,2	4,6	9,0	42,8	17,6	18,6	
Suma – Sum	19,7	18,4	45,4	40,6	56,8	68,2	168,0	82,0	45,6	91,8	50,0	33,8	
2018													
I (1 st –10 th)	11,8	3,4	7,0	18,0	11,0	10,2	1,2	0,8	2,8	1,8	3,4	21,2	360,1
II (11 th –20 th)	24,4	1,6	8,0	6,2	6,4	3,2	69,3	4,8	4,4	0,0	8,0	3,8	
III (21 st –30 th /31 st)	8,4	0,0	7,6	12,0	0,0	12,2	0,0	6,0	37,0	23,0	0,0	21,2	
Suma – Sum	44,6	5,0	22,6	36,2	17,4	25,6	70,5	11,6	44,2	24,8	11,4	46,2	
Suma 1951–2018	31,5	27,7	31,7	31,0	50,5	59,4	77,2	55,4	45,2	34,1	35,6	38,9	518,2
Sum 1951–2018													

zróżnicowanie wysokości opadów i ich rozkładu w analizowanych latach badań stwarzało odmienne warunki dla wzrostu i rozwoju roślin.

Zróżnicowanie warunków pogodowych w poszczególnych miesiącach okresu wegetacji pszenicy orkisz i pszenicy zwyczajnej zostało potwierdzone wyliczonymi wartościami współczynnika Sielianinowa (tab. 4). Na podstawie przyjętego kryterium Skowery i Puły (2004) miesiące, w których wysiewano pszenicę orkisz i pszenicę zwyczajną, czyli wrzesień (2011, 2012, 2014) oraz październik 2015 r., można określić jako bardzo suche lub suche. Natomiast wrzesień w 2013 r. oraz październik w 2016 i 2017 r. odpowiednio jako miesiąc dość wilgotny, skrajnie wilgotny i bardzo wilgotny. Kwiecień – czas strzelania roślin pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej w źdźbło – można w większości scharakteryzować jako bardzo suchy lub suchy, z wyjątkiem lat 2014, 2016 i 2017, kiedy w tym miesiącu stwierdzono optymalne warunki wilgotnościowe lub dość wilgotne. Warunki wilgotnościowe gleby, jakie panowały w maju 2012, 2013 i 2014, sprzyjały kłoszeniu roślin i określono je jako dość wilgotne. Natomiast w latach 2015–2018 maj scharakteryzowano jako skrajnie suchy, bardzo

Tabela 4. Wartości współczynnika Sielianinowa w latach 2011–2018

Table 4. Sielianinov's coefficient in the years from 2011–2018

Miesiąc Month	Wyszczególnienie Detailed list	Lata – Years							
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
IV	wartość – value	0,10	0,60	0,39	1,47	0,62	1,45	1,85	0,93
	klasa – class	<i>ss</i>	<i>bs</i>	<i>ss</i>	<i>o</i>	<i>bs</i>	<i>o</i>	<i>dw</i>	<i>s</i>
V	wartość – value	0,37	1,68	1,96	1,79	0,63	0,91	1,35	0,33
	klasa – class	<i>ss</i>	<i>dw</i>	<i>dw</i>	<i>dw</i>	<i>bs</i>	<i>s</i>	<i>o</i>	<i>ss</i>
VI	wartość – value	1,13	2,31	2,08	0,59	1,31	1,59	1,31	0,46
	klasa – class	<i>ds</i>	<i>w</i>	<i>w</i>	<i>bs</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>bs</i>
VII	wartość – value	3,93	2,21	0,78	0,71	1,37	2,49	3,01	1,13
	klasa – class	<i>sw</i>	<i>w</i>	<i>s</i>	<i>s</i>	<i>o</i>	<i>w</i>	<i>sw</i>	<i>ds</i>
VIII	wartość – value	0,65	0,86	0,51	0,96	0,48	0,75	1,40	0,17
	klasa – class	<i>bs</i>	<i>s</i>	<i>bs</i>	<i>s</i>	<i>bs</i>	<i>s</i>	<i>o</i>	<i>ss</i>
IX	wartość – value	0,63	0,63	1,99	0,82	0,62	0,11	1,14	0,93
	klasa – class	<i>bs</i>	<i>bs</i>	<i>dw</i>	<i>s</i>	<i>bs</i>	<i>ss</i>	<i>ds</i>	<i>s</i>
X	wartość – value	0,77	1,35	0,46	0,83	0,75	4,23	2,77	0,72
	klasa – class	<i>s</i>	<i>o</i>	<i>bs</i>	<i>s</i>	<i>s</i>	<i>sw</i>	<i>bw</i>	<i>s</i>

Interpretacja współczynnika *K* oraz objaśnienia skrótów w podrozdziale 2.2 w sekcji: Dane meteorologiczne.

Interpretation of *K* coefficient and explanations of abbreviations in chapter 2.2.

suchy lub suchy. Wyjątek stanowił rok 2017, kiedy w maju wystąpiły optymalne warunki wilgotnościowe gleby.

Czerwiec – miesiąc kłosażenia i kwitnienia roślin lub osiągnięcia dojrzałości młecznej przez ziarno – scharakteryzowano jako: wilgotny (2012, 2013), optymalny (2015–2017) lub bardzo suchy (2014 i 2018) (tab. 4). Warunki wilgotnościowe w okresie nalewania i dojrzewania ziarna – w lipcu – były dość suche w 2018 r., suche w 2013 i 2014 r., optymalne w 2015 r., wilgotne w roku 2012 i 2016 oraz skrajnie wilgotne w 2017 r. Natomiast w sierpniu – czyli w czasie, kiedy przypadał termin zbioru ziarna – optymalne warunki wilgotnościowe panowały tylko w roku 2017, a w pozostałych latach badań miesiąc ten scharakteryzowano jako bardzo suchy lub suchy, co sprzyjało dojrzewaniu roślin i żniwom. W okresie wiosenno-letniej wegetacji (od kwietnia do lipca) roślin pszenicy orkisz i pszenicy zwyczajnej zarówno temperatura powietrza, jak i opady charakteryzowały się dużą zmiennością, o czym świadczą wyliczone współczynniki zmienności (tab. 5). Największym wahaniom w analizowanym okresie podlegała zarówno temperatura powietrza, jak i opady atmosferyczne w kwietniu, dla których współczynnik zmienności wyniósł odpowiednio 20% i 61,5%. Natomiast największą stabilność zarówno temperatury, jak i opadów atmosferycznych stwierdzono w czerwcu.

Tabela 5. Charakterystyka warunków pogodowych w okresie od kwietnia do lipca w latach 2011–2018

Table 5. Description of weather conditions in the period from April to July in the years 2011–2018

Czynnik pogodowy Weather factor	Miesiąc Month	Średnio Mean	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	SD	CV
Średnia temperatura powietrza (°C) Mean of air temperature (°C)	IV	10,1	7,3	12,9	2,01	20,0
	V	15,1	13,6	16,8	1,12	7,4
	VI	17,8	16,9	18,5	0,66	3,7
	VII	19,9	17,6	23,3	1,94	9,7
	IV–VII	15,8	14,1	17,1	0,97	6,2
	1951–2018 IV–VII	14,6	14,3	15,0	0,32	2,2
Suma opadów (mm) Sum of rainfall (mm)	IV	26,8	4,1	50,3	16,46	61,5
	V	52,8	17,4	95,5	31,32	59,3
	VI	71,4	25,6	118,1	33,82	47,4
	VII	116,0	51,5	214,8	59,87	51,6
	IV–VII	66,7	37,4	89,0	18,17	27,2
	1951–2018 IV–VII	54,5	52,9	55,2	0,71	1,3

SD – odchylenie standardowe, CV – współczynnik zmienności (%).
SD – standard deviation, CV – coefficient of variation (%).

Najmniej korzystne okresy wiosennej wegetacji dla wzrostu i rozwoju pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej, charakteryzujące się wysokimi temperaturami powietrza przy niedoborze opadów atmosferycznych, zanotowano w roku 2015 oraz 2018, na co wskazują średnie wartości współczynnika $K < 1$ zamieszczone w tabeli 4.

4. Wyniki badań

4.1. Wpływ warunków pogodowych na wzrost, rozwój i plonowanie pszenicy

W całym siedmioletnim okresie badań nie stwierdzono istotnego zróżnicowania w osiąganiu poszczególnych faz rozwojowych między poszczególnymi odmianami pszenic oraz poziomami nawożenia. W związku z powyższym do analizy wpływu warunków meteorologicznych na wzrost i rozwój roślin oraz plonowanie pszenicy orkisz wykorzystano dane z wariantu nawożenia azotem w dawce $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Natomiast wpływ warunków pogodowych na wzrost i rozwój roślin oraz plonowanie pszenicy ozimej przedstawiono dla poziomu nawożenia azotem w dawce $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Uwzględniając warunki pogodowe w analizowanym okresie badań, termin siewu pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej następował pomiędzy trzecią dekadą września a drugą dekadą października (tab. 6). Średnio w całym okresie wegetacji liczba dni od siewu do dojrzałości pełnej dla pszenicy orkisz wynosiła 297, natomiast dla pszenicy zwyczajnej 293 dni. Długość okresu wegetacji badanych podgatunków pszenicy w okresie prowadzenia badań była dość zróżnicowana. Najdłuższy okres wegetacji zarówno dla pszenicy orkisz, jak i pszenicy zwyczajnej odnotowano w sezonie wegetacyjnym 2011/2012 i wynosił on odpowiednio 315 i 310 dni. Wynikało to głównie z wystąpienia niesprzyjających warunków wilgotnościowych w okresie dojrzewania ziarna, konsekwencją czego był późny termin osiągnięcia fazy dojrzałości pełnej. Najkrótszy okres wegetacji dla obu badanych podgatunków pszenicy wystąpił w sezonie 2017/2018 i wynosił on odpowiednio 279 oraz 277 dni. Skrócenie okresu wegetacji w tym okresie związane było przede wszystkim z przebiegiem warunków pogodowych, wysoką temperaturą powietrza przy jednoczesnym niedoborze opadów w czasie wiosennej wegetacji roślin pszenicy.

Z przeprowadzonych obserwacji wynika, że najdłuższą fenofazą rozwoju zarówno dla pszenicy orkisz, jak i pszenicy zwyczajnej był okres od krzewienia do strzelania w źdźbło (tab. 7, 8). Natomiast najkrócej dla obydwu tych podgatunków

Tabela 6. Daty występowania poszczególnych faz fenologicznych badanych pszenic (średnia dla odmian)**Table 6.** Dates of the occurrence of different phenological phases of the tested wheat (mean for varieties)

Podgatunek Subspecies	Siew Sowing	Wschody Emergence	Krze- wienie Tillering	Strzelanie w źdźbło Shooting	Kłoszenie Heading	Kwitnienie Flowering	Dojrzałość – Maturity			Termin zbioru Harvest date
							mleczna milk	woskowa wax	pełna full	
Sezon wegetacyjny 2011/2012 – Vegetation season 2011/2012										
P. orkisz Spelt wheat	26.09	09.10	20.11	23.04	31.05	24.06	10.07	27.07	05.08	09.08
P. zwyczajna Common wheat	26.09	07.10	15.11	18.04	26.05	17.06	05.07	22.07	31.07	09.08
Sezon wegetacyjny 2012/2013 – Vegetation season 2012/2013										
P. orkisz Spelt wheat	28.09	07.10	17.11	29.04	09.06	16.06	04.07	20.07	27.07	14.08
P. zwyczajna Common wheat	28.09	05.10	5.11	24.04	04.06	11.06	29.06	15.07	20.07	14.08
Sezon wegetacyjny 2013/2014 – Vegetation season 2013/2014										
P. orkisz Spelt wheat	30.09	14.10	02.12	30.04	31.05	09.06	27.06	07.07	25.07	13.08
P. zwyczajna Common wheat	30.09	11.10	30.11	27.04.	27.05	05.06	23.06	03.07	21.07	13.08
Sezon wegetacyjny 2014/2015 – Vegetation season 2014/2015										
P. orkisz Spelt wheat	26.09	06.10	24.11	05.05	06.06	11.06	25.06	08.07	24.07	10.08
P. zwyczajna Common wheat	26.09	04.10	20.11	28.04	02.06	08.06	22.06	04.07	20.07	10.08
Sezon wegetacyjny 2015/2016 – Vegetation season 2015/2016										
P. orkisz Spelt wheat	13.10	02.11	02.12	07.05	04.06	11.06	29.06	09.07	21.07	27.07
P. zwyczajna Common wheat	13.10	30.10	30.11	03.05	30.05	07.06	23.06	06.07	18.07	27.07
Sezon wegetacyjny 2016/2017 – Vegetation season 2016/2017										
P. orkisz Spelt wheat	17.10	01.11	07.12	10.05	06.06	12.06	28.06	20.07	11.08	24.08
P. zwyczajna Common wheat	17.10	28.10	30.11	05.05	01.06	08.06	24.06	15.07	07.08	24.08
Sezon wegetacyjny 2017/2018 – Vegetation season 2017/2018										
P. orkisz Spelt wheat	04.10	14.10	20.11	24.04	21.05	04.06	25.06	02.07	09.07	10.07
P. zwyczajna Common wheat	04.10	12.10	10.11	20.04	16.05	30.05	18.06	30.06	07.07	10.07

P. orkisz – pszenica orkisz. P. zwyczajna – pszenica zwyczajna.

Tabela 7. Charakterystyki statystyczne poszczególnych faz rozwojowych pszenicy orkisz (średnia dla odmian)**Table 7.** Statistical characteristics for individual development phases of spelt wheat (mean for varieties)

Okres rozwojowy Development period	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	SD	CV
	(dni – days)			
Siew – wschody Sowing – emergence	10	21	3,89	27,5
Wschody – krzewienie Emergence – tillering	31	50	6,94	16,7
Krzewienie – strzelanie w źdźbło Tillering – shooting	150	164	4,82	3,1
Strzelanie w źdźbło – kłoszenie Shooting – heading	28	42	5,53	16,8
Kłoszenie – kwitnienie Heading – flowering	6	25	6,72	59,6
Kwitnienie – dojrzałość mleczna Flowering – milk maturity	15	22	2,21	12,1
Dojrzałość mleczna – dojrzałość woskowa Milk maturity – wax maturity	8	23	5,12	35,2
Dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna Wax maturity – full maturity	8	23	5,83	41,6
Siew – dojrzałość pełna Sowing – full maturity	279	315	12,33	4,1

SD – odchylenie standardowe, CV – współczynnik zmienności (%).

SD – standard deviation, CV – coefficient of variation (%).

trwał okres od kłoszenia do kwitnienia. Analiza charakterystyk statystycznych przeprowadzona dla poszczególnych faz rozwojowych wskazuje, że najwyższy współczynnik zmienności odnotowano dla krótkich okresów czasowych: kłoszenie – kwitnienie oraz dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna. Zależności te były identyczne dla obydwu badanych podgatunków pszenicy. Tak duża zmienność w długości trwania ww. fenofaz spowodowana była dużym zróżnicowaniem warunków pogodowych w poszczególnych latach badań.

Natomiast długie okresy, na przykład cały okres wegetacji oraz okres rozwoju wegetatywnego roślin (krzewienie – strzelanie w źdźbło), wykazały niską zmienność pod wpływem warunków pogodowych. W związku z powyższym można twierdzić, że o długości okresu wegetacji pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej nie decyduje przebieg pogody w konkretnej fazie, ale kumulujący się wpływ warunków całego okresu wzrostu i rozwoju roślin. Ponadto dla obydwu analizowanych

Tabela 8. Charakterystyki statystyczne poszczególnych faz rozwojowych pszenicy zwyczajnej (średnia dla odmian)**Table 8.** Statistical characteristics for individual developmental phases of common wheat (mean for varieties)

Okres rozwojowy Development period	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	SD	CV
	(dni – days)			
Siew – wschody Sowing – emergence	8	18	3,35	29,4
Wschody – krzewienie Emergence – tillering	30	51	8,41	22,1
Krzewienie – strzelanie w źdźbło Tillering – shooting	149	171	6,77	4,3
Strzelanie w źdźbło – kłoszenie Shooting – heading	27	42	6,00	18,2
Kłoszenie – kwitnienie Heading – flowering	7	23	5,74	50,2
Kwitnienie – dojrzałość mleczna Flowering – milk maturity	15	20	1,73	9,6
Dojrzałość mleczna – dojrzałość woskowa Milk maturity – wax maturity	11	22	3,77	24,5
Dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna Wax maturity – full maturity	6	24	6,46	46,7
Siew – dojrzałość pełna Sowing – full maturity	277	310	11,22	3,8

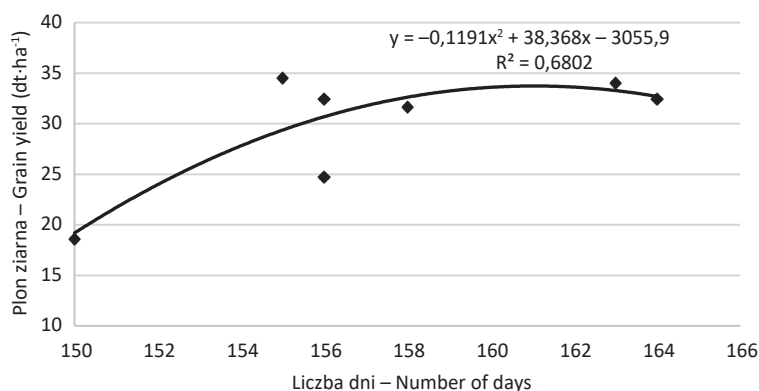
SD – odchylenie standardowe, CV – współczynnik zmienności (%).

SD – standard deviation, CV – coefficient of variation (%).

podgatunków pszenicy stwierdzono, że okres od wschodów do krzewienia charakteryzował się najwyższą wartością odchylenia standardowego, natomiast najmniejszą wartość stwierdzono w okresie od kwitnienia do dojrzałości mlecznej.

Poszukiwanie związku między długością poszczególnych faz rozwojowych pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej a plonem ziarna wykazało na ogół niewielkie wartości współczynnika determinacji. Należy jednak zaznaczyć, że w przypadku pszenicy orkisz największy związek wykazano dla okresu krzewienie – strzelanie w źdźbło, co przedstawiono na rycinie 1. Zależność plonu ziarna pszenicy orkisz od długości trwania tej fazy miała charakter krzywoliniowy. W warunkach prowadzenia doświadczenia optymalna długość okresu krzewienie – strzelanie w źdźbło dla plonu ziarna pszenicy orkisz wynosiła 161 dni.

Poszukiwanie związku pomiędzy plonem ziarna pszenicy zwyczajnej a długością poszczególnych faz rozwojowych wykazało najsilniejszą zależność dla okresu

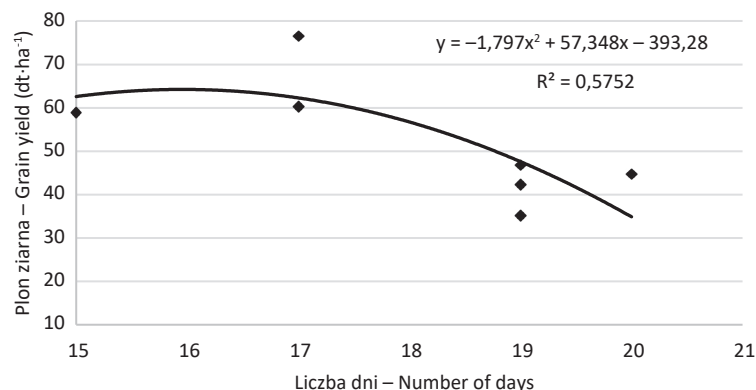


Ryc. 1. Plon ziarna pszenicy orkisz w zależności od długości okresu pomiędzy krzewieniem a strzelaniem w źdźbło

Fig. 1. Grain yield of spelt wheat as a function of the length of time between tillering and shooting

między kwitnieniem a dojrzałością mleczną ziarna (ryc. 2). Zależność ta miała charakter krzywoliniowy, a wyliczona na podstawie równania regresji optymalna długość trwania okresu kwitnienie – dojrzałość mleczna dla plonu ziarna pszenicy zwyczajnej wynosiła 16 dni.

W celu lepszego poznania przebiegu całego okresu rozwoju, a także pokazania wpływu zmiennych warunków pogodowych na wzrost i rozwój roślin pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej w niniejszym opracowaniu, poza danymi z lat



Ryc. 2. Plon ziarna pszenicy zwyczajnej w zależności od długości okresu pomiędzy kwitnieniem a dojrzałością mleczną ziarna

Fig. 2. Grain yield of common wheat as a function of the length of time between flowering and milk maturity

w miesiącach i dekadach, pokazano średnią temperaturę powietrza oraz sumy opadów atmosferycznych w poszczególnych fazach rozwojowych dla tych podgatunków (tab. 9, 10). W całym sezonie wegetacji pszenicy orkisz najwyższą średnią temperaturę powietrza (24,4°C) odnotowano w roku 2013 w okresie pomiędzy dojrzałością woskową a dojrzałością pełną ziarna. Dla tego samego okresu rozwoju roślin pszenicy zwyczajnej analiza średniej temperatury powietrza wskazała, że

Tabela 9. Średnia temperatura powietrza (°C) w poszczególnych fazach rozwojowych badanych pszenic (średnia dla odmian)

Table 9. Mean air temperature (°C) in individual developmental phases of the tested wheat (mean for varieties)

Sezon wegetacyjny Vegetation season	Okres rozwojowy – Development period								
	Siew – wschody Sowing – emergence	Wschody – krzewienie Emergence – tillering	Krzewienie – strzelanie w źdźbło Tillering – shooting	Strzelanie w źdźbło – kłoszenie Shooting – heading	Kłoszenie – kwitnienie Heading – flowering	Kwitnienie – dojrzałość mleczna Flowering – milk maturity	Dojrzałość mleczna – dojrzałość woskowa Milk maturity – wax maturity	Dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna Wax maturity – full maturity	Siew – dojrzałość pełna Sowing – full maturity
Pszenica orkisz – Spelt wheat									
2011/2012	13,6	5,9	2,6	15,3	15,4	20,3	18,7	21,6	8,4
2012/2013	12,4	6,9	1,3	15,7	19,1	19,6	20,6	24,4	7,4
2013/2014	9,8	7,6	4,9	14,6	18,4	17,7	21,1	23,3	9,4
2014/2015	12,9	9,2	4,3	15,2	17,2	15,9	20,9	20,0	8,8
2015/2016	7,7	5,8	4,7	17,7	19,2	19,9	19,4	19,5	8,8
2016/2017	7,5	2,5	3,1	15,7	17,9	17,7	17,4	20,3	7,8
2017/2018	10,7	7,9	2,7	15,0	19,9	18,2	16,7	19,4	7,7
Średnia Mean	10,6	6,5	3,4	15,6	18,1	18,5	19,2	21,2	8,3
Pszenica zwyczajna – Common wheat									
2011/2012	14,4	6,6	2,3	14,6	14,8	18,5	18,7	21,2	8,1
2012/2013	12,8	8,0	1,2	15,1	17,3	19,4	19,5	21,6	7,0
2013/2014	9,7	8,0	4,7	14,9	14,6	18,5	17,8	23,8	9,2
2014/2015	13,4	9,6	4,0	13,7	19,2	16,0	18,5	20,7	8,7
2015/2016	7,9	6,1	4,5	16,5	20,3	18,7	21,2	18,9	8,7
2016/2017	7,6	3,4	2,9	14,2	15,6	17,8	17,1	19,7	7,6
2017/2018	10,4	9,6	2,5	15,1	17,8	19,7	17,3	17,8	7,6
Średnia Mean	10,9	7,3	3,1	14,9	17,1	18,4	18,6	20,5	8,1

najwyższą temperaturę (23,8°C) odnotowano w 2014 r. Należy również podkreślić, że w całym siedmioletnim okresie badań od siewu do dojrzałości pełnej zarówno dla pszenicy orkisz, jak i pszenicy zwyczajnej sezon wegetacyjny 2012/2013 pod względem średniej temperatury należał do najchłodniejszych (odpowiednio 7,4°C i 7,0°C), natomiast sezon wegetacyjny 2013/2014 do najcieplejszych (odpowiednio 9,4°C i 9,2°C). Analiza opadów atmosferycznych od siewu do dojrzałości pełnej

Tabela 10. Sumy opadów atmosferycznych (mm) w poszczególnych fazach rozwojowych badanych pszenic (średnia dla odmian)

Table 10. Sums of precipitation (mm) in individual developmental phases of the tested wheat (mean for varieties)

Sezon wegetacyjny Vegetation season	Okres rozwojowy – Development period								
	Siew – wschody Sowing – emergence	Wschody – krzewienie Emergence – tillering	Krzewienie – strzelanie w źdźbło Tillering – shooting	Strzelanie w źdźbło – kłoszenie Shooting – heading	Kłoszenie – kwitnienie Heading – flowering	Kwitnienie – dojrzałość mleczna Flowering – milk maturity	Dojrzałość mleczna – dojrzałość woskowa Milk maturity – wax maturity	Dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna Wax maturity – full maturity	Siew – dojrzałość pełna Sowing – full maturity
Pszenica orkisz – Spelt wheat									
2011/2012	7,2	16,0	151,2	68,2	116,8	62,4	43,6	46,7	511,3
2012/2013	19,1	39,5	195,7	108,9	10,2	95,7	20,9	0,1	486,4
2013/2014	0,0	59,8	155,2	80,7	7,0	24,7	6,2	45,2	372,4
2014/2015	6,0	42,9	113,9	21,0	13,2	31,3	32,4	81,9	327,0
2015/2016	18,8	60,1	170,9	41,3	5,5	114,8	30,7	91,3	513,9
2016/2017	31,0	58,6	178,7	62,4	35,2	15,6	87,0	167,8	599,9
2017/2018	38,4	76,4	150,4	28,0	5,8	18,2	4,4	0,2	317,8
Średnia Mean	17,2	50,5	159,4	58,6	27,7	51,8	32,2	61,9	400,2
Pszenica zwyczajna – Common wheat									
2011/2012	5,0	21,0	150,4	69,0	60,8	107,2	69,6	38,9	503,0
2012/2013	7,0	39,0	210,2	105,6	18,1	91,9	22,3	0,0	486,3
2013/2014	0,0	59,6	159,4	30,6	50,9	24,7	6,2	27,7	355,1
2014/2015	6,0	39,6	105,7	33,4	2,5	33,7	34,6	42,3	287,4
2015/2016	18,8	53,5	174,1	41,2	19,6	98,4	36,2	93,3	513,9
2016/2017	22,2	51,6	178,5	46,6	32,6	16,4	83,2	127,0	553,1
2017/2018	38,4	69,4	158,2	28,0	1,4	13,4	15,4	0,0	317,6
Średnia Mean	13,9	47,7	162,3	50,6	26,5	55,1	38,2	47,0	430,9

wykazała, że w sezonie wegetacyjnym 2016/2017 odnotowano najwyższą sumę opadów (tab. 10). W dużej mierze wynikało to z dość wilgotnego okresu jesienno-zimowego oraz z ponadprzeciętnych opadów atmosferycznych w okresie od dojrzałości młecznej do dojrzałości pełnej.

Najniższą sumę opadów w całym okresie wegetacji pszenicy orkisz stwierdzono w sezonie wegetacyjnym 2017/2018 (317,8 mm), natomiast dla pszenicy zwyczajnej w sezonie 2014/2015 (287,4 mm). Analizując rozkład opadów w poszczególnych okresach rozwoju dla obydwu podgatunków pszenicy, za najmniej korzystny można uznać rok 2018, który był skrajnie suchy, a w okresie od fazy strzelania w źdźbło do dojrzałości pełnej suma opadów atmosferycznych wynosiła odpowiednio 56,6–58,2 mm. Ponadto okresowe niedobory wody wystąpiły również w okresie siew – wschody jesienią 2013 roku oraz w okresie kłoszenie – kwitnienie w latach 2014 i 2016 dla pszenicy orkisz oraz w roku 2015 w przypadku pszenicy zwyczajnej. Należy również zaznaczyć, że w całym siedmioletnim okresie badań, niezależnie od analizowanego podgatunku pszenicy, bardzo niską sumę opadów atmosferycznych odnotowano w fazie kwitnienie – dojrzałość młeczna w roku 2017. Czas trwania większości faz rozwojowych pszenicy orkisz był ujemnie skorelowany z temperaturą powietrza, co oznacza skrócenie tego czasu w miarę wzrostu temperatury (tab. 11). Uzyskane wyniki wskazują, że długość okresu pomiędzy siewem a wschodami roślin orkiszu była najsilniej skorelowana z temperaturą powietrza. Najbardziej zróżnicowane warunki termiczne w trakcie rozwoju pszenicy orkisz występowały w okresie krzewienie – strzelanie w źdźbło ($CV = 37,0$), gdy najniższą temperaturę odnotowano w sezonie 2012/2013 ($1,3^{\circ}C$), natomiast najwyższą w sezonie 2013/2014 ($4,9^{\circ}C$). Duże wahania temperatury wystąpiły także w okresie wschody – krzewienie ($CV = 30,8$), gdy minimalna temperatura wynosiła $2,5^{\circ}C$, a maksymalna $9,2^{\circ}C$. Najmniejszą zmiennością tego parametru w przypadku pszenicy orkisz cechował się okres od fazy strzelania w źdźbło do kłoszenia ($CV = 6,0$).

Wyliczone współczynniki korelacji, w celu określenia związku między temperaturą a długością trwania wyznaczonych okresów u pszenicy zwyczajnej, wykazały dla większości okresów ujemną zależność (tab. 12). Należy jednak zaznaczyć, że w przypadku dwóch okresów rozwojowych: wschody – krzewienie oraz kwitnienie – dojrzałość młeczna niezależnie od podgatunku pszenicy wyliczone współczynniki korelacji były dodatnie. Pozwala to wnioskować, że w przypadku tych okresów rozwojowych wzrost temperatury prowadził do ich wydłużenia, przy czym w okresie wschody – krzewienie silniejszy związek odnotowano u pszenicy orkisz, natomiast u pszenicy zwyczajnej w okresie kwitnienie – dojrzałość młeczna, przy bardzo niskim współczynniku zmienności ($CV = 6,3$). Analiza zależności między temperaturą a długością trwania poszczególnych okresów rozwojowych pszenicy zwyczajnej wykazała najwyższy współczynnik zmienności dla okresu krzewienie – strzelanie w źdźbło ($CV = 37,6$). W tym

Tabela 11. Charakterystyki statystyczne poszczególnych faz rozwojowych pszenicy orkisz w zależności od temperatury (średnia dla odmian)**Table 11.** Statistical characteristics for the different developmental phases of spelt wheat as a function of temperature (mean for varieties)

Okres rozwojowy Development period	Temperatura powietrza (°C) – Air temperature (°C)				
	minimalna minimum	maksymalna maximum	SD	CV	współczynnik korelacji ¹ correlation coefficient ¹
Siew – wschody Sowing – emergence	7,5	13,5	2,3	21,9	–0,745**
Wschody – krzewienie Emergence – tillering	2,5	9,2	2,0	30,8	0,585*
Krzewienie – strzelanie w źdźbło Tillering – shooting	1,3	4,9	1,2	37,0	–0,424
Strzelanie w źdźbło – kłoszenie Shooting – heading	14,6	17,7	0,9	6,0	–0,163
Kłoszenie – kwitnienie Heading – flowering	15,3	19,9	1,4	8,0	–0,527
Kwitnienie – dojrzałość mleczna Flowering – milk maturity	15,9	20,3	1,5	8,0	0,353
Dojrzałość mleczna – dojrzałość woskowa Milk maturity – wax maturity	16,7	21,1	1,6	8,6	–0,096
Dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna Wax maturity – full maturity	19,3	24,4	1,9	8,8	–0,137
Siew – dojrzałość pełna Sowing – full maturity	7,4	9,4	0,7	8,2	0,047

SD – odchylenie standardowe. CV – współczynnik zmienności (%). ¹Interpretacja współczynników korelacji w podrozdziale 2.4. *Istotność na poziomie 0,05. **Istotność na poziomie 0,01.

SD – standard deviation. CV – coefficient of variation (%). ¹Interpretation of simple correlation coefficient in chapter 2.4. *Significant at 0.05. **Significant at 0.01.

okresie minimalna temperatura wynosiła 1,2°C (sezon 2012/2013), a maksymalna 4,7°C (sezon 2013/2014).

Wysokie współczynniki korelacji w okresie od strzelania w źdźbło do dojrzałości pełnej ziarna, świadczące o wyraźnym wpływie temperatury powietrza na plon ziarna pszenicy zwyczajnej, dały podstawę do pokazania tej zależności graficznie (ryc. 3). Natomiast dla tego samego okresu nie zaobserwowano tak wyraźnego wpływu temperatury powietrza na plon ziarna pszenicy orkisz, co potwierdzają niskie współczynniki korelacji. Rachunek regresji wskazuje na krzywoliniową zależność plonu ziarna pszenicy zwyczajnej od średniej temperatury w tym okresie. W międzyfazie od strzelania w źdźbło do dojrzałości pełnej ziarna pszenicy zwyczajnej wzrost temperatury powietrza prowadził do spadku plonu

Tabela 12. Charakterystyki statystyczne poszczególnych faz rozwojowych pszenicy zwyczajnej w zależności od temperatury (średnia dla odmian)**Table 12.** Statistical characteristics for the different developmental phases of common wheat as a function of temperature (mean for varieties)

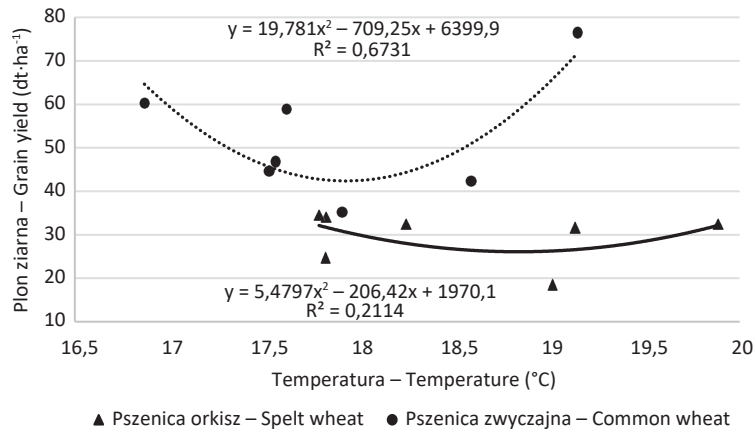
Okres rozwojowy Development period	Temperatura powietrza (°C) – Air temperature (°C)				
	minimalna minimum	maksymalna maximum	SD	CV	współczynnik korelacji ¹ correlation coefficient ¹
Siew – wschody Sowing – emergence	7,6	14,4	2,6	23,5	–0,578*
Wschody – krzewienie Emergence – tillering	3,4	9,6	2,1	28,2	0,293
Krzewienie – strzelanie w źdźbło Tillering – shooting	1,2	4,7	1,2	37,6	–0,783**
Strzelanie w źdźbło – kłoszenie Shooting – heading	13,7	16,5	0,8	5,7	–0,285
Kłoszenie – kwitnienie Heading – flowering	14,6	20,3	2,1	12,3	–0,440
Kwitnienie – dojrzałość mleczna Flowering – milk maturity	16,0	19,7	1,1	6,3	0,886**
Dojrzałość mleczna – dojrzałość woskowa Milk maturity – wax maturity	17,1	21,2	1,4	7,3	–0,161
Dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna Wax maturity – full maturity	17,7	23,8	1,9	9,1	0,213
Siew – dojrzałość pełna Sowing – full maturity	7,0	9,2	0,7	9,0	0,019

SD – odchylenie standardowe. CV – współczynnik zmienności (%). ¹ Interpretacja współczynników korelacji w podrozdziale 2.4. *Istotność na poziomie 0,05. **Istotność na poziomie 0,01.

SD – standard deviation. CV – coefficient of variation (%). ¹ Interpretation of simple correlation coefficient in chapter 2.4. *Significant at 0.05. **Significant at 0.01.

ziarna, a najniższy plon teoretyczny wyliczony z równania regresji stwierdzono przy średniej temperaturze dobowej 17,9°C.

Czas trwania większości okresów pomiędzy fazami rozwojowymi zarówno pszenicy orkisz, jak i pszenicy zwyczajnej był dodatnio skorelowany z sumą opadów atmosferycznych w tym czasie (tab. 13, 14). Silną zależność między czasem trwania poszczególnych okresów rozwojowych roślin pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej a sumą opadów atmosferycznych stwierdzono dla okresów: strzelanie w źdźbło – kłoszenie, dojrzałość mleczna – dojrzałość woskowa oraz dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna. Ponadto czas trwania okresu kłoszenie – kwitnienie pszenicy orkisz był silnie skorelowany z sumą opadów atmosferycznych. W przypadku pszenicy orkisz największe zróżnicowanie opadów wykazano



Ryc. 3. Plon ziarna badanych pszenic w zależności od temperatury powietrza w okresie od strzelania w źdźbło do dojrzałości pełnej ziarna
Fig. 3. Grain yield of the wheat tested as a function of air temperature in the period from shooting to full grain maturity

w okresie od kłoszenia do kwitnienia, gdy opady wahały się od 5,5 do 116,8 mm. Natomiast w przypadku pszenicy zwyczajnej opady atmosferyczne charakteryzowały się największą zmiennością w okresie od siewu do wschodów ($CV = 91,3\%$) oraz od dojrzałości woskowej do pełnej ($CV = 95,4\%$). W tych fenofazach opady wahały się w zakresie odpowiednio 0–38,4 mm i 0–127 mm. W okresie od siewu do dojrzałości pełnej dla obu analizowanych podgatunków pszenicy stwierdzono wysoką wartość odchylenia standardowego (102,6 i 101,9) oraz stosunkowo niski współczynnik zmienności opadów, wynoszący odpowiednio 23,0% i 23,6%.

Zebrane wyniki badań wskazują na dużo silniejszy związek plonu ziarna z opadami atmosferycznymi niż z temperaturą powietrza. Wysokie współczynniki korelacji między plonem ziarna a sumą opadów w międzyfazie dojrzałość mleczna – dojrzałość pełna świadczą o dużym znaczeniu opadów dla plonowania zarówno pszenicy orkisz, jak i pszenicy zwyczajnej. Z tego względu na rycinie 4 przedstawiono badane zależności od dojrzałości mleczej do dojrzałości pełnej dla obydwu porównywanych podgatunków. Zależność plonu ziarna, zarówno dla pszenicy orkisz, jak i pszenicy zwyczajnej od opadów miała charakter krzywoliniowy. Należy jednak zaznaczyć, że silniejszy związek między plonem ziarna a opadami stwierdzono dla pszenicy zwyczajnej. Wyliczone z równania regresji wartości teoretyczne wskazują, że w warunkach prowadzenia doświadczenia optymalna suma opadów w okresie od dojrzałości mleczej do dojrzałości pełnej dla uzyskania maksymalnego plonu ziarna pszenicy zwyczajnej wynosiła 84,2 mm.

Tabela 13. Charakterystyki statystyczne poszczególnych faz rozwojowych pszenicy orkisz w zależności od opadów (średnia dla odmian)**Table 13.** Statistical characteristics for individual developmental phases of spelt wheat as a function of precipitation (mean for varieties)

Okres rozwojowy Development period	Opady (mm) – Rainfall (mm)				
	minimalna minimum	maksymalna maximum	SD	CV	współczynnik korelacji ¹ correlation coefficient ¹
Siew – wschody Sowing – emergence	0,0	38,4	13,2	76,9	–0,102
Wschody – krzewienie Emergence – tillering	16,0	76,4	18,5	36,7	–0,333
Krzewienie – strzelanie w źdźbło Tillering – shooting	113,9	195,7	24,7	15,5	0,001
Strzelanie w źdźbło – kłoszenie Shooting – heading	21,0	108,9	29,4	50,2	0,671**
Kłoszenie – kwitnienie Heading – flowering	5,5	116,8	38,6	139,3	0,818**
Kwitnienie – dojrzałość mleczna Flowering – milk maturity	15,6	114,8	37,9	73,2	0,061
Dojrzałość mleczna – dojrzałość woskowa Milk maturity – wax maturity	4,4	87,0	26,6	82,6	0,875**
Dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna Wax maturity – full maturity	0,1	167,8	55,6	89,9	0,830**
Siew – dojrzałość pełna Sowing – full maturity	317,8	599,9	102,6	23,0	0,292

SD – odchylenie standardowe. CV – współczynnik zmienności (%). ¹Interpretacja współczynników korelacji w podrozdziale 2.4. **istotność na poziomie 0,01.

SD – standard deviation, CV – coefficient of variation (%). ¹Interpretation of simple correlation coefficient in chapter 2.4. **Significant at 0.01.

Niekorzystne warunki pogodowe mogą modyfikować długość całego okresu wegetacji lub poszczególnych fenofaz. W badaniach własnych wykazano, że plon ziarna pszenicy orkisz oraz masa tysiąca ziaren były dodatnio skorelowane z długością okresu od siewu do dojrzałości pełnej (tab. 15). Wyliczone współczynniki korelacji prostej wskazują także na dodatni wpływ długości trwania okresów: krzewienie – strzelanie w źdźbło, dojrzałość mleczna – dojrzałość woskowa oraz dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna na plon ziarna, liczbę kłosów na jednostce powierzchni oraz masę tysiąca ziaren pszenicy orkisz. Istotną ujemną korelację ($R = -0,840^*$) stwierdzono natomiast między długością trwania okresu kłoszenie – kwitnienie a liczbą kłosów na jednostce powierzchni. Natomiast dla liczby ziaren w kłosie istotna była także długość fazy

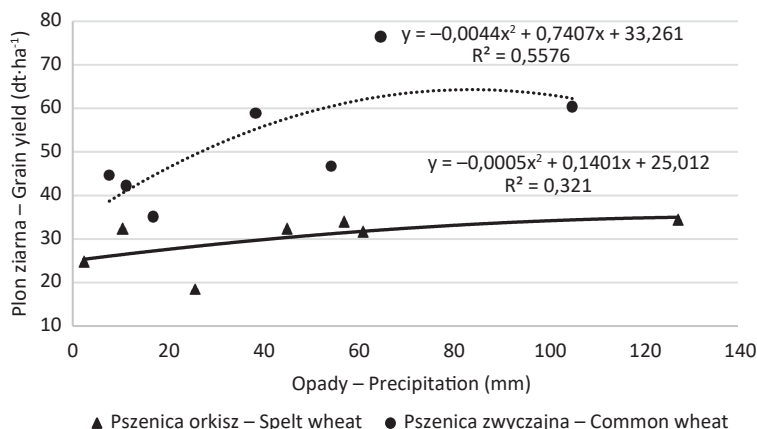
Tabela 14. Charakterystyki statystyczne poszczególnych faz rozwojowych pszenicy zwyczajnej w zależności od opadów (średnia dla odmian)**Table 14.** Statistical characteristics for individual developmental phases of common wheat as a function of precipitation (mean for varieties)

Okres rozwojowy Development period	Opady (mm) – Rainfall (mm)				
	minimalna minimum	maksymalna maximum	SD	CV	współczynnik korelacji ¹ correlation coefficient ¹
Siew – wschody Sowing – emergence	0,0	38,4	12,7	91,3	0,027
Wschody – krzewienie Emergence – tillering	21,0	69,4	15,1	31,6	–0,189
Krzewienie – strzelanie w źdźbło Tillering – shooting	105,7	210,2	30,2	18,6	0,389
Strzelanie w źdźbło – kłoszenie Shooting – heading	28,0	105,6	26,5	52,3	0,793**
Kłoszenie – kwitnienie Heading – flowering	1,4	60,8	21,7	81,6	0,512
Kwitnienie – dojrzałość mleczna Flowering – milk maturity	13,4	107,2	39,8	72,2	0,080
Dojrzałość mleczna – dojrzałość woskowa Milk maturity – wax maturity	6,2	83,2	26,9	70,4	0,871**
Dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna Wax maturity – full maturity	0,0	127,0	44,9	95,4	0,727**
Siew – dojrzałość pełna Sowing – full maturity	287,4	553,1	101,9	23,6	0,207

SD – odchylenie standardowe, CV – współczynnik zmienności (%). ¹Interpretacja współczynników korelacji w podrozdziale 2.4. **Istotność na poziomie 0,01.

SD – standard deviation, CV – coefficient of variation (%). ¹Interpretation of simple correlation coefficient in chapter 2.4. **Significant at 0.01.

od strzelania w źdźbło do kłoszenia. Współczynniki korelacji zawarte w tabeli 15 wskazują, że uzyskaniu wyższych plonów ziarna pszenicy orkisz sprzyjała wyższa temperatura w okresie strzelanie w źdźbło – kłoszenie ($R = 0,4613$) oraz niższa temperatura w całym okresie wegetacji ($R = -0,4216$). Ponadto liczba ziaren w kłosie była istotnie ujemnie skorelowana z temperaturą w okresie dojrzałość mleczna – dojrzałość woskowa ($R = -0,8103^*$), co udowadnia, że rośliny pszenicy orkisz do uzyskania wyższych wartości tej cechy potrzebują niższych temperatur w tym czasie. Plon ziarna pszenicy orkisz oraz masa tysiąca ziaren były dodatnio skorelowane z sumą opadów w całym okresie wegetacji roślin (tab. 15). Także wyższa suma opadów atmosferycznych w okresie dojrzałość mleczna – dojrzałość woskowa sprzyjała tworzeniu wyższego plonu ziarna



Ryc. 4. Plon ziarna badanych pszenic w zależności od sumy opadów atmosferycznych, w okresie od dojrzałości mleczonej do dojrzałości pełnej ziarna
Fig. 4. Grain yield of tested wheats depending on the total precipitation, in the period from milk to full grain maturity

pszenicy orkisz. Natomiast najwyższe współczynniki korelacji w odniesieniu do masy tysiąca ziaren pszenicy orkisz wykazano dla fazy dojrzałość mleczna – dojrzałość woskowa ($R = 0,9113^{**}$) oraz dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna ($R = 0,8394^{*}$).

Analiza korelacji plonu ziarna i komponentów plonowania pszenicy zwyczajnej z długością trwania poszczególnych faz fenologicznych wykazała istotny dodatni wpływ długości trwania okresu dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna ziarna na masę tysiąca ziaren (tab. 16). Wysokie współczynniki korelacji wskazują, że uzyskaniu wysokich plonów ziarna pszenicy zwyczajnej ($R = -0,687^{**}$) oraz wyższej masy tysiąca ziaren ($R = -0,823^{*}$) sprzyjał krótszy okres kwitnienie – dojrzałość mleczna. Również krótszy okres kłoszenie – kwitnienie sprzyjał roślinom pszenicy zwyczajnej w tworzeniu większej liczby kłosów na jednostce powierzchni. Ponadto w tym okresie wyższa temperatura powietrza sprzyjała tworzeniu wyższego plonu ziarna pszenicy zwyczajnej ($R = 0,686^{**}$) oraz większej liczby kłosów na jednostce powierzchni ($R = 0,700$), na co wskazują dodatnie współczynniki korelacji. Natomiast niższa temperatura powietrza w okresie kwitnienie – dojrzałość mleczna sprzyjała tworzeniu wyższej masy tysiąca ziaren pszenicy zwyczajnej ($R = -0,807^{*}$). Odnotowano także wysokie współczynniki korelacji pomiędzy plonem ziarna ($R = 0,739^{**}$), liczbą ziaren w kłosie ($R = 0,889^{**}$) oraz masą tysiąca ziaren ($R = 0,604$) a sumą opadów atmosferycznych w międzyfazie dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna ziarna, co świadczy o dużym znaczeniu opadów dla plonowania pszenicy.

Tabela 15. Współczynniki korelacji plonu ziarna i komponentów plonowania z czasem trwania, średnią temperaturą powietrza i sumą opadów atmosferycznych w poszczególnych okresach rozwoju pszenicy orkisz (średnia dla odmian)

Table 15. Correlation coefficients of grain yield and yield components with duration, mean air temperature and total precipitation for individual development periods of spelt wheat (mean for varieties)

Cecha Trait	Siew – wschody Sowing – emergence	Wschody – krzewienie Emergence – tillering	Krzewienie – strzelanie w źdźbło Tillering – shooting	Strzelanie w źdźbło – kłoszenie Shoot- ing – heading	Kłosze- nie – kwitnienie Heading – flowering	Kwit- nienie – dojrzałość mleczna Flower- ing – milk maturity	Dojrzałość mleczna – dojrzałość woskowa Milk matu- rity – wax maturity	Dojrzałość wosko- wa – doj- rzałość pełna Wax matu- rity – full maturity	Siew – dojrzałość pełna Sow- ing – full maturity
Współczynniki korelacji z długością okresów rozwojowych – Correlation coefficients with length of development periods									
Plon ziarna Grain yield	-0,056	-0,316	0,685	0,228	-0,106	-0,597	0,658	0,006	0,311
Liczba kłosów na 1 m ² Number of ears per 1 m ²	0,121	-0,135	0,587	-0,214	-0,840*	-0,471	0,187	0,390	-0,175
Liczba ziaren w kłosie Number of kernels per ear	0,105	-0,385	-0,461	-0,837*	0,070	0,492	-0,312	0,120	-0,684
MTZ / TKW	0,224	-0,235	0,222	-0,098	-0,463	-0,609	0,834*	0,620	0,270
Współczynniki korelacji z temperaturą – Correlation coefficients with temperature									
Plon ziarna Grain yield	0,128	-0,385	-0,337	0,461	-0,370	0,102	-0,113	-0,242	-0,422
Liczba kłosów na 1 m ² Number of ears per 1 m ²	-0,282	-0,046	0,257	0,482	0,200	-0,444	0,293	-0,277	0,032
Liczba ziaren w kłosie Number of kernels per ear	-0,474	-0,164	-0,159	-0,108	0,382	-0,261	-0,810*	-0,707	-0,139
MTZ / TKW	-0,379	-0,715	-0,063	0,320	-0,229	-0,172	-0,065	-0,098	-0,232
Współczynniki korelacji z opadami – Correlation coefficients with rainfalls									
Plon ziarna Grain yield	0,174	-0,479	0,095	-0,099	0,324	0,337	0,695	0,451	0,550
Liczba kłosów na 1 m ² Number of ears per 1 m ²	0,056	0,152	-0,046	-0,282	-0,509	0,202	0,342	0,523	0,121
Liczba ziaren w kłosie Number of kernels per ear	0,696	0,740	-0,173	-0,609	-0,196	-0,575	0,032	0,160	-0,216
MTZ / TKW	0,155	-0,143	0,299	0,105	0,081	0,002	0,911**	0,839*	0,718

Interpretacja współczynników korelacji w podrozdziale 2.4. MTZ – masa tysiąca ziaren. *Istotność na poziomie 0,05. **Istotność na poziomie 0,01.

Interpretation of simple correlation coefficient in chapter 2.4. TKW – thousand kernels weight. *Significant at 0.05. **Significant at 0.01.

Tabela 16. Współczynniki korelacji plonu ziarna i komponentów plonowania z czasem trwania, średnią temperaturą powietrza i sumą opadów atmosferycznych w poszczególnych okresach rozwoju pszenicy zwyczajnej (średnia dla odmian)

Table 16. Correlation coefficients of grain yield and yield components with duration, mean air temperature and total precipitation for individual development periods of common wheat (mean for varieties)

Cecha Trait	Siew – wschody Sowing – emergence	Wschody – krzewienie Emergence – tillering	Krzewienie – strzelanie w źdźbło Tillering – shooting	Strzelanie w źdźbło – kłoszenie Shoot- ing – heading	Kłosze- nie – kwitnienie Heading – flowering	Kwit- nienie – dojrzałość mleczna Flower- ing – milk maturity	Dojrzałość mleczna – dojrzałość woskowa Milk matu- rity – wax maturity	Dojrzałość wosko- wa – doj- rzałość pełna Wax matu- rity – full maturity	Siew – dojrzałość pełna Sow- ing – full maturity
Współczynniki korelacji z długością okresów rozwojowych – Correlation coefficients with length of development periods									
Plon ziarna Grain yield	0,665**	-0,317	-0,066	-0,367	-0,307	-0,687**	0,210	0,254	-0,320
Liczba kłosów na 1 m ² Number of ears per 1 m ²	0,091	-0,101	0,333	-0,078	-0,914**	-0,489	-0,243	0,082	-0,466
Liczba ziaren w kłosie Number of kernels per ear	0,674	-0,198	-0,354	-0,649	-0,277	-0,634	0,259	0,571	-0,332
MTZ / TKW	0,110	0,467	-0,198	0,122	-0,600	-0,823*	0,288	0,747	0,423
Współczynniki korelacji z temperaturą – Correlation coefficients with temperature									
Plon ziarna Grain yield	-0,423	-0,423	0,357	0,334	0,686**	-0,341	0,530	-0,563*	0,141
Liczba kłosów na 1 m ² Number of ears per 1 m ²	-0,343	0,114	0,255	0,280	0,700	-0,162	0,456	-0,069	0,021
Liczba ziaren w kłosie Number of kernels per ear	-0,640	-0,563	0,496	0,168	0,422	-0,395	0,164	-0,536	0,254
MTZ / TKW	-0,111	-0,391	0,351	-0,443	0,004	-0,807*	0,009	0,375	0,270
Współczynniki korelacji z opadami – Correlation coefficients with rainfalls									
Plon ziarna Grain yield	0,269	-0,012	-0,108	-0,218	-0,317	0,221	0,418	0,739**	0,361
Liczba kłosów na 1 m ² Number of ears per 1 m ²	-0,012	0,322	0,194	0,030	-0,629	-0,045	-0,393	0,123	-0,083
Liczba ziaren w kłosie Number of kernels per ear	0,376	0,197	-0,189	-0,495	-0,176	-0,124	0,511	0,889**	0,310
MTZ / TKW	-0,510	-0,290	-0,217	-0,019	0,089	-0,117	0,393	0,604	0,174

Interpretacja współczynników korelacji w podrozdziale 2.4. MTZ – masa tysiąca ziaren. *Istotność na poziomie 0,05. **Istotność na poziomie 0,01.

Interpretation of simple correlation coefficient in chapter 2.4. TKW – thousand kernels weight. *Significant at 0.05. **Significant at 0.01.

Tabela 17. Współczynniki korelacji między plonowaniem badanych pszenic a wartościami współczynnika hydrotermicznego K i opadami atmosferycznymi**Table 17.** Linear correlation coefficients between the yields of tested wheat and values of the hydrothermal coefficient and precipitation

Wyszczególnienie – Specification	Miesiąc – Month				
	IV	V	VI	VII	VIII
Plon ziarna / Współczynnik hydrotermiczny (K) – Grain yield / Hydrothermal coefficient (K)					
P. orkisz – Spelt wheat (60 kg N·ha ⁻¹)	–0,185	–0,048	0,710	0,435	0,154
P. zwyczajna – Common wheat (90 kg N·ha ⁻¹)	0,291	–0,392	0,212	0,527	0,181
P. orkisz – Spelt wheat (30 t·ha ⁻¹ obornika/manure)	–0,149	–0,342	0,419	0,274	–0,209
P. zwyczajna – Common wheat (30 t·ha ⁻¹ obornika/manure)	0,343	–0,449	0,025	0,420	0,090
Plon ziarna / Opady – Grain yield / Rainfall					
P. orkisz – Spelt wheat (60 kg N·ha ⁻¹)	–0,527	–0,038	0,697	0,444	0,194
P. zwyczajna – Common wheat (90 kg N·ha ⁻¹)	0,035	–0,414	0,187	0,545	0,143
P. orkisz – Spelt wheat (30 t·ha ⁻¹ obornika/manure)	–0,391	–0,328	0,425	0,278	–0,208
P. zwyczajna – Common wheat (30 t·ha ⁻¹ obornika/manure)	0,162	–0,476	0,006	0,436	0,038

Interpretacja współczynników korelacji w podrozdziale 2.4. P. orkisz – pszenica orkisz. P. zwyczajna – pszenica zwyczajna.

Interpretation of simple correlation coefficient in chapter 2.4.

Wyliczone współczynniki korelacji prostej pomiędzy plonem pszenicy orkisz i pszenicy zwyczajnej a wartościami współczynnika Sielanianowa (K) wykazały, że najsilniejszy związek z plonem ziarna pszenicy orkisz miały warunki wilgotnościowo-termiczne wyrażone wartościami tego współczynnika K w czerwcu (tab. 17). Podobne zależności uzyskano, analizując związek plonu ziarna pszenicy orkisz z sumą opadów atmosferycznych w tym miesiącu. W kwietniu uzyskano ujemny związek pomiędzy plonem ziarna pszenicy orkisz a współczynnikiem Sielanianowa i sumą opadów atmosferycznych. Należy również zwrócić uwagę na przeciętny związek wielkości plonu ziarna pszenicy orkisz nawożonej obornikiem z ilością opadów w tym miesiącu. Z kolei dla plonu ziarna pszenicy zwyczajnej w kwietniu związki te były dodatnie. Ponadto w maju zaobserwowano przeciętną i ujemną zależność pomiędzy plonem ziarna pszenicy zwyczajnej, niezależnie od rodzaju nawożenia oraz pszenicy orkisz nawożonej obornikiem, a wskaźnikiem Sielanianowa i sumą opadów atmosferycznych.

4.2. Wpływ czynników agrotechnicznych na wzrost, rozwój i plonowanie pszenicy

4.2.1. Plon kłosków pszenicy orkisz

W warunkach glebowo-klimatycznych pól doświadczalnych plon kłosków pszenicy orkisz zależał istotnie od odmiany oraz zastosowanego nawożenia (tab. 18). Plon kłosków pszenicy orkisz w poszczególnych seriach badań był zróżnicowany. Wynikało to zarówno z przebiegu pogody w poszczególnych latach, jak i odmiennego potencjału plonotwórczego badanych odmian. W pierwszej serii badań, istotnie najwyższy średni plon kłosków wykazano dla odmiany ‘Schwabenspelz’ (44,3 dt·ha⁻¹), natomiast w drugiej serii badań istotnie najlepiej pod względem wartości tej cechy wypadły odmiany ‘Badenstern’ i ‘Badenkrone’,

Tabela 18. Plon kłosków (dt·ha⁻¹) pszenicy orkisz w zależności od odmiany i nawożenia (seria I i II)

Table 18. Spikelets yield (dt·ha⁻¹) of spelt wheat depending on cultivar and fertilization (Series I and II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Seria I – Series I							
Badengold	34,3	37,7	44,1	43,2	37,8	38,0	39,2
Schwabenspelz	38,1	45,9	49,3	48,9	40,6	43,1	44,3
Schwabenkorn	30,4	37,4	40,3	39,1	32,9	34,1	35,7
Średnia – Mean	34,3	40,4	44,6	43,7	37,1	38,4	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 1,88 AxB = r.n. – n.s.						A = 4,35
Seria II – Series II							
Zollernspelz	29,7	35,4	40,7	39,7	36,1	39,4	36,8
Badenstern	33,6	43,8	47,6	46,0	40,8	44,5	42,7
Badenkrone	37,1	42,1	44,3	43,2	43,2	46,5	42,8
Średnia – Mean	33,5	40,5	44,2	43,0	40,1	43,4	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 1,92 AxB = r.n. – n.s.						A = 2,80

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

które plonowały odpowiednio na poziomie 42,7 oraz 42,8 dt·ha⁻¹. W grupie odmian charakteryzujących się istotnie niższym plonem kłosków w pierwszej serii badań były odmiany ‘Badengold’ i ‘Schwabenkorn’, natomiast w drugiej serii odmiana ‘Zollernspelz’.

Reakcja pszenicy orkisz na nawożenie w obu seriach badań była podobna (tab. 18). Zastosowanie zarówno mineralnego nawożenia azotem, jak i obornika prowadziło do istotnego wzrostu plonu kłosków w porównaniu do obiektu kontrolnego. Najwyższy plon kłosków w obydwu seriach badań stwierdzono na obiektach, gdzie zastosowano dawkę 60 kg N·ha⁻¹. W pierwszej serii badań, w porównaniu do kontroli (bez nawożenia), zastosowanie azotu mineralnego w dawce 60 kg·ha⁻¹ spowodowało wzrost plonu kłosków o 30%, natomiast w drugiej o 31,9%. Z kolei wzrost plonu kłosków pszenicy orkisz po zastosowaniu obornika w dawce 30 t·ha⁻¹ wyniósł 11,9% (seria I) oraz 29,5% (seria II). Należy również zaznaczyć, że zastosowanie nawożenia azotem w dawce 90 kg·ha⁻¹ prowadziło do nieistotnego statystycznie spadku plonu kłosków. Taką reakcję pszenicy orkisz odnotowano w obydwu seriach badań. Wymaga również podkreślenia faktu, że w drugiej serii badań zastosowanie nawożenia naturalnego w wyższej dawce spowodowało większy wzrost plonu kłosków pszenicy orkisz w porównaniu do kontroli niż w serii pierwszej.

Udział ziarna w plonie kłosków pszenicy orkisz

Udział ziarna w plonie kłosków pszenicy orkisz w pierwszej serii badań zmienił się istotnie zarówno pod wpływem czynnika odmianowego, jak i nawożenia (tab. 19). Odmianą, która charakteryzowała się istotnie najwyższym udziałem ziarna w plonie kłosków, była ‘Badengold’. Pozostałe odmiany charakteryzował istotnie niższy udział ziarna w plonie kłosków, a różnica między odmianami wahała się od 2,9 (‘Schwabenspelz’) do 8,9 (‘Schwabenkorn’) punktów procentowych. Wykazano również, że zastosowanie mineralnego nawożenia azotem w uprawie pszenicy orkisz prowadzi do istotnego wzrostu udziału ziarna w plonie kłosków, który wahał się średnio od 4,6 do 7,6 punktów procentowych. Najwyższe wartości tej cechy stwierdzono po zastosowaniu dawki 60 kg N·ha⁻¹. Należy również zaznaczyć, że średni udział ziarna w plonie kłosków pszenicy orkisz nawożonej obornikiem był niższy niż po zastosowaniu nawożenia mineralnego i średnio dla tych obiektów wahał się w granicach od 62,2% do 63,3%.

W drugiej serii badań odmianą charakteryzującą się istotnie najwyższym udziałem ziarna w plonie kłosków była odmiana ‘Badenstern’ (71,8%). U pozostałych odmian pszenicy orkisz wartości tej cechy były istotnie niższe, a różnice wahały się od 5,3 do 5,7 punktów procentowych. Ponadto w tej serii badań nie odnotowano istotnego wpływu ani nawożenia, ani współdziałania odmiany z nawożeniem na udział ziarna w plonie kłosków pszenicy orkisz.

Tabela 19. Udział ziarna (%) w plonie kłosków pszenicy orkisz w zależności od odmiany i nawożenia (seria I i II)**Table 19.** Grain share (%) in the spikelets yield of spelt wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I and II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Seria I – Series I							
Badengold	63,2	67,7	70,9	71,2	66,3	67,2	67,8
Schwabenspelz	60,8	65,7	68,3	67,6	62,9	64,1	64,9
Schwabenkorn	54,6	59,2	62,3	61,1	57,3	58,5	58,9
Średnia – Mean	59,6	64,2	67,2	66,6	62,2	63,3	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 1,37 AxB = r.n. – n.s.						A = 1,05
Seria II – Series II							
Zollernspelz	65,2	65,1	66,6	67,3	66,4	66,1	66,1
Badenstern	71,5	71,5	72,1	72,1	71,9	71,6	71,8
Badenkrona	65,5	66,4	66,4	66,6	66,9	67,1	66,5
Średnia – Mean	67,4	67,7	68,4	68,7	68,4	68,3	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = r.n. – n.s. AxB = r.n. – n.s.						A = 1,15

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

4.2.2. Plon ziarna

Zróznicowanie plonowania pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej w zależności od analizowanych w doświadczeniu czynników badawczych przedstawiono w tabeli 20. Wszystkie odmiany pszenicy orkisz plonowały istotnie niżej niż odmiana ‘Bogatka’ pszenicy zwyczajnej, a różnica w plonie ziarna wynosiła średnio od 12,1 do 18,4 dt·ha⁻¹. Wśród odmian pszenicy orkisz najwyżej plonowała ‘Schwabenspelz’, której plon ziarna stanowił 70,1% plonu odmiany ‘Bogatka’. Natomiast odmianą pszenicy orkisz najniżej plonującą okazała się odmiana ‘Schwabenkorn’ (54,6% plonu odmiany ‘Bogatka’). Plon ziarna badanych odmian pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej zmieniał się istotnie pod wpływem współdziałania badanych czynników (odmiana i nawożenie). Wzrost plonu ziarna w przypadku pszenicy zwyczajnej miał miejsce wraz ze zwiększaniem dawki azotu mineralnego do 90 kg N·ha⁻¹. Podobny przebieg zależności stwierdzono dla odmian pszenicy

Tabela 20. Plon ziarna ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)**Table 20.** Grain yield ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	30 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	60 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	90 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	obornik manure (15 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	obornik manure (30 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	
Badengold	23,0	25,9	30,7	30,7	26,6	28,5	27,6
Schwabenspelz	23,9	28,2	32,0	32,9	25,4	28,2	28,4
Schwabenkorn	18,7	22,5	25,5	24,2	20,5	21,4	22,1
Bogatka	34,2	40,9	42,7	45,8	36,3	42,9	40,5
Średnia – Mean	24,9	29,4	32,7	33,4	27,2	30,2	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 1,21 AxB = 2,42						A = 3,34

orkisz ‘Badengold’ oraz ‘Schwabenspelz’, przy czym istotny przyrost plonu ziarna stwierdzono tylko do dawki $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Wyjątek stanowiła odmiana ‘Schwabenkorn’, w przypadku której zastosowanie dawki azotu powyżej $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ spowodowało obniżenie plonu ziarna. Reakcja pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej na nawożenie obornikiem była podobna. Zwyżka plonu ziarna w stosunku do obiektu kontrolnego u obydwu podgatunków pszenicy miała miejsce już po zastosowaniu obornika w dawce $15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, ale została potwierdzona statystycznie tylko w odniesieniu do odmiany ‘Badengold’. Z kolei istotnie wyższy plon ziarna dla pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ oraz pszenicy orkisz ‘Schwabenspelz’ uzyskano po zastosowaniu obornika w dawce $30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Natomiast w przypadku odmian ‘Badengold’ i ‘Schwabenkorn’ plon ziarna również wzrastał, ale zwyżka plonu miała charakter tendencji i nie potwierdzono jej statystycznie. Średni wzrost plonu ziarna dla odmian pszenicy orkisz, po zastosowaniu wyższej dawki obornika, w porównaniu do kontroli wahał się średnio od 2,7 do $5,5 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$, a dla pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ wyniósł $8,7 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$.

W drugiej serii badań plon ziarna pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej zmieniał się istotnie pod wpływem odmiany, zastosowanego nawożenia, a także współdziałania badanych czynników (tab. 21). Podobnie jak w pierwszej serii badań, wszystkie odmiany pszenicy orkisz plonowały istotnie niżej niż pszenica zwyczajna odmiany ‘KWS Dakotana’. Różnica w plonowaniu mieściła się w zakresie od 21,6 do $27,6 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ i była zdecydowanie wyższa niż w pierwszej serii badań. Plon ziarna pszenicy orkisz odmiany ‘Badenstern’ stanowił 58,6% plonu ziarna pszenicy zwyczajnej, a odmiany ‘Badenkrone’ 54,2%. Należy również

Tabela 21. Plon ziarna ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)**Table 21.** Grain yield ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series II)

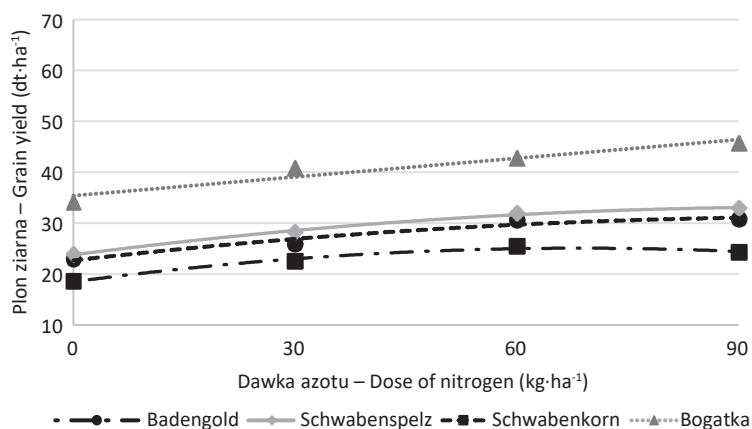
Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	30 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	60 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	90 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	Obornik manure (15 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Obornik manure (30 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	
Zollernspelz	19,6	23,5	27,4	27,1	24,0	26,0	24,6
Badenstern	24,0	31,3	34,4	33,2	29,2	31,7	30,6
Badenkrone	24,2	27,8	29,3	28,7	28,8	30,9	28,3
KWS Dakotana	33,7	50,0	56,6	60,5	54,4	58,0	52,2
Średnia – Mean	25,4	33,1	36,9	37,4	34,1	36,7	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 1,68 AxB = 3,36						A = 3,08

zaznaczyć, że wielkość plonu ziarna tych dwóch odmian kształtowała się na zbliżonym poziomie i nie była zróżnicowana pod względem statystycznym. Odmianą pszenicy orkisz plonującą istotnie najniżej była ‘Zollernspelz’, której plon ziarna stanowił tylko 47,1% plonu pszenicy zwyczajnej.

Nawożenie azotem mineralnym oraz obornikiem decydowało o wielkości plonu ziarna zarówno pod wpływem pojedynczego czynnika, jak i w interakcji z odmianą (tab. 21). Średnio dla pszenicy zwyczajnej odmiany ‘KWS Dakotana’ istotny wzrost plonu ziarna pod wpływem nawożenia azotem stwierdzono wraz ze zwiększaniem dawki do 90 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Natomiast w przypadku pszenicy orkisz odmian ‘Badenstern’ i ‘Badenkrone’ wzrost plonu ziarna miał miejsce do dawki 60 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Należy jednak zaznaczyć, że zwiększenie dawki azotu z 30 do 60 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ powodowało przyrost plonu ziarna, ale różnica względem plonu uzyskanego po zastosowaniu dawki 30 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ nie została potwierdzona statystycznie. Wyjątek stanowiła odmiana ‘Zollernspelz’, która plonowała najwyższej na obiektach, gdzie zastosowano dawkę 60 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Dalsze zwiększanie dawki azotu u tej odmiany nie zwiększyło istotnie plonu ziarna, a nawet nieznacznie go obniżyło. Podobnie na zwiększenie dawki azotu mineralnego do 90 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ zareagowały pozostałe odmiany pszenicy orkisz ‘Badenstern’ oraz ‘Badenkrone’. Nawożenie azotem na tym poziomie u ww. odmian powodowało niepotwierdzony statystycznie spadek plonu ziarna, wynoszący odpowiednio 1,2 oraz 0,6 $\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$. Podobnie jak w pierwszej serii badań, nawożenie obornikiem zarówno pszenicy orkisz, jak i pszenicy zwyczajnej powodowało istotną wyżkę plonu ziarna w porównaniu do obiektu kontrolnego (bez nawożenia). Należy również podkreślić,

że pszenica zwyczajna odmiany ‘KWS Dakotana’ zareagowała większą zwiększoną plonu ziarna na nawożenie obornikiem niż odmiany pszenicy orkisz. Na obiektach, gdzie zastosowano obornik, plon ziarna pszenicy zwyczajnej przewyższał kontrolę w zakresie 20,7 do 24,3 dt·ha⁻¹. Natomiast zwiększona plonu ziarna dla pszenicy orkisz w zależności od odmiany wahała się w granicach od 4,4 do 7,7 dt·ha⁻¹. Ponadto zastosowanie w uprawie pszenicy zwyczajnej większej dawki obornika (30 t·ha⁻¹) powodowało istotny wzrost plonu ziarna. Podobną reakcję wykazano także dla wszystkich badanych odmian pszenicy orkisz, ale wzrost plonu ziarna miał tylko charakter tendencji i nie został potwierdzony statystycznie.

Zależność plonowania pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej od nawożenia azotem dla badanych odmian w pierwszej serii badań przedstawiono na rycinie 5 oraz w tabeli 22. Przeprowadzony rachunek regresji wskazuje, że dla odmian pszenicy orkisz zależność plonu ziarna od nawożenia azotem miała charakter krzywoliniowy, natomiast dla odmiany ‘Bogatka’ pszenicy zwyczajnej – prostoliniowy. Maksima funkcji uzyskane w zależnościach parabolicznych wskazują, że największego plonu ziarna dla odmiany ‘Schwabenspelz’ można oczekiwać po zastosowaniu 104,0 kg N·ha⁻¹, dla odmiany ‘Badengold’ po wniesieniu 102,6 kg N·ha⁻¹, a dla odmiany ‘Schwabenkorn’ tylko 68,7 kg N·ha⁻¹. Natomiast współczynnik regresji dla zależności prostoliniowej informuje, że po zwiększeniu nawożenia azotem o 1 kg·ha⁻¹ dla pszenicy zwyczajnej odmiana ‘Bogatka’ w granicach zastosowanych dawek, można oczekiwać przyrostu plonu ziarna o 12,2 kg·ha⁻¹. Ponadto wyliczone współczynniki determinacji R² wskazują, że zależność między dawką azotu mineralnego a plonem ziarna analizowanych odmian była wysoka, rzędu 92,0–99,0%.



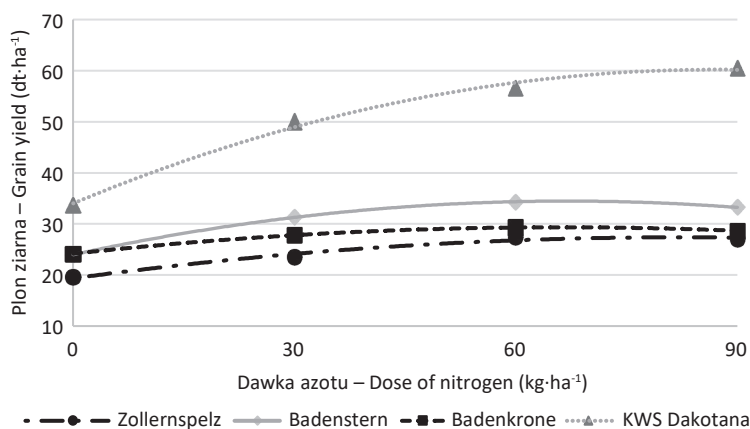
Ryc. 5. Plon ziarna badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia azotem (seria I)

Fig. 5. Grain yield of tested wheat as a function of cultivar and nitrogen fertilization (Series I)

Tabela 22. Równania regresji dla plonu ziarna badanych pszenic w zależności od odmiany
Table 22. Regression equation for grain yield of tested wheat as a function on cultivar

Odmiana Cultivar	Równanie regresji Regression equation	Współczynnik determinacji Determination coefficient R ² (%)	Min. i max. funkcji Min. and max. function	
			X _{opt}	Y _{max}
	Seria I – Series I			
Badengold	$y = -0,0008x^2 + 0,1641x + 22,697$	0,95	102,6	31,1
Schwabenspelz	$y = -0,0009x^2 + 0,1873x + 23,79$	0,99	104,0	33,5
Schwabenkorn	$y = -0,0014x^2 + 0,1923x + 18,499$	0,98	68,7	25,1
Bogatka	$y = 0,1224x + 35,402$	0,92	–	–
	Seria II – Series II			
Zollernspelz	$y = -0,0012x^2 + 0,1947x + 19,353$	0,97	81,1	27,2
Badenstern	$y = -0,0023x^2 + 0,3132x + 23,99$	1,00	68,1	34,6
Badenkrona	$y = -0,0012x^2 + 0,1564x + 24,173$	0,99	65,2	29,3
KWS Dakotana	$y = -0,0035x^2 + 0,601x + 34,026$	0,99	85,8	59,9

Przeprowadzona dla drugiej serii badań analiza regresji wykazała, że nawożenie azotem badanych odmian pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej prowadziło do krzywoliniowego wzrostu plonu ziarna (ryc. 6, tab. 22). Wyliczone równania regresji wskazują, że maksymalny plon ziarna dla odmian ‘Badenkrona’ oraz ‘Badenstern’ można osiągnąć, stosując niższe dawki azotu, wynoszące



Ryc. 6. Plon ziarna badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia azotem (seria II)

Fig. 6. Grain yield of tested wheats depending on cultivar and nitrogen fertilization (Series II)

odpowiednio $65,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ i $68,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, natomiast u ‘Zollernspelz’ maksymalny plon ziarna można osiągnąć po zastosowaniu $81,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Należy również zaznaczyć, że pszenica zwyczajna odmiany ‘KWS Dakotana’ maksymalny plon ziarna osiągnęła po zastosowaniu dawki $85,8 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Na uwagę zasługuje także fakt, że zależność plonowania pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej od nawożenia azotem została potwierdzona współczynnikami determinacji R^2 , które były wysokie i mieściły się w graniach od 97 do 100%.

4.2.3. Komponenty plonowania

Analiza statystyczna dotycząca liczby kłosów pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej wytworzonych na jednostce powierzchni w pierwszej serii badań wykazała, że wartości tej cechy były istotnie modyfikowane badanymi czynnikami, działającymi niezależnie od siebie (tab. 23). Istotnie najwyższą liczbę kłosów na 1 m^2 stwierdzono dla pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ ($518,6 \text{ szt} \cdot \text{m}^{-2}$), natomiast istotnie niższymi wartościami tej cechy charakteryzowały się wszystkie odmiany pszenicy orkisz. Wśród badanych odmian pszenicy orkisz nie wykazano istotnych różnic w liczbie kłosów na jednostce powierzchni dla ‘Badengold’ oraz ‘Schwabenspelz’, natomiast ‘Schwabenkorn’ charakteryzowała się istotnie najniższą liczbą kłosów, zawiązując o 11,1% mniej kłosów niż odmiana ‘Bogatka’.

Pomimo braku współdziałania odmiany z nawożeniem w kształtowaniu liczby kłosów na 1 m^2 wykazano niepotwierdzoną statystycznie tendencję do wzrostu

Tabela 23. Liczba kłosów ($\text{szt} \cdot \text{m}^{-2}$) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)

Table 23. Number of ears ($\text{pcs} \cdot \text{m}^{-2}$) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	$0 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$	$30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$	$60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$	$90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$	obornik manure ($15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	obornik manure ($30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	
Badengold	384,0	469,4	542,9	543,8	519,9	528,3	498,0
Schwabenspelz	399,4	505,6	551,0	538,4	480,5	501,2	496,0
Schwabenkorn	364,5	464,0	510,6	510,1	442,9	473,1	460,9
Bogatka	407,5	513,7	548,2	599,3	483,3	559,4	518,6
Średnia – Mean	388,9	488,2	538,2	547,9	481,7	515,5	–
$\text{NIR}_{(0,05)}$ $\text{LSD}_{(0,05)}$	$B = 19,40$ $A \times B = \text{r.n.} - \text{n.s.}$						$A = 17,02$

r.n. – różnice nieistotne.
n.s. – not significant differences.

wartości tej cechy wraz ze zwiększaniem dawek nawożenia azotem. W przypadku pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ najwyższą liczbę kłosów stwierdzono na obiektach, gdzie zastosowano dawkę 90 kg N·ha⁻¹. Natomiast optymalny poziom nawożenia dla uzyskania największej liczby kłosów u odmiany ‘Schwabenspelz’ wynosił 60 kg N·ha⁻¹. Podobnie zareagowały odmiany ‘Badengold’ oraz ‘Schwabenkorn’, u których zastosowanie tej dawki pozwoliło osiągnąć maksymalną wartość analizowanej cechy, a zwiększenie nawożenia o kolejne 30 kg N·ha⁻¹ nie powodowało już wzrostu liczby kłosów na jednostce powierzchni. Z kolei nawożenie pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej obornikiem prowadziło do wzrostu liczby kłosów na jednostce powierzchni, w porównaniu do obiektu kontrolnego. Zastosowanie u wszystkich badanych odmian wyższej dawki obornika skutkowało zawiązaniem większej liczby kłosów na 1 m² od 25,5% (u odmiany ‘Schwabenspelz’) do 37,6% (u odmiany ‘Badengold’), ale zależności tej nie potwierdzono statystycznie.

Przeprowadzona analiza statystyczna w celu ujęcia wpływu badanych czynników na liczbę kłosów na 1 m² w drugiej serii badań wykazała, że zarówno odmiana, jak i nawożenie działając samodzielnie lub w interakcji istotnie modyfikowały wartości tej cechy (tab. 24). Istotnie największą liczbę kłosów wytworzyła odmiana pszenicy orkisz ‘Badenkrone’ (544,0 szt·m⁻²). Należy podkreślić, że w tej serii badań pszenica orkisz odmiany ‘Badenstern’ charakteryzowała się podobną liczbą kłosów na jednostce powierzchni co pszenica zwyczajna odmiany ‘KWS Dakotana’. Natomiast odmiana ‘Zollernspelz’ wytworzyła istotnie mniejszą o 11,2% liczbę kłosów w porównaniu do odmiany ‘Badenkrone’.

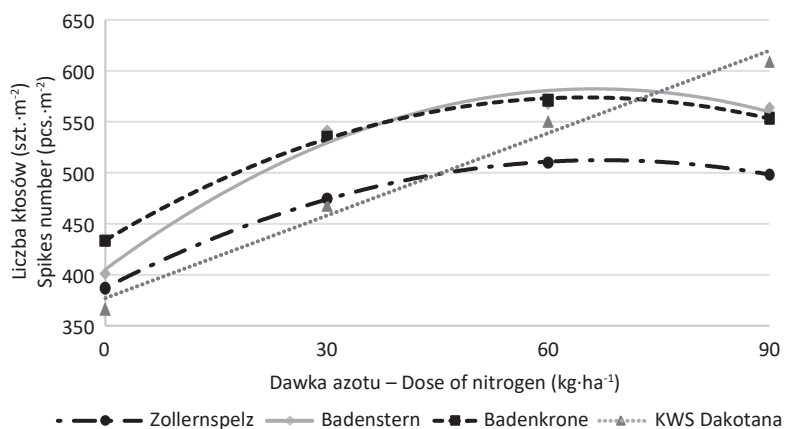
Tabela 24. Liczba kłosów (szt·m⁻²) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)

Table 24. Number of ears (pcs·m⁻²) of tested as a function of cultivar and fertilization (Series II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Zollernspelz	387,1	474,4	510,3	498,4	484,0	542,8	482,8
Badenstern	401,3	541,7	568,1	563,9	494,2	554,2	520,5
Badenkrone	433,3	535,2	571,2	553,7	573,1	597,3	544,0
KWS Dakotana	366,6	468,1	550,5	608,6	549,2	582,8	520,9
Średnia – Mean	397,0	504,8	550,0	556,1	525,1	569,2	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 16,50 AxB = 33,00						A = 12,77

Średnio dla wszystkich odmian pszenicy orkisz, zastosowanie nawożenia w dawce $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ pozwoliło uzyskać najwyższą liczbę kłosów na jednostce powierzchni, natomiast na zwiększenie dawki o $30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ odmiany te zareagowały nieistotnym obniżeniem liczby kłosów. Odmienną reakcję odnotowano dla roślin pszenicy zwyczajnej odmiany ‘KWS Dakotana’, w przypadku której nawożenie azotem mineralnym w dawce $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ pozwoliło osiągnąć istotnie największą liczbę kłosów, wynoszącą $608,6 \text{ szt.} \cdot \text{m}^{-2}$. Przyrost liczby kłosów na 1 m^2 był istotnie modyfikowany nawożeniem obornikiem. Dla odmian pszenicy orkisz ‘Zollernspelz’ i ‘Badenstern’ oraz pszenicy zwyczajnej ‘KWS Dakotana’ istotnie wyższą liczbę kłosów stwierdzono po zastosowaniu obornika w dawce $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w porównaniu z dawką $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Wyjątek stanowiła odmiana ‘Badenkrone’, u której różnica w liczbie kłosów pomiędzy obiektami nawożonymi różnymi dawkami obornika wyniosła zaledwie $24,20 \text{ szt.} \cdot \text{m}^{-2}$ i nie była istotna statystycznie.

Zależność liczby kłosów pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej od nawożenia azotem w drugiej serii badań przedstawiono na rycinie 7 oraz w tabeli 25. Z rachunku regresji wynika, że w przypadku wszystkich odmian pszenicy orkisz zależność liczby kłosów na jednostce powierzchni od nawożenia azotem w zakresie stosowanych dawek miała przebieg paraboliczny. W związku z tym dla odmiany ‘Zollernspelz’ można oczekiwać maksymalnej wartości omawianej cechy po zastosowaniu $67,2 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, dla odmiany ‘Badenstern’ $66,3 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, a dla odmiany ‘Badenkrone’ $64,9 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Natomiast w przypadku pszenicy zwyczajnej na podstawie wartości wyliczonych z równania regresji można



Ryc. 7. Liczba kłosów badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia azotem (seria II)

Fig. 7. The number of ears of tested wheat as a function of cultivar and nitrogen fertilization (Series II)

Tabela 25. Równania regresji dla liczby kłosów badanych pszenic w zależności od odmiany (seria II)**Table 25.** Regression equation for the number of ears of tested wheat as a function of cultivar (Series II)

Odmiana Cultivar	Równanie regresji Regression equation	Współczynnik determinacji Determination coefficient R^2 (%)	Min. i max. funkcji Min. and max. function	
			X_{opt}	Y_{max}
Zollernspelz	$y = -0,0276x^2 + 3,7126x + 387,3$	0,99	67,2	512,1
Badenstern	$y = -0,0402x^2 + 5,3299x + 405,45$	0,98	66,3	582,1
Badenkrone	$y = -0,0332x^2 + 4,3075x + 433,95$	0,99	64,9	573,7
KWS Dakotana	$y = 2,6948x + 377,18$	0,98	–	–

stwierdzić, że zwiększenie nawożenia azotem o $1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w zakresie badanych dawek spowoduje wzrost liczby kłosów na jednostce powierzchni o prawie 2,7 szt.

W pierwszej serii badań, masa tysiąca ziaren pszenicy orkisz odmiany ‘Schwabenspelz’ wyniosła 49,1 g i była istotnie wyższa od MTZ pozostałych odmian pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej (tab. 26). Istotnie najniższą masą tysiąca ziaren charakteryzowała się odmiana ‘Badengold’, której ziarno miało o ok. 14% mniejszą masę w porównaniu z odmianą ‘Schwabenspelz’. Natomiast ziarno pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ charakteryzowało się niższą o ok. 10% MTZ,

Tabela 26. Masa tysiąca ziaren (g) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)**Table 26.** Thousand grain weight (g) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Badengold	39,8	41,9	42,8	42,9	42,5	43,2	42,2
Schwabenspelz	46,4	49,2	50,3	50,8	48,8	49,6	49,1
Schwabenkorn	45,0	47,1	47,7	47,8	46,7	48,2	47,1
Bogatka	41,8	43,6	44,5	45,8	44,2	45,6	44,2
Średnia – Mean	43,3	45,4	46,3	46,8	45,5	46,7	–
NIR _(0,05)	B = 0,70						A = 0,99
LSD _(0,05)	AxB = r.n. – n.s.						

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

w porównaniu do najlepszej pod tym względem odmiany pszenicy orkisz. Pomimo braku istotnego wpływu współdziałania badanych czynników na masę tysiąca ziaren analizowanych odmian pszenicy, wykazano tendencję do wzrostu wartości tej cechy wraz ze zwiększaniem się dawki azotu. Przy czym dla pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ wzrost ten zachodził do dawki 90 kg N·ha⁻¹, natomiast dla odmian pszenicy orkisz nie wykazano większego zróżnicowania w MTZ pomiędzy dawką 60 a 90 kg·ha⁻¹.

Przeprowadzona analiza wariancji dla drugiej serii badań wykazała, że masa 1000 ziaren badanych odmian podgatunków pszenicy była istotnie modyfikowana czynnikami doświadczenia działającymi niezależnie (tab. 27). Istotnie największą masą tysiąca ziaren charakteryzowała się odmiana pszenicy orkisz – ‘Badenstern’ (51,5 g), natomiast istotnie najniższą ziarno pszenicy zwyczajnej odmiany ‘KWS Dakotana’, której MTZ była o 14,7% niższa w porównaniu z ‘Badenstern’. Ponadto reakcja badanych odmian pszenicy orkisz na wzrastające dawki nawożenia azotem była różna pod względem wartości dotyczących masy 1000 ziaren. Dla pszenicy orkisz odmiany ‘Zollernspelz’ najwyższe wartości MTZ stwierdzono po zastosowaniu 90 kg N·ha⁻¹. Natomiast dla odmian ‘Badenstern’ oraz ‘Badenkrone’ już zastosowanie 60 kg N·ha⁻¹ pozwoliło na osiągnięcie największych wartości tej cechy. Również odmiana ‘KWS Dakotana’ pszenicy zwyczajnej do osiągnięcia najwyższej MTZ potrzebowała 60 kg N·ha⁻¹, a dalsze zwiększanie nawożenia nie prowadziło do wzrostu wartości tej cechy.

Tabela 27. Masa tysiąca ziaren (g) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)

Table 27. Thousand grain weight (g) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Zollernspelz	43,5	46,6	46,7	47,1	46,5	47,4	46,3
Badenstern	48,8	51,6	52,3	51,9	51,5	52,6	51,5
Badenkrone	42,4	44,7	45,8	44,5	44,5	45,6	44,6
KWS Dakotana	41,7	43,4	44,6	44,2	44,4	45,0	43,9
Średnia – Mean	44,1	46,6	47,3	46,9	46,7	47,7	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,75 AxB = r.n. – n.s.						A = 0,54

r.n. – różnice nieistotne.
n.s. – not significant differences.

Przeprowadzona analiza statystyczna nad wpływem nawożenia obornikiem na masę tysiąca ziaren badanych odmian w obydwu seriach badań (tab. 26, 27) wykazała, że zastosowanie wyższej dawki skutkowało zwiększeniem MTZ. Zależności tej nie potwierdzono statystycznie, jednak zauważono, że w pierwszej serii badań wyższa dawka obornika powodowała największy wzrost masy tysiąca ziaren pszenicy orkisz odmiany ‘Schwabenkorn’ (1,5 g) oraz pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ (1,4 g), natomiast w drugiej serii badań największą różnicę w wartości MTZ zauważono u odmian pszenicy orkisz ‘Badenstern’ (1,1 g) oraz ‘Badenkrona’ (1,1 g).

W pierwszej serii badań wykazano, że w kształtowaniu liczby ziaren w kłosie istotny wpływ miała zarówno odmiana, jak i nawożenie, które działały niezależnie od siebie oraz w interakcji (tab. 28). Wykazano, że największą liczbą ziaren w kłosie charakteryzowała się pszenica zwyczajna odmiany ‘Bogatka’ (45,2 szt.). Należy pokreślić, że pod względem wartości tej cechy odmiany pszenicy orkisz ‘Badengold’ oraz ‘Schwabenspelz’ dorównywały odmianie ‘Bogatka’, a różnice między nimi wahały się zaledwie od 3,3% do 3,5%. Z kolei istotnie najniższą liczbę ziaren w kłosie wykazano dla pszenicy orkisz odmiany ‘Schwabenkorn’, a wartości tej cechy były o 15,5% niższe w porównaniu do pszenicy zwyczajnej. Reakcja badanych odmian pszenicy orkisz na wzrastające dawki azotu była podobna (tab. 27). Największą liczbę ziaren w kłosie dla odmian ‘Badengold’ oraz ‘Schwabenspelz’ wykazano na obiektach, na których zastosowano dawkę 90 kg N·ha⁻¹, natomiast u odmiany ‘Schwabenkorn’ 60 kg N·ha⁻¹. Należy jednak podkreślić, że dla żadnej z odmian pszenicy orkisz nie uzyskano istotnego

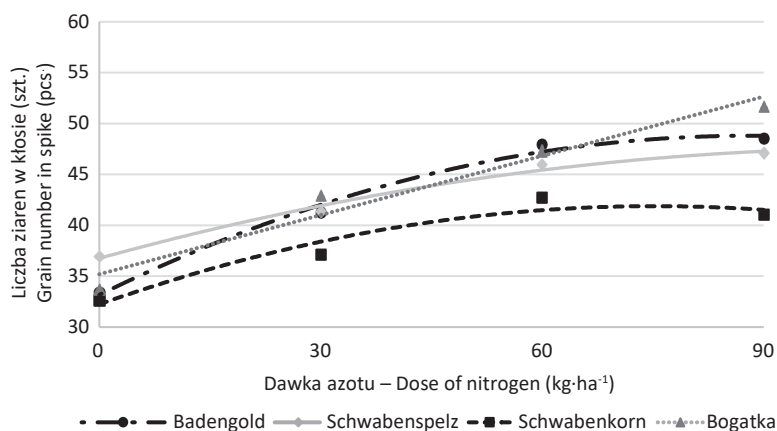
Tabela 28. Liczba ziaren w kłosie (szt.) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)

Table 28. The grain number in spike (pcs.) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Badengold	33,4	41,3	47,9	48,5	41,7	49,6	43,7
Schwabenspelz	36,9	41,4	46,0	47,1	42,5	47,6	43,6
Schwabenkorn	32,6	37,1	42,8	41,1	36,1	39,4	38,2
Bogatka	33,7	42,9	47,3	51,7	46,2	49,4	45,2
Średnia – Mean	34,1	40,7	46,0	47,1	41,6	46,5	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 1,78 AxB = 3,56						A = 2,94

zróżnicowania w liczbie ziaren w kłosie pomiędzy dawkami 60 a 90 kg N·ha⁻¹. Natomiast w przypadku pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ zastosowanie każdej z dawek, w porównaniu do kontroli, prowadziło do istotnego wzrostu liczby ziaren w kłosie, a istotnie najwyższą wartość tej cechy osiągnięto przy dawce 90 kg N·ha⁻¹. Zastosowanie nawożenia w postaci obornika prowadziło do istotnego wzrostu liczby ziaren w kłosach zarówno u odmian pszenicy orkisz, jak i pszenicy zwyczajnej. Należy jednak zaznaczyć, że zastosowanie 30 t·ha⁻¹ obornika istotnie zwiększyło liczbę ziaren w kłosie odmian ‘Badengold’ i ‘Schwabenspelz’, w porównaniu z dawką 15 t·ha⁻¹ obornika. Natomiast w przypadku pozostałych odmian uzyskana różnica w wartościach tej cechy była statystycznie nieistotna.

Zależność liczby ziaren w kłosie analizowanych odmian pszenicy od nawożenia azotem w pierwszej serii badań przedstawiono na rycinie 8 oraz w tabeli 29. Z wyliczonych funkcji produkcji azotu dla odmian pszenicy orkisz wynika, iż zależność ta miała charakter krzywoliniowy. Odmiana ‘Schwabenkorn’, aby osiągnąć maksimum funkcji, potrzebowała nawożenia azotem w dawce 75,5 kg·ha⁻¹, a odmiana ‘Schwabenspelz’ w dawce 111,0 kg·ha⁻¹. Na uwagę zasługuje również fakt, że pszenica orkisz odmiany ‘Badengold’, aby osiągnąć maksymalną liczbę ziaren w kłosie wynoszącą 49,0 szt., potrzebowała dawki azotu wynoszącej tylko 88,9 kg·ha⁻¹. Z kolei zależność liczby ziaren w kłosie od nawożenia azotem dla pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ miała przebieg prostoliniowy. Po zwiększeniu nawożenia o 1 kg N·ha⁻¹ w zakresie badanych dawek następował wzrost liczby ziaren w kłosie, wynoszący dla tej odmiany 0,19 szt. Opisywane



Ryc. 8. Liczba ziaren w kłosie badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia azotem (seria I)

Fig. 8. The grain number in spike of tested wheat as a function of cultivar and nitrogen fertilization (Series I)

Tabela 29. Równania regresji dla liczby ziaren w kłosie badanych pszenic w zależności od odmiany (seria I)**Table 29.** Regression equations for the number of ears spike of tested wheat as a function of cultivar (Series I)

Odmiana Cultivar	Równanie regresji Regression equation	Współczynnik determinacji Determination coefficient R^2 (%)	Min. i max. funkcji Min. and max. function	
			X_{opt}	Y_{max}
Badengold	$y = -0,002x^2 + 0,3557x + 33,157$	0,99	88,9	49,0
Schwabenspelz	$y = -0,0009x^2 + 0,1999x + 36,753$	0,98	111,0	47,9
Schwabenkorn	$y = -0,0017x^2 + 0,2567x + 32,226$	0,94	75,5	41,9
Bogatka	$y = 0,1942x + 35,177$	0,96	–	–

zależności zostały potwierdzone współczynnikami determinacji R^2 , które były wysokie i mieściły się w granicach 94–99%.

Przeprowadzona analiza statystyczna dotycząca wpływu odmiany oraz nawożenia na liczbę ziaren w kłosie wykazała, że czynniki te istotnie modyfikowały wartości tej cechy, działając niezależnie od siebie (tab. 30). W drugiej serii badań, istotnie największą liczbą ziaren w kłosie charakteryzowała się pszenica zwyczajna odmiany ‘KWS Dakotana’ (54,8 szt.), natomiast istotnie niższą odmiany pszenicy orkisz ‘Badenstern’ oraz ‘Badenkrone’. Kłosa tych odmian – w porównaniu

Tabela 30. Liczba ziaren w kłosie (szt.) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)**Table 30.** The number of ears (pcs.) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Zollernspelz	34,8	40,4	48,2	50,2	40,1	48,8	43,7
Badenstern	41,5	47,8	54,5	47,2	47,6	51,9	48,4
Badenkrone	39,6	47,4	52,7	49,7	44,7	48,0	47,0
KWS Dakotana	44,0	52,4	57,1	59,1	56,6	59,8	54,8
Średnia – Mean	40,0	47,0	53,1	51,5	47,2	52,1	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 3,03 AxB = r.n. – n.s.						A = 3,24

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

do kłosów pszenicy zwyczajnej – zawierały od 11,7% do 14,2% mniej ziarniaków. Najslabiej pod względem wartości tej cechy wypadła pszenica orkisz odmiany ‘Zollernspelz’, której kłosy charakteryzowały się istotnie najniższą liczbą ziaren wynoszącą 43,7 szt. Pomimo braku potwierdzonego statystycznie współdziałania badanych czynników odnotowano, że każdy rodzaj nawożenia, zarówno azotem, jak i naturalny, prowadził do wzrostu liczby ziaren w kłosach badanych odmian pszenicy. Odmiany pszenicy orkisz ‘Badenstern’ oraz ‘Badenkrone’ do uzyskania największej liczby ziaren w kłosie potrzebowały dawki $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, a jej zwiększenie o $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ powodowało u tych odmian spadek wartości tej cechy. Inną reakcję na nawożenie azotem wykazano dla pszenicy orkisz odmiany ‘Zollernspelz’ oraz pszenicy zwyczajnej odmiany ‘KWS Dakotana’, u których nawożenie najwyższą dawką azotu, wynoszącą $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ spowodowało uzyskanie największej liczby ziaren w kłosie. Reakcja odmian pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej na zastosowanie obornika była podobna. Korzystniejsze było zastosowanie $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ obornika.

4.2.4. Zmienność plonowania

W dążeniu do sklasyfikowania wpływu czynników środowiskowych oraz agrotechnicznych na wielkość komponentów plonowania oraz w poszukiwaniu związku plonu ziarna z komponentami plonowania wykorzystano różne mierniki statystyczne. Wielkość tych parametrów modyfikowana była zarówno warunkami pogodowymi, jak i czynnikami badawczymi, ale w pewnym stopniu była także wynikiem współdziałania pomiędzy nimi. O dużym zróżnicowaniu plonów ziarna oraz elementów struktury plonowania w okresie wieloletnim świadczą również wartości odchylenia standardowego oraz wyliczone współczynniki zmienności. Najniższe plony ziarna w obu seriach badań wykazano dla odmian pszenicy orkisz, natomiast największe dla odmian pszenicy zwyczajnej (tab. 31). W pierwszej serii badań na uwagę zasługuje pszenica orkisz odmiany ‘Schwabenkorn’, której maksymalny plon ziarna był na tym samym poziomie co plon pszenicy zwyczajnej, ale charakteryzowała go duża zmienność ($\text{CV} = 39,8\%$). We wszystkich latach badań największą zmiennością charakteryzował się plon ziarna badanych odmian pszenicy ($\text{CV} = 23,3\text{--}39,8\%$). Należy jednak zaznaczyć, że ten zakres zmienności dotyczył plonu ziarna pszenicy zwyczajnej, który w pierwszej serii badań był najniższy, natomiast w drugiej serii najwyższy. Spośród elementów plonowania, dla obu serii badań, najmniejsze współczynniki zmienności odnotowano dla masy 1000 ziaren ($\text{CV} = 4,1\text{--}11,5\%$) i wartości tej cechy w niewielkim stopniu zmieniły się pod wpływem odmiany.

Natomiast zmienność liczby kłosów oraz liczby ziaren w kłosie kształtowała się na zbliżonym poziomie. Ponadto w drugiej serii badań należy zwrócić uwagę na pszenicę orkisz odmiany ‘Badenkrone’, u której zarówno plon ziarna, jak

Tabela 31. Zmienność cech badanych pszenic w zależności od odmiany
Table 31. Variation of tested wheat as a function of cultivar

Cecha Trait	Odmiana Cultivar	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	SD	CV
Seria I – Series I					
Liczba kłosów (szt.·m ⁻²) Spikes number (pcs.·m ⁻²)	Badengold	347,0	675,0	92,18	18,5
	Schwabenspelz	345,0	652,8	76,43	15,4
Liczba ziaren w kłosie (szt.) Grain number in spike (pcs.)	Schwabenkorn	311,1	569,4	62,99	13,7
	Bogatka	373,0	636,1	73,44	14,1
	Badengold	29,5	57,7	7,99	18,3
	Schwabenspelz	33,3	50,6	4,20	9,6
Masa tysiąca ziaren (g) Thousand grain weight (g)	Schwabenkorn	25,5	46,8	5,66	14,8
	Bogatka	30,5	56,5	6,62	14,6
	Badengold	38,7	45,8	1,72	4,1
	Schwabenspelz	41,0	53,1	2,60	5,3
Plon ziarna (dt·ha ⁻¹) Grain yield (dt·ha ⁻¹)	Schwabenkorn	40,8	52,1	3,35	7,1
	Bogatka	38,9	49,5	2,84	6,4
	Badengold	13,5	37,8	7,82	28,4
	Schwabenspelz	14,4	40,5	7,75	27,3
	Schwabenkorn	19,2	58,9	13,17	39,8
	Bogatka	25,0	58,9	9,44	23,3
Seria II – Series II					
Liczba kłosów (szt.·m ⁻²) Spikes number (pcs.·m ⁻²)	Zollernspelz	366,7	611,1	71,39	14,8
	Badenstern	369,4	674,2	96,18	18,5
	Badenkrone	383,0	684,4	77,53	14,2
	KWS Dakotana	337,2	642,8	89,97	17,3
Liczba ziaren w kłosie (szt.) Grain number in spike (pcs.)	Zollernspelz	28,7	56,4	7,39	16,9
	Badenstern	34,5	59,9	6,24	12,9
	Badenkrone	35,1	55,5	5,26	11,2
	KWS Dakotana	39,1	65,8	7,52	13,7
Masa tysiąca ziaren (g) Thousand grain weight (g)	Zollernspelz	39,1	55,0	5,33	11,5
	Badenstern	43,4	57,8	4,33	8,4
	Badenkrone	39,0	51,1	3,82	8,6
	KWS Dakotana	36,2	50,9	4,98	11,4
Plon ziarna (dt·ha ⁻¹) Grain yield (dt·ha ⁻¹)	Zollernspelz	16,5	37,0	5,71	23,2
	Badenstern	20,1	42,8	7,54	24,6
	Badenkrone	22,0	37,0	4,04	14,3
	KWS Dakotana	30,7	76,5	14,30	27,4

SD – odchylenie standardowe, CV – współczynnik zmienności (%).
SD – standard deviation, CV – coefficient of variation (%).

i składowe plonu były bardzo stabilne w latach i ulegały niewielkiej zmienności, o czym świadczą najniższe współczynniki zmienności wyliczone dla tych cech.

Plon ziarna oraz komponenty plonowania badanych odmian zmieniały się także pod wpływem zastosowanego nawożenia (tab. 32). W pierwszej serii badań warunki pogodowe zdecydowały, że wartości minimalne oraz maksymalne plonu

Tabela 32. Zmienność cech badanych pszenic w zależności od nawożenia (seria I)

Table 32. Variation of tested wheat as a function of fertilization (Series I)

Cecha Trait	Nawożenie Fertilization	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	SD	CV
1	2	3	4	5	6
Pszenica orkisz – Spelt wheat					
Liczba kłosów (szt. $\cdot$ m ⁻²) Spikes number (pcs. $\cdot$ m ⁻²)	0 kg N-ha ⁻¹	311,1	466,7	45,32	11,7
	30 kg N-ha ⁻¹	404,0	575,0	55,90	11,6
	60 kg N-ha ⁻¹	454,0	622,2	52,40	9,8
	90 kg N-ha ⁻¹	447,4	652,8	64,21	12,1
	Obornik – Manure*	398,3	657,8	72,39	15,0
	Obornik – Manure**	420,8	675,0	63,42	12,7
Liczba ziaren w kłosie (szt.) Grain number in spike (pcs.)	0 kg N-ha ⁻¹	26,9	42,9	4,70	13,7
	30 kg N-ha ⁻¹	33,2	48,2	4,14	10,4
	60 kg N-ha ⁻¹	37,8	51,4	4,02	8,8
	90 kg N-ha ⁻¹	39,5	53,1	3,98	8,7
	Obornik – Manure*	31,1	51,2	5,63	14,1
	Obornik – Manure**	35,3	56,0	5,89	12,9
Masa tysiąca ziaren (g) Thousand grain weight (g)	0 kg N-ha ⁻¹	38,8	46,6	2,36	5,4
	30 kg N-ha ⁻¹	42,1	49,6	1,85	4,0
	60 kg N-ha ⁻¹	43,1	49,6	1,78	3,8
	90 kg N-ha ⁻¹	44,1	50,4	1,78	3,8
	Obornik – Manure*	40,8	48,7	2,26	4,9
	Obornik – Manure**	42,2	50,7	2,15	4,6
Plon ziarna (dt-ha ⁻¹) Grain yield (dt-ha ⁻¹)	0 kg N-ha ⁻¹	11,1	35,9	7,10	32,5
	30 kg N-ha ⁻¹	14,4	41,6	7,30	28,6
	60 kg N-ha ⁻¹	15,6	45,8	8,16	27,8
	90 kg N-ha ⁻¹	17,0	44,8	8,52	29,0
	Obornik – Manure*	12,5	39,5	7,87	32,6
	Obornik – Manure**	14,2	42,3	7,94	30,5

Tabela 32 – cd. / Table 32 – cont.

1	2	3	4	5	6
Pszenica zwyczajna – Common wheat					
Liczba kłosów (szt.·m ⁻²) Spikes number (pcs.·m ⁻²)	0 kg N·ha ⁻¹	322,2	477,8	54,8	13,4
	30 kg N·ha ⁻¹	412,0	611,1	53,85	10,5
	60 kg N·ha ⁻¹	416,0	666,7	72,61	13,2
	90 kg N·ha ⁻¹	468,0	700,0	62,30	10,4
	Obornik – Manure*	328,0	577,8	67,09	13,9
	Obornik – Manure**	422,2	711,1	84,60	15,1
Liczba ziaren w kłosie (szt.) Grain number in spike (pcs.)	0 kg N·ha ⁻¹	12,0	49,7	8,77	26,0
	30 kg N·ha ⁻¹	30,6	54,2	6,56	15,3
	60 kg N·ha ⁻¹	41,3	54,3	3,26	6,9
	90 kg N·ha ⁻¹	43,0	64,0	5,72	11,1
	Obornik – Manure*	28,7	66,3	8,89	19,2
	Obornik – Manure**	30,5	64,8	7,02	14,2
Masa tysiąca ziaren (g) Thousand grain weight (g)	0 kg N·ha ⁻¹	31,7	49,7	5,25	12,5
	30 kg N·ha ⁻¹	34,8	51,1	4,82	11,1
	60 kg N·ha ⁻¹	39,5	50,8	3,27	7,4
	90 kg N·ha ⁻¹	40,8	50,0	2,75	6,0
	Obornik – Manure*	40,0	49,3	2,99	6,8
	Obornik – Manure**	42,0	51,4	2,73	6,0
Plon ziarna (dt·ha ⁻¹) Grain yield (dt·ha ⁻¹)	0 kg N·ha ⁻¹	20,8	54,5	9,41	27,5
	30 kg N·ha ⁻¹	29,3	56,6	9,35	22,9
	60 kg N·ha ⁻¹	28,2	60,3	9,62	22,5
	90 kg N·ha ⁻¹	31,9	68,0	9,53	20,8
	Obornik – Manure*	21,5	54,8	10,03	27,6
	Obornik – Manure**	34,1	64,3	9,17	21,4

SD – odchylenie standardowe. CV – współczynnik zmienności (%). *Dawka obornika 15 t·ha⁻¹. **Dawka obornika 30 t·ha⁻¹.

SD – standard deviation. CV – coefficient of variation (%). *Manure dose 15 t·ha⁻¹. **Manure dose 30 t·ha⁻¹.

ziarna pszenicy orkisz, w zależności od zastosowanego nawożenia, były niższe w porównaniu do pszenicy zwyczajnej. Stąd charakteryzował je również większy współczynnik zmienności (CV = 27,8 – 32,6%). Zarówno dla pszenicy orkisz, jak i pszenicy zwyczajnej najniższe plony ziarna oraz składowe plonu wykazano na obiektach bez nawożenia azotem. Należy również zaznaczyć, że wartości tych cech w porównaniu do obiektów nawożonych charakteryzowały się największą

zmiennością. Wyjątek stanowiła liczba kłosów i ziaren w kłosie pszenicy orkisz oraz liczba kłosów pszenicy zwyczajnej, dla których nawożenie obornikiem prowadziło do większej zmienności niż na kontroli i nie stabilizowało tych cech. Ponadto nawożenie pszenicy orkisz azotem w dawce $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ prowadziło do uzyskania największego plonu ziarna, natomiast pszenica zwyczajna największy plon ziarna wytworzyła po wniesieniu $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Reakcja pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej na nawożenie obornikiem była podobna i z tych obiektów uzyskano wyższe plony ziarna oraz większe wartości komponentów plonowania w porównaniu do kontroli (bez nawożenia).

Analogicznie jak w pierwszej serii plon ziarna oraz jego składowe zmieniały się pod wpływem zastosowanego nawożenia (tab. 33). W tej serii badań stabilniejszym plonowaniem w latach, wyrażonym niższymi wartościami współczynnika

Tabela 33. Zmienność cech badanych pszenic w zależności od nawożenia (seria II)

Table 33. Variation of tested wheat as a function of fertilization (Series II)

Cecha Trait	Nawożenie Fertilization	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	SD	CV
1	2	3	4	5	6
Pszenica orkisz – Spelt wheat					
Liczba kłosów (szt.·m ⁻²) Spikes number (pcs.·m ⁻²)	0 kg N·ha ⁻¹	355,5	477,8	39,80	9,8
	30 kg N·ha ⁻¹	463,0	558,5	38,31	7,4
	60 kg N·ha ⁻¹	474,1	602,2	39,33	7,1
	90 kg N·ha ⁻¹	439,2	633,3	60,60	11,2
	Obornik – Manure*	440,7	605,5	58,30	11,3
	Obornik – Manure**	501,5	689,6	61,82	10,9
Liczba ziaren w kłosie (szt.) Grain number in spike (pcs.)	0 kg N·ha ⁻¹	27,1	49,0	5,58	14,4
	30 kg N·ha ⁻¹	38,9	52,1	4,87	10,8
	60 kg N·ha ⁻¹	42,9	63,4	6,70	12,9
	90 kg N·ha ⁻¹	42,7	53,9	3,42	7,0
	Obornik – Manure*	37,7	52,1	3,96	9,0
	Obornik – Manure**	43,0	66,2	5,96	12,0
Masa tysiąca ziaren (g) Thousand grain weight (g)	0 kg N·ha ⁻¹	37,8	50,6	4,42	9,9
	30 kg N·ha ⁻¹	41,7	55,2	4,55	9,6
	60 kg N·ha ⁻¹	42,2	54,8	4,60	9,5
	90 kg N·ha ⁻¹	41,7	56,1	5,32	11,1
	Obornik – Manure*	42,5	53,1	3,87	8,1
	Obornik – Manure**	43,4	53,8	3,98	8,2

Tabela 33 – cd. / Table 33 – cont.

1	2	3	4	5	6
Plon ziarna (dt·ha ⁻¹) Grain yield (dt·ha ⁻¹)	0 kg N·ha ⁻¹	18,7	27,1	2,50	11,1
	30 kg N·ha ⁻¹	20,7	35,0	4,25	15,5
	60 kg N·ha ⁻¹	23,3	37,6	4,85	16,0
	90 kg N·ha ⁻¹	21,6	37,8	5,50	18,5
	Obornik – Manure*	20,1	35,5	4,13	15,1
	Obornik – Manure**	24,2	38,8	4,78	16,2
Pszenica zwyczajna – Common wheat					
Liczba kłosów (szt·m ⁻²) Spikes number (pcs·m ⁻²)	0 kg N·ha ⁻¹	300,0	433,3	39,52	10,8
	30 kg N·ha ⁻¹	422,2	544,4	41,14	8,8
	60 kg N·ha ⁻¹	505,5	588,9	28,36	5,1
	90 kg N·ha ⁻¹	555,5	688,9	38,16	6,3
	Obornik – Manure*	433,3	666,7	79,5	14,5
	Obornik – Manure**	444,4	666,7	62,27	10,7
Liczba ziaren w kłosie (szt.) Grain number in spike (pcs.)	0 kg N·ha ⁻¹	32,9	54,5	6,40	14,6
	30 kg N·ha ⁻¹	37,9	63,3	8,37	16,0
	60 kg N·ha ⁻¹	39,4	69,4	8,78	15,4
	90 kg N·ha ⁻¹	34,2	77,9	12,62	21,4
	Obornik – Manure*	34,4	69,8	8,67	15,3
	Obornik – Manure**	41,9	83,8	11,54	19,3
Masa tysiąca ziaren (g) Thousand grain weight (g)	0 kg N·ha ⁻¹	34,2	49,1	5,23	12,5
	30 kg N·ha ⁻¹	36,6	50,1	5,10	11,8
	60 kg N·ha ⁻¹	34,3	52,4	5,62	12,6
	90 kg N·ha ⁻¹	36,6	50,0	4,69	10,6
	Obornik – Manure*	38,0	51,1	4,80	10,8
	Obornik – Manure**	36,9	52,6	5,15	11,5
Plon ziarna (dt·ha ⁻¹) Grain yield (dt·ha ⁻¹)	0 kg N·ha ⁻¹	27,1	37,9	3,71	11,0
	30 kg N·ha ⁻¹	30,3	69,1	10,69	21,4
	60 kg N·ha ⁻¹	33,4	82,4	14,09	24,9
	90 kg N·ha ⁻¹	34,3	89,6	15,96	26,4
	Obornik – Manure*	37,4	86,9	16,03	29,5
	Obornik – Manure**	39,6	89,9	15,97	27,5

SD – odchylenie standardowe. CV – współczynnik zmienności (%). *Dawka obornika 15 t·ha⁻¹. **Dawka obornika 30 t·ha⁻¹.

SD – standard deviation. CV – coefficient of variation (%). *Manure dose 15 t·ha⁻¹. **Manure dose 30 t·ha⁻¹.

zmienności, charakteryzowała się pszenica orkisz. Należy jednak zaznaczyć, że nawożenie azotem oraz obornikiem zarówno pszenicy orkisz, jak i pszenicy zwyczajnej nie było czynnikiem stabilizującym plon ziarna oraz jego składowe. Największą zmiennością plonowania ($CV = 18,5\%$), liczby kłosów ($CV = 11,2\%$) oraz masy 1000 ziaren ($CV = 11,1\%$) charakteryzowała się pszenica orkisz zebrana z obiektów nawożonych dawką $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Natomiast dla pszenicy zwyczajnej największą zmienność plonu ziarna ($CV = 29,5\%$) oraz liczby kłosów ($CV = 14,5\%$) wykazano na obiektach nawożonych obornikiem w dawce $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Wyjątek stanowiła pszenica orkisz, dla której zastosowanie zarówno nawożenia azotem, jak i obornikiem było czynnikiem stabilizującym liczbę ziaren w kłosie. Natomiast liczbę kłosów pszenicy zwyczajnej stabilizowało tylko nawożenie azotem.

4.2.5. Udział komponentów plonowania w kształtowaniu plonu ziarna

Analiza związku plonu ziarna badanych podgatunków pszenicy z jego komponentami wykazała, że wielkość plonu ziarna pszenicy orkisz odmian ‘Badengold’, ‘Schwabenspelz’, ‘Zollernspelz’, ‘Badenkrone’ oraz pszenicy zwyczajnej ‘KWS Dakotana’ była najsilniej skorelowana z liczbą kłosów oraz masą tysiąca ziaren (tab. 34). Z kolei u pszenicy orkisz odmian ‘Schwabenkorn’ i ‘Badenstern’ zaobserwowano związek plonu ziarna tylko z liczbą kłosów na jednostce powierzchni, z tym że siła tego związku była większa u odmiany ‘Badenstern’ ($R = 0,954$). Natomiast dla pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ zaznaczył się wyraźny związek plonu ziarna z liczbą ziaren w kłosie oraz masą tysiąca ziaren. Ponadto można stwierdzić, że odmiana modyfikowała także zależności pomiędzy niektórymi cechami. Dla wszystkich odmian pszenicy orkisz z pierwszej serii badań oraz odmiany ‘Zollernspelz’ z serii drugiej stwierdzono istotną korelację pomiędzy liczbą kłosów a masą 1000 ziaren. Natomiast w obydwu seriach badań liczba kłosów pszenicy zwyczajnej była istotnie skorelowana z liczbą ziaren w kłosie ($R = 0,710$ oraz $R = 0,729$).

Analiza korelacji prostej wykazała, że największy wpływ na plon ziarna pszenicy orkisz w pierwszej serii badań, niezależnie od rodzaju zastosowanego nawożenia, miała masa 1000 ziaren (tab. 35). Siła tego związku była największa po zastosowaniu najniższej dawki azotu ($30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), obornika oraz na kontroli bez nawożenia ($R = 0,739 - 0,803$). Natomiast wielkość plonu ziarna pszenicy zwyczajnej nawożonej wyższymi dawkami azotu mineralnego (60 oraz $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) była najsilniej skorelowana z liczbą ziaren w kłosie oraz masą tysiąca ziaren. Z kolei plon ziarna pszenicy zwyczajnej nawożonej obornikiem był wyraźnie zależny od masy tysiąca ziaren. Należy jednak zaznaczyć, że siłę tych związków charakteryzowały niższe współczynniki korelacji ($R = 0,618 - 0,644$) niż te wykazane dla pszenicy orkisz.

Tabela 34. Współczynniki korelacji plonu ziarna i komponentów plonowania badanych pszenic w zależności od odmiany**Table 34.** Simple correlations coefficient for grain yield and yield components of tested wheat as a function of cultivar

Odmiana Cultivar	Zmienna Variable	Liczba kłosów na 1 m ² Spikes number per 1 m ²	Liczba ziaren w kłosie (szt.) Grain number in spike (pcs.)	Masa 1000 ziaren 1000 grain weight (g)	Plon ziarna Grain yield (dt·ha ⁻¹)
Seria I – Series I					
Badengold	2	0,339	1,000		
	3	0,891**	0,337	1,000	
	4	0,762**	–0,100	0,644**	1,000
Schwabenspelz	2	0,479*	1,000		
	3	0,621**	0,267	1,000	
	4	0,648**	0,167	0,846**	1,000
Schwabenkorn	2	0,378	1,000		
	3	0,581**	–0,015	1,000	
	4	0,522**	0,417*	0,355	1,000
Bogatka	2	0,710**	1,000		
	3	0,582**	0,599**	1,000	
	4	0,350	0,597**	0,775**	1,000
Seria II – Series II					
Zollernspelz	2	0,479*	1,000		
	3	0,629**	0,045	1,000	
	4	0,887**	0,434	0,768**	1,000
Badenstern	2	0,127	1,000		
	3	0,348	–0,348	1,000	
	4	0,954**	–0,062	0,450	1,000
Badenkrona	2	0,218	1,000		
	3	0,160	0,191	1,000	
	4	0,850**	0,097	0,547*	1,000
KWS Dakotana	2	0,729**	1,000		
	3	0,169	0,736**	1,000	
	4	0,765**	0,811**	0,418	1,000

Interpretacja współczynników korelacji w podrozdziale 2.4. *Istotność na poziomie 0,05. **Istotność na poziomie 0,01.

Interpretation of simple correlation coefficient in chapter 2.4. *Significant at 0.05. **Significant at 0.01.

Tabela 35. Współczynniki korelacji plonu ziarna i komponentów plonowania badanych pszenic w zależności od nawożenia (seria I)**Table 35.** Simple correlations coefficient for grain yield and yield components of tested wheat as a function of fertilization (Series I)

Nawożenie Fertilization	Zmienna Variable	Liczba kłosów na 1 m ² Spikes number per 1 m ²	Liczba ziaren w kłosie (szt.) Grain number in spike (pcs.)	Masa 1000 ziaren 1000 grain weight (g)	Plon ziarna Grain yield (dt·ha ⁻¹)
1	2	3	4	5	6
Pszenica orkisz – Spelt wheat					
0 kg N·ha ⁻¹	2	0,130	1,000		
	3	–0,441	–0,414	1,000	
	4	–0,568*	0,054	0,759**	1,000
30 kg N·ha ⁻¹	2	–0,334	1,000		
	3	–0,189	–0,484	1,000	
	4	–0,143	–0,385	0,803**	1,000
60 kg N·ha ⁻¹	2	–0,317	1,000		
	3	–0,186	–0,123	1,000	
	4	–0,546*	0,062	0,662**	1,000
90 kg N·ha ⁻¹	2	0,526*	1,000		
	3	–0,509*	–0,423	1,000	
	4	–0,443	–0,394	0,636**	1,000
Obornik Manure (15 t·ha ⁻¹)	2	0,225	1,000		
	3	–0,108	–0,302	1,000	
	4	–0,287	–0,447	0,784**	1,000
Obornik Manure (30 t·ha ⁻¹)	2	0,416	1,000		
	3	–0,359	–0,157	1,000	
	4	–0,276	–0,185	0,739**	1,000
Pszenica zwyczajna – Common wheat					
0 kg N·ha ⁻¹	2	0,400	1,000		
	3	0,239	0,566*	1,000	
	4	–0,185	–0,182	0,331	1,000
30 kg N·ha ⁻¹	2	–0,226	1,000		
	3	0,268	0,496	1,000	
	4	–0,154	0,288	0,364	1,000
60 kg N·ha ⁻¹	2	–0,025	1,000		
	3	0,225	0,508*	1,000	
	4	–0,056	0,612*	0,621*	1,000

Tabela 35 – cd. / Table 35 – cont.

1	2	3	4	5	6
90 kg N·ha ⁻¹	2	0,194	1,000		
	3	0,396	0,437	1,000	
	4	0,215	0,505*	0,576*	1,000
Obornik Manure (15 t·ha ⁻¹)	2	-0,058	1,000		
	3	0,398	0,180	1,000	
	4	0,119	0,302	0,644**	1,000
Obornik Manure (30 t·ha ⁻¹)	2	-0,333	1,000		
	3	0,291	0,343	1,000	
	4	-0,072	0,311	0,618*	1,000

Interpretacja współczynników korelacji w podrozdziale 2.4. *Istotność na poziomie 0,05. **Istotność na poziomie 0,01.

Interpretation of simple correlation coefficient in chapter 2.4. *Significant at 0.05. **Significant at 0.01.

W drugiej serii badań analiza związku plonu ziarna z jego komponentami w zależności od nawożenia wykazała, że zależności te zostały stwierdzone tylko dla pszenicy orkisz (tab. 36). Plon ziarna pszenicy orkisz na każdym ze stosowanych poziomów nawożenia azotem był najsilniej skorelowany z liczbą kłosów oraz MTZ. Z kolei po zastosowaniu obornika wystąpiła zależność plonu ziarna pszenicy orkisz tylko od liczby kłosów. Stwierdzono również, że nawożenie azotem pszenicy orkisz modyfikowało zależności pomiędzy niektórymi jej cechami. Szczególnie silny związek ($R = 0,651 - 0,878$) był widoczny między liczbą kłosów a masą 1000 ziaren.

Inną miarą statystyczną zastosowaną w celu określenia związku poszczególnych komponentów plonowania z wielkością plonu ziarna było wyliczenie równań regresji wielokrotnej (tab. 37, 38). Przedstawione w tabelach równania regresji wielokrotnej liniowej dla komponentów plonowania i plonu ziarna pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej obliczono odrębnie, z uwzględnieniem wpływu czynnika odmianowego oraz nawożenia. Na podstawie wyliczonych wartości współczynnika determinacji można przyjąć, że w wielu przypadkach nie udało się jednoznacznie potwierdzić istotnej zależności plonu ziarna od zmiennych niezależnych. Największe wartości współczynnika (51,5 – 89,1%) odnotowano w pierwszej serii badań, dla pszenicy orkisz odmiany ‘Schwabenkorn’. Zmiany plonu ziarna odmiany ‘Schwabenkorn’, uprawianej w warunkach nawożenia azotem na wszystkich ocenianych poziomach nawożenia, miały związek z liczbą ziaren w kłosie oraz MTZ. Natomiast w przypadku nawożenia tej odmiany obornikiem wystąpiła silna zależność plonu ziarna od liczby kłosów oraz masy 1000 ziaren.

Tabela 36. Współczynniki korelacji plonu ziarna i komponentów plonowania badanych pszenic w zależności od nawożenia (seria II)**Table 36.** Simple correlations coefficient for grain yield and yield components of tested wheat as a function of fertilization (Series II)

Nawożenie Fertilization	Zmienna Variable	Liczba kłosów na 1 m ² Spikes number per 1 m ²	Liczba ziaren w kłosie (szt.) Grain number in spike (pcs.)	Masa 1000 ziaren 1000 grain weight (g)	Plon ziarna Grain yield (dt·ha ⁻¹)
1	2	3	4	5	6
Pszenica orkisz – Spelt wheat					
0 kg N·ha ⁻¹	2	–0,726**	1,000		
	3	–0,027	–0,236	1,000	
	4	0,381	–0,502	0,504	1,000
30 kg N·ha ⁻¹	2	–0,718**	1,000		
	3	0,717**	–0,221	1,000	
	4	0,783**	–0,572	0,738**	1,000
60 kg N·ha ⁻¹	2	–0,523	1,000		
	3	0,651*	–0,146	1,000	
	4	0,616*	–0,109	0,885**	1,000
90 kg N·ha ⁻¹	2	–0,078	1,000		
	3	0,878**	–0,113	1,000	
	4	0,926**	–0,010	0,939**	1,000
Obornik Manure (15 t·ha ⁻¹)	2	–0,274	1,000		
	3	–0,250	–0,651*	1,000	
	4	0,699*	–0,574	0,258	1,000
Obornik Manure (30 t·ha ⁻¹)	2	–0,076	1,000		
	3	–0,147	–0,441	1,000	
	4	0,791**	–0,299	0,215	1,000
Pszenica zwyczajna – Common wheat					
0 kg N·ha ⁻¹	2	–0,123	1,000		
	3	–0,172	0,536	1,000	
	4	–0,249	–0,228	–0,488	1,000
30 kg N·ha ⁻¹	2	–0,259	1,000		
	3	–0,106	0,837**	1,000	
	4	–0,195	0,310	0,375	1,000
60 kg N·ha ⁻¹	2	0,289	1,000		
	3	0,416	0,452	1,000	
	4	0,333	0,468	0,433	1,000

Tabela 36 – cd. / Table 36 – cont.

1	2	3	4	5	6
90 kg N·ha ⁻¹	2	0,382	1,000		
	3	0,200	0,239	1,000	
	4	0,725**	0,557	0,513	1,000
Obornik Manure (15 t·ha ⁻¹)	2	0,256	1,000		
	3	-0,061	0,531	1,000	
	4	0,489	0,256	0,172	1,000
Obornik Manure (30 t·ha ⁻¹)	2	0,173	1,000		
	3	-0,346	0,511	1,000	
	4	0,473	0,375	0,334	1,000

Interpretacja współczynników korelacji w podrozdziale 2.4. *Istotność na poziomie 0,05. **Istotność na poziomie 0,01.

Interpretation of simple correlation coefficient in chapter 2.4. *Significant at 0.05. **Significant at 0.01.

Tabela 37. Równania regresji wielokrotnej liniowej dla komponentów plonowania i plonu ziarna badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)

Table 37. Multiple linear regression equations for yield components and grain yield of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana Cultivar	Nawożenie Fertilization	Równanie regresji Regression equation	Współczynnik determinacji Determination coefficient R ² (%)
1	2	3	4
Badengold	0 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,8176 + 0,7459 (Iz) + 0,2005 (mtz)$	38,8
	30 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,4436 + 0,6472 (Ik)$	32,9
	60 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,2291 + 0,4083 (Iz) + 0,7952 (mtz)$	15,9
	90 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,4467 + 0,5365 (Ik) + 0,1077 (mtz)$	25,4
	Obornik – Manure*	$y = -0,1390 + 0,7914 (Ik) - 0,1415 (mtz)$	56,7
	Obornik – Manure**	$y = -0,1340 - 0,5884 (Iz) + 0,4433 (mtz)$	54,4
Schwabenspelz	0 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,8449 + 0,4359 (Iz) + 0,1988 (mtz)$	66,8
	30 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,8308 + 0,2262 (mtz)$	48,6
	60 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,6544 + 0,3908 (Ik) + 0,1509 (mtz)$	37,6
	90 kg N·ha ⁻¹	$y = 0,7833 + 0,4666 (Ik)$	15,7
	Obornik – Manure*	$y = -0,4661 - 0,7088 (Iz) + 0,2109 (mtz)$	48,1
	Obornik – Manure**	$y = -0,1039 + 0,4885 (Iz) + 0,2194 (mtz)$	38,1
Schwabenkorn	0 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,4269 + 0,1363 (mtz)$	66,4
	30 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,1903 - 0,4661 (Iz) + 0,1249 (mtz)$	51,5

Tabela 37 – cd. / Table 37 – cont.

1	2	3	4
Bogatka	60 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,9228 + 0,2219 (Iz) + 0,2270 (mtz)$	85,9
	90 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,4775 - 0,4076 (Iz) + 0,1857 (mtz)$	76,1
	Obornik – Manure*	$y = -0,6166 + 0,8174 (Ik) + 0,9829 (mtz)$	89,1
	Obornik – Manure**	$y = -0,4247 + 0,2731 (Ik) + 0,1058 (mtz)$	65,2
	0 kg N·ha ⁻¹	$y = 0,5935 - 0,5835 (Iz) + 0,1145 (mtz)$	31,1
	30 kg N·ha ⁻¹	$y = 0,2820 - 0,4707 (Ik) + 0,8461 (mtz)$	20,1
	60 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,6759 + 0,1177 (Iz) + 0,1226 (mtz)$	50,3
	90 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,5071 + 0,5218 (Iz) + 0,1519 (mtz)$	41,1
	Obornik – Manure*	$y = -0,5884 + 0,2155 (mtz)$	41,4
	Obornik – Manure**	$y = -0,4731 - 0,2990 (Ik) + 0,2343 (mtz)$	45,2

*Dawka obornika 15 t·ha⁻¹. Iz – liczba ziaren w kłosie. **Dawka obornika 30 t·ha⁻¹. Ik – liczba kłosów na 1 m². mztz – masa 1000 ziaren.

*Manure dose 15 t·ha⁻¹. Iz – grain number in spike. **Manure dose 30 t·ha⁻¹. Ik – spikes number per 1 m². mztz – 1000 grain weight.

Tabela 38. Równania regresji wielokrotnej liniowej dla komponentów plonowania i plonu ziarna badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)

Table 38. Multiple linear regression equations for yield components and grain yield of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series II)

Odmiana Cultivar	Nawożenie Fertilization	Równanie regresji Regression equation	Współczynnik determinacji Determination coefficient R ² (%)
1	2	3	4
Zollernspelz	0 kg N·ha ⁻¹	$y = 0,1925 + 0,4058 (mtz)$	24,3
	30 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,3718 + 0,5121 (Iz) + 0,8573 (mtz)$	67,7
	60 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,2903 + 0,4714 (Ik) + 0,6945 (mtz)$	74,0
	90 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,2045 + 0,4883 (Ik) + 0,4930 (mtz)$	74,7
	Obornik – Manure*	$y = -0,6451 + 0,2950 (Ik) + 0,3489 (mtz)$	32,2
	Obornik – Manure**	$y = 0,5150 + 0,4395 (mtz)$	34,3
Badenstern	0 kg N·ha ⁻¹	$y = 0,4022 - 0,3905 (Iz)$	62,7
	30 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,9787 + 0,7583 (Ik)$	49,3
	60 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,3031 + 0,6772 (Ik) + 0,5007 (mtz)$	61,5
	90 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,1890 + 0,5521 (Ik) + 0,4045 (mtz)$	69,3
	Obornik – Manure*	$y = 0,2942 + 0,5319 (Ik)$	36,2
	Obornik – Manure**	$y = -0,9725 + 0,7474 (Ik)$	67,6

Tabela 38 – cd. / Table 38 – cont.

1	2	3	4
Badenkrone	0 kg N·ha ⁻¹	$y = 0,2984 + 0,1779 (lk) + 0,3177 (mtz)$	22,4
	30 kg N·ha ⁻¹	$y = 0,2509 - 0,3447 (lz) + 0,4270 (mtz)$	61,1
	60 kg N·ha ⁻¹	$y = 0,5258 + 0,5237 (mtz)$	35,9
	90 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,2115 + 0,4508 (lk) + 0,5585 (mtz)$	86,8
	Obornik – Manure*	$y = -0,1350 + 0,3605 (lk) + 0,4869 (mtz)$	29,7
	Obornik – Manure**	$y = -0,8274 + 0,5319 (lk)$	50,6
KWS Dakotana	0 kg N·ha ⁻¹	$y = 0,6172 - 0,3228 (lk) - 0,3887 (mtz)$	35,3
	30 kg N·ha ⁻¹	$y = 0,1590 + 0,7858 (mtz)$	14,1
	60 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,5804 + 0,5484 (lz) + 0,6972 (mtz)$	28,0
	90 kg N·ha ⁻¹	$y = -0,1621 + 0,2712 (lk) + 0,1302 (mtz)$	66,7
	Obornik – Manure*	$y = -0,3106 + 0,1010 (lk) + 0,6743 (mtz)$	28,0
	Obornik – Manure**	$y = -0,1207 + 0,1714 (lk) + 0,1751 (mtz)$	50,4

*Dawka obornika 15 t·ha⁻¹. lz – liczba ziaren w kłosie. **Dawka obornika 30 t·ha⁻¹. lk – liczba kłosów na 1 m². mtz – masa 1000 ziaren.

*Manure dose 15 t·ha⁻¹. lz – grain number in spike. **Manure dose 30 t·ha⁻¹. lk – spikes number per 1 m². mtz – 1000 grain weight.

W drugiej serii badań na uwagę zasługuje pszenica orkisz odmiany ‘Badenkrone’, nawożona dawką 90 kg N·ha⁻¹, dla której wysokie wartości współczynnika R² (86,8%) świadczą o silnej zależności plonu ziarna od liczby kłosów oraz MTZ (tab. 38). Z kolei nawożenie azotem pszenicy orkisz odmiany ‘Zollernspelz’ dawką 30 kg·ha⁻¹ prowadziło do wysokiej zależności plonu ziarna od liczby ziaren oraz masy tysiąca, a zwiększanie dawki azotu do 90 kg·ha⁻¹ spowodowało zależność plonu ziarna od liczby kłosów oraz MTZ. W obu seriach badań w niektórych z wyliczonych równań regresji wielokrotnej zmienne niezależne wystąpiły z ujemnym współczynnikiem regresji, czego nie należy odczytywać jako dowodu na ujemny wpływ tych zmiennych na wielkość plonu ziarna, a jedynie jako współzależność pomiędzy komponentami plonowania.

4.2.6. Wzrost i rozwój roślin pszenicy oraz architektura łanu

W obydwu seriach badań współczynnik krzewienia ogólnego pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej zmieniał się istotnie pod wpływem badanych czynników działających niezależnie od siebie (tab. 39). Współczynnik krzewienia ogólnego pszenicy orkisz był istotnie większy w porównaniu do krzewienia, jakim charakteryzowała się pszenica zwyczajna. W pierwszej serii badań do odmian pszenicy orkisz charakteryzujących się intensywniejszym krzewieniem należały

Tabela 39. Współczynnik krzewienia ogólnego roślin badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I i II)**Table 39.** Total tillering coefficient of tested wheat plants as a function of cultivar and fertilization (Series I and II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Seria I – Series I							
Badengold	2,01	2,33	2,36	2,52	2,45	2,41	2,35
Schwabenspelz	2,09	2,37	2,72	2,53	2,39	2,55	2,44
Schwabenkorn	2,27	2,46	2,82	2,60	2,31	2,70	2,53
Bogatka	1,67	1,66	1,70	1,76	1,69	1,83	1,72
Średnia – Mean	2,01	2,21	2,40	2,35	2,21	2,37	-
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,175 AxB = r.n. – n.s.						A = 0,150
Seria II – Series II							
Zollernspelz	2,24	2,44	2,59	2,41	2,41	3,07	2,53
Badenstern	2,26	2,70	2,69	2,74	2,69	2,67	2,63
Badenkrone	2,50	2,73	2,87	2,85	2,69	2,76	2,73
KWS Dakotana	1,69	1,92	2,01	2,22	1,85	2,02	1,95
Średnia – Mean	2,17	2,45	2,54	2,55	2,41	2,63	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,212 AxB = r.n. – n.s.						A = 0,157

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

‘Schwabenkorn’ i ‘Schwabenspelz’, natomiast w drugiej serii badań odmiany ‘Badenkrone’ oraz ‘Badenstern’. Pomimo braku istotnego wpływu współdziałania czynnika odmianowego z nawożeniem na rozkrzewienie ogólne w obydwu seriach badań wykazano tendencję roślin pszenicy zwyczajnej do intensywniejszego krzewienia po zastosowaniu najwyższej dawki azotu (90 kg·ha⁻¹) oraz wyższej dawki obornika (30 t·ha⁻¹). Natomiast w przypadku pszenicy orkisz reakcja poszczególnych odmian na rodzaj zastosowanego nawożenia była różna i determinowana głównie czynnikiem odmianowym.

Dla obydwu serii badań wykazano, że współczynnik krzewienia produkcyjnego pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej zmieniał się istotnie pod wpływem odmiany i nawożenia (tab. 40). Nie udowodniono natomiast istotnego współdziałania

Tabela 40. Współczynnik krzewienia produkcyjnego roślin badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I i II)**Table 40.** Productive tillering coefficient of tested wheat plants as a function of cultivar and fertilization (Series I and II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Seria I – Series I							
Badengold	1,47	1,79	2,10	2,01	2,01	2,05	1,91
Schwabenspelz	1,55	2,01	2,17	2,08	1,83	1,94	1,93
Schwabenkorn	1,40	1,77	1,94	1,94	1,75	1,79	1,76
Bogatka	1,08	1,35	1,45	1,58	1,28	1,48	1,37
Średnia – Mean	1,37	1,73	1,92	1,90	1,72	1,82	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,082 AxB = r.n. – n.s.						A = 0,074
Seria II – Series II							
Zollernspelz	1,50	1,72	1,92	1,94	1,88	2,16	1,85
Badenstern	1,68	2,08	2,26	2,31	1,97	2,08	2,06
Badenkrone	1,62	2,25	2,17	2,25	2,24	2,35	2,15
KWS Dakotana	1,02	1,31	1,46	1,66	1,48	1,58	1,42
Średnia – Mean	1,46	1,84	1,96	2,04	1,89	2,04	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,114 AxB = r.n. – n.s.						A = 0,092

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

badanych czynników na kształtowanie się wartości tej cechy. Podobnie jak w przypadku krzewienia ogólnego, współczynnik krzewienia produkcyjnego w obydwu seriach badań był istotnie najniższy dla pszenicy zwyczajnej. Wśród odmian pszenicy orkisz w pierwszej serii badań istotnie najniższym rozkrzewieniem produkcyjnym charakteryzowała się odmiana ‘Schwabenkorn’, natomiast z drugiej serii odmiana ‘Zollernspelz’. W pierwszej serii badań odmiany pszenicy orkisz wykazywały tendencję do silniejszego krzewienia produkcyjnego na obiektach nawożonych azotem w dawce 60 kg·ha⁻¹, natomiast pszenica zwyczajna po zastosowaniu 90 kg N·ha⁻¹. Z kolei w drugiej serii badań dla wszystkich badanych odmian najwyższe wartości współczynnika krzewienia produkcyjnego wykazano po zastosowaniu najwyższej dawki azotu. Należy jednak zaznaczyć, że zależności

tej nie potwierdzono statystycznie. Ponadto w obydwu seriach badań zauważono tendencję do silniejszego krzewienia produkcyjnego roślin pszenicy po zastosowaniu obornika w dawce $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, w porównaniu z dawką o połowę niższą.

Liczba niedogonów pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej w pierwszej serii badań zmieniała się istotnie pod wpływem czynnika nawozowego oraz współdziałania odmiany z nawożeniem (tab. 41). Zastosowanie nawożenia azotem w dawce $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ u wszystkich badanych odmian spowodowało uzyskanie najniższej liczby niedogonów na jednostce powierzchni. Należy jednak zaznaczyć, że dla pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ była to istotnie najniższa wartość, natomiast dla wszystkich odmian pszenicy orkisz nie udowodniono statystycznych różnic w wartościach tej cechy pomiędzy obiektami nawożonymi dawką 60 i $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Z kolei w przypadku nawożenia obornikiem zastosowanie $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ istotnie obniżało liczbę niedogonów pszenicy na jednostce powierzchni. Wyjątek stanowiła odmiana pszenicy orkisz ‘Badengold’, która w obydwu wariantach nawożenia obornikiem tworzyła podobną liczbę niedogonów.

W drugiej serii badań istotne różnicowanie liczby niedogonów na jednostce powierzchni miało miejsce pod wpływem nawożenia oraz współdziałania badanych czynników (tab. 42). Podobnie jak w pierwszej serii badań, wraz ze wzrostem stosowanej dawki azotu do $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ następowało istotne ograniczanie liczby niedogonów pszenicy. Wyjątek stanowiły odmiany pszenicy orkisz ‘Zollernspelz’ oraz ‘Badenstern’, w przypadku których najwyższa stosowana dawka

Tabela 41. Liczba niedogonów ($\text{szt} \cdot \text{m}^{-2}$) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)

Table 41. Number of fusel oils ($\text{pcs} \cdot \text{m}^{-2}$) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Badengold	72,7	57,0	50,0	47,1	43,7	43,6	52,4
Schwabenspelz	67,1	55,9	46,6	44,9	54,2	47,0	52,6
Schwabenkorn	63,2	55,0	45,4	45,0	51,2	45,2	50,8
Bogatka	69,2	54,9	48,2	38,4	52,0	45,0	51,3
Średnia – Mean	68,0	55,7	47,5	43,8	50,3	45,2	–
NIR _(0,05)	B = 2,40						A = r.n. – n.s.
LSD _(0,05)	AxB = 4,80						

r.n. – różnice nieistotne.
n.s. – not significant differences.

Tabela 42. Liczba niedogonów (szt. $\cdot$ m⁻²) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)**Table 42.** Number of fusel oils (pcs. $\cdot$ m⁻²) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	Obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	Obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Zollernspelz	88,6	77,7	68,3	66,6	69,0	57,5	71,3
Badenstern	83,8	76,1	66,1	65,7	75,7	64,2	71,9
Badenkrona	92,4	79,7	69,9	63,3	70,9	59,6	72,6
KWS Dakotana	99,9	81,3	71,0	61,0	68,5	59,0	73,5
Średnia – Mean	91,2	78,7	68,8	64,2	71,0	60,1	–
NIR _(0,05)	B = 2,79						A = r.n. – n.s.
LSD _(0,05)	AxB = 5,58						

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

azotu (90 kg·ha⁻¹) tylko nieznacznie zmniejszyła liczbę niedogonów w porównaniu z dawką 60 kg N·ha⁻¹. Reakcja wszystkich badanych odmian na nawożenie obornikiem była podobna. Zastosowanie obornika w dawce 30 t·ha⁻¹ sprzyjało istotnemu obniżeniu liczby niedogonów w porównaniu z wariantem, w którym stosowano 15 t·ha⁻¹ obornika.

Uzyskane wyniki badań w pierwszej serii wskazują na istotny wpływ analizowanych czynników oraz ich współdziałania na wartość wskaźnika powierzchni liści LAI (tab. 43). Istotnie najniższą wartością LAI charakteryzowała się pszenica zwyczajna odmiany ‘Bogatka’. Natomiast odmiany pszenicy orkisz nie różniły się między sobą istotnie pod względem wartości tej cechy. Stosowanie nawożenia azotem u wszystkich odmian istotnie zwiększało wielkość wskaźnika LAI w porównaniu z obiektem bez azotu. Wraz ze wzrostem dawki azotu mineralnego do 60 kg·ha⁻¹ następowało istotne zwiększenie powierzchni asymilacyjnej liści pszenicy zwyczajnej i pszenicy orkisz, natomiast dalsze zwiększenie dawki azotu o 30 kg·ha⁻¹ spowodowało wzrost wskaźnika LAI jedynie w przypadku odmiany ‘Bogatka’. Reakcja badanych odmian pszenicy na nawożenie obornikiem była podobna, a zastosowanie dawki 30 t·ha⁻¹ istotnie zwiększało powierzchnię asymilacyjną liści pszenicy zwyczajnej. Natomiast dla żadnej z odmian orkisz nie wykazano istotnego zróżnicowania w wartościach tej cechy między poziomami nawożenia obornikiem.

W drugiej serii badań indeks powierzchni liści (LAI) pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej zmieniał się istotnie pod wpływem czynnika odmianowego oraz

Tabela 43. Indeks powierzchni liści (LAI) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)**Table 43.** Leaf area index (LAI) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N-ha ⁻¹	30 kg N-ha ⁻¹	60 kg N-ha ⁻¹	90 kg N-ha ⁻¹	obornik manure (15 t-ha ⁻¹)	obornik manure (30 t-ha ⁻¹)	
Badengold	1,5	2,3	2,6	2,7	1,9	2,1	2,2
Schwabenspelz	1,6	2,3	2,9	2,8	2,1	2,2	2,3
Schwabenkorn	1,8	2,4	2,8	2,6	2,0	2,2	2,3
Bogatka	1,1	1,5	1,8	2,1	1,5	1,8	1,6
Średnia – Mean	1,5	2,1	2,5	2,5	1,9	2,1	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,13 AxB = 0,26						A = 0,22

nawożenia (tab. 44). Spośród odmian orkiszu istotnie najmniejszą powierzchnią asymilacyjną liści charakteryzowała się odmiana ‘Zollernspelz’ (2,4 jednostki LAI). Natomiast najkorzystniej pod względem wartości tej cechy wypadła pszenica orkisz odmiany ‘Badenstern’. Pomimo braku potwierdzonego statystycznie

Tabela 44. Indeks powierzchni liści (LAI) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)**Table 44.** Leaf area index (LAI) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N-ha ⁻¹	30 kg N-ha ⁻¹	60 kg N-ha ⁻¹	90 kg N-ha ⁻¹	obornik manure (15 t-ha ⁻¹)	obornik manure (30 t-ha ⁻¹)	
Zollernspelz	1,7	2,6	2,8	2,5	2,3	2,3	2,4
Badenstern	2,2	3,1	3,3	3,3	2,6	2,9	2,9
Badenkrone	2,2	2,6	2,9	2,9	2,5	2,6	2,6
KWS Dakotana	2,0	2,5	2,6	2,8	2,4	2,6	2,5
Średnia – Mean	2,0	2,7	2,9	2,9	2,5	2,6	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,14 AxB = r.n. – n.s.						A = 0,20

r.n. – różnice nieistotne.
n.s. – not significant differences.

współdziałania czynników doświadczalnych wykazano pewne zależności mające charakter tendencji. Dla wszystkich badanych odmian pszenicy zastosowanie nawożenia prowadziło do zwiększenia powierzchni asymilacyjnej łanu w porównaniu do obiektu kontrolnego. Dla pszenicy zwyczajnej ‘KWS Dakotana’, najwyższe wartości tej cechy stwierdzono na obiektach po zastosowaniu 90 kg N·ha⁻¹, a dla pszenicy orkisz odmiany ‘Zollernspelz’ 60 kg N·ha⁻¹. Zastosowanie obornika w dawce 30 t·ha⁻¹ nieznacznie zwiększyło indeks LAI w łanie pszenicy zwyczajnej oraz pszenicy orkisz odmiany ‘Badenstern’ oraz ‘Badenkrone’ w porównaniu z dawką 15 t·ha⁻¹. Z kolei odmiana ‘Zollernspelz’ w obydwu wariantach nawożenia obornikiem miała taką samą wartość tej cechy.

W obydwu seriach badań wysokość roślin istotnie zależała od odmiany oraz nawożenia (tab. 45). W warunkach prowadzonych badań rośliny pszenicy

Tabela 45. Wysokość roślin (cm) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I i II)

Table 45. Plant height (cm) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I and II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Seria I – Series I							
Badengold	82,9	89,3	94,7	91,1	88,8	91,7	89,7
Schwabenspelz	81,9	89,3	94,9	92,3	88,3	90,1	89,5
Schwabenkorn	88,9	99,6	105,3	104,6	97,6	98,7	99,1
Bogatka	64,5	72,3	75,1	75,0	71,5	72,7	71,8
Średnia – Mean	79,6	87,6	92,5	90,7	86,5	88,3	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 2,29 AxB = r.n. – n.s.						A = 3,50
Seria II – Series II							
Zollernspelz	80,7	87,3	88,8	88,0	84,8	86,9	86,1
Badenstern	87,6	94,2	97,3	96,6	92,9	92,6	93,5
Badenkrone	81,6	86,1	88,1	87,6	86,0	89,2	86,4
KWS Dakotana	62,7	66,9	70,9	69,3	67,8	71,6	68,2
Średnia – Mean	78,2	83,6	86,3	85,4	82,9	85,1	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 2,04 AxB = r.n. – n.s.						A = 2,51

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

zwyczajnej były istotnie niższe niż pszenicy orkisz, a różnica wysokości roślin w pierwszej serii badań wahała się od 17,7 do 27,3 cm, a w drugiej od 17,9 do 25,3 cm. Odmianami pszenicy orkisz charakteryzującymi się istotnie najwyższymi roślinami była ‘Schwabenkorn’ (99,1 cm) z pierwszej serii badań oraz ‘Badenstern’ (93,5 cm) z serii drugiej. Pomimo braku potwierdzonego statystycznie współdziałania badanych czynników zauważono, że rośliny pszenicy orkisz nawożone dawką 60 kg N·ha⁻¹ charakteryzowały się większą wysokością, natomiast zwiększenie dawki do 90 kg N·ha⁻¹ spowodowało spadek wartości tej cechy. Wyjątek stanowiła odmiana pszenicy orkisz ‘Zollernspelz’ oraz obydwie odmiany pszenicy zwyczajnej, dla których zróżnicowanie w wartościach tej cechy nie wystąpiło pomiędzy dawkami 60 a 90 kg N·ha⁻¹. Z kolei nawożenie obornikiem w dawce 30 t·ha⁻¹, w obydwu seriach badań, sprzyjało uzyskaniu wyższych roślin pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej. Odminną reakcję stwierdzono tylko dla odmiany ‘Badenstern’ z drugiej serii badań, dla której zróżnicowanie dawki obornika nie powodowało wzrostu wysokości roślin.

Wyleganie roślin pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej w pierwszej serii badań zmieniało się istotnie pod wpływem badanych czynników (tab. 46). Rośliny pszenicy orkisz odmiany ‘Schwabenkorn’ charakteryzowały się istotnie największą podatnością na wyleganie. Natomiast najkorzystniej pod tym względem wypadła pszenica zwyczajna odmiany ‘Bogatka’, o krótkim i sztywnym źdźble. Nawożenie pszenicy orkisz azotem sprzyjało wyleganiu roślin, co było najbardziej widoczne w odniesieniu do odmiany ‘Schwabenkorn’. Na obiektach, gdzie zastosowano dawkę 90 kg N·ha⁻¹, wyleganie roślin w przypadku odmian ‘Badengold’ i ‘Schwabenspelz’ było największe. Natomiast wyleganie pszenicy zwyczajnej

Tabela 46. Wyleganie roślin (1°–9°) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)

Table 46. Lodging (1°–9°) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Badengold	8,9	8,6	7,6	7,4	8,8	8,7	8,3
Schwabenspelz	8,9	8,7	8,5	8,0	8,8	8,8	8,6
Schwabenkorn	7,0	6,1	5,3	5,3	7,8	7,4	6,5
Bogatka	9,0	9,0	9,0	8,9	9,0	9,0	9,0
Średnia – Mean	8,5	8,1	7,6	7,4	8,6	8,5	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,25 AxB = 0,51						A = 0,29

Tabela 47. Wyleganie roślin (1–9°) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)**Table 47.** Lodging (1–9°) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Zollernspelz	8,9	8,8	8,6	8,5	8,9	8,8	8,7
Badenstern	8,7	8,6	8,6	8,3	8,7	8,6	8,6
Badenkrone	7,6	7,6	7,5	7,3	7,4	7,3	7,5
KWS Dakotana	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Średnia – Mean	8,6	8,5	8,4	8,3	8,5	8,4	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,09 Ax B = 0,18						A = 0,21

odmiany ‘Bogatka’ nie ulegało istotnym zmianom pod wpływem zastosowanych rodzajów nawożenia. Wyleganie roślin pszenicy orkisz pod wpływem stosowania obornika nie ulegało większym zmianom i dawka tego nawozu nie różnicowała istotnie wartości tej cechy. Wyjątek stanowiła odmiana ‘Schwabenkorn’, u której wniesienie połowy dawki obornika powodowało istotne ograniczenie wylegania roślin w porównaniu z obiektem kontrolnym i obiektami, gdzie stosowano nawożenie mineralne.

W drugiej serii badań pszenica zwyczajna ‘KWS Dakotana’ w porównaniu z pszenicą orkisz charakteryzowała się wyższą tolerancją na wyleganie, przy czym cecha ta we wszystkich wariantach nawożenia osiągała tę samą wartość (tab. 47). Spośród odmian pszenicy orkisz najbardziej podatne na wyleganie były rośliny odmiany ‘Badenkrone’. W przypadku tej odmiany zastosowanie dawki 90 kg N·ha⁻¹ oraz obornika, w porównaniu do obiektu kontrolnego, powodowało istotny wzrost wylegania roślin. Reakcja pozostałych odmian pszenicy orkisz na nawożenie była podobna i zastosowanie azotu w dawce 90 kg·ha⁻¹ w odniesieniu do obiektu kontrolnego powodowało istotny wzrost wylegania roślin. Ponadto odmiany ‘Zollernspelz’ oraz ‘Badenstern’ nie reagowały zwiększeniem wylegania pod wpływem stosowania obornika.

4.2.7. Pomiary biometryczne kłosów

W obu seriach badań kłosa pszenicy zwyczajnej były istotnie krótsze – o 2,0–5,1 cm od kłosów pszenicy orkisz (tab. 48). Wśród odmian pszenicy orkisz najdłuższym kłosem w pierwszej serii badań charakteryzowała się odmiana ‘Schwabenspelz’

Tabela 48. Długość kłosów (cm) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I i II)**Table 48.** Length (cm) of ears of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I and II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik Manure (30 t·ha ⁻¹)	
Seria I – Series I							
Badengold	8,9	9,7	10,2	9,8	9,8	10,2	9,8
Schwabenspelz	10,0	11,1	11,6	11,3	10,4	10,7	10,8
Schwabenkorn	8,7	9,6	9,7	9,5	9,3	9,3	9,4
Bogatka	6,7	7,6	7,9	7,6	7,3	7,5	7,4
Średnia – Mean	8,6	9,5	9,9	9,5	9,2	9,4	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,27 AxB = r.n. – n.s.						A = 0,44
Seria II – Series II							
Zollernspelz	11,0	12,4	12,4	13,1	12,0	12,4	12,2
Badenstern	11,9	12,7	13,9	13,5	12,8	12,8	12,9
Badenkrone	10,9	12,2	12,6	12,4	12,0	12,2	12,0
KWS Dakotana	7,4	7,8	7,8	8,0	7,7	7,8	7,8
Średnia – Mean	10,3	11,3	11,7	11,8	11,1	11,3	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,34 AxB = r.n. – n.s.						A = 0,31

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

(10,8 cm), a w drugiej Badenstern (12,9 cm). Zastosowane w doświadczeniach nawożenie mineralne azotem, jak również obornikiem, istotnie zwiększało długość kłosa badanych podgatunków pszenic. Niezależnie od odmiany w pierwszej serii badań najdłuższe kłosa stwierdzono w obiekcie z nawożeniem azotowym w dawce 60 kg N·ha⁻¹ (9,9 cm), natomiast w drugiej serii w obiekcie z najwyższą dawką azotu (11,8 cm).

Istotny wpływ na zbitość kłosów pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej w omawianych seriach badań miał czynnik odmianowy oraz nawożenie, działające niezależnie od siebie (tab. 49). W obydwu seriach badań kłosa pszenicy zwyczajnej charakteryzowały się istotnie większą zbitością niż kłosa pszenicy orkisz. W pierwszej serii badań zbitość kłosów pszenicy orkisz w zależności od odmiany

Tabela 49. Zbiżość kłosów badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I i II)**Table 49.** Compactness of ears of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I and II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Seria I – Series I							
Badengold	17,0	20,3	20,9	21,6	20,6	22,4	20,5
Schwabenspelz	16,8	18,0	19,5	19,6	19,1	21,5	19,1
Schwabenkorn	18,3	20,7	22,7	21,9	19,9	21,6	20,9
Bogatka	22,6	24,9	25,6	28,2	26,5	25,7	25,6
Średnia – Mean	18,7	21,0	22,2	22,8	21,5	22,8	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 1,16 AxB = r.n. – n.s.						A = 1,75
Seria II – Series II							
Zollernspelz	14,8	16,9	19,7	20,9	17,5	19,0	18,1
Badenstern	15,1	17,3	19,2	17,1	18,0	19,6	17,7
Badenkrone	16,1	18,7	19,0	19,3	18,4	19,5	18,5
KWS Dakotana	23,1	26,8	28,8	27,7	28,8	31,4	27,7
Średnia – Mean	17,3	19,9	21,7	21,2	20,7	22,4	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 1,27 AxB = r.n. – n.s.						A = 0,64

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

wahała się od 19,1 do 20,9, a w drugiej serii była dużo mniejsza i mieściła się w przedziale od 17,7 do 18,5. Niezależnie od odmiany pszenicy, wszystkie zastosowane warianty nawożenia w obydwu seriach badań, istotnie korzystnie wpłynęły na zbiżość kłosów. Warto zaznaczyć, że w pierwszej serii badań wartość tej cechy była największa w obiekcie z nawożeniem azotowym w dawce 90 kg·ha⁻¹, a także po zastosowaniu obornika w dawce 30 t·ha⁻¹. Natomiast w drugiej serii badań największą zbiżość kłosa stwierdzono po zastosowaniu wyższej dawki obornika.

Odmiana oraz nawożenie istotnie różnicowały liczbę kłosek w kłosach obu pszenic (tab. 50). W pierwszej serii badań istotnie najniższą liczbę kłosek w kłosie wytworzyła odmiana pszenicy orkisz ‘Schwabenkorn’ oraz pszenica zwyczajna odmiany ‘Bogatka’. Natomiast w drugiej serii najmniejsza liczba kłosek

Tabela 50. Liczba kłosków w kłosie (szt.) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I i II)**Table 50.** Number of spikelets in ears (pcs.) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I and II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Seria I – Series I							
Badengold	15,1	18,8	20,2	20,4	18,7	20,9	19,0
Schwabenspelz	16,7	18,7	19,9	20,5	19,1	20,8	19,3
Schwabenkorn	15,8	18,1	19,6	19,2	17,2	18,2	18,0
Bogatka	14,5	17,1	18,5	19,6	18,3	18,8	17,8
Średnia – Mean	15,5	18,2	19,6	19,9	18,3	19,7	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,72 AxB = r.n. – n.s.						A = 0,96
Seria II – Series II							
Zollernspelz	16,9	19,5	22,0	22,5	19,6	21,6	20,3
Badenstern	18,9	21,2	24,1	21,4	21,9	23,0	21,8
Badenkrone	18,1	20,7	21,6	21,8	20,2	21,7	20,7
KWS Dakotana	16,3	18,5	20,8	20,4	19,6	22,2	19,6
Średnia – Mean	17,5	20,0	22,1	21,5	20,3	22,1	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,98 AxB = r.n. – n.s.						A = 0,79

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

w kłosie charakteryzowała odmianę pszenicy orkisz ‘Zollernspelz’ oraz pszenicę zwyczajną odmiany ‘KWS Dakotana’. Należy również zaznaczyć, że kłosy odmian pszenicy orkisz z pierwszej serii badań charakteryzowały się mniejszą liczbą kłosków w kłosie niż odmian z serii drugiej. Niezależnie od podgatunku pszenicy w obydwu seriach badań liczba kłosków w kłosie istotnie rosła pod wpływem analizowanych rodzajów nawożenia. Istotnie najwyższe wartości tej cechy, w porównaniu do obiektu kontrolnego, zaobserwowano na obiektach nawożonych dawką 60 kg N·ha⁻¹ i 90 kg N·ha⁻¹ oraz obornikiem w ilości 30 t·ha⁻¹.

Liczba kłosków 1-ziarnowych w obu seriach doświadczeń zmieniała się istotnie w kłosach badanych podgatunków pszenicy tylko pod wpływem odmiany (tab. 51). Kłosy pszenicy zwyczajnej charakteryzowały się istotnie niższą liczbą

Tabela 51. Liczba kłosków 1-ziarnowych (szt.) w kłosach badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I i II)**Table 51.** Number of one-grain spikelets in ears (pcs.) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I and II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Seria I – Series I							
Badengold	3,4	4,0	3,5	3,9	4,0	3,8	3,8
Schwabenspelz	3,1	3,1	3,4	3,4	3,7	3,6	3,4
Schwabenkorn	3,3	4,5	3,8	4,2	3,8	3,8	3,9
Bogatka	2,2	2,1	2,8	2,5	3,3	2,1	2,5
Średnia – Mean	3,0	3,4	3,4	3,5	3,7	3,4	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = r.n. – n.s. AxB = r.n. – n.s.						A = 0,50
Seria II – Series II							
Zollernspelz	3,3	3,6	3,5	3,4	3,8	3,6	3,5
Badenstern	3,4	3,3	3,7	3,8	3,9	3,8	3,7
Badenkrone	2,5	3,1	2,5	3,4	3,0	3,1	2,9
KWS Dakotana	1,5	1,7	1,7	1,8	1,4	3,5	1,9
Średnia – Mean	2,7	2,9	2,9	3,1	3,0	3,5	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = r.n. – n.s. AxB = r.n. – n.s.						A = 0,58

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

kłosków 1-ziarnowych, w porównaniu do odmian pszenicy orkisz. U odmian pszenicy orkisz w pierwszej serii badań liczba kłosków 1-ziarnowych wahała się od 3,4 do 3,9 szt. i w przypadku odmian ‘Badengold’ i ‘Schwabenkorn’ nie zaobserwowano istotnych różnic w wartościach tej cechy. Z kolei w serii drugiej, w grupie odmian o istotnie najwyższej liczbie kłosków 1-ziarnowych znalazły się odmiany ‘Badenstern’ i ‘Zollernspelz’.

Analiza statystyczna wyników badań wykazała, że w drugiej serii badań tylko odmiana różnicowała liczbę kłosków 2-ziarnowych w kłosach badanych pszenic (tab. 52). Z kolei w serii pierwszej były to odmiana i nawożenie działające niezależnie od siebie. Istotnie najniższe wartości tej cechy w obu seriach badań wykazano dla pszenicy zwyczajnej. Natomiast kłosy pszenicy orkisz w pierwszej

Tabela 52. Liczba kłosek 2-ziarnowych (szt.) w kłosach badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I i II)**Table 52.** Number of two-grain spikelets in ears (pcs.) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I and II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Seria I – Series I							
Badengold	6,0	7,8	7,7	7,3	7,6	7,5	7,3
Schwabenspelz	7,4	8,6	7,7	8,0	8,0	8,5	8,0
Schwabenkorn	8,3	8,4	9,6	8,6	8,1	8,0	8,5
Bogatka	5,0	6,0	5,7	5,8	6,2	5,2	5,6
Średnia – Mean	6,7	7,7	7,7	7,4	7,5	7,3	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,51 AxB = r.n. – n.s.						A = 0,73
Seria II – Series II							
Zollernspelz	9,2	10,9	11,4	11,7	10,9	10,8	10,8
Badenstern	8,8	9,7	10,6	9,8	10,5	10,1	9,9
Badenkrone	10,1	9,7	8,7	10,2	10,5	11,3	10,1
KWS Dakotana	5,5	4,9	7,0	5,1	5,4	5,5	5,6
Średnia – Mean	8,4	8,8	9,4	9,2	9,3	9,4	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = r.n. – n.s. AxB = r.n. – n.s.						A = 0,72

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

serii badań wykształciły 30,3–51,8% więcej kłosek 2-ziarnowych niż pszenica zwyczajna, a w serii drugiej 76,8–92,8%. Ponadto w drugiej serii badań wśród odmian pszenicy orkisz istotnie największą liczbą kłosek 2-ziarnowych charakteryzowała się odmiana ‘Zollernspelz’, a istotnie najmniejszą odmiana ‘Badenstern’.

W obu seriach doświadczeń odmiana oraz nawożenie działające niezależnie od siebie wywarły istotny wpływ na liczbę kłosek 3-ziarnowych (tab. 53) w kłosach pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej. Odmianami pszenicy orkisz, których kłosy charakteryzowały się istotnie najniższą liczbą kłosek 3-ziarnowych były: ‘Schwabenkorn’ z serii pierwszej oraz ‘Zollernspelz’ z serii drugiej. Należy zaznaczyć, że liczba kłosek 3-ziarnowych w kłosach pszenicy zwyczajnej w obu seriach badań była porównywalna z wartościami, jakie stwierdzono dla pszenicy orkisz

Tabela 53. Liczba kłosków 3-ziarnowych (szt.) w kłosach badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I i II)**Table 53.** Number of three-grain spikelet in ears (pcs.) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I and II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Seria I – Series I							
Badengold	4,7	6,1	6,8	7,2	6,1	7,3	6,4
Schwabenspelz	5,9	6,8	7,9	8,4	6,9	7,5	7,2
Schwabenkorn	4,1	4,8	5,1	6,0	4,8	5,7	5,1
Bogatka	5,8	6,4	6,4	7,3	6,0	7,8	6,6
Średnia – Mean	5,1	6,0	6,5	7,2	6,0	7,1	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,40 AxB = r.n. – n.s.						A = 0,72
Seria II – Series II							
Zollernspelz	4,4	5,0	6,4	6,0	4,8	5,4	5,3
Badenstern	6,4	7,5	9,6	7,2	7,3	8,4	7,7
Badenkrone	5,1	6,6	8,7	6,7	6,3	6,9	6,7
KWS Dakotana	5,9	6,6	6,9	7,1	6,9	7,4	6,8
Średnia – Mean	5,4	6,4	7,9	6,8	6,3	7,0	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,81 AxB = r.n. – n.s.						A = 0,68

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

odmiany ‘Badengold’ w serii pierwszej oraz ‘Badenkrone’ w serii drugiej. W drugiej serii badań wyróżniała się odmiana ‘Badenstern’, której kłosy wytworzyły istotnie najwięcej kłosków 3-ziarnowych. W obu seriach nawożenie azotem oraz obornikiem powodowało istotne zwiększenie liczby kłosków 3-ziarnowych w kłosach. W porównaniu z obiektem kontrolnym w pierwszej serii nieistotnie więcej kłosków 3-ziarnowych wystąpiło w kłosach na kombinacjach nawożonych 90 kg N·ha⁻¹, natomiast w serii drugiej po zastosowaniu 60 kg N·ha⁻¹. Z kolei w przypadku nawożenia obornikiem korzystniejsza okazała się wyższa dawka, wynosząca 30 t·ha⁻¹.

W serii pierwszej kłosy pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ charakteryzowały się istotnie największą liczbą kłosków 4-ziarnowych (tab. 54). Z kolei wśród odmian pszenicy orkisz najlepiej pod względem wartości tej cechy wypadła

Tabela 54. Liczba kłosek 4-ziarnowych (szt.) w kłosach badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I i II)**Table 54.** Number of four-grain spikelet in ears (pcs.) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I and II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Seria I – Series I							
Badengold	0,9	0,7	2,1	2,0	1,0	2,1	1,5
Schwabenspelz	0,3	0,2	0,9	0,6	0,5	1,0	0,6
Schwabenkorn	0,1	0,3	1,1	0,4	0,2	0,5	0,4
Bogatka	1,4	2,5	3,5	3,9	2,7	3,6	2,9
Średnia – Mean	0,7	0,9	1,9	1,7	1,1	1,8	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,29 AxB = 0,59						A = 0,33
Seria II – Series II							
Zollernspelz	0,0	0,0	0,7	1,3	0,0	1,8	0,6
Badensern	0,3	0,6	0,2	0,5	0,2	0,7	0,4
Badenkrone	0,4	1,2	1,6	1,4	0,4	0,4	0,9
KWS Dakotana	3,5	5,2	5,2	6,4	5,9	5,7	5,3
Średnia – Mean	1,1	1,8	1,9	2,4	1,6	2,2	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,60 AxB = r.n. – n.s.						A = 0,70

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

odmiana ‘Badengold’ o istotnie największej liczbie kłosek 4-ziarnowych. Nawożenie odmian pszenicy orkisz ‘Badengold’ oraz ‘Schwabenspelz’ dawką 60 kg N·ha⁻¹ sprzyjało tworzeniu większej liczby kłosek 4-ziarnowych, a zastosowanie ww. dawki w uprawie odmiany ‘Schwabenkorn’ prowadziło do uzyskania istotnie najwyższych wartości tej cechy. W uprawie pszenicy zwyczajnej, największą liczbą kłosek 4-ziarnowych charakteryzowały się kłosy zabrane z obiektów nawożonych 90 kg N·ha⁻¹. Nie wykazano jednak istotnego zróżnicowania w wartościach tej cechy pomiędzy dawkami 60 a 90 kg N·ha⁻¹. Natomiast nawożenie pszenicy orkisz odmiany ‘Badengold’ oraz pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ obornikiem w ilości 30 t·ha⁻¹ sprzyjało tworzeniu istotnie większej liczby kłosek 4-ziarnowych w porównaniu do obiektów nawożonych niższą dawką.

Z kolei zróżnicowanie dawki obornika w uprawie odmian ‘Schwabenspelz’ oraz ‘Schwabenkorn’ nie powodowało istotnych różnic w wartościach tej cechy. W drugiej serii badań (tab. 53) istotnie najwyższymi wartościami tej cechy charakteryzowały się kłosa pszenicy zwyczajnej (5,3 szt.). Jednocześnie nie stwierdzono istotnych różnic w wartościach tej cechy pomiędzy odmianami pszenicy orkisz. Niezależnie od odmiany pszenicy zarówno nawożenie azotem, jak i wprowadzenie do gleby obornika istotnie zwiększyło liczbę kłosków 4-ziarnowych w porównaniu z obiektem kontrolnym. Najlepszy efekt dało zastosowanie 90 kg N·ha⁻¹ lub obornika w dawce 30 t·ha⁻¹.

4.2.8. Skład chemiczny ziarna pszenicy

W pierwszej serii badań zawartość białka ogólnego w suchej masie ziarna analizowanych podgatunków pszenicy zmieniała się istotnie pod wpływem obu czynników doświadczalnych (tab. 55). Największą koncentrację białka wykazano w ziarnie pszenicy orkisz odmiany ‘Schwabenkorn’ (163,8 g·kg⁻¹ s.m.), natomiast istotnie mniejszą w ziarnie odmian ‘Badengold’ oraz ‘Schwabenspelz’, które zawierało odpowiednio o 23,2 oraz 8,0 g·kg⁻¹ s.m. mniej białka niż ziarno odmiany ‘Schwabenkorn’. Z kolei ziarno pszenicy zwyczajnej charakteryzowało się istotnie najmniejszą koncentracją tego składnika. Różnica w zawartości białka pomiędzy ziarnem odmian pszenicy orkisz a ziarnem pszenicy zwyczajnej wynosiła 6,8–24,5%. Niezależnie od odmiany pszenicy wraz ze wzrostem dawki

Tabela 55. Zawartość białka ogólnego (g·kg⁻¹ s.m.) w ziarnie badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)

Table 55. Total protein content (g·kg⁻¹ d.m.) in grain of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Badengold	132,8	136,5	140,8	156,6	137,0	139,9	140,6
Schwabenspelz	151,1	152,0	155,9	168,6	152,6	154,4	155,8
Schwabenkorn	159,1	160,5	165,8	175,7	160,3	161,2	163,8
Bogatka	128,1	129,7	134,6	143,4	126,4	127,4	131,6
Średnia – Mean	142,8	144,7	149,3	161,1	144,1	145,7	–
NIR _(0,05)	B = 1,78						A = 4,01
LSD _(0,05)	AxB = r.n. – n.s.						

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

azotu następowało istotne statystycznie zwiększenie zawartości białka w ziarnie. Najkorzystniejsze pod tym względem okazało się nawożenie azotem w dawce $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Natomiast zwiększenie dawki obornika nie powodowało istotnego wzrostu zawartości tego składnika w ziarnie.

W drugiej serii badań odmiana, nawożenie oraz interakcja pomiędzy nimi istotnie modyfikowały koncentrację białka w ziarnie obu pszenic (tab. 56). Podobnie jak w pierwszej serii ziarno odmian pszenicy orkisz charakteryzowało się istotnie wyższą zawartością białka w porównaniu z ziarnem pszenicy zwyczajnej, a różnica ta wynosiła 3,4–24,2%. Odmianą pszenicy orkisz, której ziarno zawierało istotnie najwięcej białka, była ‘Zollernspelz’ ($146,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$), a istotnie najmniej ‘Badenkrone’ ($121,9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$). Koncentracja białka w ziarnie badanych podgatunków pszenicy w tej serii badań była niższa niż w pierwszej serii. Reakcja obu pszenic na nawożenie azotem była podobna, a rosnące dawki N zwiększały koncentrację białka, która była najwyższa po wniesieniu $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Na zwiększenie zawartości białka w ziarnie korzystnie wpływało również nawożenie obornikiem. Zastosowanie $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ obornika powodowało istotny wzrost koncentracji białka w ziarnie odmiany ‘Badenstern’, natomiast u pozostałych odmian obu pszenic różnica w przyroście białka w porównaniu z dawką $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ była nieistotna statystycznie.

Zebrane w pierwszej serii badań wyniki wskazują, że odmiana istotnie różnicowała zawartość glutenu w ziarnie badanych odmian pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej (tab. 57). Ziarno pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ charakteryzowało się istotnie najniższą koncentracją tego składnika ($314,3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$). Różnica w zawartości glutenu pomiędzy pszenicą zwyczajną a poszczególnymi

Tabela 56. Zawartość białka ogólnego ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$) w ziarnie badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)

Table 56. Total protein content ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ d.m.}$) in grain of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	$0 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$	$30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$	$60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$	$90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$	obornik manure ($15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	obornik manure ($30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	
Zollernspelz	135,4	142,2	150,7	162,5	142,4	145,0	146,4
Badenstern	135,0	137,3	145,1	154,7	134,6	138,6	140,9
Badenkrone	116,2	118,7	124,3	134,2	118,4	119,7	121,9
KWS Dakotana	110,0	113,4	118,7	129,6	117,1	118,9	117,9
Średnia – Mean	124,2	127,9	134,7	145,2	128,1	130,5	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 1,94 AxB = 3,89						A = 2,05

Tabela 57. Zawartość glutenu ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w ziarnie badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)**Table 57.** Gluten content ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.m.) in grain of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	30 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	60 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	90 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	obornik manure (15 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	obornik manure (30 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	
Badengold	304,1	316,3	334,4	383,8	319,0	331,9	331,6
Schwabenspelz	364,6	368,1	388,6	426,7	374,2	377,5	383,3
Schwabenkorn	386,0	394,0	413,2	445,3	391,6	394,6	404,1
Bogatka	302,2	309,5	325,6	353,6	294,1	300,9	314,3
Średnia – Mean	339,2	347,0	365,5	402,4	344,7	351,2	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 6,15 AxB = r.n. – n.s.						A = 12,31

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

odmianami pszenicy orkisz wynosiła od 5,5–28,6%. Wśród odmian pszenicy orkisz istotnie najwyższą koncentracją glutenu charakteryzowało się ziarno odmiany ‘Schwabenkorn’, a istotnie najniższą odmiany ‘Badengold’. Różnica w zawartości glutenu w ziarnie tych odmian wynosiła $72,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.

Nie udowodniono istotnego współdziałania odmiany z nawożeniem, jednak u obu pszenic zwiększanie dawki N powodowało wzrost koncentracji glutenu w ziarnie (tab. 57). Najkorzystniejsza okazała się dawka $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, po wniesieniu której – w porównaniu z obiektem kontrolnym – przyrost glutenu u pszenicy zwyczajnej wyniósł $51,4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., a dla pszenicy orkisz odmiany ‘Badengold’ wynosił $79,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., ‘Schwabenspelz’ – $62,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. i ‘Schwabenkorn’ – $59,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Korzystnie na koncentrację glutenu w ziarnie odmian pszenicy orkisz wpływało również nawożenie obornikiem, chociaż badane dawki nie różnicowały istotnie zawartości tego składnika w ziarnie. Jedynie u odmiany ‘Badengold’ wystąpiła tendencja do wyższych wartości tej cechy po zastosowaniu obornika w dawce $30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Natomiast nawożenie obornikiem pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’, nie zwiększało koncentracji glutenu w ziarnie.

W drugiej serii badań wykazano, że zawartość glutenu zmieniała się istotnie pod wpływem badanych czynników oraz ich współdziałania (tab. 58). Istotnie najniższą koncentracją glutenu charakteryzowało się ziarno pszenicy orkisz odmiany ‘Badenkrone’ ($274,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) oraz ziarno pszenicy zwyczajnej odmiany ‘KWS Dakotana’ ($282,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.), natomiast istotnie najwyższą stwierdzono

Tabela 58. Zawartość glutenu ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w ziarnie badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)**Table 58.** Gluten content ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.m.) in grain of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Zollernspelz	321,7	348,3	378,0	410,7	346,7	343,8	358,2
Badenstern	317,4	332,3	361,5	396,7	327,4	333,6	344,8
Badenkrone	258,0	263,7	285,7	318,2	260,0	259,2	274,1
KWS Dakotana	259,0	270,6	286,5	319,2	278,8	279,5	282,3
Średnia – Mean	289,0	303,7	327,9	361,2	303,2	304,0	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 6,69 AxB = 13,39						A = 9,07

u odmiany ‘Zollernspelz’. W tej serii badań koncentracja glutenu w ziarnie badanych pszenic była niższa niż w serii pierwszej. Reakcja obu pszenic na nawożenie azotem oraz obornikiem była podobna. Coraz większe dawki azotu niemal w każdym przypadku prowadziły do istotnego wzrostu koncentracji glutenu w ziarnie, a istotnie najwyższą zawartość tego składnika w ziarnie stwierdzono po zastosowaniu 90 kg N·ha⁻¹. Taką zależność stwierdzono także, stosując obornik w dawce 15 t·ha⁻¹, jednak w porównaniu do obiektu kontrolnego potwierdzony statystycznie wzrost zawartości glutenu w ziarnie zaobserwowano tylko w odniesieniu do odmian ‘Zollernspelz’ oraz ‘KWS Dakotana’. Ponadto wzrost dawki obornika nie powodował istotnych zmian w koncentracji glutenu w ziarnie, a w przypadku odmian ‘Zollernspelz’ oraz ‘Badenkrone’ obserwowano nawet nieznaczny spadek.

Skład chemiczny ziarna z drugiej serii badań zmieniał się istotnie pod wpływem odmiany i nawożenia oraz współdziałania tych czynników (tab. 59–62). Odmianą charakteryzującą się istotnie najniższą zawartością tłuszczu w ziarnie (tab. 59) była ‘KWS Dakotana’ (17,4 g·kg⁻¹ s.m.), natomiast spośród odmian pszenicy orkisz – ‘Badenstern’ (17,9 g·kg⁻¹ s.m.). Z kolei istotnie najwyższą zawartością tłuszczu charakteryzowało się ziarno odmiany ‘Badenkrone’ (19,6 g·kg⁻¹ s.m.). Reakcja tej odmiany na rodzaj i dawkę nawożenia była niewielka, a wzrost dawki azotu nie różnicował istotnie lub powodował spadek koncentracji tłuszczu w ziarnie. Jedynie nawożenie obornikiem w wyższej dawce powodowało wzrost zawartości tłuszczu w ziarnie do poziomu 20,1 g·kg⁻¹ s.m. Z kolei odmiany ‘Badenstern’ i ‘Zollernspelz’, aby osiągnąć istotnie najwyższą koncentrację tłuszczu w ziarnie, potrzebowały nawożenia w dawce 60 kg N·ha⁻¹ lub obornikiem w dawce 15 t·ha⁻¹.

Tabela 59. Zawartość tłuszczu ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w ziarnie badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)**Table 59.** Fat content ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.m.) in grain of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	30 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	60 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	90 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	obornik manure (15 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	obornik manure (30 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	
Zollernspelz	17,9	18,6	19,4	19,4	18,9	18,2	18,7
Badenstern	17,1	17,7	19,1	18,1	18,1	17,2	17,9
Badenkrone	19,6	19,6	19,6	19,1	19,6	20,1	19,6
KWS Dakotana	16,7	17,6	18,1	16,6	17,1	18,4	17,4
Średnia – Mean	17,8	18,4	19,0	18,3	18,4	18,5	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,43 AxB = 0,87						A = 0,60

Natomiast pszenica zwyczajna odmiany ‘KWS Dakotana’, aby osiągnąć istotnie najwyższą koncentrację tłuszczu w ziarnie, potrzebowały nawożenia w dawkach 30–60 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ lub obornikiem w ilości 30 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Wykazano, że ziarno pszenicy orkisz odmiany ‘Badenkrone’ charakteryzowało się istotnie najwyższą koncentracją skrobi (tab. 60). Istotnie niższą zawartość tego składnika stwierdzono w ziarnie pszenicy zwyczajnej odmiany ‘KWS

Tabela 60. Zawartość skrobi ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w ziarnie badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)**Table 60.** Starch content ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.m.) in grain of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	30 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	60 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	90 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	obornik manure (15 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	obornik manure (30 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	
Zollernspelz	590,3	584,7	576,7	566,2	586,7	587,7	582,1
Badenstern	595,4	590,7	583,8	575,7	598,0	590,7	589,0
Badenkrone	608,9	609,2	599,8	586,7	609,2	610,8	604,1
KWS Dakotana	598,0	599,6	598,7	591,5	598,7	599,1	597,6
Średnia – Mean	598,2	596,0	589,7	580,0	598,2	597,1	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 2,74 AxB = 5,49						A = 4,05

Dakotana'. Natomiast spośród odmian pszenicy orkisz istotnie najniższą koncentracją skrobi charakteryzowało się ziarno odmiany 'Zollernspelz'. Nawożenie azotem lub obornikiem odmian 'Zollernspelz' oraz 'Badenstern' prowadziło do spadku koncentracji skrobi w ziarnie w porównaniu do obiektu kontrolnego. Wyjątek stanowiło ziarno odmiany 'Badenstern', w którym następował nieistotny statystycznie wzrost koncentracji tego składnika, po zastosowaniu obornika w niższej dawce. Z kolei odmiany 'Badenkrone' oraz 'KWS Dakotana' najwięcej skrobi w ziarnie wykazywały na obiektach nawożonych dawką 30 kg N·ha⁻¹ lub obornikiem w ilości 30 t·ha⁻¹, jednak różnice w porównaniu z kontrolą były nieistotne statystycznie.

Odmiana istotnie modyfikowała zawartość włókna w ziarnie badanych pszenic, a wartości dla tej cechy mieściły się w zakresie 25,2–26,1 g·kg⁻¹ s.m. (tab. 61). Najłabszą reakcję na wysokość dawki azotu odnotowano dla pszenicy orkisz odmiany 'Badenstern'. Zastosowanie w uprawie tej odmiany 60 kg N·ha⁻¹ pozwoliło uzyskać ziarno o najwyższej koncentracji tego składnika, ale wzrost wartości tej cechy nie został potwierdzony statystycznie. Odmiana 'Zollernspelz' najwięcej włókna w ziarnie zawierała w obiekcie z nawożeniem w zakresie dawek 30–60 kg N·ha⁻¹, a odmiany 'Badenkrone' oraz pszenica zwyczajna 'KWS Dakotana' w wariacie z dawką 90 kg N·ha⁻¹. Zastosowanie w uprawie badanych pszenic nawożenia obornikiem nie prowadziło do istotnych statystycznie zmian w koncentracji włókna w ziarnie. Wyjątek stanowiła odmiana 'Badenstern', której ziarno w wariacie, gdzie stosowano 30 t·ha⁻¹ obornika, cechowało się istotnie większą zawartością włókna, niż w obiekcie z obornikiem w dawce 15 t·ha⁻¹.

Tabela 61. Zawartość włókna (g·kg⁻¹ s.m.) w ziarnie badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)

Table 61. Fiber content (g·kg⁻¹ d.m.) in grain of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Zollernspelz	25,6	26,5	26,5	25,5	25,4	25,0	25,7
Badenstern	25,9	26,1	26,6	26,4	25,5	26,4	26,1
Badenkrone	24,7	25,1	25,6	25,9	24,9	25,1	25,2
KWS Dakotana	24,9	25,5	26,2	26,7	25,4	25,6	25,7
Średnia – Mean	25,3	25,8	26,2	26,1	25,3	25,5	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,39 AxB = 0,78						A = 0,63

Tabela 62. Zawartość popiołu ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w ziarnie badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)**Table 62.** Ash content ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.m.) in grain of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	30 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	60 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	90 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	obornik manure (15 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	obornik manure (30 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	
Zollernspelz	16,0	14,6	14,5	13,4	15,2	15,6	14,9
Badenstern	15,9	16,0	14,6	14,0	15,9	15,4	15,3
Badenkrone	16,1	15,6	15,1	14,7	16,1	15,7	15,6
KWS Dakotana	15,4	15,2	15,9	16,0	15,4	15,7	15,6
Średnia – Mean	15,8	15,4	15,0	14,5	15,6	15,6	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,37 AxB = 0,75						A = 0,37

Wykazano, że ziarno odmiany ‘Zollernspelz’ charakteryzowało się istotnie najniższą zawartością popiołu spośród wszystkich badanych odmian (tab. 62). Koncentracja tego składnika w ziarnie pozostałych odmian pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej była na podobnym poziomie i mieściła się w przedziale 15,3–15,6 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Wzrost dawki azotu niezależnie od odmiany powodował istotny spadek zawartości popiołu w ziarnie pszenicy. Najsilniejsza reakcja wystąpiła u odmiany ‘Zollernspelz’, charakteryzującej się istotnie najwyższą koncentracją tego składnika na obiektach bez nawożenia. Natomiast u pozostałych odmian pszenicy orkisz największą wartość tej cechy stwierdzono w obiekcie kontrolnym oraz w obiekcie z dawką 30 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Odmianą reakcję na wzrost dawki azotu stwierdzono dla pszenicy zwyczajnej odmiany ‘KWS Dakotana’, której ziarno osiągnęło najwyższą zawartość popiołu po zastosowaniu dawki mieszczącej się w przedziale 60–90 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Jednocześnie nie stwierdzono istotnych zmian w zawartości popiołu w ziarnie obu podgatunków pszenicy w zależności od zróżnicowanych dawek obornika.

4.2.9. Wartość technologiczna ziarna pszenicy

Masa hektolitra ziarna badanych pszenic w obu seriach badań zmieniała się istotnie pod wpływem badanych czynników działających niezależnie od siebie (tab. 63, 64). Odmiany pszenicy zwyczajnej ‘Bogatka’ oraz ‘KWS Dakotana’ charakteryzowały się ziarnem o istotnie wyższej masie hektolitra niż ziarno odmian pszenicy orkisz. Spośród odmian pszenicy orkisz pod względem wartości tej cechy najgorzej

Tabela 63. Masa hektolitra ziarna ($\text{kg}\cdot\text{hl}^{-1}$) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)**Table 63.** Grain hectolitre mass ($\text{kg}\cdot\text{hl}^{-1}$) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	30 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	60 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	90 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	obornik manure (15 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	obornik manure (30 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	
Badengold	73,2	75,3	75,8	75,3	75,6	75,7	75,2
Schwabenspelz	75,1	77,9	78,1	78,4	78,0	78,2	77,6
Schwabenkorn	75,4	78,2	79,0	79,4	78,8	78,9	78,3
Bogatka	77,4	78,4	79,7	79,7	79,0	79,8	79,0
Średnia – Mean	75,3	77,5	78,1	78,2	77,9	78,2	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,43 AxB = r.n. – n.s.						A = 0,45

r.n. – różnice nieistotne.
n.s. – not significant differences.

Tabela 64. Masa hektolitra ziarna ($\text{kg}\cdot\text{hl}^{-1}$) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)**Table 64.** Grain hectolitre mass ($\text{kg}\cdot\text{hl}^{-1}$) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	30 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	60 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	90 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	obornik manure (15 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	obornik manure (30 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	
Zollernspelz	75,9	77,6	78,4	77,2	77,4	77,0	77,2
Badenstern	74,9	77,1	77,4	76,5	78,1	77,5	76,9
Badenkrone	72,5	75,0	75,1	75,0	74,4	73,9	74,3
KWS Dakotana	78,1	79,4	79,7	80,3	80,0	80,1	79,6
Średnia – Mean	75,4	77,3	77,7	77,2	77,5	77,1	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,73 AxB = r.n. – n.s.						A = 0,71

r.n. – różnice nieistotne.
n.s. – not significant differences.

wypadło ziarno odmiany ‘Badengold’ (75,2 kg·hl⁻¹) z pierwszej serii badań oraz ‘Badenkrone’ (74,3 kg·hl⁻¹) z serii drugiej. Pomimo braku istotnego wpływu współdziałania odmiany z nawożeniem wykazano, że w uprawie odmian ‘Schwabenspelz’ oraz ‘Schwabenkorn’ wykształcaniu ziarna o większej masie hektolitra sprzyjało nawożenie dawką 90 kg N·ha⁻¹. Natomiast dla odmian ‘Badengold’, ‘Zollernspelz’ oraz ‘Badenstern’ aby uzyskać najwyższe wartości tej cechy, wystarczyło zastosowanie 60 kg N·ha⁻¹. Podobną tendencję stwierdzono również dla badanych odmian pszenicy zwyczajnej. Nawożenie obornikiem badanych podgatunków pszenicy sprzyjało w osiągnięciu wyższej masy hektolitra ziarna, w porównaniu do obiektów nie nawożonych. Należy jednak podkreślić, że zastosowanie wyższej dawki obornika nie zawsze prowadziło do wzrostu masy hektolitra ziarna. Wyjątek stanowiła pszenica zwyczajna odmiany ‘Bogatka’, w uprawie której zastosowanie obornika w dawce 30 t·ha⁻¹ powodowało wyraźny wzrost wartości tej cechy.

Indeks twardości ziarna badanych podgatunków pszenicy zmieniał się istotnie pod wpływem czynników doświadczalnych działających niezależnie od siebie (tab. 65, 66). Ziarno odmiany ‘Schwabenkorn’ z pierwszej serii badań charakteryzowało się istotnie najwyższymi wartościami tej cechy. Natomiast indeks twardości ziarna pozostałych odmian osiągał zbliżone wartości i mieścił się w zakresie od 139,3 do 140,1 jednostek. W tej serii badań, zastosowanie nawożenia azotem w dawce 60 kg·ha⁻¹ sprzyjało zwiększeniu indeksu twardości ziarna odmian pszenicy orkisz. Taką zależność dla pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ wykazano, stosując nawożenie azotem w dawce 90 kg·ha⁻¹. Ponadto reakcja

Tabela 65. Indeks twardości ziarna (HI – jednostki umowne) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)

Table 65. Hardness grain index (HI – contractual units) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Badengold	139,2	139,6	140,8	140,4	138,9	140,5	139,9
Schwabenspelz	138,9	139,5	140,7	139,4	136,6	140,5	139,3
Schwabenkorn	140,5	142,7	143,5	142,6	142,1	142,2	142,3
Bogatka	139,1	140,9	141,4	144,3	138,1	137,2	140,1
Średnia – Mean	139,4	140,7	141,6	141,7	138,9	140,1	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 1,55 AxB = r.n. – n.s.						A = 1,96

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

Tabela 66. Indeks twardości ziarna (HI – jednostki umowne) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)**Table 66.** Hardness grain index (HI – contractual units) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Zollernspelz	47,8	50,2	52,0	51,2	49,8	50,1	50,2
Badenstern	46,3	47,7	50,1	51,0	47,5	48,9	48,6
Badenkrone	42,8	44,9	46,1	49,6	43,4	45,2	45,3
KWS Dakotana	58,9	60,3	64,2	66,0	60,6	62,4	62,1
Średnia – Mean	49,0	50,8	53,1	54,5	50,3	51,6	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 1,09 AxB = r.n. – n.s.						A = 1,09

r.n. – różnice nieistotne.
n.s. – not significant differences.

badanych podgatunków pszenicy na nawożenie obornikiem była różna. Indeks twardości ziarna u odmiany ‘Schwabenkorn’ był wyższy po zastosowaniu nawożenia obornikiem w porównaniu do obiektu kontrolnego, a wysokość dawki obornika nie różnicowała wartości tej cechy. Z kolei HI odmian ‘Badengold’ oraz ‘Schwabenspelz’ był wyższy w porównaniu do kontroli tylko po zastosowaniu obornika w dawce 30 t·ha⁻¹. Nawożenie obornikiem pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ powodowało spadek indeksu twardości ziarna w porównaniu do kontroli bez nawożenia.

W drugiej serii badań ziarno pszenicy zwyczajnej odmiany ‘KWS Dakotana’ wyróżniało się istotnie najwyższym indeksem twardości ziarna (tab. 66). Natomiast najniższą wartością HI charakteryzowało się ziarno odmiany ‘Badenkrone’ i była ona o 27% niższa w porównaniu z ziarnem pszenicy zwyczajnej. Zastosowanie nawożenia azotem i obornikiem w uprawie obu pszenic prowadziło do wzrostu HI ziarna, a najwyższe wartości dla odmiany ‘Zollernspelz’ uzyskano po zastosowaniu 60 kg N·ha⁻¹, natomiast u pozostałych odmian po zastosowaniu 90 kg N·ha⁻¹. Wszystkie odmiany nawożone obornikiem w dawce 30 t·ha⁻¹ charakteryzowały się ziarnem o wyższej twardości w porównaniu do obiektu kontrolnego.

Wskaźnik sedymentacji Zeleny’ego badanych podgatunków pszenicy, w pierwszej serii badań zmieniał się istotnie pod wpływem odmiany, nawożenia oraz współdziałania tych czynników (tab. 67). Istotnie najwyższą wartością tego wskaźnika charakteryzowało się ziarno pszenicy orkisz odmiany ‘Schwabenspelz’ (33,7 ml).

Tabela 67. Wskaźnik sedymentacji Zeleny’ego (ml) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)**Table 67.** Zeleny sedimentation index (ml) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Badengold	17,7	20,2	22,2	25,6	18,0	19,7	20,6
Schwabenspelz	30,2	31,2	34,9	42,6	31,4	32,1	33,7
Schwabenkorn	27,7	30,1	33,9	39,2	29,3	29,5	31,6
Bogatka	18,0	20,9	22,2	26,2	18,8	20,7	21,1
Średnia – Mean	23,4	25,6	28,3	33,4	24,4	25,5	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 1,11 AxB = 2,22						A = 2,07

Reakcja obu pszenic na rodzaj i dawkę zastosowanego nawożenia była podobna. Nawożenie azotem oraz obornikiem sprzyjało większym wartościom tego wskaźnika w porównaniu do kontroli, istotnie największe wartości wskaźnika sedymentacji Zeleny’ego stwierdzono po zastosowaniu 90 kg N·ha⁻¹. Natomiast wysokość dawki obornika nie różnicowała istotnie wartości tej cechy, jednak zauważono tendencję do wyższych wartości wskaźnika sedymentacji po zastosowaniu 30 t·ha⁻¹.

Analiza wyników z pierwszej serii badań wykazała, że wartość technologiczna ziarna badanych pszenic określona za pomocą metody Rapid Mix Test zmieniała się istotnie pod wpływem odmiany oraz rodzaju zastosowanego nawożenia działających niezależnie (tab. 68). Istotnie najwyższą wartością RMT charakteryzowało się ziarno odmiany ‘Schwabenkorn’, a najniższą pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’. Różnica w wartościach tej cechy pomiędzy najlepszą odmianą pszenicy orkisz a pszenicą zwyczajną wyniosła 9,1%. Wykazano tendencję wzrostu wartości RMT ziarna badanych podgatunków pszenicy wraz ze wzrostem dawki azotu mineralnego, jednak uzyskanych różnic nie potwierdzono statystycznie, a najkorzystniejsza była dawka 90 kg N·ha⁻¹. Zastosowanie obornika w uprawie odmian pszenicy orkisz poprawiało wartość wypiekową ziarna w porównaniu do kontroli, a wyższe wartości RMT uzyskano po wniesieniu 30 t·ha⁻¹ obornika. Z kolei nawożenie obornikiem pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ nieznacznie pogorszyło wartość wypiekową ziarna. Należy jednak podkreślić, że zależności te nie zostały potwierdzone statystycznie.

Wodochłonność mąki badanych odmian pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej zmieniała się istotnie pod wpływem czynnika odmianowego (tab. 69).

Tabela 68. Rapid Mix Test (RMT – jednostki umowne) ziarna badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)**Table 68.** Rapid Mix Test (RMT – contractual units) of grain of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N-ha ⁻¹	30 kg N-ha ⁻¹	60 kg N-ha ⁻¹	90 kg N-ha ⁻¹	obornik manure (15 t-ha ⁻¹)	obornik manure (30 t-ha ⁻¹)	
Badengold	647,6	651,4	659,7	690,7	652,9	658,1	660,1
Schwabenspelz	673,2	681,9	692,4	715,4	682,7	685,2	688,5
Schwabenkorn	695,3	699,3	709,6	730,3	696,7	715,3	707,7
Bogatka	636,1	639,7	649,9	667,1	632,1	635,6	643,4
Średnia – Mean	663,1	668,1	677,9	700,9	666,1	673,5	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 6,37 AxB = r.n. – n.s.						A = 9,76

r.n. – różnice nieistotne.
n.s. – not significant differences.

Tabela 69. Wodochłonność mąki (%) uzyskanej z ziarna badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)**Table 69.** Flour water absorption (%) obtained from grain of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N-ha ⁻¹	30 kg N-ha ⁻¹	60 kg N-ha ⁻¹	90 kg N-ha ⁻¹	Obornik manure (15 t-ha ⁻¹)	Obornik manure (30 t-ha ⁻¹)	
Zollernspelz	58,9	59,7	60,6	60,8	59,7	60,1	60,0
Badenstern	59,0	59,5	59,9	60,7	59,3	59,4	59,7
Badenkrone	56,8	57,4	57,7	58,5	57,2	57,6	57,5
KWS Dakotana	61,4	61,7	62,4	63,7	62,4	62,1	62,3
Średnia – Mean	59,0	59,6	60,2	60,9	59,7	59,8	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,31 AxB = r.n. – n.s.						A = 0,32

r.n. – różnice nieistotne
n.s. – not significant differences.

Istotnie największą zdolnością wiązania wody charakteryzowała się mąka pszenicy zwyczajnej odmiany ‘KWS Dakotana’ (62,3%), a najniższą wartością tej cechy odznaczała się pszenica orkisz odmiany ‘Badenkrone’ (57,5%). Poszczególne odmiany pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej pozytywnie zareagowały na nawożenie azotem, ponieważ wzrost dawki azotu zwiększał wiązanie wody przez mąkę, osiągając maksymalną wartość przy dawce 90 kg N·ha⁻¹. Wodochłonność mąki badanych podgatunków pszenicy zwiększała się również po zastosowaniu nawożenia obornikiem. W uprawie odmiany ‘KWS Dakotana’ korzystniejsza była niższa dawka obornika, natomiast dla odmian pszenicy orkisz wyższa (30 t·ha⁻¹). Należy jednak zaznaczyć, że opisane zależności dotyczące reakcji odmian pszenicy na nawożenie miały jedynie charakter tendencji.

Plon białka pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej wyliczono jako funkcję plonu suchej masy ziarna z poszczególnych obiektów doświadczalnych oraz koncentracji białka w suchej masie. W obu seriach badań wielkość plonu białka zmieniała się istotnie pod wpływem odmiany, rodzaju nawożenia, a ponadto zależnie od współdziałania tych czynników (tab. 70, 71). Plon białka w większym stopniu zależał od wysokości plonu ziarna aniżeli od jego zawartości w suchej masie. W obydwu seriach badań plony białka pszenicy zwyczajnej były istotnie większe niż pszenicy orkisz, a różnice wahały się od 16,6 do 31,6%, natomiast w drugiej od 31,1 do 44,9%. Wśród odmian pszenicy orkisz najwyższym plonem białka charakteryzowała się ‘Schwabenspelz’ (446,8 kg·ha⁻¹) z serii pierwszej oraz ‘Badenstern’ (425,7 kg·ha⁻¹) z serii drugiej. Zastosowanie nawożenia azotem oraz obornikiem w obu seriach badań prowadziło do istotnego wzrostu plonu

Tabela 70. Plon białka ogólnego (kg·ha⁻¹) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)

Table 70. Total protein yield (kg·ha⁻¹) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Badengold	304,2	350,5	428,3	475,5	361,2	393,1	385,5
Schwabenspelz	364,0	432,7	502,0	556,9	388,5	436,8	446,8
Schwabenkorn	299,9	365,7	425,9	429,4	331,0	348,8	366,8
Bogatka	438,7	531,3	575,7	656,3	463,0	550,8	536,0
Średnia – Mean	351,7	420,1	483,0	529,5	385,9	432,4	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 18,79 AxB = 37,59						A = 42,41

Tabela 71. Plon białka ogólnego ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)**Table 71.** Total protein yield ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	30 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	60 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	90 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	obornik manure (15 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	obornik manure (30 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	
Zollernspelz	265,5	333,5	410,5	437,7	340,8	374,9	360,5
Badenstern	320,7	421,7	486,4	505,4	387,6	432,6	425,7
Badenkrone	278,1	325,6	358,4	378,6	337,1	365,6	340,6
KWS Dakotana	370,5	565,0	666,4	782,0	636,8	687,3	618,0
Średnia – Mean	308,7	411,4	480,4	525,9	425,6	465,1	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 22,64 AxB = 45,29						A = 41,48

białka. Odmiany pszenicy orkisz ‘Badengold’ i ‘Schwabenspelz’ oraz pszenicy zwyczajnej ‘Bogatka’ i ‘KWS Dakotana’ istotnie najwyższy plon białka osiągnęły po zastosowaniu 90 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, natomiast u pozostałych odmian pszenicy orkisz nie stwierdzono istotnego zróżnicowania pomiędzy 60 a 90 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Odmiany pszenicy zwyczajnej z obydwu serii badań oraz ‘Schwabenspelz’ z serii pierwszej zareagowały istotnym wzrostem plonu białka po zastosowaniu 30 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ obornika. U pozostałych odmian pszenicy orkisz wielkość dawki obornika nie różnicowała istotnie wartości tej cechy.

Wielkość plonu skrobi w drugiej serii badań zmieniała się istotnie pod wpływem badanych czynników oraz ich interakcji (tab. 72). Odmiany pszenicy orkisz charakteryzowały się istotnie niższym (42,0–53,9%) plonem skrobi w porównaniu z pszenicą zwyczajną odmiany ‘KWS Dakotana’. W grupie odmian pszenicy orkisz istotnie najniższy plon skrobi wykazano dla odmiany ‘Zollernspelz’. Reakcja badanych podgatunków pszenicy na rodzaj zastosowanego nawożenia była podobna. Nawożenie azotem lub obornikiem prowadziło do istotnego wzrostu plonu skrobi w porównaniu z kontrolą. Dla odmian pszenicy orkisz najwyższy plon skrobi uzyskano po zastosowaniu 60 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ lub 30 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ obornika. Wyższe dawki azotu powodowały nieistotny statystycznie spadek wielkości plonu skrobi. Z kolei dla odmian ‘Badenstern’ oraz ‘Badenkrone’ nie udowodniono różnic w plonie skrobi pomiędzy dawkami 30 i 60 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Także wielkość dawki obornika nie różnicowała istotnie plonu skrobi badanych odmian pszenicy orkisz. Natomiast pszenica zwyczajna odmiany ‘KWS Dakotana’ najwyższy plon skrobi osiągnęła po zastosowaniu 90 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ lub 30 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ obornika.

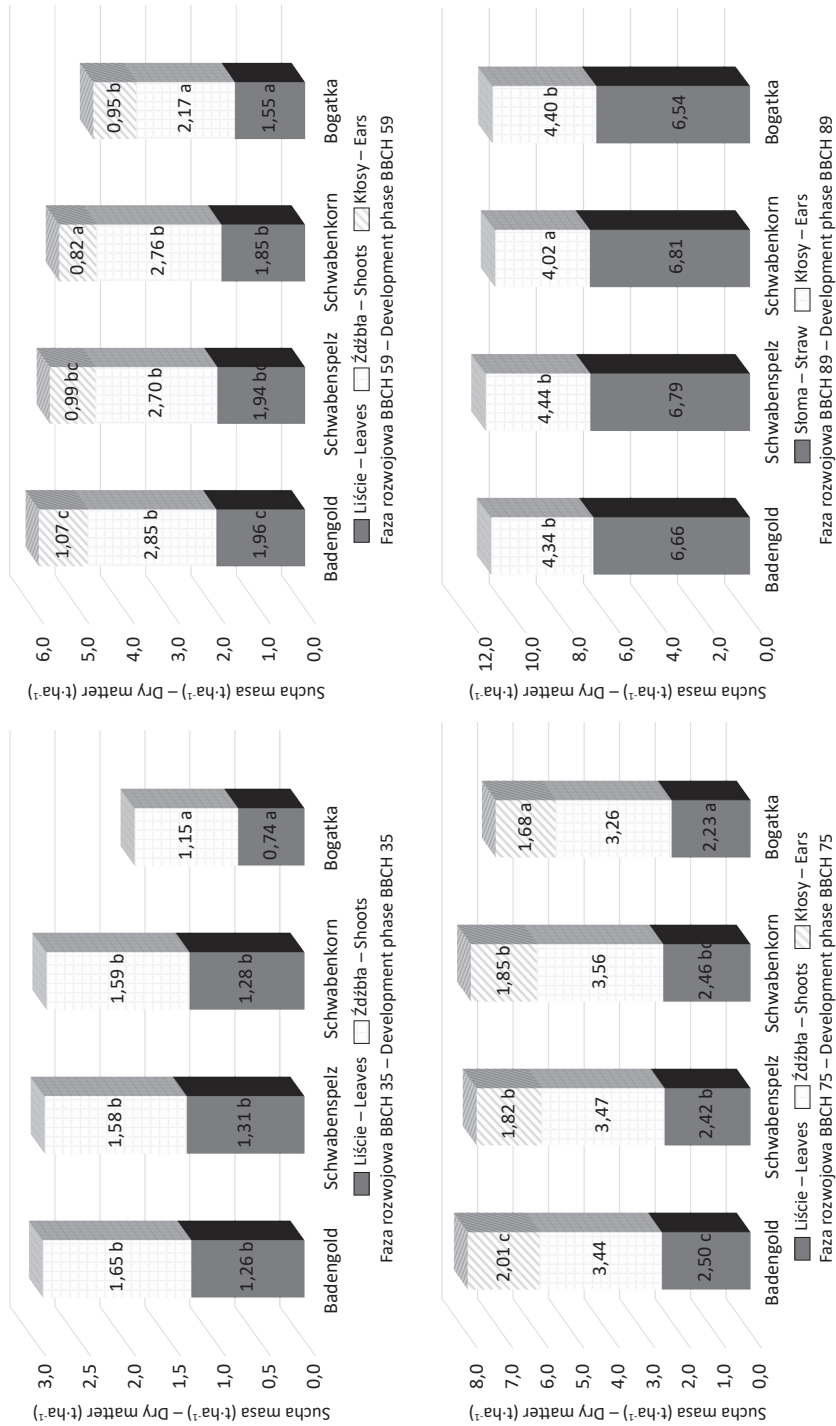
Tabela 72. Plon skrobi ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)**Table 72.** Starch yield ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$	30 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$	60 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$	90 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$	obornik manure (15 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	obornik manure (30 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	
Zollernspelz	1 157,2	1 375,3	1 586,5	1 540,4	1 413,3	1 530,5	1 433,9
Badenstern	1 428,4	1 850,2	2 013,4	1 918,1	1 747,1	1 871,3	1 804,8
Badenkrone	1 472,1	1 698,5	1 759,2	1 687,2	1 760,4	1 890,4	1 711,3
KWS Dakotana	2 014,8	2 995,0	3 390,1	3 577,8	3 242,5	3 462,6	3 113,8
Średnia – Mean	1 518,1	1 979,8	2 187,3	2 180,9	2 040,8	2 188,7	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 100,02 AxB = 200,05						A = 188,87

4.2.10. Plon suchej masy części nadziemnych

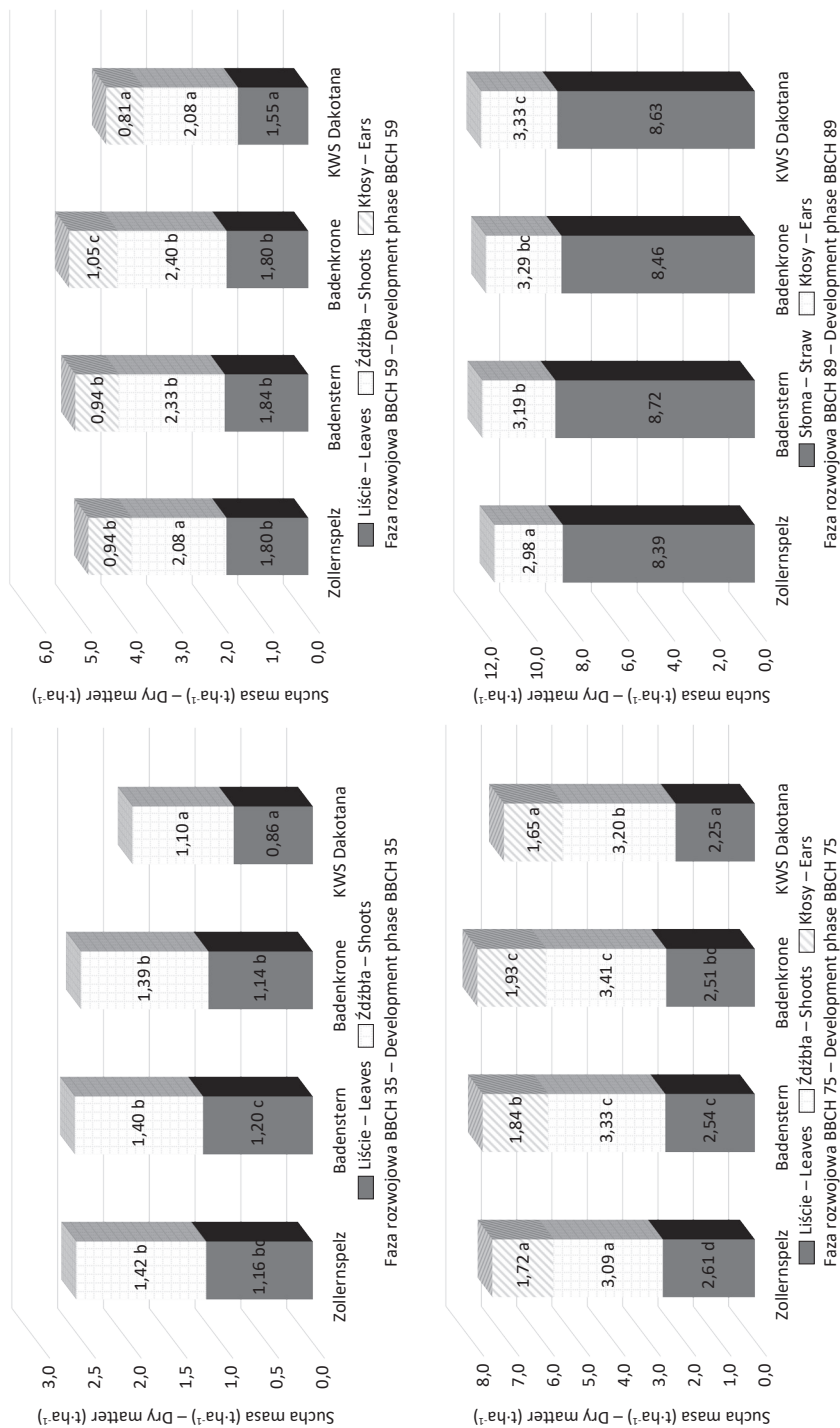
W obu seriach doświadczeń średnie plony suchej masy części nadziemnych badanych podgatunków pszenicy w poszczególnych fazach rozwojowych zależały istotnie od odmiany (ryc. 9, 10). Istotnie najniższym plonem suchej masy – zarówno liści, jak i źdźbeł w fazie BBCH 35 – charakteryzowały się rośliny pszenicy zwyczajnej odmian ‘Bogatka’ oraz ‘KWS Dakotana’. W kolejnych fazach rozwojowych BBCH 59 oraz 75 zarysował się również wyraźny trend, w większości potwierdzony statystycznie, że odmiany pszenicy zwyczajnej wytwarzały istotnie niższy plon suchej masy części wegetatywnych niż pszenicy orkisz. Wyjątek stanowiła odmiana ‘Zollernspelz’ w drugiej serii badań, której plon suchej masy źdźbeł był taki sam (BBCH 59) lub istotnie niższy (BBCH 75) od plonu suchej masy pszenicy zwyczajnej odmiany ‘KWS Dakotana’. Również plon suchej masy kłosów tej odmiany w fazie BBCH 75 nie różnił się istotnie od plonu suchej masy kłosów pszenicy zwyczajnej. W obydwu seriach badań w fazie BBCH 89 plon suchej masy słomy badanych pszenic nie różnił się istotnie i kształtował się w granicach od 6,54 (seria I) do 8,72 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (seria II). Z kolei istotnie najniższym plonem suchej masy kłosów charakteryzowała się odmiana ‘Schwabenkorn’ z pierwszej serii badań oraz ‘Zollernspelz’ z serii drugiej.

Plon suchej masy nadziemnych części roślin pszenicy orkisz w obydwu seriach badań oraz w każdej z faz rozwojowych zmieniał się istotnie pod wpływem nawożenia (tab. 73). Zastosowanie nawożenia azotem oraz obornikiem zwiększało plon suchej masy zarówno części wegetatywnych, jak i generatywnych. W obu seriach badań zastosowanie 60 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ prowadziło do istotnego wzrostu plonu



a, b, c, ... – grupy jednorodne (wg testu Tukeya)
a, b, c, ... – homogeneous groups (according to the Tukey's test)

Ryc. 9. Plon suchej masy ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) części wegetatywnych i generatywnych roślin badanych pszenic w zależności od odmiany (seria I)
Fig. 9. Dry matter yield ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) of vegetative and generative parts of tested wheat as a function of cultivar (Series I)



a, b, c, ... – grupy jednorodne (wg testu Tukeya)
a, b, c, ... – homogeneous groups (according to the Tukey's test)

Ryc. 10. Plon suchej masy (t·ha⁻¹) części wegetatywnych i generatywnych pszenic w zależności od odmiany (seria II)
Fig. 10. Dry matter yield (t·ha⁻¹) of vegetative and generative parts of tested wheat as a function of cultivar (Series II)

Tabela 73. Plon suchej masy ($t \cdot ha^{-1}$) części wegetatywnych i generatywnych pszenicy orkisz w zależności od nawożenia (średnia dla odmian, seria I i II)**Table 73.** Dry matter yield ($t \cdot ha^{-1}$) of vegetative and generative parts of spelt wheat as a function of fertilization (mean for varieties, Series I and II)

Część rośliny Part of plant	Nawożenie – Fertilization												NIR _(0,05) LSD _(0,05)	
	0 kg N·ha ⁻¹		30 kg N·ha ⁻¹		60 kg N·ha ⁻¹		90 kg N·ha ⁻¹		obornik manure (15 t·ha ⁻¹)		obornik manure (30 t·ha ⁻¹)			
	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II
Faza strzelania w źdźbło – Shooting phase (BBCH 35)														
Liście – Leaves	1,06	1,05	1,27	1,16	1,46	1,26	1,39	1,24	1,27	1,14	1,27	1,15	0,153	0,079
Żdźbła – Shoots	1,19	1,28	1,63	1,40	1,90	1,50	1,82	1,49	1,53	1,37	1,56	1,38	0,267	0,094
Suma – Sum	2,25	2,33	2,90	2,56	3,36	2,76	3,21	2,73	2,80	2,51	2,83	2,53	0,399	0,145
Faza kłoszenia – Heading phase (BBCH 59)														
Liście – Leaves	1,68	1,65	1,93	1,81	2,06	1,91	1,98	1,90	1,90	1,80	1,96	1,80	0,137	0,081
Żdźbła – Shoots	2,27	1,99	2,72	2,29	3,06	2,44	2,95	2,31	2,77	2,23	2,83	2,36	0,371	0,228
Kłosa – Ears	0,71	0,88	0,97	0,99	1,08	1,08	1,01	0,96	0,98	0,96	1,02	0,99	0,187	0,100
Suma – Sum	4,66	4,52	5,62	5,09	6,20	5,43	5,94	5,17	5,65	4,99	5,81	5,15	0,600	0,303
Faza dojrzałości młeczej – Milk maturity phase (BBCH 75)														
Liście – Leaves	2,12	2,33	2,57	2,73	2,69	2,68	2,47	2,59	2,44	2,48	2,47	2,48	0,126	0,065
Żdźbła – Shoots	2,82	2,87	3,76	3,43	3,83	3,51	3,67	3,29	3,44	3,21	3,40	3,32	0,186	0,199
Kłosa – Ears	1,35	1,56	2,00	1,96	2,31	1,95	2,06	1,88	1,76	1,82	1,89	1,80	0,163	0,121
Suma – Sum	6,29	6,76	8,33	8,12	8,83	8,14	8,20	7,76	7,64	7,51	7,76	7,60	0,325	0,230
Faza dojrzałości pełnej – Full maturity phase (BBCH 89)														
Słoma – Straw	5,09	7,32	7,16	8,58	7,51	8,73	7,42	8,55	6,52	8,72	6,80	9,21	0,471	0,518
Kłosa – Ears	3,35	2,59	4,24	3,15	4,74	3,42	4,61	3,24	4,20	3,18	4,45	3,33	0,521	0,238
Suma – Sum	8,44	9,91	11,40	11,73	12,25	12,15	12,03	11,79	10,72	11,90	11,25	12,54	0,668	0,603

suchej masy nadziemnych części roślin pszenicy orkisz, natomiast wniesienie 90 kg N·ha⁻¹ nie powodowało dalszego wzrostu plonu suchej masy lub obniżało wartości tej cechy. Z kolei stosowanie obornika w wyższej dawce (30 t·ha⁻¹) sprzyjało wyższemu plonom suchej masy pszenicy orkisz.

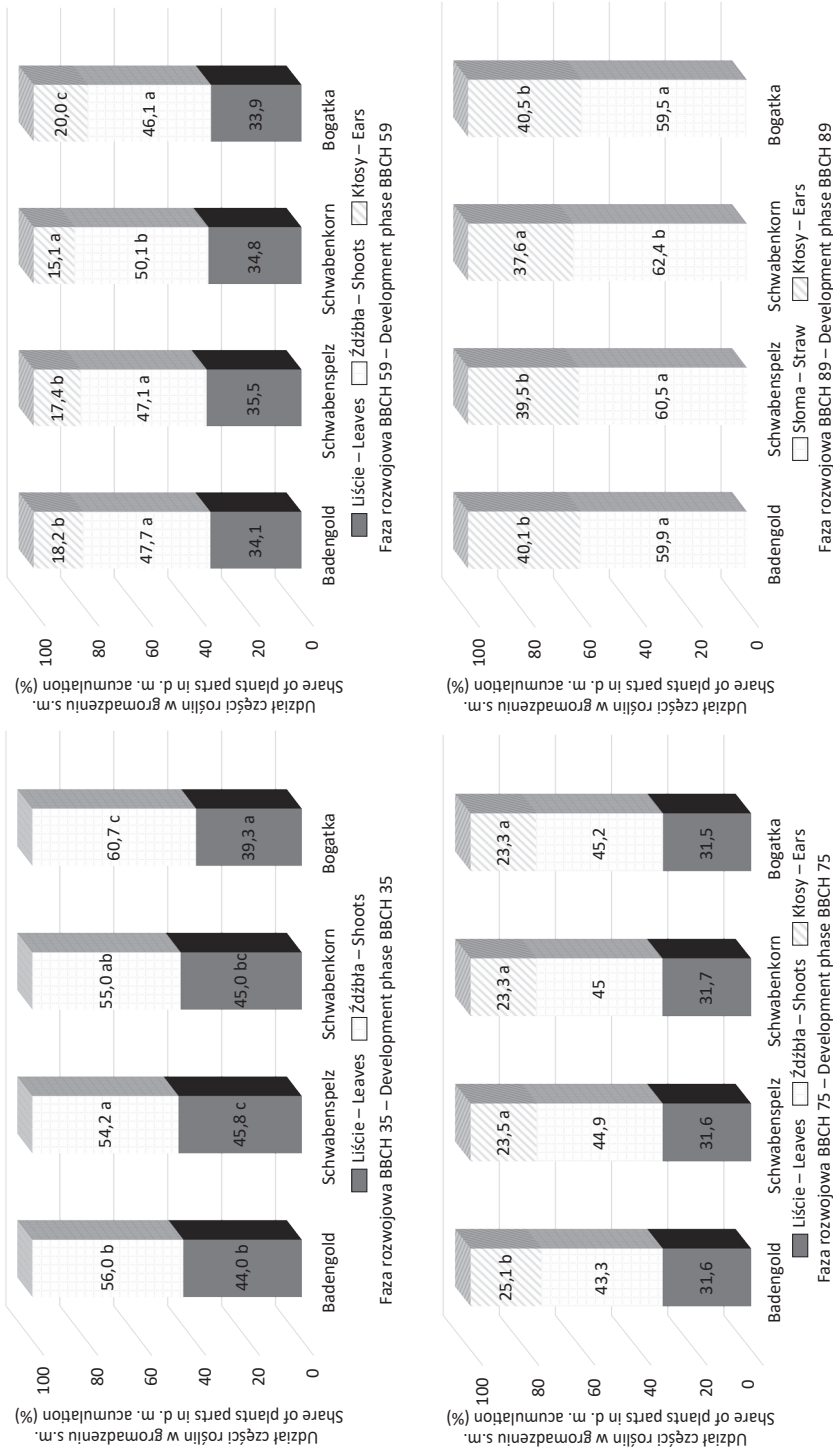
Również w uprawie pszenicy zwyczajnej, w obydwu seriach badań oraz w każdej z faz rozwojowych, nawożenie istotnie modyfikowało wielkość plonu suchej masy nadziemnych części roślin (tab. 74). Wzrastające dawki nawożenia azotem zwiększały plon suchej masy nadziemnych części roślin, jednak zależności te nie zawsze zostały potwierdzone statystycznie. W fazie dojrzałości młeczej

Tabela 74. Plon suchej masy ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) części wegetatywnych i generatywnych pszenicy zwyczajnej w zależności od nawożenia (średnia dla odmian, seria I i II)**Table 74.** Dry matter yield ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) of vegetative and generative parts of common wheat as a function of fertilization (mean for varieties, Series I and II)

Część rośliny Part of plant	Nawożenie – Fertilization												NIR _(0,05) LSD _(0,05)	
	0 kg N·ha ⁻¹		30 kg N·ha ⁻¹		60 kg N·ha ⁻¹		90 kg N·ha ⁻¹		obornik manure (15 t·ha ⁻¹)		obornik manure (30 t·ha ⁻¹)			
	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II
Faza strzelania w źdźbło – Shooting phase (BBCH 35)														
Liście – Leaves	0,55	0,76	0,68	0,86	0,84	0,89	0,92	0,92	0,70	0,87	0,74	0,88	0,153	0,079
Żdźbła – Shoots	0,74	0,90	1,09	1,09	1,40	1,18	1,49	1,24	1,01	1,10	1,16	1,12	0,267	0,094
Suma – Sum	1,29	1,66	1,77	1,95	2,24	2,07	2,41	2,16	1,71	1,97	1,90	2,00	0,399	0,145
Faza kłoszenia – Heading phase (BBCH 59)														
Liście – Leaves	1,36	1,40	1,50	1,52	1,60	1,57	1,77	1,68	1,52	1,52	1,56	1,61	0,137	0,081
Żdźbła – Shoots	1,64	1,71	2,10	2,13	2,26	2,23	2,59	2,33	2,12	1,91	2,33	2,17	0,371	0,228
Kłosa – Ears	0,60	0,66	0,92	0,77	1,03	0,87	1,30	0,95	0,91	0,74	0,95	0,84	0,187	0,100
Suma – Sum	3,60	3,77	4,52	4,42	4,89	4,67	5,66	4,96	4,55	4,17	4,84	4,62	0,600	0,303
Faza dojrzałości młecznej – Milk maturity phase (BBCH 75)														
Liście – Leaves	1,83	2,01	2,32	2,35	2,36	2,47	2,31	2,27	2,19	2,14	2,34	2,22	0,126	0,065
Żdźbła – Shoots	2,28	2,54	3,15	3,55	3,65	3,77	3,79	3,30	3,05	2,88	3,63	3,15	0,186	0,199
Kłosa – Ears	1,17	1,37	1,80	1,77	2,05	1,83	2,02	1,86	1,51	1,46	1,54	1,61	0,163	0,121
Suma – Sum	5,28	5,92	7,27	7,67	8,06	8,07	8,12	7,43	6,75	6,48	7,51	6,98	0,325	0,230
Faza dojrzałości pełnej – Full maturity phase (BBCH 89)														
Słoma – Straw	4,63	6,99	6,95	9,12	7,25	9,15	7,80	9,09	5,94	8,51	6,63	8,92	0,471	0,518
Kłosa – Ears	3,26	2,55	4,39	3,11	4,79	3,51	5,24	3,75	3,80	3,49	4,92	3,53	0,521	0,238
Suma – Sum	7,89	9,54	11,34	12,23	12,04	12,66	13,04	12,84	9,74	12,00	11,55	12,45	0,668	0,603

(BBCH 75) w każdej z serii badań, po zastosowaniu $90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ stwierdzono obniżenie wartości tej cechy. Podobnie jak u pszenicy orkisz, w obydwu seriach badań oraz w każdej z faz rozwojowych, nawożenie obornikiem – zwłaszcza dawką $30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ – sprzyjało tworzeniu wyższego plonu suchej masy.

W pierwszej serii badań wykazano, że czynnik odmianowy istotnie modyfikował udział części wegetatywnych i generatywnych w gromadzeniu suchej masy (ryc. 11). W fazie strzelania w źdźbło pszenica zwyczajna odmiany ‘Bogatka’ charakteryzowała się istotnie najniższym udziałem liści (39,3%) oraz istotnie najwyższym udziałem źdźbeł (60,7%) w plonie suchej masy w porównaniu

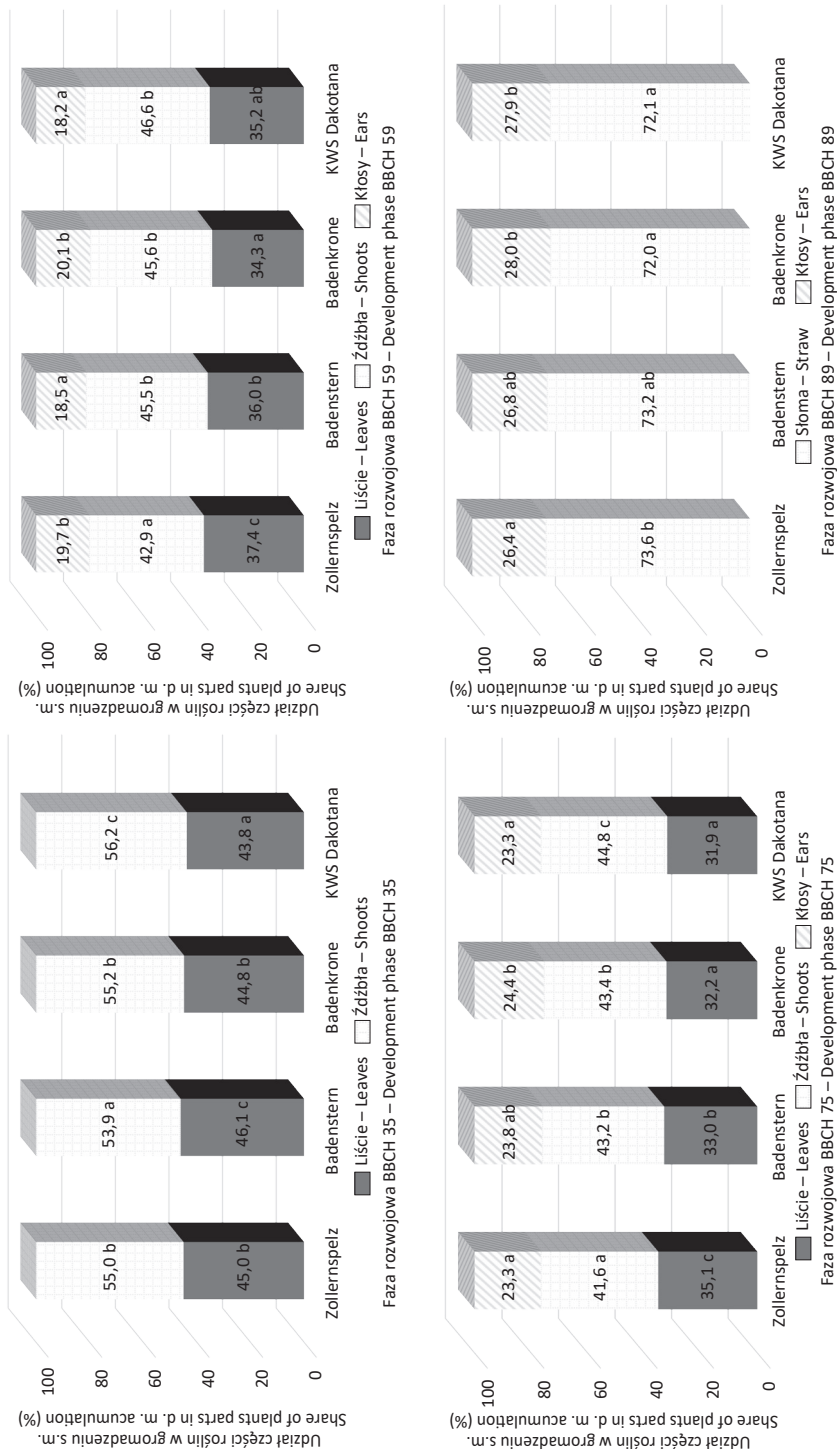


a, b, c, ... – grupy jednorodnie (wg testu Tukeya)

a, b, c, ... – homogeneous groups (according to the Tukey's test)

Ryc. 11. Udział (%) części wegetatywnych i generatywnych w gromadzeniu suchej masy przez rośliny badanych pszenic w zależności od odmiany (seria I)

Fig. 11. Share (%) of vegetative and generative parts of tested wheat plants in dry weight accumulation as a function of cultivar (Series I)



a, b, c, ... – grupy jednorodne (wg testu Tukeya)

a, b, c, ... – homogeneous groups (according to the Tukey's test)

Ryc. 12. Udział (%) części wegetatywnych i generatywnych w gromadzeniu suchej masy przez rośliny badanych pszenic w zależności od odmiany (seria II)

Fig. 12. Share (%) of vegetative and generative parts of tested wheat plants in dry weight accumulation as a function of cultivar (Series II)

z odmianami pszenicy orkisz. Ponadto należy zaznaczyć, że w fazie BBCH 59 udział źdźbeł oraz w fazie BBCH 89 udział słomy w gromadzeniu suchej masy u odmian ‘Badengold’, ‘Schwabenspelz’ i pszenicy zwyczajnej ‘Bogatka’ utrzymywał się na podobnym poziomie. Natomiast odmianę ‘Schwabenkorn’ w ww. fazach charakteryzował istotnie najwyższy udział źdźbeł i słomy oraz istotnie najniższy udział kłosów. Z kolei w fazie BBCH 75 udział liści oraz źdźbeł w gromadzeniu suchej masy nie był istotnie zróżnicowany u badanych odmian, a istotnie najwyższym udziałem kłosów (25,1%) w gromadzeniu suchej masy charakteryzowała się odmiana ‘Badengold’. W drugiej serii badań w fazie BBCH 35 odmiany pszenicy orkisz charakteryzował istotnie wyższy udział liści oraz istotnie niższy udział źdźbeł w gromadzeniu suchej masy w porównaniu z pszenicą zwyczajną odmiany ‘KWS Dakotana’ (ryc. 12). Z kolei w fazie BBCH 59 udział części wegetatywnych pszenicy zwyczajnej w gromadzeniu suchej masy był podobny jak u odmian ‘Badenstern’ oraz ‘Badenkrone’. Pszenica orkisz odmiany ‘Zollernspelz’ w fazie BBCH 75 charakteryzowała się istotnie niższym udziałem źdźbeł (41,6%) w porównaniu do pozostałych odmian biorących udział w badaniu. W tej fazie rozwojowej udział kłosów w gromadzeniu suchej masy u odmiany ‘KWS Dakotana’ był podobny jak u odmian pszenicy orkisz ‘Zollernspelz’ oraz ‘Badenstern’. Należy podkreślić, że w fazie BBCH 89 udział części wegetatywnych oraz generatywnych w gromadzeniu suchej masy u tych odmian był podobny.

W obu seriach badań wykazano, że udział części wegetatywnych i generatywnych w gromadzeniu suchej masy przez rośliny pszenicy orkisz oraz pszenicę zwyczajną był istotnie modyfikowany przez nawożenie tylko w fazie dojrzałości młecznej (BBCH 75) oraz w fazie dojrzałości pełnej z drugiej serii badań (tab. 75, 76). W pozostałych fazach rozwojowych obu serii obserwowane

Tabela 75. Udział (%) części wegetatywnych i generatywnych w gromadzeniu suchej masy przez rośliny pszenicy orkisz w zależności od nawożenia (średnia dla odmian, seria I i II)
Table 75. Share (%) of vegetative and generative parts of spelt wheat plants in dry weight accumulation as a function of fertilization (mean for varieties, Series I and II)

Część rośliny Part of plant	Nawożenie – Fertilization												NIR _(0,05) LSD _(0,05)	
	0 kg N·ha ⁻¹		30 kg N·ha ⁻¹		60 kg N·ha ⁻¹		90 kg N·ha ⁻¹		obornik manure (15 t·ha ⁻¹)		obornik manure (30 t·ha ⁻¹)			
	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Faza strzelania w źdźbło – Shooting phase (BBCH 35)														
Liście – Leaves	47,3	44,9	44,1	45,3	44,0	45,5	43,9	45,4	45,3	45,5	45,1	45,2	r.n./n.s.	r.n./n.s.
Żdźbła – Shoots	52,7	55,1	55,9	54,7	56,0	54,5	56,1	54,6	54,7	54,5	54,9	54,8	r.n./n.s.	r.n./n.s.

Tabela 75 – cd. / Table 75 – cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Faza kłoszenia – Heading phase (BBCH 59)														
Liście – Leaves	36,5	36,5	35,2	35,7	34,0	35,4	34,1	36,8	34,7	36,2	34,2	35,0	r.n./n.s.	r.n./n.s.
Żdźbła - Shoots	48,2	44,0	47,7	44,8	48,6	44,6	48,8	44,4	48,2	44,5	48,3	45,7	r.n./n.s.	r.n./n.s.
Kłosa - Ears	15,3	19,5	17,1	19,5	17,4	20,0	17,1	18,8	17,1	19,3	17,5	19,3	r.n./n.s.	r.n./n.s.
Faza dojrzałości mleczej – Milk maturity phase (BBCH 75)														
Liście – Leaves	33,7	34,5	30,9	33,6	30,6	33,0	30,3	33,6	32,3	33,2	32,2	32,6	1,39	1,25
Żdźbła - Shoots	44,8	42,5	45,1	42,3	43,3	43,1	44,7	42,3	44,9	42,7	43,7	43,7	1,64	1,86
Kłosa - Ears	21,5	23,0	24,0	24,1	26,1	23,9	25,0	24,1	22,8	24,1	24,1	23,7	1,77	r.n./n.s.
Faza dojrzałości pełnej – Full maturity phase (BBCH 89)														
Słoma - Straw	59,7	73,8	62,7	73,1	61,2	71,9	61,8	72,4	60,0	73,2	60,0	73,2	r.n./n.s.	1,77
Kłosa - Ears	40,3	26,2	37,3	26,9	38,8	28,1	38,2	27,6	40,0	26,8	40,0	26,8	r.n./n.s.	1,77

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

Tabela 76. Udział (%) części wegetatywnych i generatywnych w gromadzeniu suchej masy przez rośliny pszenicy zwyczajnej w zależności od nawożenia (średnia dla odmian, seria I i II)**Table 76.** Share (%) of vegetative and generative parts of common wheat plants in dry weight accumulation as a function of fertilization (mean for varieties, Series I and II)

Część rośliny Part of plant	Nawożenie – Fertilization												NIR _(0,05) LSD _(0,05)	
	0 kg N·ha ⁻¹		30 kg N·ha ⁻¹		60 kg N·ha ⁻¹		90 kg N·ha ⁻¹		obornik manure (15 t·ha ⁻¹)		obornik manure (30 t·ha ⁻¹)			
	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Faza strzelania w źdźbło – Shooting phase (BBCH 35)														
Liście – Leaves	41,9	45,2	38,6	44,0	38,1	43,1	37,0	42,7	40,9	43,9	39,0	43,8	r.n./n.s.	r.n./n.s.
Żdźbła – Shoots	58,1	54,8	61,4	56,0	61,9	56,9	63,0	57,3	59,1	56,1	61,0	56,2	r.n./n.s.	r.n./n.s.
Faza kłoszenia – Heading phase (BBCH 59)														
Liście – Leaves	38,2	37,6	34,1	34,7	33,5	33,6	31,4	33,8	34,1	36,5	32,3	34,9	r.n./n.s.	r.n./n.s.
Żdźbła – Shoots	45,0	44,9	46,1	47,8	45,7	47,6	45,6	46,8	45,6	45,4	48,2	46,8	r.n./n.s.	r.n./n.s.
Kłosa – Ears	16,8	17,5	19,8	17,5	20,8	18,8	23,0	19,4	20,3	18,1	19,5	18,3	r.n./n.s.	r.n./n.s.
Faza dojrzałości mleczej – Milk maturity phase (BBCH 75)														
Liście – Leaves	34,9	33,8	31,9	30,8	29,5	30,7	28,7	30,8	32,7	33,3	31,3	32,0	1,39	1,25
Żdźbła – Shoots	43,2	42,8	43,3	45,8	45,1	46,5	46,4	44,4	45,0	44,3	48,1	45,1	1,64	1,86
Kłosa – Ears	21,9	23,4	24,8	23,4	25,4	22,8	24,9	24,8	22,3	22,4	20,6	22,9	1,77	r.n./n.s.

Tabela 76 – cd. / Table 76 – cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Faza dojrzałości pełnej – Full maturity phase (BBCH 89)														
Słoma – Straw	57,2	73,1	61,4	74,6	60,9	72,4	59,6	70,8	60,9	70,4	56,9	71,6	r.n./n.s.	1,77
Kłosa – Ears	42,8	26,9	38,6	25,4	39,1	27,6	40,4	29,2	39,1	29,6	43,1	28,4	r.n./n.s.	1,77

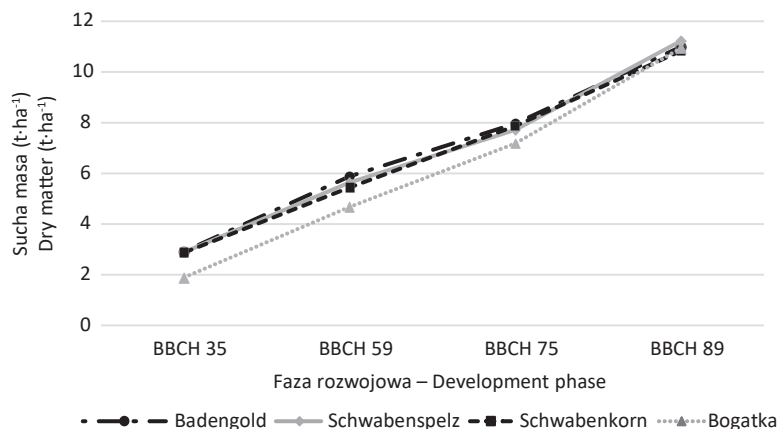
r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

zmiany miały charakter tendencji, tj. w fazie strzelania w źdźbło u pszenicy orkisz większy udział źdźbeł w gromadzeniu suchej masy na niekorzyść udziału liści. Również w pozostałych fazach rozwojowych udział źdźbeł lub słomy dominował w gromadzeniu suchej masy. W fazie kłoszenia nawożenie badanych podgatunków pszenicy azotem lub obornikiem stymulowało rośliny do większego udziału źdźbeł oraz kłosów w gromadzeniu suchej masy, jednak zależności tych nie potwierdzono statystycznie. W fazie dojrzałości mleczonej w obu seriach badań nawożenie azotem pszenicy zwyczajnej prowadziło do nie zawsze potwierdzonego statystycznie wzrostu udziału źdźbeł i kłosów w gromadzeniu suchej masy.

Natomiast zastosowanie obornika istotnie stymulowało tylko wzrost udziału źdźbeł. Z kolei wzrost udziału kłosów w gromadzeniu suchej masy pszenicy orkisz w tej fazie następował zarówno po wniesieniu obornika, jak i azotu, poza dawką 90 kg N·ha⁻¹.

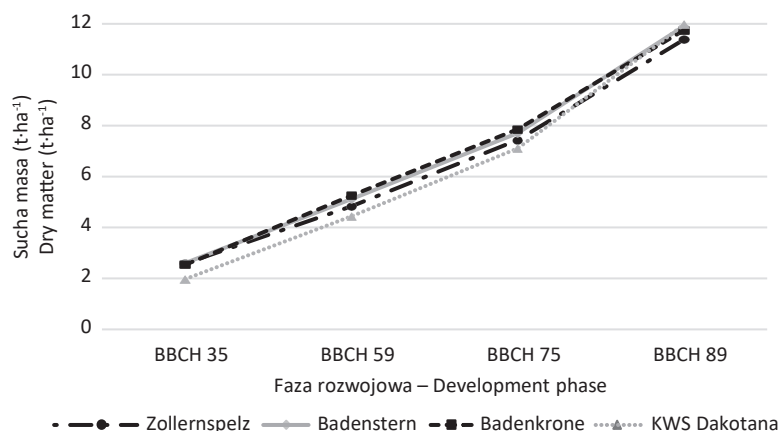
Dynamikę gromadzenia suchej masy przez rośliny badanych podgatunków pszenicy w pierwszej serii badań przedstawiono na rycinie 13. Przyrost suchej



Ryc. 13. Dynamika gromadzenia suchej masy (t·ha⁻¹) przez nadziemne części roślin badanych pszenic w zależności od odmiany (seria I)

Fig. 13. Dynamics of dry matter accumulation (t·ha⁻¹) by above-ground parts of tested wheat plants as a function of cultivar (Series I)

masy nadziemnych części roślin pszenicy orkisz na przestrzeni całego okresu wegetacji przebiegał bardzo podobnie. Inaczej proces ten przebiegał u pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’, gdzie począwszy od fazy strzelania w źdźbło (BBCH 35) do fazy dojrzałości mleczej (BBCH 75) przyrost suchej masy był niższy w porównaniu z badanymi odmianami pszenicy orkisz. W fazie dojrzałości pełnej (BBCH 89) przyrost suchej masy pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ kształtował się na zbliżonym poziomie jak u odmiany ‘Badengold’ oraz ‘Schwabenkorn’, a nieco większy przyrost wykazano dla odmiany ‘Schwabenspelz’.



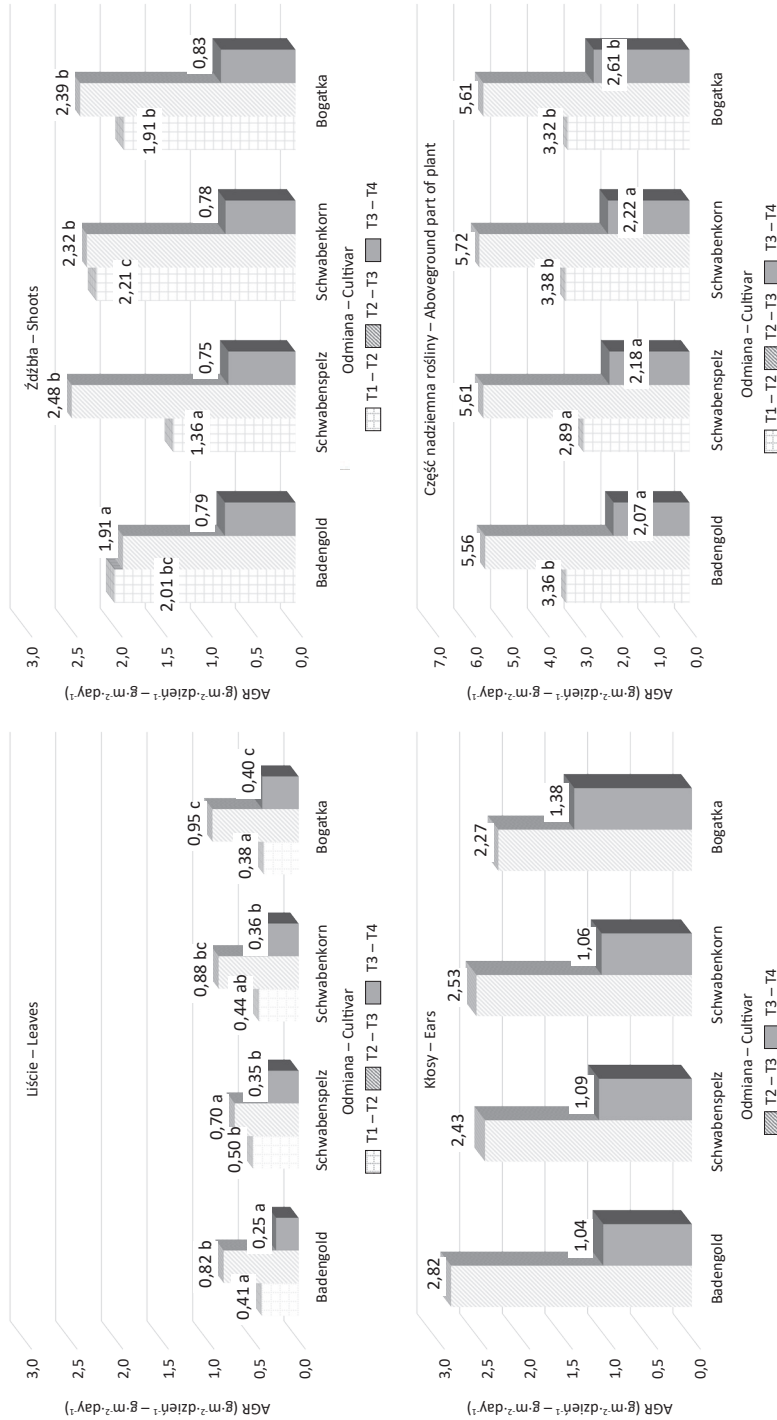
Ryc. 14. Dynamika gromadzenia suchej masy ($t \cdot ha^{-1}$) przez nadziemne części roślin badanych pszenic w zależności od odmiany (seria II)

Fig. 14. Dynamics of dry matter accumulation ($t \cdot ha^{-1}$) by above-ground parts of tested wheat plants as a function of cultivar (Series II)

W drugiej serii badań, większą niż u pszenicy zwyczajnej dynamiką gromadzenia suchej masy, zwłaszcza w początkowych fazach rozwojowych (BBCH 35–75) charakteryzowały się odmiany pszenicy orkisz (ryc. 14). W dojrzałości pełnej (BBCH 89) rośliny pszenicy zwyczajnej oraz odmian ‘Badenstern’ oraz ‘Badenkrona’ zgromadziły podobną ilość suchej masy. Z kolei rośliny odmiany ‘Zollernspelz’, od fazy BBCH 75 do BBCH 89, gromadziły suchą masę z mniejszą intensywnością.

4.2.11. Wskaźnik szybkości gromadzenia suchej masy w roślinach pszenicy

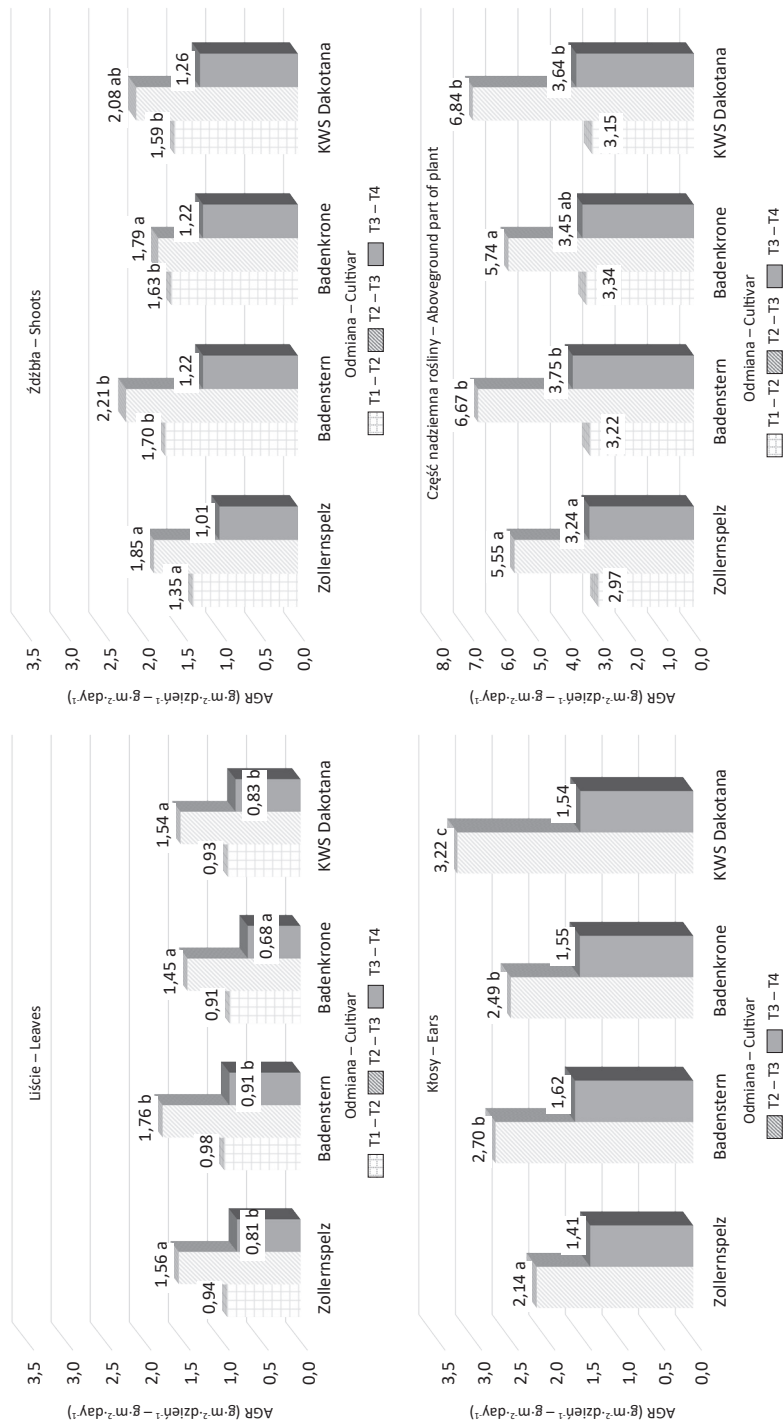
W obu seriach badań absolutna szybkość wzrostu (AGR) nadziemnych części roślin badanych podgatunków pszenicy zmieniała się istotnie pod wpływem odmiany (ryc. 15, 16). Największą absolutną szybkością wzrostu (AGR) części wegetatywnych i generatywnych u wszystkich badanych odmian pszenic w obu



T₁, T₂, T₃, T₄ – termin pobierania próbek; a, b, c, – grupy jednorodnie (wg testu Tukeya)
 T₁, T₂, T₃, T₄ – sampling date; a, b, c, – homogeneous groups (according to the Tukey's test)

Ryc. 15. Absolutna szybkość wzrostu (AGR) części wegetatywnych i generatywnych roślin badanych pszenic ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dzień}^{-1}$) w zależności od odmiany (seria I)

Fig. 15. Absolute growth rate (AGR) of vegetative and generative parts of tested wheat plants ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) as a function of cultivar (Series I)



T₁, T₂, T₃, T₄ – termin pobierania prób; a, b, c, – grupy jednorodnie (wg testu Tukeya)
T₁, T₂, T₃, T₄ – sampling date; a, b, c, – homogeneous groups (according to the Tukey's test)

Ryc. 16. Absolutna szybkość wzrostu (AGR) części wegetatywnych i generatywnych roślin badanych pszenic ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dzień}^{-1}$) w zależności od odmiany (seria II)

Fig. 16. Absolute growth rate (AGR) of vegetative and generative parts of tested wheat plants ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) as a function of cultivar (Series II)

seriach badań stwierdzono pomiędzy kłoszeniem (T_2) a dojrzałością mleczną (T_3). Wyjątek stanowiła odmiana ‘Badengold’ w pierwszej serii badań, u której istotnie większą dynamikę wzrostu źdźbeł stwierdzono pomiędzy strzelaniem w źdźbło (T_1) a kłoszeniem (T_2). W pierwszej serii badań AGR liści odmiany ‘Bogatka’ pomiędzy kłoszeniem a dojrzałością mleczną była istotnie większa ($0,95 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dzień}^{-1}$) niż u odmian: ‘Badengold’ oraz ‘Schwabenspelz’. Istotnie największą dynamiką akumulacji suchej masy liści ($0,4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dzień}^{-1}$) pomiędzy dojrzałością mleczną a pełną charakteryzowała się także pszenica zwyczajna. Podobne tendencje stwierdzono również dla AGR źdźbeł oraz kłosów. Akumulacja suchej masy w źdźbłach pszenicy zwyczajnej ($2,39 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dzień}^{-1}$) pomiędzy kłoszeniem a dojrzałością mleczną była podobna jak u odmian pszenicy orkisz ‘Schwabenspelz’ ($2,48 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dzień}^{-1}$) oraz ‘Schwabenkorn’ ($2,32 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dzień}^{-1}$). Z kolei AGR kłosów pomiędzy terminem T_2 a T_3 , była najwyższa dla odmiany ‘Badengold’.

W drugiej serii badań odmianą wyróżniającą się istotnie wyższą AGR liści oraz źdźbeł w okresie pomiędzy kłoszeniem a dojrzałością mleczną była ‘Badenstern’ (ryc. 16). W tym samym czasie, akumulacja suchej masy w źdźbłach pszenicy zwyczajnej kształtowała się na podobnym poziomie jak u odmiany ‘Badenstern’, natomiast w liściach była podobna jak u odmian ‘Zollernspelz’ oraz ‘Badenkrone’. Z kolei AGR kłosów była istotnie wyższa u odmiany ‘KWS Dakotana’ ($3,22 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dzień}^{-1}$) niż u badanych odmian pszenicy orkisz.

Dynamika akumulacji suchej masy w częściach vegetatywnych i generatywnych roślin obu pszenic zmieniała się istotnie pod wpływem nawożenia (tab. 77, 78). Zastosowane nawożenie sprzyjało gromadzeniu suchej masy

Tabela 77. Absolutna szybkość wzrostu (AGR) części vegetatywnych i generatywnych roślin pszenicy orkisz ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dzień}^{-1}$) w zależności od nawożenia (średnia dla odmian, seria I i II)

Table 77. Absolute growth rate (AGR) of vegetative and generative parts of spelt wheat plants ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) as a function of fertilization (mean for varieties, Series I and II)

Część rośliny Part of plant	Nawożenie – Fertilization												NIR _(0,05) LSD _(0,05)	
	0 kg N·ha ⁻¹		30 kg N·ha ⁻¹		60 kg N·ha ⁻¹		90 kg N·ha ⁻¹		obornik manure (15 t·ha ⁻¹)		obornik manure (30 t·ha ⁻¹)			
	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Termin pobierania prób (T ₁ – T ₂) – Sampling date (T ₁ – T ₂)														
Liście – Leaves	0,26	0,75	0,47	1,00	0,45	0,97	0,46	0,97	0,48	0,98	0,55	0,97	0,170	0,158
Żdźbła – Shoots	1,21	1,14	1,77	1,52	1,93	1,65	2,16	1,64	1,75	1,64	2,32	1,76	0,535	0,337
Cała roślina The whole plant	2,17	2,42	3,17	3,28	3,33	3,33	3,52	3,26	3,17	3,26	3,87	3,46	0,861	0,517

Tabela 77 – cd. / Table 77 – cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Termin pobierania prób ($T_2 - T_3$) – Sampling date ($T_2 - T_3$)														
Liście – Leaves	0,54	1,31	0,77	1,61	0,87	1,79	0,91	1,58	0,79	1,57	0,90	1,67	0,202	0,296
Żdźbła – Shoots	1,64	1,54	2,18	1,94	2,61	2,11	2,43	2,00	1,95	1,97	2,59	2,11	0,712	0,618
Kłosa – Ears	1,60	1,81	2,71	2,30	3,52	2,83	2,87	2,54	2,22	2,61	2,64	2,54	0,749	0,634
Cała roślina The whole plant	3,75	4,66	5,67	5,86	7,01	6,75	6,22	6,13	4,97	6,16	6,15	6,34	1,115	1,200
Termin pobierania prób ($T_3 - T_4$) – Sampling date ($T_3 - T_4$)														
Liście – Leaves	0,22	0,45	0,29	0,79	0,31	0,96	0,35	0,82	0,35	0,86	0,38	0,94	0,086	0,177
Żdźbła – Shoots	0,48	0,81	0,74	1,16	0,89	1,32	0,84	1,18	0,79	1,16	0,89	1,26	0,253	0,342
Kłosa – Ears	0,61	1,02	1,02	1,45	1,32	1,68	1,12	1,73	1,05	1,57	1,24	1,67	0,638	0,375
Cała roślina The whole plant	1,33	2,29	2,06	3,38	2,51	3,97	2,31	3,73	2,20	3,60	2,51	3,88	0,725	0,627

Tabela 78. Absolutna szybkość wzrostu (AGR) części wegetatywnych i generatywnych roślin pszenicy zwyczajnej ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dzień}^{-1}$) w zależności od nawożenia (średnia dla odmian, seria I i II)

Table 78. Absolute growth rate (AGR) of vegetative and generative parts of common wheat plants ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) as a function of fertilization (mean for varieties, Series I and II)

Część rośliny Part of plant	Nawożenie – Fertilization												NIR _(0,05) LSD _(0,05)	
	0 kg N·ha ⁻¹		30 kg N·ha ⁻¹		60 kg N·ha ⁻¹		90 kg N·ha ⁻¹		obornik manure (15 t·ha ⁻¹)		obornik manure (30 t·ha ⁻¹)			
	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Termin pobierania prób (T ₁ – T ₂) – Sampling date (T ₁ – T ₂)														
Liście – Leaves	0,18	0,74	0,29	0,93	0,36	0,94	0,55	1,07	0,46	0,90	0,44	1,00	0,170	0,158
Żdźbła – Shoots	0,91	1,17	1,47	1,83	2,44	1,76	2,76	1,77	1,59	1,43	2,24	1,54	0,535	0,337
Cała roślina The whole plant	1,84	2,52	2,88	3,51	4,11	3,37	4,42	3,60	3,18	2,84	3,49	3,06	0,861	0,517
Termin pobierania prób (T ₂ – T ₃) – Sampling date (T ₂ – T ₃)														
Liście – Leaves	0,64	1,18	0,83	1,43	1,05	1,68	1,14	1,85	0,88	1,49	1,11	1,57	0,202	0,296
Żdźbła – Shoots	1,46	1,55	1,69	1,98	2,30	2,08	2,77	2,71	2,66	1,96	3,44	2,16	0,712	0,618
Kłosa – Ears	1,11	2,03	1,84	3,03	2,41	3,58	3,49	4,32	2,19	2,73	2,56	3,60	0,749	0,634
Cała roślina The whole plant	3,21	4,77	4,37	6,46	5,77	7,35	7,41	8,90	5,74	6,19	7,12	7,34	1,115	1,200

Tabela 78 – cd. / Table 78 – cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Termin pobierania prób ($T_3 - T_4$) – Sampling date ($T_3 - T_4$)														
Liście – Leaves	0,27	0,48	0,36	0,87	0,43	0,95	0,51	1,04	0,41	0,78	0,42	0,86	0,086	0,177
Żdźbła – Shoots	0,55	0,76	0,73	1,16	0,95	1,35	0,96	1,48	0,85	1,32	0,91	1,48	0,253	0,342
Kłosa – Ears	0,88	1,13	1,28	1,44	1,37	1,51	1,96	1,60	1,18	1,61	1,59	1,93	0,638	0,375
Cała roślina The whole plant	1,71	2,38	2,37	3,47	2,75	3,83	3,43	4,13	2,44	3,72	2,92	4,28	0,725	0,627

w nadziemnych częściach roślin. U obu pszenic AGR liści, żdźbeł oraz kłosów w obydwu seriach badań i w każdym terminie pobierania prób zwiększała się wraz ze wzrostem dawki obornika, choć nie zawsze był to wzrost potwierdzony statystycznie. Z kolei nawożenie azotem pszenicy orkisz w terminie $T_1 - T_2$ w dawce $30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ sprzyjało większej akumulacji suchej masy w liściach, natomiast w dawce 60 lub $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ w zależności od serii badań – większej akumulacji suchej masy w żdźbłach. W późniejszych fazach rozwojowych większe gromadzenie suchej masy w każdej z nadziemnych części roślin następowało w zakresie dawek $60 - 90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ponadto w obu seriach badań i niezależnie od terminu pobierania prób najwyższą AGR liści, żdźbeł oraz kłosów pszenicy zwyczajnej, stwierdzono na obiektach nawożonych dawką $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, jednak nie zawsze były to wzrosty potwierdzone statystycznie. Wyjątkiem w drugiej serii badań była akumulacja suchej masy w żdźbłach pszenicy zwyczajnej, w okresie pomiędzy strzelaniem w żdźbło a kłoszeniem, gdzie najwyższe wartości tej cechy stwierdzono na obiektach nawożonych dawką $30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$.

4.2.12. Odżywienie roślin azotem

Zawartość azotu w nadziemnych częściach roślin pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej w pierwszej serii badań zależała od odmiany, a potwierdzone statystycznie różnice wykazano w kłosach w fazie BBCH 59 oraz w ziarnie w fazie BBCH 89 (tab. 79). W fazie kłoszenia najwięcej azotu zawierały kłosa pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ ($16,9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$), a wartość tej cechy różniła się istotnie od wartości, jakie zaobserwowano w przypadku odmian ‘Schwabenkorn’ i ‘Schwabenspelz’. W fazie dojrzałości pełnej, ziarno pszenicy zwyczajnej wyróżniało się istotnie najniższą zawartością azotu ($22,9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$), a istotnie najwyższą ziarno pszenicy orkisz odmiany ‘Schwabenkorn’ ($28,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$). Z kolei w fazach BBCH 35 oraz BBCH 59, niezależnie od podgatunku pszenicy, liście charakteryzowały się wyższą zawartością azotu w porównaniu do żdźbeł oraz kłosów.

Tabela 79. Zawartość azotu ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w częściach wegetatywnych i generatywnych badanych pszenic w zależności od odmiany (seria I)**Table 79.** Nitrogen content ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ D.M.) in vegetative and generative parts of tested wheat as a function of cultivar (Series I)

Część rośliny Part of plant	Odmiana – Cultivar				NIR _(0,05) LSD _(0,05)
	Badengold	Schwabenspelz	Schwabenkorn	Bogatka	
Faza strzelania w źdźbło – Shooting phase (BBCH 35)					
Liście – Leaves	19,4	21,0	22,8	23,8	r.n./n.s.
Żdźbła – Shoots	11,5	11,6	12,7	11,7	r.n./n.s.
Faza kłoszenia – Heading phase (BBCH 59)					
Liście – Leaves	18,7	20,0	20,1	21,6	r.n./n.s.
Żdźbła – Shoots	8,5	8,9	8,3	8,4	r.n./n.s.
Kłosa – Ears	15,4	14,3	14,6	16,9	1,79
Faza dojrzałości młecznej – Milk maturity phase (BBCH 75)					
Liście – Leaves	8,5	9,4	10,0	11,7	r.n./n.s.
Żdźbła – Shoots	4,1	5,6	4,5	5,3	r.n./n.s.
Kłosa – Ears	18,5	19,3	18,7	18,6	r.n./n.s.
Faza dojrzałości pełnej – Full maturity phase (BBCH 89)					
Słoma – Straw	4,3	4,8	5,3	6,6	r.n./n.s.
Ziarno – Grain	24,4	27,0	28,5	22,9	0,69

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

W drugiej serii badań zawartość azotu w poszczególnych fazach rozwojowych i częściach roślin obu pszenic zmieniała się pod wpływem odmiany (tab. 80), a istotne różnice wystąpiły w: liściach w fazie BBCH 35, liściach oraz kłosach w fazie BBCH 59, kłosach w fazie BBCH 75 oraz ziarnie w fazie BBCH 89. Spośród wszystkich odmian biorących udział w badaniach, kłosa pszenicy zwyczajnej ‘KWS Dakotana’ w fazie BBCH 59 zawierały istotnie najwięcej azotu, a istotnie najmniej ziarno w fazie BBCH 89. Ponadto w porównaniu z odmianami pszenicy orkisz żdźbła pszenicy zwyczajnej w fazie BBCH 35 oraz liście w fazie kłoszenia wyróżniała wysoka zawartość azotu. W fazie dojrzałości młecznej kłosa pszenicy zwyczajnej charakteryzowały się istotnie niższą zawartością azotu w porównaniu z odmianami ‘Zollernspelz’ i ‘Badenstern’. Natomiast odmianę ‘Zollernspelz’ w trakcie całej wegetacji roślin wyróżniała niska zawartość azotu w liściach i w słomie, a w fazie dojrzałości pełnej (BBCH 89) istotnie wyższą zawartość azotu w ziarnie, w porównaniu do innych odmian pszenicy orkisz. Z kolei kłosa pszenicy orkisz odmian ‘Badenstern’ oraz ‘Zollernspelz’ w fazie BBCH 75 wyróżniały się istotnie najwyższą zawartością azotu.

Tabela 80. Zawartość azotu ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w częściach vegetatywnych i generatywnych badanych pszenic w zależności od odmiany (seria II)**Table 80.** Nitrogen content ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ D.M.) in vegetative and generative parts of tested wheat as a function of cultivar (Series II)

Część rośliny Part of plant	Odmiana – Cultivar				NIR _(0,05) LSD _(0,05)
	Zollernspelz	Badenstern	Badenkrone	KWS Dakotana	
Faza strzelania w źdźbło – Shooting phase (BBCH 35)					
Liście – Leaves	23,6	25,1	26,8	25,8	1,80
Żdźbła – Shoots	14,0	15,4	14,5	16,1	r.n./n.s.
Faza kłoszenia – Heading phase (BBCH 59)					
Liście – Leaves	21,7	23,0	25,9	27,2	3,29
Żdźbła – Shoots	8,8	9,0	9,2	8,2	r.n./n.s.
Kłosa – Ears	16,3	16,5	16,5	18,1	1,27
Faza dojrzałości młecznej – Milk maturity phase (BBCH 75)					
Liście – Leaves	11,9	14,8	13,2	16,8	r.n./n.s.
Żdźbła – Shoots	7,0	7,8	7,7	6,4	r.n./n.s.
Kłosa – Ears	19,4	19,8	17,8	17,4	1,83
Faza dojrzałości pełnej – Full maturity phase (BBCH 89)					
Słoma – Straw	5,4	5,9	6,1	5,9	r.n./n.s.
Ziarno – Grain	25,3	24,5	21,2	20,5	0,37

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

Nawożenie azotem oraz obornikiem badanych pszenic istotnie modyfikowało zawartość azotu w nadziemnych częściach roślin (tab. 81, 82). Wyjątek stanowiły z pierwszej serii badań kłosa zebrane w fazie dojrzałości młecznej, z drugiej serii żdźbła w fazie BBCH 35 oraz słoma (BBCH 89) w obydwu seriach badań, gdy zawartość azotu nie zmieniała się pod wpływem tego czynnika. Badane rodzaje nawożenia stymulowały obie pszenice do zwiększenia zawartości azotu w nadziemnych częściach roślin. W pierwszej serii badań najwyższe zawartości azotu w liściach oraz żdźbłach pszenicy orkisz stwierdzono w fazie BBCH 35, stosując dawkę $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, natomiast w pozostałych fazach rozwojowych $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tab. 81). Z kolei w drugiej serii badań najwyższą zawartość azotu w nadziemnych częściach roślin w fazach kłoszenia oraz dojrzałości młecznej stwierdzono po wniesieniu $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Ponadto na tych obiektach liście w fazie strzelania w żdźbło oraz ziarno w fazie dojrzałości pełnej również charakteryzowały się wysoką zawartością azotu. Nawożenie obornikiem w dawce $15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ w obydwu seriach badań, w porównaniu z obiektem kontrolnym, sprzyjało wyższej zawartości

Tabela 81. Zawartość azotu ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.) w częściach wegetatywnych i generatywnych pszenicy orkisz w zależności od nawożenia (średnia dla odmian, seria I i II)**Table 81.** Nitrogen content ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ D.M.) in vegetative and generative parts of spelt wheat as a function of fertilization (mean for varieties, Series I and II)

Część rośliny Part of plant	Nawożenie – Fertilization												NIR _(0,05) LSD _(0,05)	
	0 kg N·ha ⁻¹		30 kg N·ha ⁻¹		60 kg N·ha ⁻¹		90 kg N·ha ⁻¹		obornik manure (15 t·ha ⁻¹)		obornik manure (30 t·ha ⁻¹)			
	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II
Faza strzelania w źdźbło – Shooting phase (BBCH 35)														
Liście – Leaves	17,9	21,1	22,5	25,4	24,6	27,5	24,0	28,0	18,9	23,7	18,4	25,2	4,95	4,57
Żdźbła – Shoots	9,3	12,2	12,6	15,2	14,3	16,2	14,0	15,3	10,6	13,7	10,7	15,1	2,27	r.n./n.s.
Faza kłoszenia – Heading phase (BBCH 59)														
Liście – Leaves	16,6	20,6	20,3	23,0	21,8	25,3	21,9	26,3	18,7	22,3	18,1	23,6	3,87	2,79
Żdźbła – Shoots	7,6	8,2	8,3	9,1	9,4	9,9	9,7	10,5	8,2	7,8	8,0	8,5	0,98	0,81
Kłosa – Ears	13,5	15,5	14,4	16,3	15,3	17,0	15,8	17,0	14,9	16,1	14,6	16,5	1,10	1,04
Faza dojrzałości młeczej – Milk maturity phase (BBCH 75)														
Liście – Leaves	7,8	11,4	9,2	12,9	10,4	14,7	11,6	14,9	8,0	12,9	8,7	12,9	1,50	3,15
Żdźbła – Shoots	3,9	6,3	4,6	7,4	5,5	8,0	5,8	8,5	4,1	7,3	4,6	7,6	1,38	1,20
Kłosa – Ears	17,3	18,1	18,5	18,6	19,6	20,0	21,1	20,7	18,1	18,1	18,5	18,5	r.n./n.s.	1,66
Faza dojrzałości pełnej – Full maturity phase (BBCH 89)														
Słoma – Straw	4,4	4,8	4,6	5,9	5,0	6,6	5,4	6,4	4,7	5,9	4,8	5,3	r.n./n.s.	r.n./n.s.
Ziarno – Grain	25,6	22,4	26,1	23,0	26,8	24,3	28,9	26,2	26,1	22,9	26,4	23,4	0,53	0,52

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

azotu w nadziemnych częściach roślin pszenicy orkisz w fazie strzelania w źdźbło i kłoszenia oraz słomie zebranej w fazie BBCH 89. Natomiast w późniejszych fazach rozwojowych (BBCH 75 oraz BBCH 89) wyższą zawartość azotu w nadziemnych częściach roślin stwierdzono po zastosowaniu 30 t·ha⁻¹ obornika.

Rośliny pszenicy zwyczajnej z pierwszej serii badań, w fazie strzelania w źdźbło oraz kłoszenia, po zastosowaniu 60 kg N·ha⁻¹ zawierały najwięcej azotu w nadziemnych częściach roślin (tab. 82), natomiast w serii drugiej po zastosowaniu 90 kg N·ha⁻¹. W późniejszych fazach rozwojowych BBCH 75 oraz BBCH 89 i w obu seriach badań zastosowanie najwyższej dawki azotu skutkowało najwyższą zawartością azotu w częściach nadziemnych pszenicy zwyczajnej, czego jednak nie udowodniono statystycznie. Z kolei nawożenie pszenicy zwyczajnej

Tabela 82. Zawartość azotu ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.) w częściach wegetatywnych i generatywnych pszenicy zwyczajnej w zależności od nawożenia (średnia dla odmian, seria I i II)**Table 82.** Nitrogen content ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ D.M.) in vegetative and generative parts of common wheat as a function of fertilization (mean for varieties, Series I and II)

Część rośliny Part of plant	Nawożenie – Fertilization												NIR _(0,05) LSD _(0,05)	
	0 kg N·ha ⁻¹		30 kg N·ha ⁻¹		60 kg N·ha ⁻¹		90 kg N·ha ⁻¹		obornik manure (15 t·ha ⁻¹)		obornik manure (30 t·ha ⁻¹)			
	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II	seria I series I	seria II series II
Faza strzelania w źdźbło – Shooting phase (BBCH 35)														
Liście – Leaves	21,2	21,3	23,4	25,6	27,7	27,2	27,4	30,0	21,2	25,4	21,8	25,0	4,95	4,57
Żdźbła – Shoots	9,6	14,4	11,2	15,9	14,4	16,7	13,3	19,6	10,1	14,8	11,4	15,2	2,27	r.n./n.s.
Faza kłoszenia – Heading phase (BBCH 59)														
Liście – Leaves	18,4	20,7	21,1	26,4	25,1	28,3	24,3	30,8	21,0	26,9	19,6	30,0	3,87	2,79
Żdźbła – Shoots	7,4	7,1	8,2	7,9	9,7	8,5	9,3	9,1	7,6	7,6	8,1	9,2	0,98	0,81
Kłosa – Ears	15,9	16,6	17,0	17,8	18,1	18,3	17,8	18,5	16,1	18,5	16,3	18,9	1,10	1,04
Faza dojrzałości mleczonej – Milk maturity phase (BBCH 75)														
Liście – Leaves	10,4	13,7	11,3	15,5	12,7	17,1	14,1	19,6	9,8	16,2	12,0	18,5	1,50	3,15
Żdźbła – Shoots	4,1	5,0	5,5	6,0	6,2	6,5	7,2	8,0	4,8	6,2	3,8	7,0	1,38	1,20
Kłosa – Ears	17,5	15,3	18,3	16,6	19,1	18,2	21,3	18,6	17,7	17,4	17,5	18,0	r.n./n.s.	1,66
Faza dojrzałości pełnej – Full maturity phase (BBCH 89)														
Słoma – Straw	5,7	5,2	6,3	5,3	7,1	6,1	8,0	6,8	6,0	5,4	6,2	6,4	r.n./n.s.	r.n./n.s.
Ziarno – Grain	22,3	18,9	22,5	19,7	23,4	20,6	24,9	22,5	22,0	20,4	22,1	20,7	0,53	0,52

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

30 t·ha⁻¹ obornika, w porównaniu z dawką 15 t·ha⁻¹, w obydwu seriach badań prowadziło do uzyskania wyższej zawartości azotu zarówno w częściach wegetatywnych, jak i generatywnych. Wyjątek stanowiły w serii drugiej liście w fazie strzelania w źdźbło, a w serii pierwszej liście w fazie kłoszenia oraz źdźbła i kłosa w fazie dojrzałości mleczonej, w których wyższą zawartość azotu stwierdzono na obiektach nawożonych niższą dawką obornika.

W obydwu seriach badań zarówno odmiana, jak i nawożenie miały istotny wpływ na wartości jednostek SPAD (tab. 83). W obu seriach badań wykazano, że rośliny pszenicy zwyczajnej odmian ‘Bogatka’ oraz ‘KWS Dakotana’ charakteryzowały się istotnie najwyższym wskaźnikiem zieloności liści. Zróżnicowanie w wartościach wskaźnika SPAD pomiędzy odmianami pszenicy orkisz

Tabela 83. Wskaźnik zieloności liści (SPAD) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I i II)**Table 83.** Leaf greenness index (SPAD) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I and II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Seria I – Series II							
Badengold	461,5	503,4	571,6	587,4	527,6	551,5	533,8
Schwabenspelz	479,2	551,5	604,6	604,3	555,0	587,3	563,6
Schwabenkorn	484,6	546,6	583,5	571,9	538,3	564,2	548,2
Bogatka	506,8	603,1	650,9	665,9	609,1	623,4	609,9
Średnia – Mean	483,0	551,1	602,6	607,4	557,5	581,6	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 16,34 AxB = r.n. – n.s.						A = 15,51
Seria II – Series II							
Zollernspelz	505,9	546,8	589,5	584,4	541,0	574,7	557,1
Badenstern	521,8	577,2	608,5	603,6	582,3	591,0	580,8
Badenkrone	548,4	608,2	626,6	635,3	610,8	619,4	608,1
KWS Dakotana	537,4	613,0	657,3	654,7	641,4	672,0	629,3
Średnia – Mean	528,4	586,3	620,5	619,5	593,9	614,3	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 14,81 AxB = r.n. – n.s.						A = 14,42

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

w pierwszej serii nie było aż tak duże, a różnica między odmianami o największej zieloności liści ('Badengold') i najmniejszej ('Schwabenspelz') wynosiła tylko 29,8 jednostek. Wśród odmian pszenicy orkisz uczestniczących w drugiej serii badań istotnie najwyższą zielonością liści charakteryzowała się 'Badenkrone', a istotnie najniższą 'Zollernspelz'. Z kolei w obydwu seriach badań wraz ze wzrostem dawek azotu zaobserwowano wzrost zieloności liści, przy czym nie było istotnego zróżnicowania między dawkami 60 a 90 kg N·ha⁻¹. Z kolei wniesienie 30 t·ha⁻¹ obornika powodowało istotny wzrost zieloności liści w porównaniu do kontroli (bez nawożenia) i obiektów nawożonych niższą dawką obornika.

Zawartość barwników chloroplastowych

W pierwszej serii badań zawartość chlorofilu *a* w liściu flagowym badanych podgatunków pszenicy istotnie zależała od odmiany i nawożenia oraz współdziałania tych czynników (tab. 84). Istotnie najniższą zawartość chlorofilu *a* w liściach flagowych miała odmiana ‘Badengold’, a najwyższą ‘Schwabenspelz’. Z kolei w liściach flagowych pszenicy zwyczajnej zawartość chlorofilu *a* wynosiła $2,36 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ i nie różniła się istotnie od odmiany ‘Schwabenkorn’.

Tabela 84. Zawartość chlorofilu *a* ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) w liściu flagowym roślin badanych pszenic w fazie kwitnienia (BBCH 65) w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)

Table 84. Chlorophyll *a* ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) content in flag leaf of tested wheat plants in flowering phase (BBCH 65) as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Badengold	1,83	2,17	2,18	2,45	1,98	2,22	2,14
Schwabenspelz	2,46	2,74	2,72	2,66	2,56	2,38	2,59
Schwabenkorn	2,20	2,74	2,73	2,67	2,31	2,35	2,50
Bogatka	2,06	2,23	2,65	2,74	2,22	2,24	2,36
Średnia – Mean	2,14	2,47	2,57	2,63	2,27	2,30	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,111 AxB = 0,223						A = 0,157

Zawartość chlorofilu *a* w liściu flagowym badanych pszenic zwiększała się istotnie pod wpływem nawożenia. Zastosowanie najniższej dawki azotu ($30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) lub obornika ($15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) powodowało istotny wzrost w wartościach tej cechy w porównaniu z obiektem kontrolnym. Nie wykazano natomiast istotnego zróżnicowania w zawartości chlorofilu *a* między poszczególnymi poziomami nawożenia azotem oraz obornikiem. Z kolei współdziałanie odmiany z nawożeniem było najbardziej widoczne u odmiany ‘Badengold’, gdyż zastosowanie najwyższej dawki azotu lub obornika skutkowało istotnie najwyższą zawartością chlorofilu *a* w liściach. Podobnie na nawożenie azotem mineralnym zareagowała pszenica zwyczajna odmiany ‘Bogatka’, z tym że nie wykazano istotnego zróżnicowania między dawkami 60 a $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Natomiast najwyższą zawartość chlorofilu *a* w liściach pszenicy orkisz odmian ‘Schwabenspelz’ oraz ‘Schwabenkorn’ stwierdzono po zastosowaniu 30 i $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Ponadto nawożenie obornikiem odmian ‘Schwabenspelz’ i ‘Schwabenkorn’ oraz pszenicy zwyczajnej

‘Bogatka’ – niezależnie od wielkości dawki – nie różnicowało zawartości chlorofilu *a* w liściu flagowym.

Badania wykazały istotny wpływ odmiany oraz nawożenia na zawartość chlorofilu *b* w liściu flagowym roślin obu pszenic (tab. 85). Liście flagowe odmiany ‘Schwabenspelz’ charakteryzowały się istotnie najwyższą zawartością chlorofilu *b*, wynoszącą $0,65 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, a najniższą zawartością chlorofilu *b* charakteryzowała się odmiana ‘Badengold’. Z kolei zawartość chlorofilu *b* w liściach flagowych pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ była wyższa o $0,06 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ i nie różniła się istotnie od wartości, jakie wykazano dla najśłabszej pod tym względem odmiany ‘Badengold’. Zawartość chlorofilu *b* w liściu flagowym rosła wraz ze zwiększaniem się dawki azotu, jednak nie uzyskano istotnego zróżnicowania między poszczególnymi poziomami nawożenia. Z kolei stosowanie w uprawie obu pszenic nawożenia obornikiem, niezależnie od wysokości dawki, nie powodowało istotnego wzrostu wartości tej cechy. Pomimo braku istotnego współdziałania badanych czynników we wpływie na zawartość chlorofilu *b* w liściu flagowym badanych pszenic stwierdzono, że rośliny odmiany ‘Schwabenkorn’ nawożone dawką $30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ zawierały więcej chlorofilu *b* niż po wniesieniu większych dawek azotu oraz obornika. Z kolei u pozostałych odmian pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej, takie same zależności wystąpiły po zastosowaniu $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Ponadto w uprawie pszenicy zwyczajnej oraz odmiany ‘Badengold’, zauważono nieudowodnioną statystycznie zależność, że zastosowanie $30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ obornika, sprzyjało większej koncentracji chlorofilu *b* w liściu flagowym.

Tabela 85. Zawartość chlorofilu *b* ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) w liściu flagowym roślin badanych pszenic w fazie kwitnienia (BBCH 65) w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)

Table 85. Chlorophyll *b* ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) content in flag leaf of tested wheat plants in flowering phase (BBCH 65) as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	$0 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	$30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	$60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	$90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	obornik manure ($15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	obornik manure ($30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	
Badengold	0,39	0,47	0,49	0,54	0,43	0,51	0,47
Schwabenspelz	0,58	0,69	0,68	0,72	0,63	0,59	0,65
Schwabenkorn	0,50	0,68	0,63	0,61	0,50	0,52	0,57
Bogatka	0,48	0,46	0,60	0,65	0,46	0,51	0,53
Średnia – Mean	0,49	0,57	0,60	0,63	0,51	0,53	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,050 AxB = r.n./n.s.						A = 0,070

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

Zawartość chlorofilu $a + b$ w liściu flagowym badanych pszenic zmieniała się istotnie pod wpływem obu czynników działających niezależnie od siebie oraz we współdziałaniu (tab. 86). Liście flagowe odmiany ‘Badengold’ charakteryzowały się istotnie najniższą zawartością chlorofilu $a + b$, natomiast istotnie najwyższą wartość tej cechy stwierdzono u odmiany ‘Schwabenspelz’ ($3,24 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Zarówno nawożenie azotem, jak i obornikiem sprzyjało większej koncentracji chlorofilu $a + b$ w liściach flagowych pszenicy. Najwyższe wartości tej cechy stwierdzono na obiektach nawożonych $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ lub $30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ obornika. Zastosowanie w uprawie odmiany ‘Badengold’ $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ lub $30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ obornika, w porównaniu z obiektem kontrolnym, istotnie zwiększało koncentrację chlorofilu $a + b$ w liściach flagowych. Również u odmiany ‘Bogatka’ zastosowanie najwyższej dawki azotu pozwoliło na osiągnięcie najwyższej zawartości chlorofilu $a + b$. Natomiast u odmian ‘Schwabenspelz’ oraz ‘Schwabenkorn’ najwyższe wartości tej cechy stwierdzono po zastosowaniu najniższej dawki azotu mineralnego ($30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), a zastosowanie wyższych dawek powodowało obniżenie wartości tej cechy. Nawożenie obornikiem odmian ‘Schwabenspelz’ i ‘Schwabenkorn’ oraz pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’, wywoływało tendencję do wzrostu zawartości chlorofilu $a + b$ w liściu flagowym w porównaniu do obiektu kontrolnego.

Tabela 86. Zawartość chlorofilu $a + b$ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) w liściu flagowym roślin badanych pszenic w fazie kwitnienia (BBCH 65) w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)

Table 86. Chlorophyll $a + b$ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) content in flag leaf of tested wheat plants in flowering phase (BBCH 65) as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Badengold	2,24	2,65	2,69	3,00	2,41	2,73	2,62
Schwabenspelz	3,05	3,43	3,40	3,39	3,20	2,98	3,24
Schwabenkorn	2,71	3,43	3,37	3,29	2,82	2,88	3,08
Bogatka	2,54	2,69	3,26	3,39	2,69	2,75	2,89
Średnia – Mean	2,63	3,05	3,18	3,27	2,78	2,83	–
NIR _(0,05)	B = 0,149						A = 0,220
LSD _(0,05)	AxB = 0,298						

W pierwszej serii badań wykazano istotny wpływ odmiany, nawożenia oraz współdziałania tych czynników na zawartość karotenoidów w świeżej masie roślin badanych podgatunków pszenicy (tab. 87). Istotnie najniższą zawartość karotenoidów stwierdzono w świeżej masie roślin odmiany ‘Badengold’, natomiast

Tabela 87. Zawartość karotenoidów ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ świeżej masy) w roślinach badanych pszenic w fazie kwitnienia (BBCH 65) w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)**Table 87.** Carotenoid ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ fresh mass) content in tested wheat plants in the flowering phase (BBCH 65) as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	30 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	60 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	90 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$	obornik manure (15 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	obornik manure (30 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	
Badengold	6,21	6,61	7,01	7,26	5,80	7,38	6,71
Schwabenspelz	8,20	8,58	7,89	8,76	8,06	7,91	8,24
Schwabenkorn	7,17	7,99	8,07	8,19	6,92	7,54	7,65
Bogatka	6,91	7,17	7,82	8,54	6,84	7,36	7,44
Średnia – Mean	7,12	7,56	7,69	8,19	6,90	7,55	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,527 AxB = 1,054						A = 0,605

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

istotnie najwyższą u roślin odmiany ‘Schwabenspelz’. Zawartość karotenoidów w roślinach odmiany ‘Schwabenkorn’ – mimo że była o $0,59 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ świeżej masy niższa – nie różniła się istotnie od najlepszej odmiany ‘Schwabenspelz’. Ponadto zastosowane nawożenie stymulowało rośliny pszenicy do większej koncentracji karotenoidów w świeżej masie, w porównaniu do obiektu kontrolnego (bez nawożenia), a najsilniejsza reakcja wystąpiła u odmiany ‘Badengold’, po wniesieniu $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ lub $30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ obornika. U pozostałych odmian pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ najwyższą koncentrację karotenoidów w świeżej masie stwierdzono również po wniesieniu $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, ale nie udowodniono istotnego zróżnicowania między poszczególnymi dawkami. W uprawie odmiany ‘Schwabenkorn’ oraz pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ większej koncentracji karotenoidów w świeżej masie roślin sprzyjało nawożenie obornikiem w dawce $30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, natomiast w uprawie odmiany ‘Schwabenspelz’ $15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Należy jednak zaznaczyć, że różnic wynikających z zastosowanych dawek nie potwierdzono statystycznie.

Indeks odżywienia roślin (NNI)

W fazie strzelania w źdźbło indeks odżywienia badanych podgatunków pszenicy azotem (NNI) w obu seriach badań zmieniał się istotnie pod wpływem badanych czynników działających niezależnie od siebie, a także we współdziałaniu (tab. 88). W obu seriach badań rośliny pszenicy zwyczajnej charakteryzowały się

Tabela 88. Indeks odżywienia azotem (NNI) roślin badanych pszenic w fazie strzelania w źdźbło (BBCH 35) w zależności od odmiany i nawożenia (seria I i II)**Table 88.** Nitrogen nutrition index (NNI) of tested wheat plants in the shooting phase (BBCH 35) as a function of cultivar and fertilization (Series I and II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Seria I – Series I							
Badengold	0,40	0,55	0,74	0,71	0,44	0,50	0,56
Schwabenspelz	0,43	0,55	0,73	0,75	0,57	0,50	0,59
Schwabenkorn	0,48	0,79	0,76	0,67	0,55	0,53	0,63
Bogatka	0,36	0,46	0,62	0,63	0,42	0,47	0,49
Średnia – Mean	0,42	0,59	0,71	0,69	0,49	0,50	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,023 AxB = 0,046						A = 0,032
Seria II – Series II							
Zollernspelz	0,49	0,65	0,72	0,72	0,60	0,63	0,64
Badenstern	0,55	0,69	0,83	0,80	0,62	0,67	0,69
Badenkrone	0,56	0,71	0,74	0,73	0,66	0,74	0,69
KWS Dakotana	0,49	0,61	0,66	0,77	0,59	0,59	0,62
Średnia – Mean	0,53	0,67	0,74	0,76	0,62	0,66	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,011 AxB = 0,023						A = 0,011

istotnie najniższym indeksem NNI, wynoszącym odpowiednio 0,49 (seria I) oraz 0,62 (seria II). Z kolei istotnie najwyższym NNI charakteryzowały się rośliny pszenicy orkisz odmiany ‘Schwabenkorn’ z pierwszej serii badań oraz odmiany ‘Badenstern’ i ‘Badenkrone’ z serii drugiej. Ponadto zastosowanie w obu seriach badań zarówno nawożenia azotem, jak i obornikiem sprzyjało lepszemu odżywieniu roślin pszenicy. W pierwszej serii badań najwyższym NNI charakteryzowały się rośliny nawożone dawką 60 kg N·ha⁻¹ lub 30 t·ha⁻¹ obornika, jednak nie stwierdzono istotnego zróżnicowania między nawożeniem azotowym na poziomie 60 i 90 kg N·ha⁻¹ oraz dawkami obornika. Natomiast w serii drugiej istotnie najwyższym NNI charakteryzowały się rośliny nawożone dawką 90 kg N·ha⁻¹ lub 30 t·ha⁻¹ obornika. W fazie strzelania w źdźbło w pierwszej serii badań rośliny odmiany ‘Schwabenkorn’ charakteryzowały się istotnie najwyższym indeksem NNI już po zastosowaniu dawki 30 kg N·ha⁻¹ lub 15 t·ha⁻¹ obornika. W przypadku

tej odmiany zwiększanie nawożenia azotem oraz obornikiem powodowało spadek NNI, jednak nie wykazano istotnego różnicowania pomiędzy dawkami 30 a 60 kg N·ha⁻¹ oraz dawkami obornika. Pozostałe odmiany pszenicy orkisz najwyższym indeksem NNI w fazie strzelania w źdźbło charakteryzowały się po zastosowaniu 60 kg N·ha⁻¹ ('Badengold') lub 90 kg N·ha⁻¹ ('Schwabenspelz'). Wykazano również, że istotnie wyższym NNI charakteryzowały się rośliny odmiany 'Badengold' nawożone większą dawką obornika, natomiast odmiany 'Schwabenspelz' dawką niższą. Reakcja pszenicy zwyczajnej w obu seriach badań na nawożenie azotem była podobna. Najwyższym NNI charakteryzowały się rośliny nawożone 90 kg N·ha⁻¹, przy czym nie uzyskano istotnego różnicowania pomiędzy dawką 60 a 90 kg N·ha⁻¹. Nawożenie obornikiem miało istotny wpływ na wartości tej cechy tylko w pierwszej serii badań, a zastosowanie 30 t·ha⁻¹ obornika istotnie zwiększało NNI. W drugiej serii badań NNI roślin odmiany 'Badenkrone' był najwyższy po zastosowaniu 60 kg N·ha⁻¹, przy czym nie udowodniono różnicowania między dawkami 60 i 90 kg N·ha⁻¹. Podobnie rośliny odmiany 'Badenstern' nawożone tą dawką osiągnęły istotnie najwyższe wartości NNI, a u odmiany 'Zollernspelz' NNI w obiektach nawożonych azotem w dawce 60 kg N·ha⁻¹ i 90 kg N·ha⁻¹ osiągnął tę samą wartość (0,72). Zastosowanie w uprawie pszenicy orkisz 30 t·ha⁻¹ obornika powodowało uzyskanie istotnie najwyższego indeksu odżywienia roślin azotem.

Analiza zebranych wyników z pierwszej serii badań wykazała istotny wpływ badanych czynników oraz ich współdziałania na indeks odżywienia NNI w fazie kłoszenia (tab. 89). Rośliny odmiany 'Schwabenspelz' oraz 'Badengold' charakteryzowały się istotnie wyższym indeksem NNI w porównaniu do pozostałych odmian. Stosowanie w uprawie badanych pszenic nawożenia azotem oraz obornika prowadziło do potwierdzonego statystycznie wzrostu indeksu NNI w porównaniu do obiektu kontrolnego (bez nawożenia). Odmiany 'Badengold' i 'Schwabenspelz' oraz pszenica zwyczajna osiągnęły istotnie najwyższe wartości indeksu NNI po zastosowaniu 90 kg N·ha⁻¹, przy czym dla odmiany 'Badengold' nie udowodniono istotnego różnicowania pomiędzy dawkami 60 i 90 kg N·ha⁻¹. Natomiast bardziej ekstensywną pod względem zapotrzebowania na azot okazała się odmiana 'Schwabenkorn', która do osiągnięcia istotnie najwyższego indeksu NNI potrzebowała tylko 60 kg N·ha⁻¹. Zastosowanie w uprawie tej odmiany oraz 'Schwabenspelz' 15 t·ha⁻¹ obornika pozwoliło uzyskać istotnie najwyższe wartości tej cechy. Z kolei rośliny pozostałych odmian ('Badengold' oraz 'Bogatka') do osiągnięcia istotnie najwyższego indeksu NNI potrzebowały nawożenia obornikiem w ilości 30 t·ha⁻¹. W drugiej serii badań w fazie kłoszenia (BBCH 59) czynniki doświadczalne istotnie modyfikowały wartości NNI, działając niezależnie oraz w interakcji. W tej fazie rozwojowej, istotnie najwyższym indeksem NNI charakteryzowały się rośliny odmiany 'Badenkrone', natomiast istotnie najniższym odmiany 'Zollernspelz'.

Tabela 89. Indeks odżywienia azotem (NNI) roślin badanych pszenic w fazie kłoszenia (BBCH 59) zależności od odmiany i nawożenia (seria I i II)**Table 89.** Nitrogen nutrition index (NNI) of tested wheat plants in heading phase (BBCH 59) as a function of cultivar and fertilization (Series I and II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Seria I – Series I							
Badengold	0,53	0,65	0,77	0,79	0,65	0,68	0,68
Schwabenspelz	0,54	0,69	0,78	0,79	0,69	0,65	0,69
Schwabenkorn	0,55	0,70	0,76	0,73	0,62	0,61	0,66
Bogatka	0,53	0,65	0,78	0,81	0,63	0,64	0,67
Średnia – Mean	0,54	0,67	0,77	0,78	0,64	0,64	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,019 AxB = 0,039						A = 0,018
Seria II – Series II							
Zollernspelz	0,57	0,71	0,78	0,79	0,69	0,68	0,70
Badenstern	0,64	0,72	0,82	0,84	0,67	0,77	0,74
Badenkrone	0,72	0,79	0,88	0,91	0,73	0,76	0,80
KWS Dakotana	0,57	0,72	0,78	0,87	0,73	0,84	0,75
Średnia – Mean	0,62	0,74	0,82	0,85	0,70	0,76	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,009 AxB = 0,018						A = 0,008

Reakcja badanych podgatunków pszenicy na zastosowane rodzaje nawożenia była podobna (tab. 89). Wzrost dawki azotu oraz obornika prowadził do potwierdzonego statystycznie wzrostu wartości indeksu NNI. Dla pszenicy orkisz odmian ‘Badenstern’ i ‘Badenkrone’ oraz pszenicy zwyczajnej odmiany ‘KWS Dakotana’, istotnie najwyższe wartości tej cechy stwierdzono po zastosowaniu 90 kg N·ha⁻¹ lub 30 t·ha⁻¹ obornika. Wyjątek stanowiła odmiana ‘Zollernspelz’, dla której najwyższe wartości indeksu NNI stwierdzono po zastosowaniu 90 kg N·ha⁻¹ lub 15 t·ha⁻¹ obornika, przy czym nie udowodniono różnicowania pomiędzy dawkami 60 a 90 kg N·ha⁻¹ oraz 15 a 30 t·ha⁻¹ obornika.

W fazie dojrzałości mleczej w obydwu seriach badań indeks NNI badanych podgatunków pszenicy zmieniał się istotnie pod wpływem odmiany i nawożenia oraz współdziałania tych czynników (tab. 90). W pierwszej serii istotnie najniższym indeksem NNI charakteryzowały się rośliny odmiany ‘Badengold’, a w serii

Tabela 90. Indeks odżywienia azotem (NNI) roślin badanych pszenic w fazie dojrzałości młecznej (BBCH 75) zależności od odmiany i nawożenia (seria I i II)**Table 90.** Nitrogen nutrition index (NNI) of tested wheat plants in milk maturity phase (BBCH 75) as a function of cultivar and fertilization (Series I and II)

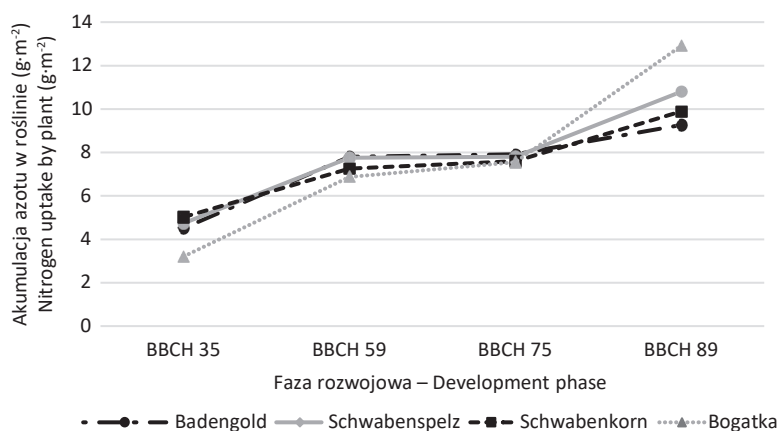
Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	Obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	Obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Seria I – Series I							
Badengold	0,38	0,53	0,63	0,65	0,50	0,57	0,54
Schwabenspelz	0,44	0,59	0,69	0,74	0,52	0,56	0,59
Schwabenkorn	0,47	0,60	0,68	0,67	0,48	0,52	0,57
Bogatka	0,45	0,60	0,68	0,76	0,51	0,53	0,59
Średnia – Mean	0,44	0,58	0,67	0,71	0,50	0,54	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,010 AxB = 0,021						A = 0,013
Seria II – Series II							
Zollernspelz	0,52	0,62	0,70	0,78	0,63	0,71	0,66
Badenstern	0,63	0,79	0,84	0,86	0,74	0,67	0,75
Badenkrone	0,61	0,73	0,82	0,74	0,65	0,68	0,70
KWS Dakotana	0,52	0,66	0,73	0,81	0,64	0,73	0,68
Średnia – Mean	0,57	0,70	0,77	0,80	0,67	0,70	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 0,007 AxB = 0,015						A = 0,010

drugiej ‘Zollernspelz’. Z kolei w grupie odmian o istotnie najwyższym indeksie NNI znalazły się rośliny odmiany ‘Schwabenspelz’ i pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ z serii pierwszej oraz odmiany ‘Badenstern’ z serii drugiej. W obydwu seriach badań reakcja pszenicy na zastosowane rodzaje nawożenia była podobna. Wzrastające dawki nawożenia azotem lub obornikiem prowadziły do istotnych wzrostów wartości indeksu NNI. W obu seriach badań zastosowanie 90 kg N·ha⁻¹ w uprawie badanych podgatunków pszenicy prowadziło do istotnie najwyższych wartości NNI. Wyjątek stanowiły rośliny pszenicy orkisz odmiany ‘Schwabenkorn’ z pierwszej serii oraz odmiany ‘Badenkrone’ z serii drugiej, dla których najwyższy indeks NNI stwierdzono po wniesieniu 60 kg N·ha⁻¹. Należy podkreślić, że dla odmian ‘Badengold’ i ‘Schwabenkorn’ z pierwszej serii badań nie udowodniono zróżnicowania w wartościach tej cechy między dawkami 60 a 90 kg N·ha⁻¹. Zastosowanie 30 t·ha⁻¹ obornika w obu seriach badań sprzyjało

lepszemu odżywieniu roślin pszenicy, czego wyrazem były najwyższe wartości NNI w fazie dojrzałości mleczej. Spośród wszystkich badanych odmian w obydwu seriach tylko rośliny odmiany ‘Badenstern’ charakteryzowały się niższym zapotrzebowaniem na nawożenie naturalne, dla których korzystniejsza pod tym względem była dawka 15 t·ha⁻¹ obornika. Natomiast dla pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ (seria pierwsza) nie uzyskano istotnego zróżnicowania w wartościach tej cechy pomiędzy dawkami 15 a 30 t·ha⁻¹ obornika.

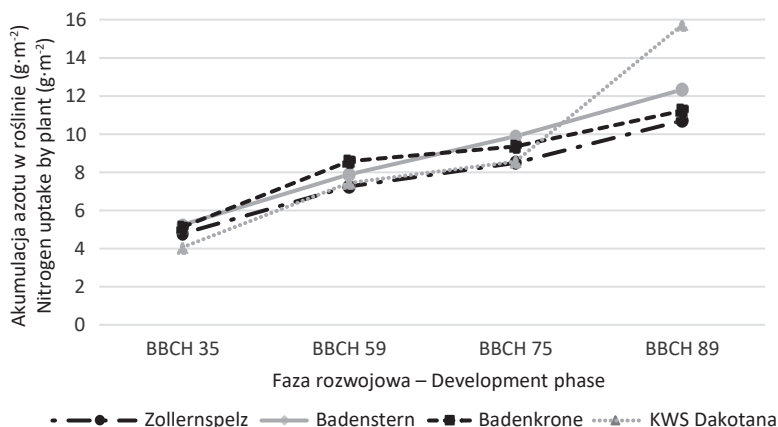
4.2.13. Akumulacja azotu w roślinach pszenicy

Dynamikę akumulacji azotu przez rośliny badanych pszenic oceniano przez cały okres wzrostu roślin. Przebieg akumulacji azotu w roślinach wszystkich odmian, w obydwu seriach badań i poszczególnych fazach rozwojowych, przedstawiono na rycinach nr 17 i 18. W pierwszej serii badań przebieg akumulacji azotu w roślinach pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej różnił się, zwłaszcza w początkowym i końcowym okresie wegetacji (ryc. 17). Pomiędzy rozwojem wegetatywnym (BBCH 35) a początkiem rozwoju generatywnego (BBCH 59) pobranie azotu przez rośliny odmiany ‘Bogatka’ było dużo niższe niż u odmian pszenicy orkisz. Dopiero w fazie BBCH 75 akumulacja azotu w roślinach pszenicy zwyczajnej osiągnęła zbliżony poziom do odmiany ‘Schwabenkorn’. Pomiędzy fazą dojrzałości mleczej (BBCH 75) i pełnej (BBCH 89) dużo wyższą akumulację azotu w roślinach wykazano dla pszenicy zwyczajnej. Wśród odmian pszenicy orkisz, ‘Badengold’ charakteryzowała się najniższym pobraniem azotu.



Ryc. 17. Dynamika akumulacji azotu w nadziemnych częściach roślin badanych pszenic (g·m⁻²) w zależności od odmiany (seria I)

Fig. 17. Dynamics of nitrogen accumulation in the above-ground parts of the tested wheat (g·m⁻²) as a function of cultivar (Series I)

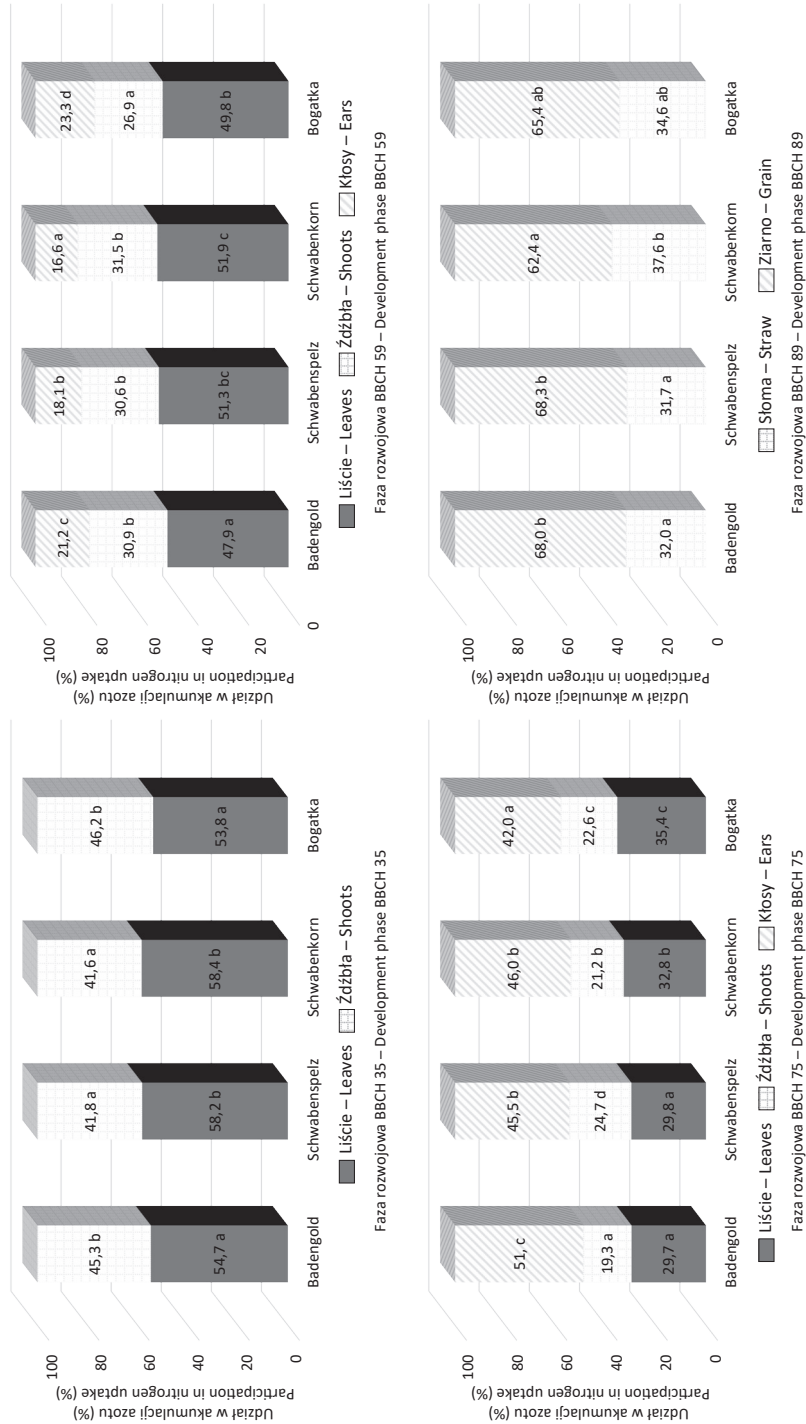


Ryc. 18. Dynamika akumulacji azotu w nadziemnych częściach roślin badanych pszenic ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) w zależności od odmiany (seria II)

Fig. 18. Dynamics of nitrogen accumulation in the above-ground parts of the tested wheat ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) as a function of cultivar (Series II)

W drugiej serii badań dynamika akumulacji azotu w nadziemnych częściach roślin w największym stopniu była determinowana przez odmianę (ryc. 18). W fazie rozwoju wegetatywnego (BBCH 35) – podobnie jak w pierwszej serii badań – mniejszym pobraniem azotu charakteryzowały się rośliny odmiany ‘KWS Dakotana’ niż odmiany pszenicy orkisz. W okresie od fazy kłoszenia (BBCH 59) do fazy dojrzałości mleczonej (BBCH 75) dynamika oraz poziom akumulacji azotu w roślinach pszenicy zwyczajnej były bardzo zbliżone do wykazanego dla odmiany ‘Zollernspelz’. Z kolei akumulacja azotu w nadziemnych częściach roślin odmian ‘Badenstern’ oraz ‘Badenkrone’, w całym okresie wegetacji, przebiegała bardzo podobnie, poza okresem pomiędzy fazą BBCH 75 a BBCH 89, gdy większym pobraniem azotu charakteryzowała się odmiana ‘Badenstern’. W tym okresie największym pobraniem azotu, spośród wszystkich badanych odmian, charakteryzowała się ‘KWS Dakotana’.

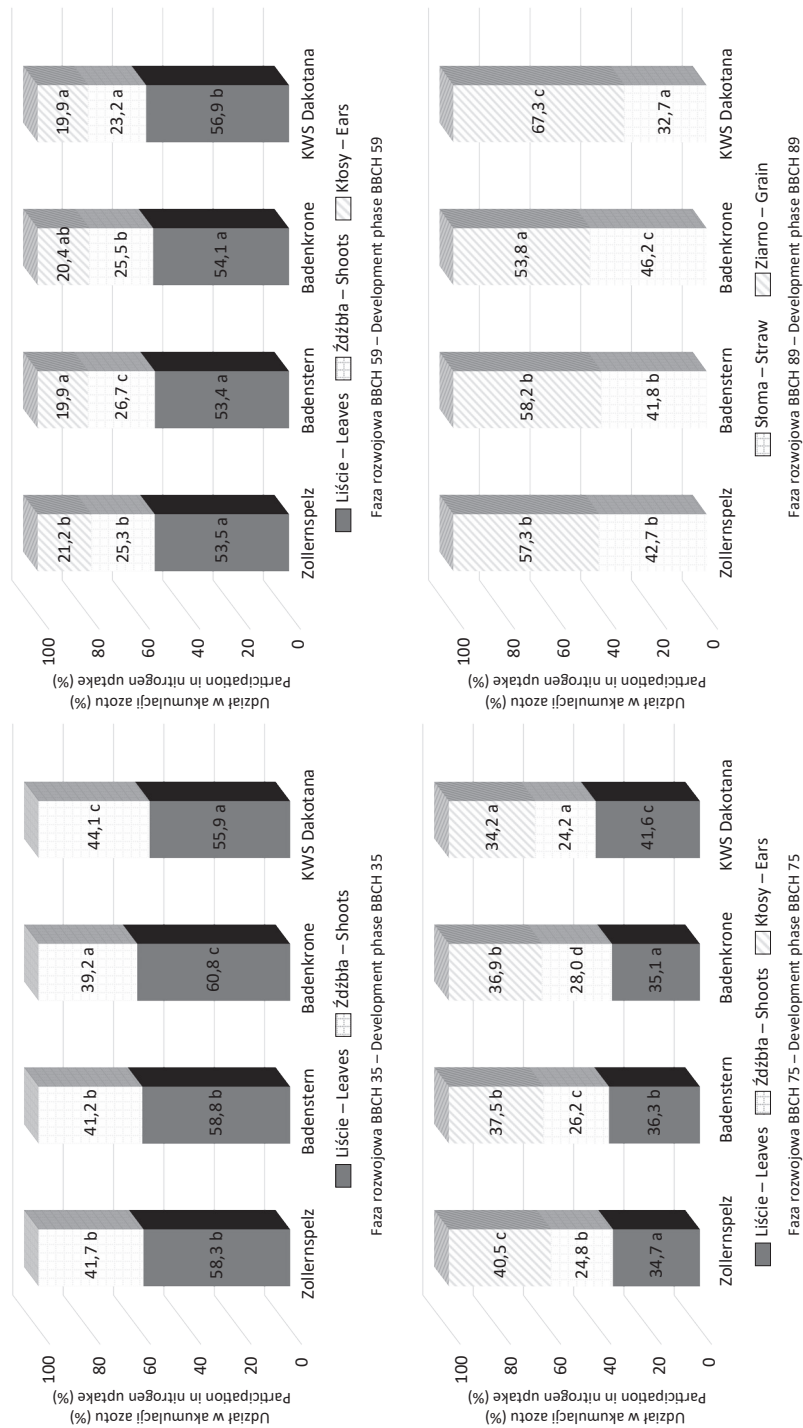
W pierwszej serii doświadczeń w trakcie całej wegetacji poszczególne części roślin badanych odmian pszenicy różniły się udziałem w pobraniu azotu ogółem (ryc. 19). W fazach strzelania w źdźbło (BBCH 35) oraz kłoszenia (BBCH 59) więcej azotu zakumulowały liście niż źdźbła i kłosy. W fazie strzelania w źdźbło odmianami, które zakumulowały istotnie więcej azotu w liściach niż w źdźbłach, były ‘Schwabenspelz’ oraz ‘Schwabenkorn’. Podobne zależności zaobserwowano w fazie kłoszenia, przy czym pobranie azotu przez liście odmiany ‘Schwabenspelz’ nie różniło się istotnie od wykazanego dla odmiany ‘Bogatka’. W tej fazie rozwojowej istotnie najmniejszy udział w pobraniu azotu ogółem miały



a, b, c, ... – grupy jednorodne (wg testu Tukeya)

a, b, c, ... – homogeneous groups (according to the Tukey's test)

Ryc. 19. Struktura akumulacji azotu przez rośliny badanych pszenic (%) w zależności od odmiany (seria I)
Fig. 19. The structure of nitrogen uptake by tested wheat cultivars (%) as a function of cultivar (Series I)



a, b, c, ... – grupy jednorodne (wg testu Tukeya)

a, b, c, ... – homogeneous groups (according to the Tukey's test)

Ryc. 20. Struktura akumulacji azotu przez rośliny badanych pszenic (%) w zależności od odmiany (seria II)
Fig. 20. The structure of nitrogen uptake by tested wheat plants (%) as a function of cultivar (Series II)

żdźbła pszenicy zwyczajnej, a istotnie największy kłosa odmiany ‘Badengold’. W fazie dojrzałości młecznej (BBCH 75) największy udział w akumulacji azotu dla wszystkich odmian pszenicy miały kłosa. Istotnie największy udział kłosów w pobraniu azotu ogółem wykazano dla odmiany ‘Badengold’ (51,0%), a istotnie najmniejszy dla pszenicy zwyczajnej (42,0%). Należy podkreślić, że w pobraniu azotu w tej fazie rozwojowej pszenicy zwyczajnej istotnie największy udział miały liście, a u odmiany ‘Badengold’ istotnie najmniejszy udział miały żdźbła. W fazie dojrzałości pełnej (BBCH 89) zaobserwowano klasyczny model akumulacji azotu, gdyż większy udział w pobraniu tego składnika miało ziarno niż słoma. Najmniejszy udział ziarna w akumulacji azotu i największy słomy w tej fazie rozwojowej charakteryzował odmianę ‘Schwabekorn’, przy czym wartości tych cech nie różniły się istotnie od tych, jakie uzyskano dla pszenicy zwyczajnej.

Również w drugiej serii badań wykazano, że odmiany istotnie różniły się strukturą akumulacji azotu w roślinach obu podgatunków pszenic (ryc. 20). W fazie rozwoju wegetatywnego (BBCH 35), liście badanych odmian pszenic zakułowały więcej azotu niż żdźbła. Istotnie największym udziałem w pobraniu tego składnika charakteryzowały się liście odmiany ‘Badenkrone’, a istotnie najmniejszym żdźbła. Odwrotne zależności zaobserwowano natomiast dla pszenicy zwyczajnej odmiany ‘KWS Dakotana’. Struktura akumulacji azotu w późniejszych fazach rozwojowych BBCH 59 oraz BBCH 75, dla odmian ‘Zollernspelz’ i ‘Badenstern’ oraz pszenicy zwyczajnej ‘KWS Dakotana’, wyglądała bardzo podobnie. Istotnie największym udziałem w pobieraniu azotu charakteryzowały się liście pszenicy zwyczajnej, żdźbła odmiany ‘Badenstern’ oraz kłosa odmiany ‘Zollernspelz’. Z kolei w fazie dojrzałości pełnej (BBCH 89) w akumulacji azotu przez pszenicę zwyczajną ‘KWS Dakotana’ istotnie największy udział miało ziarno (67,3%), a istotnie najniższy słoma (32,7%), przeciwnie niż u odmiany ‘Badenkrone’.

4.2.14. Efektywność nawożenia azotem

Wskaźnik efektywności rolniczej nawożenia azotem jest miarą produkcyjnej skuteczności zastosowanego nawożenia, a istotą tego wskaźnika jest ocena przyrostu plonu ziarna na jednostkę azotu zastosowanego w nawozach. Efektywność rolnicza w zależności od czynnika odmianowego dla dwóch serii badań przedstawiono w tabeli 91. Dla każdej z odmian uczestniczących w obu seriach badań efektywność rolnicza zmniejszała się wraz ze wzrostem zastosowanej dawki azotu. W obu seriach badań największą efektywnością rolniczą azotu charakteryzowała się pszenica zwyczajna. Wyjątek stanowiła produktywność 1 kg N w przedziale 0–90 kg N·ha⁻¹ w drugiej serii badań, która była najwyższa dla odmiany ‘Badenstern’. Wśród porównywanych odmian pszenicy orkisz najwyższe wartości wskaźnika efektywności rolniczej nawożenia azotem charakteryzowały odmianę

Tabela 91. Efektywność rolnicza nawożenia azotem badanych pszenic (kg ziarna·kg⁻¹ N) w zależności od odmiany (seria I i II)**Table 91.** Agronomic efficiency of nitrogen fertilization in tested wheat (kg of grain·kg⁻¹ N) as a function of cultivar (Series I and II)

Odmiana Cultivar	Nawożenie azotem – Nitrogen fertilization (kg·ha ⁻¹)				
	0–30	0–60	0–90	30–60	60–90
Seria I – Series I					
Badengold	17,5	11,2	7,5	4,8	0,6
Schwabenspelz	17,8	13,9	9,1	10,0	2,0
Schwabenkorn	14,6	9,6	4,5	4,7	0,1
Bogatka	21,8	14,0	9,5	6,2	1,4
Seria II – Series II					
Zollernspelz	16,3	11,4	7,3	6,5	0,4
Badenstern	18,5	12,7	8,5	6,9	0,7
Badenkrone	15,9	10,6	5,4	5,3	–*
KWS Dakotana	19,7	14,9	8,1	10,5	–

* Efektywność ujemna.

* Negative efficiency.

‘Schwabenspelz’ w pierwszej serii badań oraz ‘Badenstern’ w serii drugiej. Z kolei zwiększenie nawożenia z 60 do 90 kg N·ha⁻¹ w drugiej serii badań, u odmian ‘Badenkrone’ oraz ‘KWS Dakotana’, nie powodowało dalszego przyrostu plonu, na co wskazuje ujemna efektywność rolnicza tego przedziału.

Ponadto wyliczono wskaźnik efektywności fizjologicznej azotu, który informuje o zdolności rośliny do przetworzenia pobranego azotu na plon użytkowy i wyraża przyrost plonu na jednostkę azotu pobranego przez rośliny. W obu seriach badań zwiększenie nawożenia ograniczało zdolność roślin pszenicy do przetwarzania pobranego azotu w plon użytkowy (tab. 92). W pierwszej serii badań efektywność fizjologiczna była najwyższa dla pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’, jednak tylko dla dawki 30 kg N·ha⁻¹, natomiast dla dawek 60 i 90 kg N·ha⁻¹ najwyższą efektywność fizjologiczną wyliczono dla odmian ‘Badengold’ oraz ‘Schwabenspelz’. Z kolei w serii drugiej dla dawek 30 i 60 kg N·ha⁻¹ najwyższą efektywność fizjologiczną wykazano dla odmiany ‘KWS Dakotana’, natomiast dla dawki 90 kg N·ha⁻¹ dla odmiany ‘Badenstern’. Należy podkreślić, że bezwzględne wartości wskaźników efektywności fizjologicznej były znacznie wyższe od wartości wskaźników efektywności rolniczej.

Stopień wykorzystania azotu z nawozów mineralnych stanowi stosunek efektywności rolniczej do efektywności fizjologicznej i wyrażono go w procentach.

Tabela 92. Efektywność fizjologiczna nawożenia azotem badanych pszenic (kg ziarna·kg⁻¹ N pobranego) w zależności od odmiany (seria I i II)**Table 92.** Physiological efficiency of nitrogen fertilization in tested wheat (kg of grain·kg⁻¹ N uptake) as a function of cultivar (Series I and II)

Odmiana Cultivar	Nawożenie azotem – Nitrogen fertilization (kg·ha ⁻¹)				
	0–30	0–60	0–90	30–60	60–90
Seria I – Series I					
Badengold	22,9	20,1	17,3	16,1	4,0
Schwabenspelz	23,1	20,6	17,2	19,2	11,3
Schwabenkorn	20,2	16,7	11,2	9,6	0,7
Bogatka	28,6	19,8	14,3	9,4	2,3
Seria II – Series II					
Zollernspelz	20,2	16,3	14,5	11,1	3,6
Badenstern	22,1	17,6	15,3	10,7	2,2
Badenkrone	20,1	16,0	12,3	9,4	—*
KWS Dakotana	24,2	20,2	12,8	14,7	—

* Efektywność ujemna.

* Negative efficiency.

Wykorzystanie azotu w wartościach względnych (%) było większe w drugiej serii badań niż w serii pierwszej (tab. 93) i wynosiło ono odpowiednio 42,2–83,8% oraz 43,6–76,7%. W obu seriach badań wykorzystanie azotu zmniejszało się wraz ze wzrostem zastosowanej dawki, a największym wykorzystaniem azotu z nawozów charakteryzowała się odmiana ‘Bogatka’ w pierwszej serii badań. Jedynie w zakresie dawek 0–30 kg N·ha⁻¹ współczynnik wykorzystania azotu z nawozów dla pszenicy zwyczajnej oraz pszenicy orkisz odmiany ‘Badengold’ i ‘Schwabenspelz’ był bardzo podobny. Z kolei w serii drugiej najwyższy współczynnik wykorzystania azotu z nawozów wyliczono dla odmiany ‘Badenstern’, z wyjątkiem zakresu 0–90 kg N·ha⁻¹, gdzie największym wykorzystaniem azotu z nawozów charakteryzowała się odmiana ‘KWS Dakotana’.

W pierwszej serii badań efektywność wykorzystania azotu z nawozów przez wegetatywne i generatywne części roślin pszenicy w fazie dojrzałości młecznej (BBCH 75) zmieniała się istotnie pod wpływem badanych czynników działających niezależnie od siebie (tab. 94), a efektywność wykorzystania azotu z nawozów przez liście i kłosa dodatkowo zmieniała się istotnie pod wpływem współdziałania tych czynników. W tej serii badań większą efektywnością wykorzystania azotu z nawozów charakteryzowały się kłosa (18,4–46,6%) w porównaniu do liści (10,4–27,5%) i źdźbeł (9,2–27,8%) pszenicy. Średnio dla odmian istotnie

Tabela 93. Współczynnik wykorzystania azotu z nawozów przez badane pszenice (%) w zależności od odmiany (seria I i II)**Table 93.** Coefficient of nitrogen utilization by tested wheat (%) as a function of cultivar (Series I and II)

Odmiana Cultivar	Nawożenie azotem – Nitrogen fertilization (kg·ha ⁻¹)				
	0–30	0–60	0–90	30–60	60–90
Seria I – Series I					
Badengold	76,6	55,9	43,6	35,2	4,8
Schwabenspelz	76,4	68,1	50,9	59,8	5,9
Schwabenkorn	72,5	57,4	40,7	42,3	6,3
Bogatka	76,7	70,1	66,5	61,3	25,4
Seria II – Series II					
Zollernspelz	80,8	70,4	49,1	60,0	8,6
Badenstern	83,8	71,5	54,9	59,2	9,9
Badenkrone	78,9	65,2	42,2	51,5	—*
KWS Dakotana	81,2	70,3	61,3	48,3	—

* Efektywność ujemna.

* Negative efficiency.

największą efektywnością wykorzystania pobranego azotu charakteryzowały się liście odmiany ‘Schwabenspelz’, źdźbła pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ oraz kłosa odmiany ‘Badengold’. Efektywność wykorzystania pobranego przez liście, źdźbła i kłosa azotu zmniejszała się istotnie w miarę zwiększania jego dawki. Dla wszystkich badanych odmian, niezależnie od organu rośliny, istotnie najwyższa efektywność wykorzystania azotu wystąpiła w przedziale 0–30 kg N·ha⁻¹.

W drugiej serii badań w fazie dojrzałości młecznej efektywność wykorzystania pobranego przez liście i źdźbła azotu zmieniała się istotnie pod wpływem badanych czynników oraz ich współdziałania (tab. 95). Z kolei efektywność wykorzystania azotu pobranego przez kłosa pszenicy zmieniała się istotnie tylko pod wpływem nawożenia. Efektywność wykorzystania azotu pobranego przez poszczególne organy roślin pszenicy była bardzo podobna i wahała się w zakresie 6,3–33,6% dla liści, 8,2–29,2% dla źdźbeł oraz 9,2–28,8% dla kłosów. Dla odmian ‘Badenstern’ oraz ‘KWS Dakotana’ wykorzystanie pobranego przez liście i źdźbła azotu było podobne, jednak nieodróżnicowane statystycznie. Podobnie jak w pierwszej serii badań zwiększanie poziomu nawożenia azotem u wszystkich odmian powodowało zmniejszenie efektywności wykorzystania pobranego azotu przez poszczególne organy roślin. Dla wszystkich odmian z wyjątkiem źdźbeł odmiany ‘Zollernspelz’ istotnie najwyższą efektywność wykorzystania azotu udowodniono w przedziale 0–30 kg N·ha⁻¹.

Tabela 94. Efektywność wykorzystania azotu z nawozów przez poszczególne części roślin badanych pszenic (%) w fazie dojrzałości młecznej (BBCH 75); (seria I)**Table 94.** Efficiency of nitrogen utilization by individual parts of tested wheat plants (%) in the milk maturity phase (BBCH 75); (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie azotem (B) – Nitrogen fertilization (B) (kg·ha ⁻¹)					Średnia Mean
	0–30	0–60	0–90	30–60	60–90	
Liście – Leaves						
Badengold	19,8	16,3	14,1	12,9	5,3	13,7
Schwabenspelz	27,5	23,3	17,5	19,0	7,5	19,0
Schwabenkorn	22,1	16,6	10,4	11,2	1,8	12,4
Bogatka	23,6	18,1	14,8	12,6	9,6	15,7
Średnia – Mean	23,2	18,6	14,2	13,9	6,1	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 1,19 AxB = 2,39					A = 1,66
Żdźbła – Shoots						
Badengold	21,4	17,6	10,2	13,7	5,4	13,7
Schwabenspelz	22,8	17,5	13,7	12,8	6,8	14,7
Schwabenkorn	19,3	14,6	9,2	10,0	3,4	11,3
Bogatka	27,8	22,4	20,1	17,1	15,4	20,6
Średnia – Mean	22,8	18,0	13,3	13,4	7,7	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 1,52 AxB = r.n./ n.s.					A = 2,01
Kłosa – Ears						
Badengold	46,6	39,6	28,1	32,6	9,4	31,3
Schwabenspelz	42,0	32,6	19,3	23,9	9,0	25,3
Schwabenkorn	45,0	35,7	18,4	26,4	0,8	25,3
Bogatka	40,5	30,0	24,5	19,7	16,0	26,1
Średnia – Mean	43,5	34,5	22,6	25,6	8,8	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 3,18 AxB = 6,36					A = 4,16

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

W fazie dojrzałości pełnej (BBCH 89) efektywność wykorzystania azotu – pobranego przez słomę i ziarno – zmieniała się istotnie pod wpływem odmiany i nawożenia, a w przypadku słomy również pod wpływem współdziałania tych czynników (tab. 96). Istotnie wyższym wykorzystaniem azotu z nawozów

Tabela 95. Efektywność wykorzystania azotu z nawozów przez poszczególne części roślin badanych pszenic (%) w fazie dojrzałości młecznej (BBCH 75); (seria II)**Table 95.** Efficiency of nitrogen utilization by individual parts of tested wheat plants (%) in the milk maturity phase (BBCH 75); (Series II)

Odmiana – Cultivar	Nawożenie azotem – Nitrogen fertilization (kg·ha ⁻¹)					Średnia Mean
	0–30	0–60	0–90	30–60	60–90	
Liście – Leaves						
Zollernspelz	24,2	20,1	15,3	15,9	11,1	17,3
Badenstern	33,6	25,9	17,8	18,2	7,2	20,6
Badenkrone	25,4	19,0	6,3	12,6	—*	12,7
KWS Dakotana	30,6	24,0	19,5	17,3	12,3	20,7
Średnia – Mean	28,5	22,2	14,7	16,0	7,7	—
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 1,79 AxB = 3,58					A = 2,64
Żdźbła – Shoots						
Zollernspelz	17,9	14,3	11,4	10,8	6,9	12,3
Badenstern	27,1	18,2	13,7	9,8	7,6	15,3
Badenkrone	29,2	20,0	8,2	12,7	2,1	14,5
KWS Dakotana	27,7	19,2	15,1	11,2	8,8	16,4
Średnia – Mean	25,5	17,9	12,1	11,1	6,4	—
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 2,19 AxB = 4,38					A = 2,79
Kłosa – Ears						
Zollernspelz	28,8	18,4	13,3	9,5	6,8	15,4
Badenstern	27,0	16,5	9,2	7,3	1,9	12,4
Badenkrone	26,2	18,1	11,7	10,4	5,4	14,4
KWS Dakotana	27,6	20,1	15,1	12,7	6,6	16,4
Średnia – Mean	27,4	18,3	12,3	10,0	5,2	—
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 2,17 AxB = r.n./ n.s.					A = r.n./ n.s.

r.n. – różnice nieistotne. * Efektywność ujemna.

n.s. – not significant differences. * Negative efficiency.

charakteryzowała się słomą pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ (32,7%), w porównaniu do odmian pszenicy orkisz. Istotnie największą efektywność wykorzystania azotu przez ziarno uzyskano dla odmian ‘Bogatka’ (36,5%) oraz ‘Schwabenspelz’ (34,0%). Wykorzystanie azotu pobranego z nawozów zarówno przez

Tabela 96. Efektywność wykorzystania azotu z nawozów przez poszczególne części roślin badanych pszenic (%) w fazie dojrzałości pełnej (BBCH 89); (seria I)**Table 96.** Efficiency of nitrogen utilization by individual parts of tested wheat plants (%) in the full maturity phase (BBCH 89); (Series I)

Odmiana – Cultivar	Nawożenie azotem – Nitrogen fertilization (kg·ha ⁻¹)					Średnia Mean
	0–30	0–60	0–90	30–60	60–90	
Słoma – Straw						
Badengold	32,9	23,8	17,0	15,6	7,4	19,3
Schwabenspelz	33,2	26,0	18,4	19,7	7,3	20,9
Schwabenkorn	41,3	26,4	21,1	13,6	12,9	23,0
Bogatka	47,0	36,2	31,8	25,5	23,1	32,7
Średnia – Mean	38,6	28,1	22,1	18,6	12,7	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 2,48 AxB = 4,97					A = 3,75
Ziarno – Grain						
Badengold	39,8	31,9	23,1	24,0	11,5	26,0
Schwabenspelz	51,6	42,1	29,8	32,6	13,7	34,0
Schwabenkorn	42,3	31,0	19,8	19,8	9,2	24,4
Bogatka	52,7	41,7	35,2	30,7	22,2	36,5
Średnia – Mean	46,6	36,7	27,0	26,8	14,1	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 3,40 AxB = r.n./ n.s.					A = 4,67

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

słomę, jak i ziarno zmniejszało się wraz ze zwiększaniem jego dawki, a istotnie najwyższą efektywność wykazano dla dawki 30 kg N·ha⁻¹. Niezależnie od odmiany, wyższą efektywnością wykorzystania pobranego azotu w fazie BBCH 89 charakteryzowało się ziarno niż słoma, a wartości tego parametru oscylowały w granicach 17,0–47,0% dla słomy oraz 19,8–52,7% dla ziarna.

W drugiej serii badań w fazie dojrzałości pełnej (BBCH 89) efektywność wykorzystania pobranego przez słomę azotu zmieniała się istotnie pod wpływem nawożenia oraz współdziałania odmiany z nawożeniem (tab. 97). Z kolei wykorzystanie azotu przez ziarno zmieniało się istotnie pod wpływem odmiany i nawożenia działających niezależnie od siebie. Ziarno pszenicy orkisz odmiany ‘Badenkrone’ charakteryzowało się istotnie mniejszą efektywnością wykorzystania azotu (23,3%) niż ziarno pozostałych odmian, dla których wykorzystanie azotu z nawozów mieściło się w granicach 32,3–36,6%. Ponadto w tej serii

Tabela 97. Efektywność wykorzystania azotu z nawozów przez poszczególne części roślin badanych pszenic (%) w fazie dojrzałości pełnej (BBCH 89); (seria II)**Table 97.** Efficiency of nitrogen utilization by individual parts of tested wheat plants (%) in the full maturity phase (BBCH 89); (Series II)

Odmiana – Cultivar	Nawożenie azotem – Nitrogen fertilization (kg·ha ⁻¹)					Średnia Mean
	0–30	0–60	0–90	30–60	60–90	
Słoma – Straw						
Zollernspelz	49,6	33,3	17,7	18,4	6,3	25,1
Badenstern	48,6	36,8	23,6	27,0	7,9	28,8
Badenkrone	46,3	37,2	21,7	28,0	9,1	28,5
KWS Dakotana	40,7	31,9	28,6	23,0	22,0	29,2
Średnia - Mean	46,3	34,8	22,9	24,1	11,3	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 3,52 AxB = 7,04					A = r.n./n.s.
Ziarno – Grain						
Zollernspelz	45,1	37,1	30,4	29,0	19,9	32,3
Badenstern	46,3	37,5	31,3	28,7	20,7	32,9
Badenkrone	35,3	28,0	20,5	20,7	11,9	23,3
KWS Dakotana	48,8	41,2	35,5	33,6	24,1	36,6
Średnia - Mean	43,9	36,0	29,4	28,0	19,1	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 2,58 AxB = r.n./n.s.					A = 5,95

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

badań nie zaobserwowano większego zróżnicowania w wykorzystaniu azotu pomiędzy słomą a ziarnem, które oscylowało w granicach 17,7–49,6% dla słomy oraz 20,5–48,8% dla ziarna. Obiekty o najwyższej efektywności wykorzystania pobranego azotu – zarówno przez słomę, jak i ziarno – były nawożone dawką 30 kg N·ha⁻¹.

4.2.15. Wskaźniki plonu

Ważnym elementem oceny produktywności roślin pszenicy jest indeks plonowania (HI), który w pierwszej serii badań zmieniał się istotnie pod wpływem odmiany i nawożenia (tab. 98). Istotnie wyższym indeksem plonowania odznaczała się pszenica zwyczajna (35,5%) niż odmiany pszenicy orkisz (24,2–28,5%). Istotnie najniższy HI charakteryzował odmianę ‘Schwabenkorn’. Nawożenie mineralne

Tabela 98. Indeks plonowania (%) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)**Table 98.** Harvest index (%) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Badengold	29,4	27,0	26,5	26,5	31,5	30,1	28,5
Schwabenspelz	29,0	27,6	28,5	29,3	27,8	28,2	28,4
Schwabenkorn	27,8	23,9	24,7	22,5	22,9	23,2	24,2
Bogatka	39,7	34,1	34,1	32,8	36,6	35,7	35,5
Średnia – Mean	31,5	28,1	28,5	27,8	29,7	29,3	–
NIR _(0,05)	B = 1,74						A = 3,22
LSD _(0,05)	AxB = r.n./n.s.						

r.n. – różnice nieistotne.
n.s. – not significant differences.

azotem lub obornikiem prowadziło do obniżenia indeksu plonowania. Istotnie najwyższe wartości HI wykazano dla obiektu kontrolnego (bez nawożenia). Należy podkreślić, że wielkość dawki azotu lub obornika nie różnicowała istotnie indeksu plonowania, który dla mineralnego nawożenia azotem wahał się w zakresie 27,8–28,5%, a dla obornika 29,3–29,7%.

W drugiej serii doświadczeń indeks plonowania obu podgatunków zmieniał się istotnie pod wpływem odmiany oraz współdziałania odmiany z nawożeniem (tab. 99). Spośród badanych odmian istotnie najwyższy indeks zbioru wyróżniał odmianę ‘KWS Dakotana’ (37,4%), a istotnie najniższy odmianę ‘Zollernspelz’ (22,5%). Zastosowanie w uprawie pszenicy orkisz nawożenia azotem prowadziło do potwierdzonego statystycznie wzrostu indeksu plonowania, z wyjątkiem odmiany ‘Badenkrone’. Dla odmiany ‘Zollernspelz’, najwyższy HI uzyskano po wniesieniu 90 kg N·ha⁻¹, natomiast dla odmian ‘Badenstern’ oraz ‘Badenkrone’ po zastosowaniu 60 kg N·ha⁻¹. Nawożenie azotem pszenicy zwyczajnej w porównaniu do obiektu kontrolnego (bez nawożenia) obniżało wartość HI, natomiast nawożenie obornikiem nie różnicowało wielkości tej cechy. Należy podkreślić, że wielkość dawki azotu oraz obornika w uprawie obu pszenic, nie powodowała istotnych zmian w wartościach HI.

Indeks żniwny azotu, obrazujący stosunek pobranego azotu z plonem użytkowym (ziarnem) do pobrania azotu w całej biomacie (ziarno + słoma), w pierwszej serii badań zmieniał się pod wpływem obu czynników oraz ich interakcji

Tabela 99. Indeks plonowania (%) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)**Table 99.** Harvest index (%) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	Obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	Obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Zollernspelz	21,3	22,4	23,0	23,6	22,2	22,3	22,5
Badenstern	24,1	25,5	26,5	26,1	24,0	25,3	25,3
Badenkrone	25,2	25,2	26,0	25,8	25,4	25,4	25,5
KWS Dakotana	38,8	35,3	36,5	35,9	38,8	38,9	37,4
Średnia – Mean	27,4	27,1	28,0	27,9	27,6	28,0	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = r.n./n.s. AxB = 1,95						A = 1,51

r.n. – różnice nieistotne.

n.s. – not significant differences.

(tab. 100). Najwyższym indeksem pobrania azotu charakteryzowały się rośliny odmiany ‘Schwabenspelz’ (68,3%) i ‘Badengold’ (68,0%), a istotnie niższym odmiana ‘Schwabenkorn’ (62,4%). Niezależnie od odmiany indeks pobrania azotu przez rośliny obu pszenic zmniejszał się pod wpływem rosnących dawek nawożenia

Tabela 100. Indeks żniwny azotu (%) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)**Table 100.** Nitrogen harvest index (%) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Badengold	69,7	66,9	66,2	67,4	70,8	66,8	68,0
Schwabenspelz	69,3	67,1	66,6	66,5	71,2	68,9	68,3
Schwabenkorn	68,3	63,5	63,2	61,2	56,6	61,4	62,4
Bogatka	71,1	65,2	62,7	60,5	67,3	65,7	65,4
Średnia – Mean	69,6	65,7	64,7	63,9	66,5	65,7	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 1,76 AxB = 3,52						A = 3,26

azotem oraz obornika i był istotnie najwyższy w obiekcie kontrolnym. Odmiany ‘Schwabenspelz’ i ‘Schwabenkorn’ oraz ‘Bogatka’ najwyższy indeks żniwny azotu osiągnęły na obiektach nawożonych dawką 30 kg N·ha⁻¹, z wyjątkiem odmiany ‘Badengold’, dla której najwyższy indeks pobrania azotu ustalono po zastosowaniu 90 kg N·ha⁻¹. Opisywane zależności miały charakter tendencji. Wykazano, że zastosowanie 15 t·ha⁻¹ obornika sprzyjało osiągnięciu przez odmiany ‘Badengold’ i ‘Schwabenspelz’ wyższego indeksu żniwnego azotu niż w obiekcie kontrolnym, przy czym różnice te nie zostały udowodnione statystycznie. Wyższy indeks pobrania azotu na obiektach nawożonych dawką 15 t·ha⁻¹ w porównaniu do kombinacji, gdzie stosowano azot mineralny lub obornik w wyższej dawce, zaobserwowano również dla pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’.

Indeks żniwny azotu w drugiej serii badań zmieniał się istotnie pod wpływem odmiany i nawożenia azotem oraz współdziałania tych czynników (tab. 101). W tej serii badań istotnie najwyższy indeks pobrania azotu charakteryzował odmianę ‘KWS Dakotana’ i wyniósł on 67,3%. Istotnie niższy indeks żniwny azotu, o 9,1–13,5 pkt%, uzyskano dla odmian pszenicy orkisz, zwłaszcza odmiany ‘Badenkrone’ (53,8%). Niezależnie od odmiany zastosowanie nawożenia azotem oraz obornika prowadziło do zmniejszenia wartości tego indeksu, a istotne różnice w odniesieniu do obiektu kontrolnego stwierdzono w warunkach stosowania wszystkich dawek azotu oraz obornika w ilości 15 t·ha⁻¹. Najwyższy indeks żniwny azotu dla wszystkich odmian pszenicy orkisz wyliczono dla obiektów nawożonych 90 kg N·ha⁻¹, a dla odmiany ‘KWS Dakotana’ najkorzystniejsza okazała się dawka 30 kg N·ha⁻¹. Wszystkie odmiany charakteryzował brak istotnego

Tabela 101. Indeks żniwny azotu (%) badanych pszenic w zależności od odmiany i nawożenia (seria II)

Table 101. Nitrogen harvest index (%) of tested wheat as a function of cultivar and fertilization (Series II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Zollernspelz	58,0	54,9	55,6	59,3	56,7	59,6	57,3
Badenstern	60,6	57,9	57,5	59,5	52,7	61,1	58,2
Badenkrone	55,9	53,1	51,8	53,8	54,6	53,6	53,8
KWS Dakotana	69,3	66,6	65,9	64,8	69,9	67,3	67,3
Średnia – Mean	61,0	58,1	57,7	59,3	58,5	60,4	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B = 1,17 AxB = 2,35						A = 1,91

zróżnicowania w wartościach tej cechy między poszczególnymi dawkami azotu. Wyjątek stanowiła odmiana ‘Zollernspelz’, dla której stwierdzono istotne różnice w wartościach indeksu żniwnego azotu pomiędzy dawkami 60 a 90 kg N·ha⁻¹. Z kolei nawożenie odmian ‘Zollernspelz’ oraz ‘Badenstern’ 30 t·ha⁻¹ obornika sprzyjało istotnemu zwiększeniu wartości indeksu żniwnego azotu w porównaniu z dawką niższą. Natomiast dla odmian ‘Badenkrone’ i ‘KWS Dakotana’ korzystniejsza okazała się mniejsza dawka obornika, wynosząca 15 t·ha⁻¹.

4.2.16. Zdrowotność roślin

Przeprowadzona w latach 2012–2014 (seria I) ocena stanu zdrowotności roślin badanych pszenic wykazała, że indeks porażenia liści przez *Blumeria graminis* (DC.), sprawcę mączniaka prawdziwego zbóż i traw, zmieniał się istotnie pod wpływem odmiany, nawożenia oraz współdziałania tych czynników (tab. 102). Wykazano, że odmianę ‘Bogatka’ charakteryzował istotnie niższy indeks porażenia przez *Blumeria graminis* (DC.) niż pszenicę orkisz. Różnica w powierzchni porażenia blaszek liściowych przez tego patogena między pszenicą zwyczajną a odmianami pszenicy orkisz wynosiła od 2,8 (odmiana ‘Schwabenkorn’) do 9,7 (odmiana ‘Schwabenspelz’) punktu procentowego. Zastosowanie nawożenia azotem skutkowało wzrostem porażenia liści przez *Blumeria graminis* (DC.) i narastało wraz ze zwiększeniem dawki do 60 kg·ha⁻¹, natomiast dalsze zwiększenie dawki do 90 kg N·ha⁻¹ nie powodowało już istotnych zmian. Nawożenie obornikiem również skutkowało wzrostem porażenia liści przez *Blumeria graminis* (DC.) i malało wraz ze wzrostem dawki, przy czym nie udowodniono istotnego zróżnicowania między porażeniem po zastosowaniu każdej z dawek obornika a obiektem kontrolnym. Reakcja odmiany ‘Bogatka’ na nawożenie azotem lub obornikiem różniła się od odmian pszenicy orkisz. Indeks porażenia liści pszenicy zwyczajnej przez *Blumeria graminis* (DC.), w porównaniu z obiektem kontrolnym wzrastał po zastosowaniu badanych dawek azotu lub 30 t·ha⁻¹ obornika, jednak uzyskane różnice były statystycznie nieistotne. Z kolei niższa dawka obornika (15 t·ha⁻¹) spowodowała istotne obniżenie indeksu porażenia liści w porównaniu z obiektem, gdzie wniesiono 30 t·ha⁻¹ obornika. Porażenie liści odmiany ‘Schwabenkorn’ (39,6%) przez *Blumeria graminis* (DC.) było istotnie najwyższe na obiektach nawożonych dawką 60 kg N·ha⁻¹. Na tej samej kombinacji nawozowej najwyższy indeks porażenia liści przez mączniaka prawdziwego zaobserwowano również w odniesieniu do odmiany ‘Badengold’ (40,9%), a dla odmiany ‘Schwabenspelz’ (51,0%) po zastosowaniu dawki 90 kg N·ha⁻¹. Z kolei stosowanie 30 t·ha⁻¹ obornika u wszystkich odmian pszenicy orkisz prowadziło do ograniczenia powierzchni porażenia blaszek liściowych przez *Blumeria graminis* (DC.), jednak istotne różnice w wartościach tej cechy pomiędzy dawkami obornika zaobserwowano tylko dla odmian ‘Badengold’ i ‘Schwabenspelz’.

Tabela 102. Indeks porażenia (%) liści badanych pszenic przez *Blumeria graminis* (DC.) Speer w zależności od odmiany i nawożenia (seria I; sezon wegetacyjny: 2011/2012; 2012/2013; 2013/2014)

Table 102. Leaf infestation index (%) of tested wheat by *Blumeria graminis* (DC.) Speer as a function of cultivar and fertilization (Series I; vegetation season: 2011/2012; 2012/2013; 2013/2014)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Badengold	29,1 a*	34,4 a	40,9 c	37,9 bc	36,2 bc	31,8 a	35,0 b
Schwabenspelz	37,0 ab	39,2 bc	46,0 cd	51,0 d	38,3 b	31,7 a	40,5 c
Schwabenkorn	28,5 a	32,9 a	39,6 b	32,8 a	35,1 a	32,9 a	33,6 b
Bogatka	30,7 ab	31,4 ab	31,2 ab	31,7 ab	27,4 a	32,3 b	30,8 a
Średnia – Mean	31,3 a	34,5 b	39,4 c	38,3 c	34,2 ab	32,2 a	–
NIR _(0,05)	B ¹⁾ = r.i./d.s.						A ¹ = r.i./d.s.
LSD _(0,05)	AxB ¹⁾ = r.i./d.s.						

r.i. – różnice istotne. ¹⁾Istotność wg °Blissa. * a, b, c, – grupy jednorodne (wg testu Tukeya).
d.s. – significant differences. ¹⁾Significant according to the °Blissa. * a, b, c, – homogeneous groups (according to the Tukey's test).

Objawy porażenia liścia flagowego obu pszenic w drugiej serii doświadczeń wystąpiły tylko w sezonie wegetacyjnym 2015/2016 (tab. 103), a indeks porażenia liści pszenicy przez *Blumeria graminis* (DC.) zmieniał się istotnie pod wpływem nawożenia oraz współdziałania odmiany z nawożeniem. Ponadto wykazano tendencję odmian ‘Zollernspelz’ (49,5%) oraz ‘Badenstern’ (49,0%) do mniejszej odporności na porażenie przez *Blumeria graminis* (DC.) niż pszenicy zwyczajnej (44,2%) i odmiany ‘Badenkrone’ (41,2%). Zwiększanie dawek azotu mineralnego z 30 kg·ha⁻¹ do 60 i 90 kg·ha⁻¹ skutkowało stopniowym wzrostem porażenia liścia flagowego przez mączniaka prawdziwego zbóż i traw, przy czym nie udowodniono istotnych różnic między dawkami 60 i 90 kg N·ha⁻¹. Z kolei zastosowanie 30 t·ha⁻¹ obornika sprzyjało ograniczeniu porażenia liści przez *Blumeria graminis* (DC.), jednak nie udowodniono różnic w wartościach tej cechy w porównaniu z obiektem kontrolnym. Indeks porażenia liści w przypadku odmiany ‘Badenkrone’ nie zmieniał się istotnie pod wpływem nawożenia azotem, natomiast pszenica zwyczajna odmiany ‘KWS Dakotana’ zareagowała istotnym wzrostem indeksu porażenia liści w porównaniu z obiektem kontrolnym, tylko po zastosowaniu najwyższej dawki azotu. W przypadku odmiany ‘Zollernspelz’ nie uzyskano istotnego różnicowania między poszczególnymi dawkami obornika a obiektem kontrolnym.

Tabela 103. Indeks porażenia (%) liści badanych pszenic przez *Blumeria graminis* (DC.) Speer w zależności od odmiany i nawożenia (seria II; sezon wegetacyjny: 2015/2016)**Table 103.** Leaf infestation index (%) of tested wheat by *Blumeria graminis* (DC.) Speer as a function of cultivar and fertilization (Series II; vegetation season: 2015/2016)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	Obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	Obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Zollernspelz	42,0 a*	47,2 b	61,9 b	59,5 b	41,4 a	45,1 a	49,5
Badenstern	43,0 a	56,2 bc	44,6 a	42,7 a	58,2 c	49,0 ab	49,0
Badenkrone	45,2 b	45,2 b	46,7 b	49,0 b	29,5 a	31,4 a	41,2
KWS Dakotana	37,0 a	38,6 ab	42,0 ab	49,5 bc	52,1 c	45,9 bc	44,2
Średnia – Mean	41,8 a	46,8 a	48,8 bc	50,2 c	45,3 ab	42,8 a	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B ¹ = r.i./d.s. AxB ¹ = r.i./d.s.						A ¹ = r.n./n.s.

r.i. – różnice istotne, r.n. – różnice nieistotne. ¹Istotność wg °Blissa. * a, b, c, – grupy jednorodne (wg testu Tukeya).d.s. – significant differences, n.s. – not significant differences. ¹Significant according to the °Blissa. * a, b, c, – homogeneous groups (according to the Tukey's test).

Ponadto nawożenie azotem tej odmiany orkiszu sprzyjało porażeniu liści przez *Blumeria graminis* (DC.) i największy indeks porażenia zaobserwowano po zastosowaniu 60 kg N·ha⁻¹, przy czym należy zaznaczyć, że dawka azotu nie różnicowała istotnie wartości tej cechy. Zastosowanie 15 t·ha⁻¹ obornika w uprawie odmiany 'Badenstern' oraz pszenicy zwyczajnej skutkowało istotnym wzrostem, w porównaniu z obiektem kontrolnym, podatności liści na porażenie przez *Blumeria graminis* (DC.), natomiast odwrotną zależność zaobserwowano dla odmiany 'Badenkrone'.

Ocena stanu zdrowotności roślin badanych podgatunków pszenicy wykazała, że we wszystkich latach pierwszej serii badań wystąpiła presja ze strony patogena wywołującego rdzę brunatną pszenicy (tab. 104). Indeks porażenia liści przez *Puccinia recondita* Roberge ex Desm. zmieniał się istotnie pod wpływem odmiany i nawożenia oraz współdziałania tych czynników. Wykazano, że odmianę 'Bogatka' charakteryzowała istotnie większa odporność na porażenie przez rdzę brunatną pszenicy niż pszenicę orkisz, a różnica w indeksie porażenia pomiędzy pszenicą zwyczajną a odmianami pszenicy orkisz wyniosła od 14,1 (odmiana 'Schwabenspelz') do 17,3 (odmiana 'Badengold') pkt.%. Stosowane w uprawie badanych podgatunków pszenicy nawożenie azotem skutkowało istotnym wzrostem, w porównaniu z obiektem kontrolnym, podatności na rdzę brunatną. Natomiast indeks porażenia liści przez tego patogena na obiektach nawożonych obornikiem

Tabela 104. Indeks porażenia (%) liści badanych pszenic przez *Puccinia recondita* Roberge ex Desm. w zależności od odmiany i nawożenia (seria I)**Table 104.** Leaf infestation index (%) of tested wheat by *Puccinia recondita* Roberge ex Desm. as a function of cultivar and fertilization (Series I)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Badengold	50,8 a*	57,5 b	64,6 c	63,8 c	55,8 a	53,6 a	57,7 b
Schwabenspelz	51,0 a	54,9 a	57,9 b	55,9 a	55,4 a	52,2 a	54,5 b
Schwabenkorn	52,8 a	61,0 bc	59,7 c	62,4 c	54,1 ab	54,4 a	57,4 b
Bogatka	37,9 a	43,3 a	40,2 a	41,8 a	38,3 a	41,0 a	40,4 a
Średnia – Mean	48,1 a	54,2 bc	55,6 c	56,0 c	50,9 ab	50,3 a	–
NIR _(0,05)	B ¹⁾ = r.i./d.s.						A ¹⁾ = r.i./d.s.
LSD _(0,05)	AxB ¹⁾ = r.i./d.s.						

r.i. – różnice istotne. ¹⁾Istotność wg °Blissa. *a, b, c, – grupy jednorodne (wg testu Tukeya).
d.s. – significant differences. ¹⁾Significant according to the °Blissa. *a, b, c, – homogeneous groups
(according to the Tukey's test).

(niezależnie od wielkości dawki) był wyższy niż w obiekcie kontrolnym, ale stwierdzone różnice były statystycznie nieistotne. W przypadku odmian 'Badengold' oraz 'Schwabenspelz', najwyższy indeks porażenia liści przez rdzę brunatną stwierdzono po zastosowaniu 60 kg N·ha⁻¹, natomiast w przypadku odmiany 'Schwabenkorn' – 90 kg N·ha⁻¹. Jednocześnie nie stwierdzono istotnego wpływu nawożenia azotem na indeks porażenia liści pszenicy zwyczajnej. W warunkach prowadzonych badań (seria I) nie stwierdzono istotnego wpływu zastosowania obornika na indeks porażenia liści pszenicy zwyczajnej i pszenicy orkisz przez *Puccinia recondita* Roberge ex Desm.

W drugiej serii badań porażenie liścia flagowego przez *Puccinia recondita* Roberge ex Desm. zaobserwowano tylko w jednym sezonie wegetacyjnym (tab. 105), w którym udowodniono istotny wpływ badanych czynników oraz ich współdziałania na wartości indeksu porażenia liści przez rdzę brunatną pszenicy. Spośród wszystkich odmian biorących udział w badaniach najbardziej odporna na porażenie przez tego patogena okazała się odmiana 'Zollernspelz'. Istotnie wyższy indeks porażenia liści przez rdzę brunatną zaobserwowano u odmiany 'Badenkro-ne' (o 5,2 pkt. %), a najwyższą wartością tego wskaźnika odznaczały się odmiany 'KWS Dakotana' (73,8%) i 'Badenstern' (73,7%). Nawożenie azotem oraz obornikiem sprzyjało większemu porażeniu liści przez tego patogena, a istotnie największy indeks porażenia liści wystąpił po zastosowaniu 30 kg N·ha⁻¹. Zwiększanie

Tabela 105. Indeks porażenia (%) liści badanych pszenic przez *Puccinia recondita* Roberge ex Desm. w zależności od odmiany i nawożenia (seria II; sezon wegetacyjny: 2015/2016)**Table 105.** Leaf infestation index (%) of tested wheat by *Puccinia recondita* Roberge ex Desm. as a function of cultivar and fertilization (Series II; vegetation season: 2015/2016)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	Obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	Obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Zollernspelz	52,7 a*	61,5 a	65,0 ab	80,0 c	71,7 b	70,0 b	66,8 a
Badenstern	60,9 a	87,9 c	70,4 b	75,6 b	75,0 b	72,5 b	73,7 c
Badenkrone	65,5 a	67,4 a	70,0 ab	75,7 bc	75,2 bc	78,4 c	72,0 b
KWS Dakotana	64,1 a	89,5 c	75,7 b	64,7 a	73,2 b	75,6 b	73,8 c
Średnia – Mean	60,8 a	76,6 c	70,3 b	74,0 b	73,8 b	74,1 b	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B ¹⁾ = r.i./d.s. AxB ¹⁾ = r.i./d.s.						A ¹⁾ = r.i./d.s.

r.i. – różnice istotne. ¹⁾Istotność wg °Blissa. *a, b, c, – grupy jednorodne (wg testu Tukeya).
d.s. – significant differences. ¹⁾Significant according to the °Blissa. *a, b, c, – homogeneous groups
(according to the Tukey's test).

dawek azotu w uprawie pszenicy zwyczajnej 'KWS Dakotana' z 30 kg·ha⁻¹ do 60 i 90 kg·ha⁻¹ skutkowało istotnym zmniejszeniem porażenia liścia flagowego przez rdzę brunatną. Podobnie zareagowała odmiana 'Badenstern', dla której wzrastające dawki azotu również ograniczały presję ze strony tego patogena, przy czym nie udowodniono istotnych różnic między dawkami 60 a 90 kg N·ha⁻¹. Przeciwną zależność wykazano dla odmian 'Zollernspelz' i 'Badenkrone', w przypadku których zwiększanie dawek azotu skutkowało wzrostem porażenia liści, a najwyższe wartości stwierdzono po zastosowaniu 90 kg N·ha⁻¹ (zależność tę potwierdzono statystycznie tylko dla odmiany 'Zollernspelz'). Zwiększanie dawki obornika w uprawie odmian 'Zollernspelz' i 'Badenstern' z 15 t·ha⁻¹ do 30 t·ha⁻¹ nieznacznie obniżało porażenie liścia flagowego przez rdzę brunatną pszenic, natomiast u odmian 'Badenkrone' i 'KWS Dakotana' następował wzrost indeksu porażenia. Powyższe zależności nie zostały potwierdzone statystycznie.

Indeks porażenia liści badanych pszenic przez *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt. zmieniał się istotnie pod wpływem odmiany, nawożenia i ich współdziałania (tab. 106), a presję ze strony tego patogena w pierwszej serii badań zaobserwowano tylko w sezonie 2013/2014. Pszenica odmiany 'Bogatka' była dużo bardziej podatna na porażenie przez septoriozę paskowaną liści niż odmiany pszenicy orkisz, co potwierdziła również przeprowadzona analiza statystyczna. Natomiast najbardziej tolerancyjna na porażenie ze strony tego patogena okazała się odmiana 'Schwabenspelz'. Zwiększanie dawek azotu i obornika skutkowało

Tabela 106. Indeks porażenia (%) liści badanych pszenic przez *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt. w zależności od odmiany i nawożenia (seria I; sezon wegetacyjny: 2013/2014)

Table 106. Leaf infestation index (%) of tested wheat by *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt. as a function of cultivar and fertilization (Series I; vegetation season: 2013/2014)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Badengold	20,1 a	32,1 b	30,2 b	26,7 ab	31,5 b	30,4 b	28,5 ab
Schwabenspelz	22,5 a	22,9 a	27,2 b	29,9 b	29,5 b	30,3 b	27,0 a
Schwabenkorn	22,3 a	24,1 ab	28,6 b	25,9 b	29,5 b	45,1 c	29,2 b
Bogatka	25,3 a	43,2 b	43,6 b	46,5 b	20,1 a	43,6 b	37,1 c
Średnia – Mean	22,5 a	30,6 bc	32,4 c	32,2 c	27,6 ab	37,4 d	–
NIR _(0,05)	B ¹⁾ = r.i./d.s.						A ¹ = r.i./d.s.
LSD _(0,05)	AxB ¹⁾ = r.i./d.s.						

r.i. – różnice istotne. ¹⁾Istotność wg °Blissa. *a, b, c, – grupy jednorodne (wg testu Tukeya).
d.s. – significant differences. ¹⁾Significant according to the °Blissa. *a, b, c, – homogeneous groups (according to the Tukey's test).

wzrostem porażenia przez *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt. Najwyższy indeks porażenia, niezależnie od odmiany, wystąpił po zastosowaniu 60 i 90 kg N·ha⁻¹ lub 30 t·ha⁻¹ obornika. U odmiany 'Badengold' zastosowanie 30 kg N·ha⁻¹ sprzyjało porażeniu septoriozą paskowaną liści, a rosnące dawki azotu powodowały nieistotne obniżenie indeksu porażenia. Odmianą reakcję na rosnące dawki azotu zaobserwowano dla odmiany 'Schwabenspelz' oraz pszenicy zwyczajnej, u których najwyższy indeks porażenia liści stwierdzono po zastosowaniu 90 kg N·ha⁻¹. W uprawie obu podgatunków pszenic, poza odmianą 'Badengold', zwiększenie dawki obornika do 30 t·ha⁻¹ sprzyjało podatności roślin na porażenie przez septoriozę paskowaną liści, a opisywane zależności potwierdzono statystycznie dla odmian 'Schwabenkorn' oraz 'Bogatka'.

W drugiej serii badań wielkość porażenia przez *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt. zmieniała się tylko pod wpływem odmiany, a objawy tej choroby zaobserwowano jedynie w sezonie 2016/2017 (tab. 107). Badane odmiany pszenicy orkisz były bardziej podatne na porażenie ze strony tego patogena niż 'KWS Dakotana'. U pszenicy zwyczajnej oraz odmiany 'Badenkrone' zaobserwowano tendencję do wzrostu porażenia liści przez tego patogena wraz ze zwiększaniem dawki azotu do 90 kg·ha⁻¹. W przypadku odmiany 'Zollernspelz' najwyższy indeks porażenia liści stwierdzono w wariancie z dawką 60 kg N·ha⁻¹,

Tabela 107. Indeks porażenia (%) liści badanych pszenic przez *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt. w zależności od odmiany i nawożenia (seria II; sezon wegetacyjny: 2016/2017)

Table 107. Leaf infestation index (%) of tested wheats by *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt. as a function of cultivar and fertilization (Series II; vegetation season: 2016/2017)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Zollernspelz	47,0	49,4	65,1	55,4	59,4	56,7	55,5 b
Badenstern	54,2	65,8	61,6	63,4	56,4	61,2	60,4 c
Badenkrone	48,1	52,5	53,9	54,1	50,0	49,0	51,3 b
KWS Dakotana	36,6	41,2	43,2	52,2	48,3	41,6	43,8 a
Średnia – Mean	46,5	52,2	55,9	56,3	53,5	52,2	–
NIR _(0,05) LSD _(0,05)	B ¹ = r.n./n.s. AxB ¹ = r.n./n.s.						A ¹ = r.i./d.s.

r.i. – różnice istotne. r.n. – różnice nieistotne. ¹Istotność wg °Blissa.

*a, b, c, – grupy jednorodne (wg testu Tukeya).

d.s. – significant differences. n.s. – not significant differences. ¹Significant according to the °Blissa.

*a, b, c, – homogeneous groups (according to the Tukey's test).

a u odmiany ‘Badenstern’ w obiekcie z 30 kg N·ha⁻¹. Zwiększenie dawki obornika nieznacznie obniżało indeks porażenia liści przez *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt. Wyjątek stanowiła odmiana ‘Badenstern’, u której nawożenie 30 t·ha⁻¹ obornika sprzyjało podatności na porażenie przez septoriozę paskowaną.

4.3. Współzależności plonu oraz cech kształtujących plonowanie pszenicy

4.3.1. Analiza składowych głównych

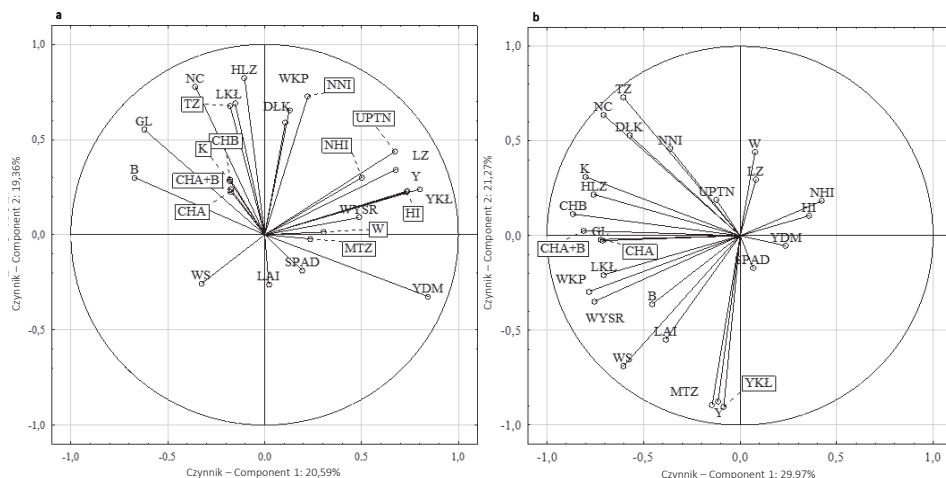
Na rycinie nr 21 przedstawiono wektory cech badanych pszenic z pierwszej serii badań, w układzie dwóch pierwszych składowych głównych (Z_1 i Z_2), które reprezentowały od 39,9% do 62,4% całkowitej zmienności pierwotnych danych dla poszczególnych odmian przy dawkach 0, 60 i 90 kg N·ha⁻¹ oraz 30 t·ha⁻¹ obornika. W analizie składowych głównych plonu, komponentów plonowania oraz wybranych cech pszenicy orkisz wykazano, że u wszystkich odmian, niezależnie od dawki i rodzaju zastosowanego nawożenia, plon ziarna był silnie dodatnio skorelowany z plonem kłosków (ryc. 21 a-c, e-g, i-k). Ponadto u odmiany ‘Schwabenspelz’ w warunkach bez nawożenia azotem (ryc. 21 b) i ‘Schwabenkorn’ przy dawkach

0 i 60 kg N·ha⁻¹ (ryc. 21 c i g) plon ziarna był skorelowany dodatnio również z masą tysiąca ziaren. Podobny przebieg zależności stwierdzono także u wszystkich odmian badanych pszenic po wniesieniu 30 t·ha⁻¹ obornika (ryc. 21 i–l). Plon ziarna pszenicy zwyczajnej nienawożonej azotem (ryc. 21 d) był dodatnio skorelowany z masą hektolitra ziarna oraz wskaźnikiem sedymentacji Zeleny’ego. Taka zależność wystąpiła również, gdy pszenicę zwyczajną nawożono dawką 30 t·ha⁻¹ obornika (ryc. 21 l), a ponadto na tym obiekcie plon ziarna był dodatnio skorelowany z indeksem zieloności liści, zawartością białka i glutenu oraz wskaźnikiem twardości technologicznej ziarna. Kąt pomiędzy wektorami obrazującymi plon ziarna, zawartość białka i glutenu oraz wskaźnik sedymentacji Zeleny’ego u odmiany ‘Schwabenkorn’ w warunkach bez nawożenia (ryc. 21 c), a także po zastosowaniu 30 t·ha⁻¹ obornika (ryc. 21 k) jest niewielki, co oznacza silne skorelowanie tych zmiennych. Wektory reprezentujące zmienne pierwotne plonu sięgają brzegów koła jednostkowego, a zatem są bardzo dobrze reprezentowane przez dwie pierwsze składowe tworzące układ współrzędnych u odmiany ‘Schwabenspelz’ przy dawce 0 i 60 kg N·ha⁻¹. Ponadto liczba kłosów na jednostce powierzchni oraz współczynnik krzewienia produkcyjnego dla wszystkich odmian, niezależnie od rodzaju i dawki nawożenia, były dodatnio skorelowane (ryc. 21 a–l). Dla odmiany ‘Badengold’ przy nawożeniu 60 kg N·ha⁻¹ wykazano dodatnią korelację dla liczby ziaren w kłosie i zawartości chlorofilu *a*, *b*, *a* + *b*, karotenoidów, indeksu plonowania oraz indeksu żniwnego azotu (ryc. 21 e). Również dla odmiany ‘Schwabenkorn’ nawożonej 30 t·ha⁻¹ obornika wystąpiła dodatnia korelacja pomiędzy liczbą ziaren w kłosie a indeksem plonowania oraz indeksem żniwnym azotu (ryc. 21 k). Z kolei indeks powierzchni liści LAI u wszystkich odmian pszenicy orkisz, niezależnie od dawki i rodzaju nawożenia, rósł wraz ze wzrostem wysokości roślin (ryc. 21 a–c, e–g, i–k). U odmiany ‘Schwabenspelz’ w fazie BBCH 75 nawożonej 30 t·ha⁻¹ obornika indeks powierzchni liści LAI był dodatnio skorelowany z indeksem odżywienia roślin azotem, plonem suchej masy, akumulacją azotu oraz zawartością azotu w roślinie (ryc. 21 j). Natomiast u odmiany ‘Schwabenkorn’ również nawożonej obornikiem zależność wystąpiła w tej samej fazie, tylko pomiędzy LAI i zawartością azotu w roślinie (ryc. 21 k). Ułożenie wektorów indeksu powierzchni liści LAI i masy hektolitra, zawartości białka oraz glutenu, wskaźnika sedymentacji Zeleny’ego oraz twardości technologicznej ziarna, zawartości chlorofilu *a*, *b*, *a* + *b* i karotenoidów, indeksu plonowania, indeksu żniwnego azotu, indeksu odżywienia roślin azotem, akumulacji azotu oraz zawartości azotu w roślinie w fazie BBCH 75 świadczą o ujemnym skorelowaniu tych cech u pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ w warunkach nawożenia obornikiem (ryc. 21 l). Analiza wyników na rycinie 21 a–l wskazuje, że przypadek zagęszczenia grupy atrybutów zawartości chlorofilu *a*, *b*, *a* + *b* i karotenoidów dla wszystkich odmian pszenicy orkisz i pszenicy zwyczajnej, niezależnie od rodzaju i dawki nawożenia, dowodzi ich silnego dodatniego skorelowania. W bliskim położeniu znalazły

się również wektory indeksu odżywienia roślin azotem i akumulacji azotu oraz zawartości azotu w roślinie, dla obu podgatunków pszenic w warunkach bez nawożenia azotem oraz po zastosowaniu 30 t·ha⁻¹ obornika. Podobne zależności stwierdzono także dla odmiany ‘Badengold’ nawożonej 60 kg N·ha⁻¹. Natomiast dla odmian ‘Schwabenspelz’ i ‘Schwabenkorn’ przy dawce 60 kg N·ha⁻¹ oraz Bogatki przy dawce 90 kg N·ha⁻¹ w bliskim sąsiedztwie znalazły się atrybuty indeksu odżywienia roślin azotem i akumulacji azotu w roślinie.

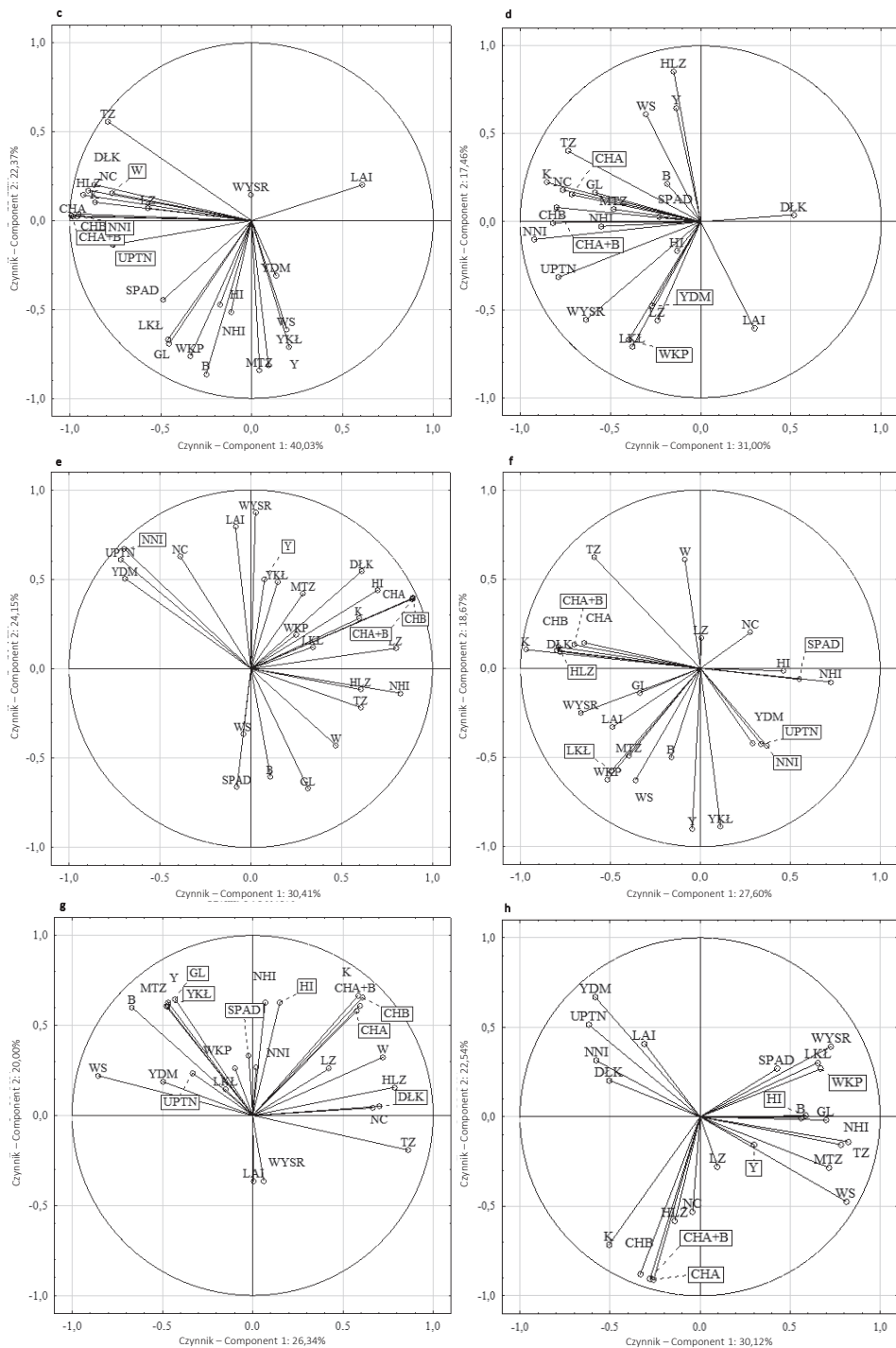
Miarą zmienności pierwotnych danych z drugiej serii badań, przedstawionych w postaci dwóch pierwszych składowych głównych (Z_1 i Z_2), są wartości własne macierzy korelacji przedstawione w postaci wektorów analizowanych cech badanych pszenic (ryc. 22). Dwie pierwsze składowe główne reprezentowały 54,1–72,1% całkowitej zmienności pierwotnych danych dla poszczególnych odmian pszenicy przy dawkach 0, 60 i 90 kg N·ha⁻¹ oraz 30 t·ha⁻¹ obornika. Wektory reprezentujące zmienne pierwotne plonu ziarna, komponentów plonowania oraz wybranych cech obu pszenic, niezależnie od rodzaju i dawki nawożenia, w większości przypadków sięgają brzegów koła jednostkowego, co oznacza, że są bardzo dobrze reprezentowane przez dwie pierwsze składowe tworzące układ współrzędnych, z wyjątkiem odmiany ‘KWS Dakotana’ przy braku nawożenia azotem, gdzie wektor plonu dalece odbiega od brzegu koła jednostkowego. Kąt pomiędzy wektorami obrazującymi plon ziarna i plon kłosków, indeks plonowania oraz indeks żniwny azotu, u odmian pszenicy orkisz w warunkach bez nawożenia azotem jest niewielki, co oznacza duże skorelowanie tych zmiennych (ryc. 22 a–c). W tych samych warunkach, bez nawożenia azotem u odmiany ‘Zollernspelz’, wystąpiło dodatkowo duże zagęszczenie zmiennych charakteryzujących plon ziarna i indeks powierzchni liści oraz długość kłosa (ryc. 22 a). Natomiast u odmiany ‘Badenstern’, wystąpiła silna dodatnia korelacja pomiędzy plonem ziarna a liczbą kłosów na 1 m², indeksem zieloności liści, wysokością roślin, współczynnikiem krzewienia produkcyjnego oraz zawartością azotu w roślinie (ryc. 22 b).

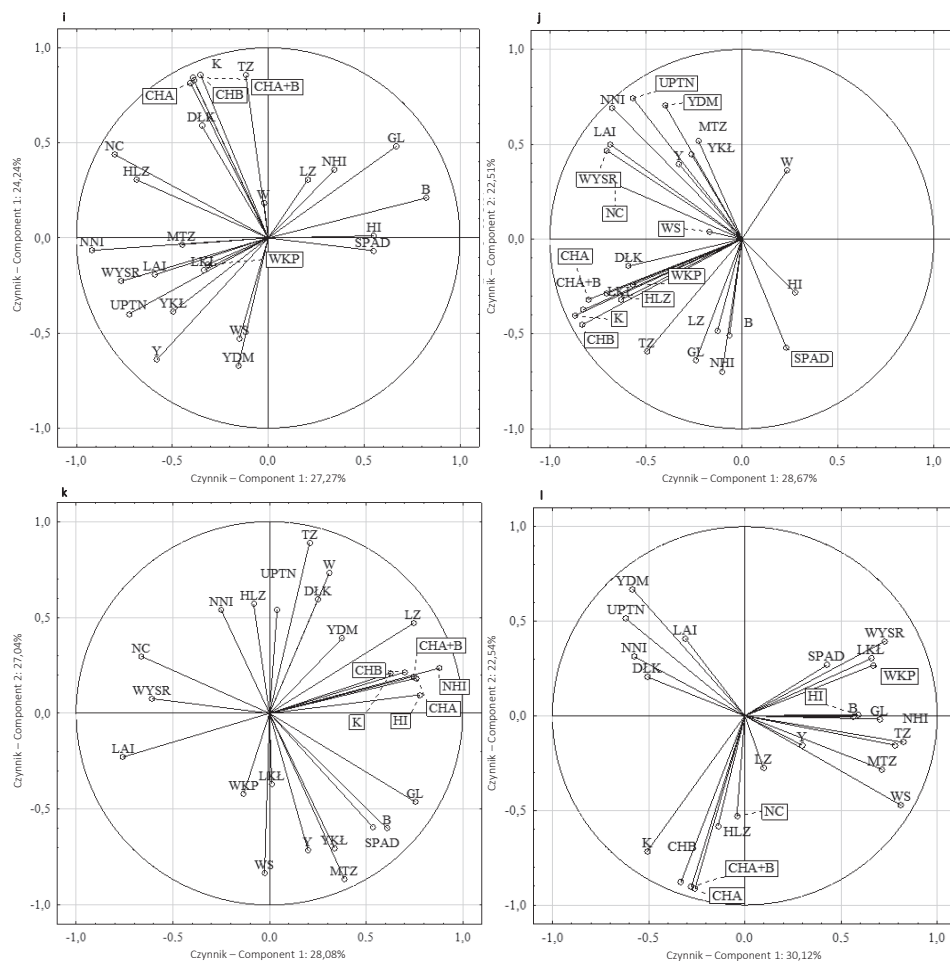
Dla tej odmiany w tych samych warunkach stwierdzono ujemną korelację między plonem ziarna a liczbą ziaren w kłosie, wyleganiem, zawartością białka i glutenu oraz wskaźnikiem twardości technologicznej ziarna (ryc. 22 b). Ułożenie wektorów plonu ziarna i liczby kłosów na jednostce powierzchni świadczy o dodatnim skorelowaniu tych cech u odmian ‘Zollernspelz’, ‘Badenstern’ oraz ‘KWS Dakotana’ w warunkach nawożenia azotem mineralnym (ryc. 22 e–f, h). U odmian ‘Zollernspelz’ i ‘KWS Dakotana’ w tych samych warunkach wystąpiło duże zagęszczenie atrybutów plonu ziarna, indeksu plonowania oraz indeksu żniwnego azotu (ryc. 22 e, h). Dla wszystkich odmian pszenicy orkisz przy dawce 60 kg N·ha⁻¹ wystąpiła silna dodatnia korelacja między plonem ziarna i plonem kłosków (ryc. 22 e–g). W tych samych warunkach odmiany pszenicy orkisz ‘Badenstern’ i ‘Badenkrone’ charakteryzowała także silna dodatnia korelacja plonu ziarna z indeksem powierzchni liści, wysokością roślin, zawartością skrobi oraz indeksem plonowania (ryc. 22 f–g).



Ryc. 21. Wykres współrzędnych czynnikowych dla składowych głównych Z_1 i Z_2 (seria I) w wariancie 0 kg N·ha⁻¹ (a – ‘Badengold’, b – ‘Schwabenspelz’, c – ‘Schwabenkorn’, d – ‘Bogatka’); 60 kg N·ha⁻¹ (e – ‘Badengold’, f – ‘Schwabenspelz’, g – ‘Schwabenkorn’); 90 kg N·ha⁻¹ (h – ‘Bogatka’) oraz 30 t·ha⁻¹ obornika (i – ‘Badengold’, j – ‘Schwabenspelz’, k – ‘Schwabenkorn’, l – ‘Bogatka’); LKŁ – liczba kłosów na 1 m², LZ – liczba ziaren w kłosie, MTZ – masa 1000 ziaren, Y – plon ziarna, YKŁ – plon kłosków, SPAD – indeks zieloności liści, LAI – indeks powierzchni liści, WYSR – wysokość roślin, DŁK – długość kłosa, HLZ – masa hektolitra, W – wyleganie roślin, B – zawartość białka, WS – wskaźnik sedymentacji Zeleny’ego, GL – zawartość glutenu, TZ – wskaźnik twardości technologicznej ziarna, WKP – współczynnik krzewienia produkcyjnego, CHA – zawartość chlorofilu a, CHB – zawartość chlorofilu b, CHA+B – zawartość chlorofilu a + b, K – zawartość karotenoidów, HI – indeks plonowania, NHI – indeks żniwny azotu, NNI – indeks odżywienia roślin azotem w fazie BBCH 75, YDM – plon suchej masy w fazie BBCH 75, UPTN – akumulacja azotu w roślinie w fazie BBCH 75, NC – zawartość azotu w roślinie w fazie BBCH 75

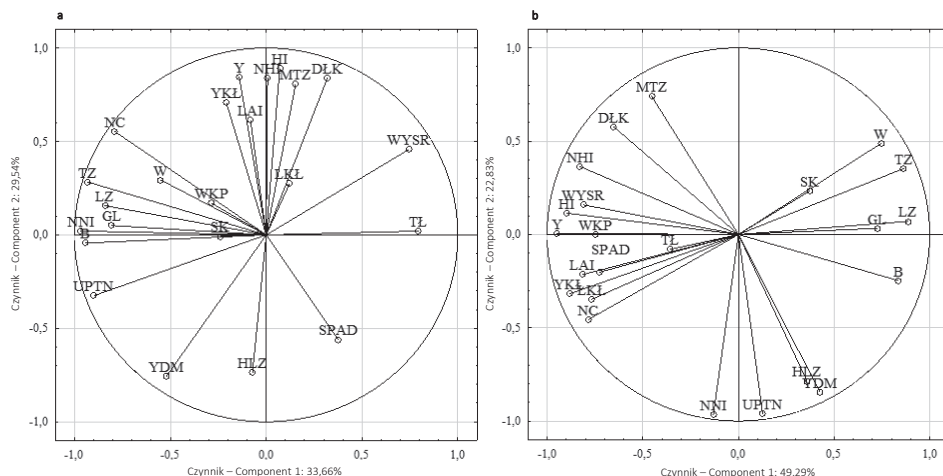
Fig. 21. Graph of factor coordinates for components Z_1 and Z_2 (Series I) in the variant 0 kg N·ha⁻¹ (a – ‘Badengold’, b – ‘Schwabenspelz’, c – ‘Schwabenkorn’, d – ‘Bogatka’); 60 kg N·ha⁻¹ (e – ‘Badengold’, f – ‘Schwabenspelz’, g – ‘Schwabenkorn’); 90 kg N·ha⁻¹ (h – ‘Bogatka’) and 30 t·ha⁻¹ manure (i – ‘Badengold’, j – ‘Schwabenspelz’, k – ‘Schwabenkorn’, l – ‘Bogatka’); LKŁ – spikes number per 1 m², LZ – grain number in spike, MTZ – thousand grain weight, Y – grain yield, YKŁ – spikelets yield, SPAD – leaf greenness index, LAI – leaf area index, WYSR – plants height, DŁK – length spike, HLZ – mass of grain hectolitre, W – plants lodging, B – protein content, WS – Zeleny sedimentation index, GL – gluten content, TZ – hardness grain index, WKP – productive tillering coefficient, CHA – content of chlorophyll a, CHB – content of chlorophyll b, CHA+B – content of chlorophyll a + b, K – content of carotenoids, HI – harvest index, NHI – nitrogen harvest index, NNI – nitrogen nutrition index in BBCH 75 phase, YDM – dry matter yield in BBCH 75 phase, UPTN – nitrogen uptake by plant in BBCH 75 phase, NC – nitrogen content in plant in BBCH 75 phase





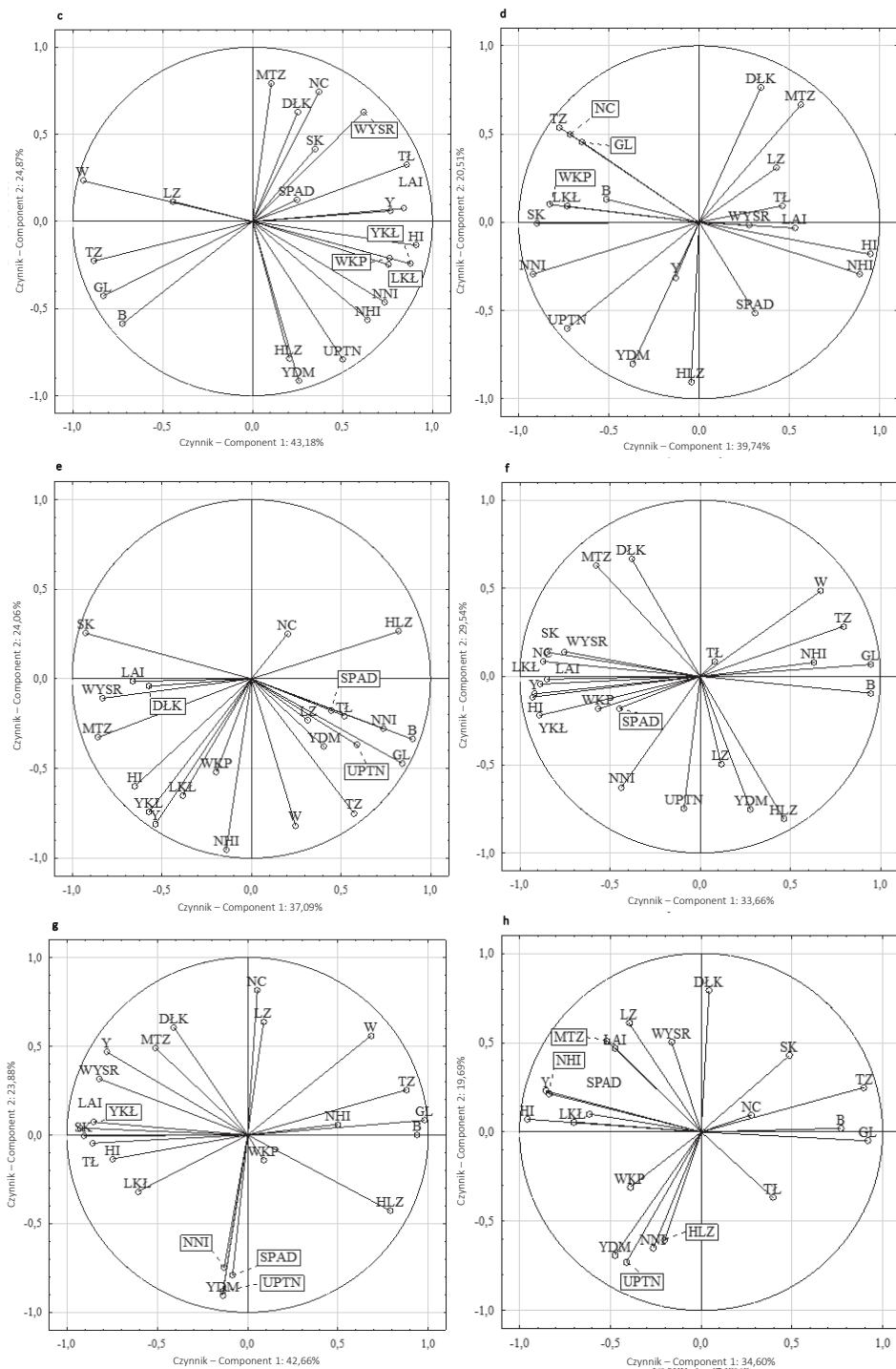
Ryc. 21 – cd. / Fig. 21 – cont.

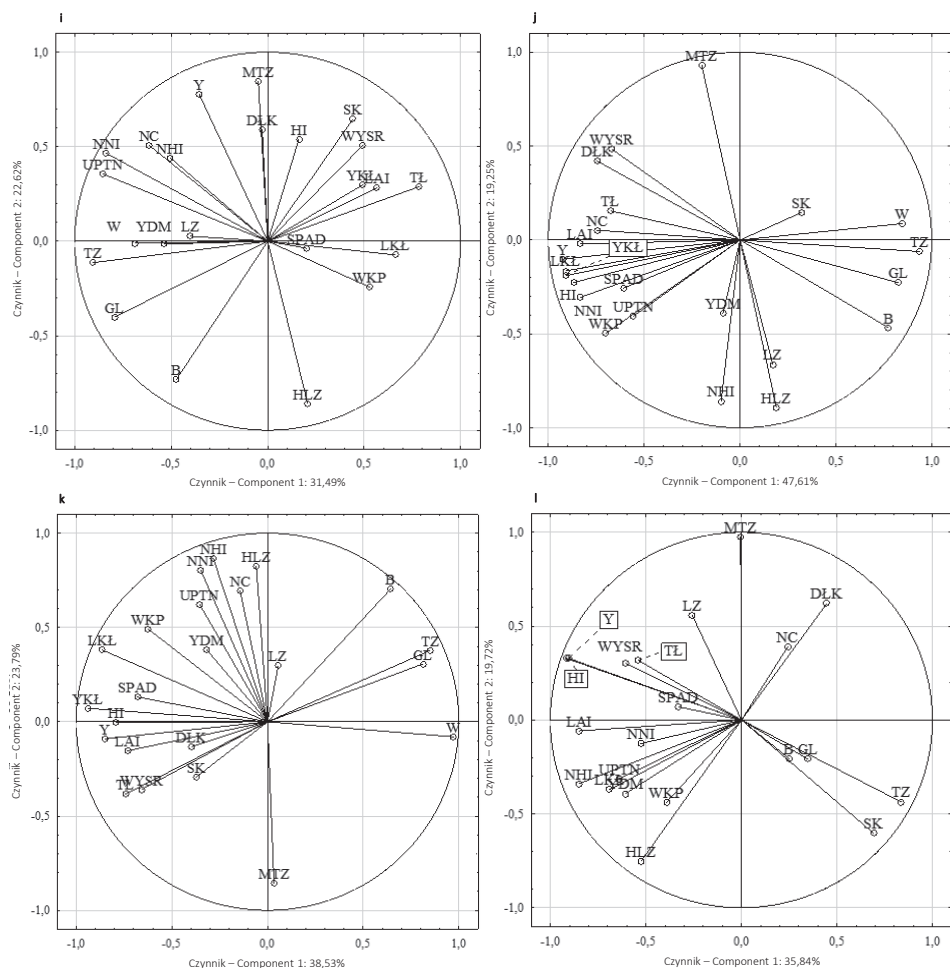
Z kolei w warunkach nawożenia pszenicy orkisz obornikiem plon ziarna odmian ‘Badenstern’ i ‘Badenkrone’ był dodatnio skorelowany z liczbą kłosów na jednostce powierzchni, plonem kłosów, indeksem powierzchni liści oraz indeksem plonowania (ryc. 22 j-k). Odwrotną zależność wykazano w przypadku wylegania roślin, zawartości białka i glutenu oraz wskaźnika twardości technologicznej ziarna, o czym świadczy ułożenie wektorów tych zmiennych pierwotnych. Analiza wyników wskazuje również, że przypadek zagęszczenia atrybutów indeksu powierzchni liści i liczby kłosów na jednostce powierzchni, plonu kłosów oraz indeksu plonowania u odmian ‘Badenstern’ i ‘Badenkrone’ w warunkach bez nawożenia dowodzi ich silnego skorelowania (ryc. 22 b-c). Te same zależności wystąpiły u tych



Ryc. 22. Wykres współrzędnych czynnikowych dla składowych głównych Z_1 i Z_2 (seria II) w wariancie $0 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (**a** – ‘Zollernspelz’, **b** – ‘Badenstern’, **c** – ‘Badenkrone’, **d** – ‘KWS Dakotana’); $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (**e** – ‘Zollernspelz’, **f** – ‘Badenstern’, **g** – ‘Badenkrone’); $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (**h** – ‘KWS Dakotana’) oraz $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ obornika (**i** – ‘Zollernspelz’, **j** – ‘Badenstern’, **k** – ‘Badenkrone’, **l** – ‘KWS Dakotana’); LKŁ – liczba kłosów na 1 m^2 , LZ – liczba ziaren w kłosie, MTZ – masa 1000 ziaren, Y – plon ziarna, YKŁ – plon kłosków, SPAD – indeks zieloności liści, LAI – indeks powierzchni liści, WYSR – wysokość roślin, DŁK – długość kłosa, HLZ – masa hektolitra, W – wyleganie roślin, B – zawartość białka, TŁ – zawartość tłuszczu, SK – zawartość skrobi, GL – zawartość glutenu, TZ – wskaźnik twardości technologicznej ziarna, WKP – współczynnik krzewienia produkcyjnego, HI – indeks plonowania, NHI – indeks żniwny azotu, NNI – indeks odżywienia roślin azotem w fazie BBCH 75, YDM – plon suchej masy w fazie BBCH 75, UPTN – akumulacja azotu w roślinie w fazie BBCH 75, NC – zawartość azotu w roślinie w fazie BBCH 75

Fig. 22. Graph of factor coordinates for components Z_1 and Z_2 (Series II) in the variant $0 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (**a** – ‘Zollernspelz’, **b** – ‘Badenstern’, **c** – ‘Badenkrone’, **d** – ‘KWS Dakotana’); $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (**e** – ‘Zollernspelz’, **f** – ‘Badenstern’, **g** – ‘Badenkrone’); $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (**h** – ‘KWS Dakotana’) and $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ manure (**i** – ‘Zollernspelz’, **j** – ‘Badenstern’, **k** – ‘Badenkrone’, **l** – ‘KWS Dakotana’); LKŁ – spikes number per 1 m^2 , LZ – grain number in spike, MTZ – thousand grain weight, Y – grain yield, YKŁ – spikelets yield, SPAD – leaf greenness index, LAI – leaf area index, WYSR – plants height, DŁK – length spike, HLZ – mass of grain hectolitre, W – plants lodging, B – protein content, TŁ – fat content, SK – starch content, GL – gluten content, TZ – hardness grain index, WKP – productive tillering coefficient, HI – harvest index, NHI – nitrogen harvest index, NNI – nitrogen nutrition index in BBCH 75 phase, YDM – dry matter yield in BBCH 75 phase, UPTN – nitrogen uptake by plant in BBCH 75 phase, NC – nitrogen content in plant in BBCH 75 phase



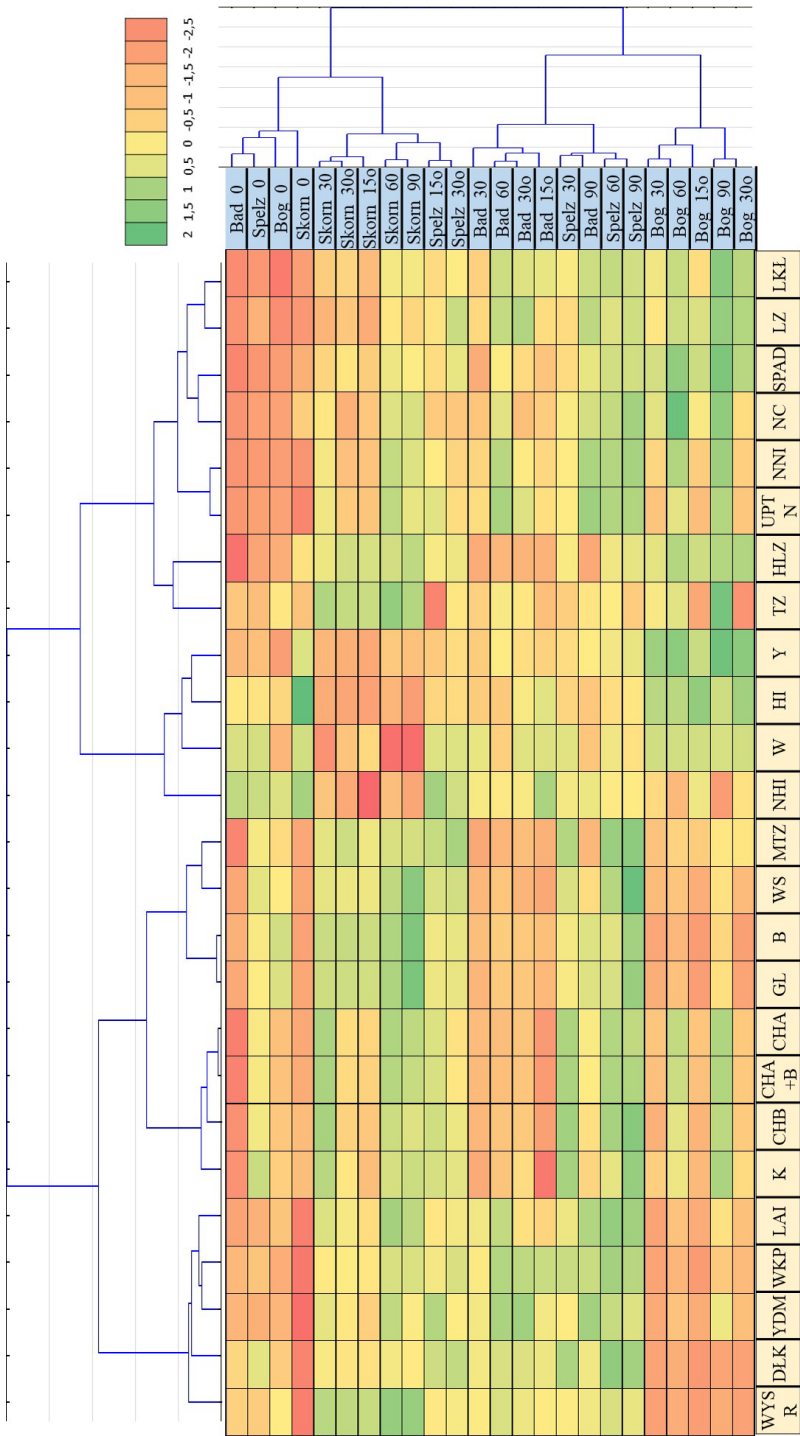


Ryc. 22 – cd. / Fig. 22 – cont.

odmian także przy dawce $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (ryc. 22 f–g) oraz u odmiany ‘Badenstern’ nawożonej obornikiem (ryc. 22 j). Z kolei kąt między wektorami obrazującymi zawartość białka i zawartość glutenu oraz wskaźnik twardości technologicznej ziarna u wszystkich odmian pszenicy – niezależnie od rodzaju i dawki nawożenia – jest niewielki, co oznacza duże skorelowanie tych zmiennych (ryc. 22 a–l).

4.3.2. Grupowanie obiektów i cech z hierarchiczną analizą skupień

Otrzymane wyniki analizy składowej głównej z pierwszej serii badań porównano z wynikami analizy skupień jako jednej z metod grupowania hierarchicznego (ryc. 23). Analiza wyników ujawniła podobieństwa między odmianą pszenicy

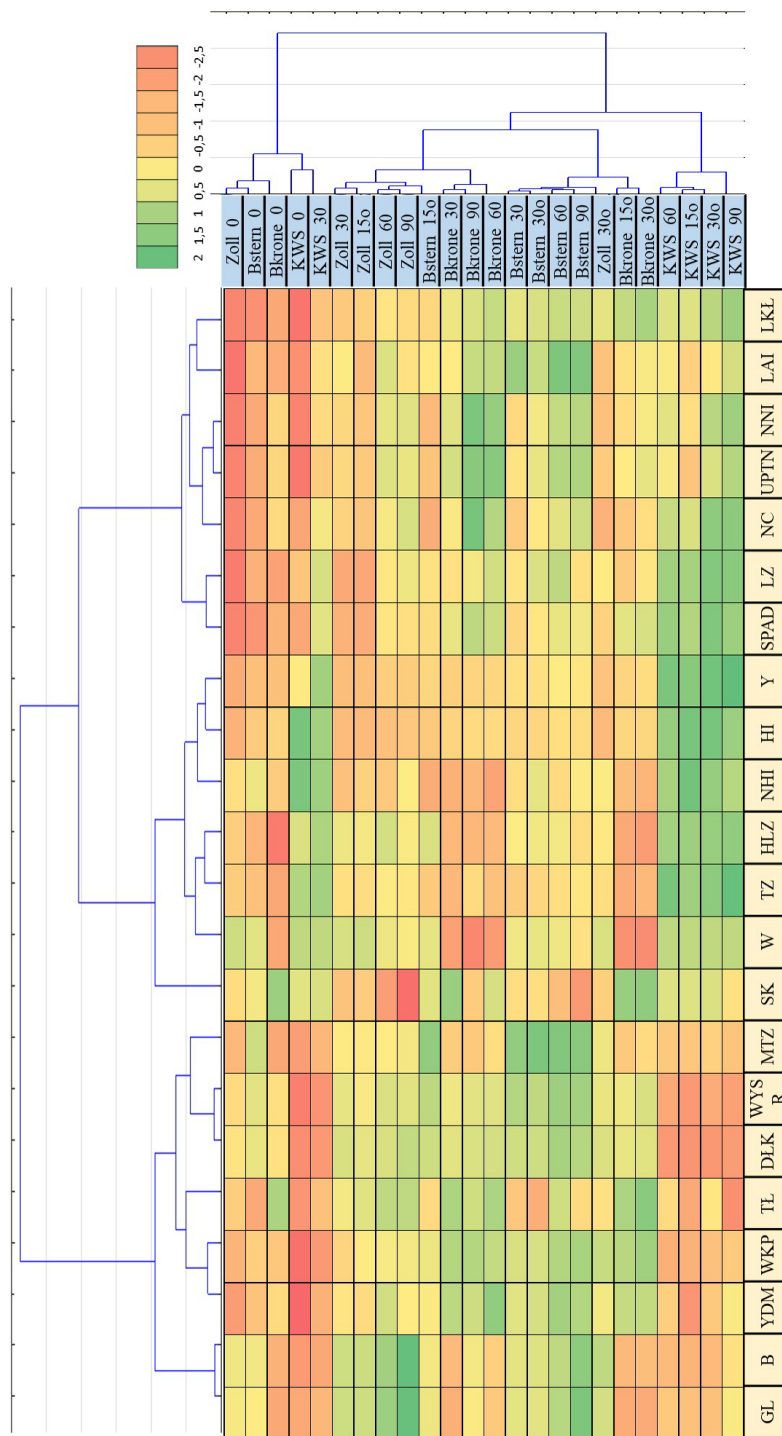


Ryc. 23. Mapa ciepła dla wartości współczynników korelacji plonu, komponentów plonowania oraz wybranych cech badanych pszenic (seria I); Skróty: LKL, LZ, MTZ, Y, YKL, SPAD, LAI, WYSR, DLK, HLZ, W, B, WS, GL, TZ, WKP, CHA, CHB, CHA+B, K, HI, NHI, NNI, YDM, UPTN, NC – interpretacja na stronie 153; Bad 0, 30, 60, 90 – ‘Badengold’ 0, 30, 60, 90 kg N·ha⁻¹; Bad 30o – ‘Badengold’ 30 t·ha⁻¹ obornika; Spelz 0, 30, 60, 90 – ‘Schwabenspelz’ 0, 30, 60, 90 kg N·ha⁻¹; Spelz 30o – ‘Schwabenspelz’ 30 t·ha⁻¹ obornika; Skorn 0, 30, 60, 90 – ‘Schwabenskorn’ 0, 30, 60, 90 kg N·ha⁻¹; Skorn 30o – ‘Schwabenskorn’ 30 t·ha⁻¹ obornika; Bog 0, 30, 60, 90 – ‘Bogatka’ 0, 30, 60, 90 kg N·ha⁻¹; Bog 30o – ‘Bogatka’ 30 t·ha⁻¹ obornika

Fig. 23. Heat map for the values correlation coefficients of yield, yield components and selected features of tested wheat (Series I); Abbreviations: LKL, LZ, MTZ, Y, YKL, SPAD, LAI, WYSR, DLK, HLZ, W, B, WS, GL, TZ, WKP, CHA, CHB, CHA+B, K, HI, NHI, NNI, YDM, UPTN, NC – interpretation on the page 153; Bad 0, 30, 60, 90 – ‘Badengold’ 0, 30, 60, 90 kg N·ha⁻¹; Bad 30o – ‘Badengold’ 30 t·ha⁻¹ manure; Spelz 0, 30, 60, 90 – ‘Schwabenspelz’ 0, 30, 60, 90 kg N·ha⁻¹; Spelz 30o – ‘Schwabenspelz’ 30 t·ha⁻¹ manure; Skorn 0, 30, 60, 90 – ‘Schwabenskorn’ 0, 30, 60, 90 kg N·ha⁻¹; Skorn 30o – ‘Schwabenskorn’ 30 t·ha⁻¹ manure; Bog 0, 30, 60, 90 – ‘Bogatka’ 0, 30, 60, 90 kg N·ha⁻¹; Bog 30o – ‘Bogatka’ 30 t·ha⁻¹ manure

zwyczajnej ‘Bogatka’ nawożoną azotem lub obornikiem a odmianami pszenicy orkisz ‘Badengold’ po zastosowaniu wszystkich rodzajów i dawek nawożenia oraz odmianą ‘Schwabenspelz’ nawożoną azotem. Ponadto graficzne przedstawienie danych z wykorzystaniem metody tzw. map ciepła (heat map) pozwoliło na wyróżnienie jednostek, które są do siebie najbardziej podobne. Dla obu pszenic z obiektów kontrolnych (bez azotu) najniższe wartości stwierdzono dla takich parametrów, jak: masa hektolitra, akumulacja azotu w roślinie, indeks odżywienia roślin azotem i zawartość azotu w roślinie w fazie BBCH 75, indeks zieloności liści, liczba ziaren w kłosie oraz liczba kłosów na jednostce powierzchni. Ponadto odmianę ‘Schwabenkorn’ w wariancie bez nawożenia charakteryzowały bardzo niskie wartości takich parametrów, jak: wysokość roślin, długość kłosa, plon suchej masy, współczynnik krzewienia produkcyjnego oraz indeks powierzchni liści. Równie niskie wartości tych parametrów stwierdzono także dla pszenicy zwyczajnej ‘Bogatka’, niezależnie od rodzaju i dawki nawożenia. Należy podkreślić, że wartości plonu ziarna pszenicy zwyczajnej we wszystkich wariantach nawożenia były najwyższe, a plon ziarna odmian pszenicy orkisz był na niskim bądź średnim poziomie. Odmiana ‘Schwabenkorn’ nawożona 60 i 90 kg N·ha⁻¹ nie wylegała, a ponadto jej rośliny były wysokie, co świadczy o tym, że odmianę tę charakteryzuje długa i sztywna słoma, a rośliny mają niewielką podatność na wyleganie. Ponadto odmianę tę w wariancie nawożenia 90 kg N·ha⁻¹ charakteryzowały najwyższe wartości takich parametrów, jak: zawartość glutenu i białka oraz wskaźnik sedymentacji Zeleny’ego.

Kolorymetryczna analiza skupień wykonana dla wyników z drugiej serii badań wskazuje na podobieństwa między odmianą pszenicy zwyczajnej ‘KWS Dakotana’ w wariancie 0 i 30 kg N·ha⁻¹ a odmianami pszenicy orkisz z obiektów kontrolnych (ryc. 24). Analizując wartości takich parametrów, jak: wskaźnik twardości technologicznej ziarna, masa hektolitra, indeks żniwny azotu, indeks plonowania, plon ziarna, indeks zieloności liści, liczba ziaren w kłosie oraz zawartość azotu w roślinie w fazie BBCH 75 stwierdzono, że dla pszenicy zwyczajnej odmiany ‘KWS Dakotana’, niezależnie od rodzaju i dawki nawożenia, wartości tych cech były na wysokim lub średnim poziomie. Natomiast dla wszystkich odmian pszenicy orkisz, niezależnie od rodzaju i dawki nawożenia, odnotowano niskie lub bardzo niskie wartości plonu ziarna. Z kolei wszystkie analizowane odmiany z obiektów kontrolnych (bez azotu) charakteryzowały niskie lub bardzo niskie wartości takich parametrów, jak: indeks zieloności liści, liczba ziaren w kłosie, indeks powierzchni liści, liczba kłosów na 1 m², indeks odżywienia roślin azotem, akumulacja azotu i zawartość azotu w roślinie w fazie BBCH 75. Pszenica zwyczajna, niezależnie od rodzaju i dawki nawożenia, różniła się od pszenicy orkisz niskimi lub bardzo niskimi wartościami składu chemicznego ziarna (zawartość białka, tłuszczu i glutenu), plonu suchej masy, współczynnika krzewienia ogólnego, długości kłosa, wysokości roślin oraz masy 1000 ziaren. Niska lub bardzo



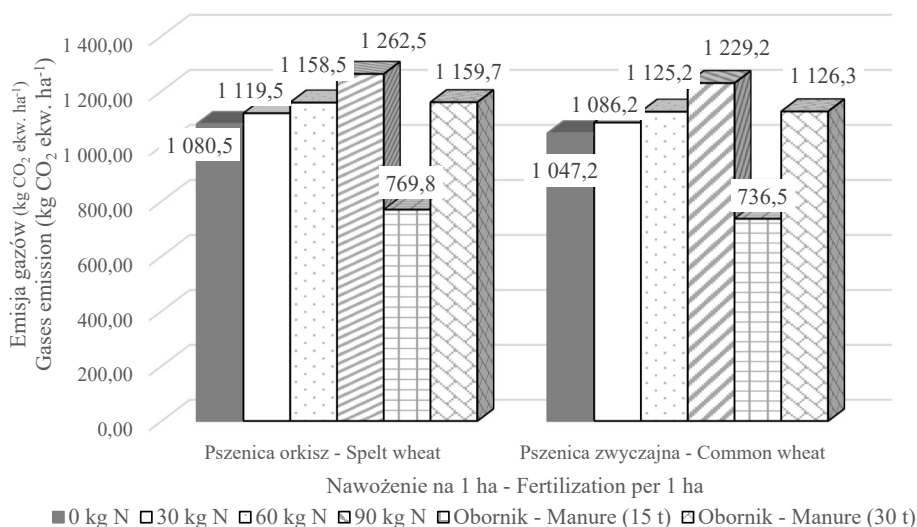
Ryc. 24. Mapa ciepła dla wartości współczynników korelacji plonu, komponentów plonowania oraz wybranych cech badanych pszenic (seria II). Skróty: LKL, LZ, MTZ, Y, YKL, SPAD, LAI, WYSR, DLK, HLZ, W, B, TL, SK, GL, TZ, WKP, HI, NHI, NNI, YDM, UPTN, NC – interpretacja na stronie 156; Zoll 0, 30, 60, 90 – ‘Zollernspelz’ 0, 30, 60, 90 kg N·ha⁻¹; Zoll 30o – ‘Zollernspelz’ 30 t·ha⁻¹ obornika; Bstern 0, 30, 60, 90 – ‘Badenstern’ 0, 30, 60, 90 kg N·ha⁻¹; Bstern 30o – ‘Badenstern’ 30 t·ha⁻¹ obornika; Bkrone 0, 30, 60, 90 – ‘Badenkrone’ 0, 30, 60, 90 kg N·ha⁻¹; Bkrone 30o – ‘Badenkrone’ 30 t·ha⁻¹ obornika; KWS 0, 30, 60, 90 – ‘KWS Dakota’ 0, 30, 60, 90 kg N·ha⁻¹; KWS 30o – ‘KWS Dakota’ 30 t·ha⁻¹ obornika

Fig. 24. Heat map for the values correlation coefficients of yield, yield components and selected features of tested wheat (Series II). Abbreviations: LKL, LZ, MTZ, Y, YKL, SPAD, LAI, WYSR, DLK, HLZ, W, B, TL, SK, GL, TZ, WKP, HI, NHI, NNI, YDM, UPTN, NC – interpretation on the page 156; Zoll 0, 30, 60, 90 – ‘Zollernspelz’ 0, 30, 60, 90 kg N·ha⁻¹; Zoll 30o – ‘Zollernspelz’ 30 t·ha⁻¹ manure; Bstern 0, 30, 60, 90 – ‘Badenstern’ 0, 30, 60, 90 kg N·ha⁻¹; Bstern 30o – ‘Badenstern’ 30 t·ha⁻¹ manure; Bkrone 0, 30, 60, 90 – ‘Badenkrone’ 0, 30, 60, 90 kg N·ha⁻¹; Bkrone 30o – ‘Badenkrone’ 30 t·ha⁻¹ manure; KWS 0, 30, 60, 90 – ‘KWS Dakota’ 0, 30, 60, 90 kg N·ha⁻¹; KWS 30o – ‘KWS Dakota’ 30 t·ha⁻¹ manure

niska zawartość skrobi w ziarnie wyróżniała odmianę ‘Zollernspelz’ spośród innych, niezależnie od rodzaju i dawki nawożenia, natomiast po wniesieniu 60 i 90 kg N·ha⁻¹ ziarno charakteryzowała bardzo wysoka lub wysoka zawartość białka oraz glutenu. Z kolei ziarno odmiany ‘Badenstern’, niezależnie od rodzaju i dawki nawożenia, wyróżniało się bardzo wysoką lub dużą masą tysiąca ziaren.

4.4. Emisja gazów cieplarnianych w uprawie badanych pszenic

Wyniki obliczeń emisji CO₂ do atmosfery z 1 ha (CO₂ ekw.·ha⁻¹) pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej w warunkach zastosowanych rodzajów i dawek nawożenia zaprezentowano na rycinie 25. Średnie wartości emisji CO₂, dla każdej z dawek nawożenia zarówno azotem, jak i obornikiem były wyższe w uprawie pszenicy orkisz niż w uprawie pszenicy zwyczajnej. Aplikacja azotu w dawce 90 kg·ha⁻¹ w uprawie pszenicy orkisz w porównaniu z obiektem kontrolnym generowała wzrost emisji CO₂ o 16,8%, natomiast w uprawie pszenicy zwyczajnej o 17,4%. Z kolei zwiększenie dawki obornika z 15 do 30 t·ha⁻¹ generowało największy wzrost emisji CO₂, wynoszący odpowiednio dla pszenicy orkisz 50,6% oraz 52,9% dla pszenicy zwyczajnej. W uprawie obu pszenic wartości emisji CO₂ były najniższe po zastosowaniu 15 ton obornika na 1 ha. Warto podkreślić,



Ryc. 25. Poziom emisji gazów cieplarnianych w uprawie badanych pszenic w warunkach zróżnicowanego nawożenia

Fig. 25. Level of greenhouse gas emissions in the cultivation of wheat studied under conditions of varying fertilization

że poziom emisji CO₂ w uprawie badanych pszenic – po zastosowaniu obornika w dawce 30 t·ha⁻¹ – był podobny jak po nawożeniu azotem w dawce 60 kg·ha⁻¹.

Wartości śladu węglowego (CF) badanych pszenic w przeliczeniu na 1 t ziarna przedstawiono w tabeli 108. Średnie wartości CF dla odmian z pierwszej serii badań wahały się od 259,1 do 490,3 kg CO₂ ekw.·t⁻¹, a dla odmian z serii drugiej od 214,7 do 443,2 kg CO₂ ekw.·t⁻¹. Niezależnie od serii badań, ślad węglowy pszenicy zwyczajnej był zdecydowanie niższy niż średnie wartości CF wyliczone dla pszenicy orkisz. Z kolei wielkości śladu węglowego wyliczone dla odmian pszenicy orkisz w pierwszej serii badań były największe dla odmiany ‘Schwabenspelz’ (490,3 kg CO₂ ekw.·t⁻¹), a w drugiej – dla odmiany ‘Zollernspelz’ (443,2 kg CO₂ ekw.·t⁻¹). W obu seriach badań ślad węglowy pszenicy orkisz zmniejszał się wraz ze wzrostem dawki azotu do 60 kg·ha⁻¹, natomiast zastosowanie dawki 90 kg N·ha⁻¹ powodowało wzrost wartości CF, co wynikało ze spadku plonu ziarna. Takiej zależności nie stwierdzono dla odmian pszenicy zwyczajnej. Wielkość śladu węglowego w uprawie tego podgatunku pszenicy ulegała zmniejszeniu wraz ze wzrostem dawki azotu do 90 kg·ha⁻¹. Zastosowanie w uprawie obu pszenic wyższej dawki obornika (30 t·ha⁻¹), w porównaniu do obiektów nawożonych dawką 15 t·ha⁻¹ prowadziło do zwiększenia wartości śladu węglowego. Warto również

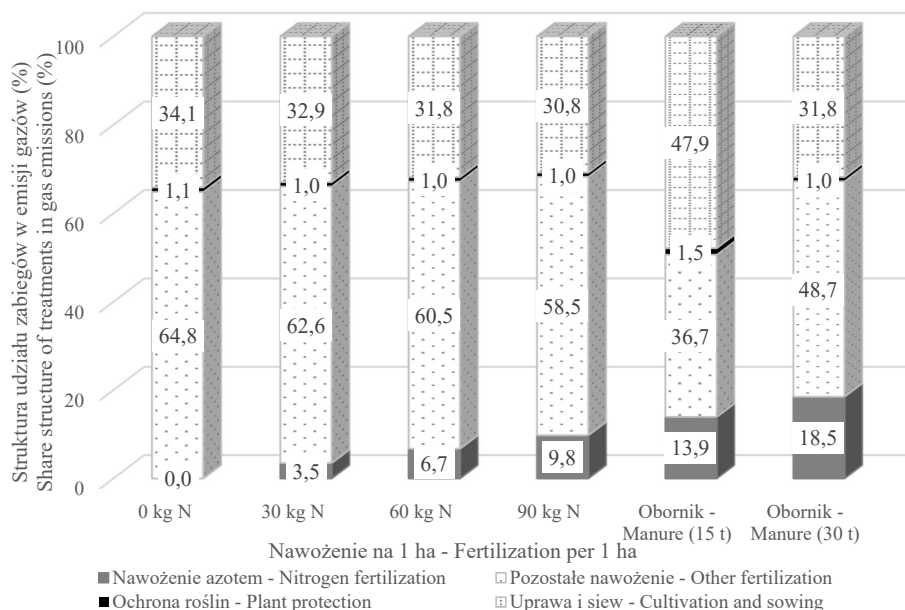
Tabela 108. Ślad węglowy (kg CO₂ ekw.·t⁻¹) badanych pszenic w warunkach stosowania zróżnicowanego nawożenia (seria I i II)

Table 108. Carbon footprint (kg CO₂ ekw.·t⁻¹) of tested wheats in conditions of using varied fertilization (Series I and II)

Odmiana (A) Cultivar (A)	Nawożenie (B) – Fertilization (B)						Średnia Mean
	0 kg N·ha ⁻¹	30 kg N·ha ⁻¹	60 kg N·ha ⁻¹	90 kg N·ha ⁻¹	obornik manure (15 t·ha ⁻¹)	obornik manure (30 t·ha ⁻¹)	
Seria I – Series I							
Badengold	469,8	432,2	377,4	390,1	289,4	406,9	394,3
Schwabenspelz	452,1	397,0	362,0	364,0	303,1	411,2	381,6
Schwabenskorn	577,8	497,6	454,3	494,8	375,5	541,9	490,3
Bogatka	306,2	265,6	263,5	254,2	202,9	262,5	259,1
Średnia – Mean	451,5	398,1	364,3	375,8	292,7	405,6	–
Seria II – Series II							
Zollernspelz	551,3	476,4	422,8	441,9	320,8	446,0	443,2
Badenstern	450,2	357,7	336,8	360,7	263,6	365,8	355,8
Badenkrone	446,5	402,7	395,4	417,3	267,3	375,3	384,1
KWS Dakotana	320,6	223,9	204,7	197,9	141,5	199,9	214,7
Średnia – Mean	442,1	365,2	339,9	354,4	248,3	346,7	–

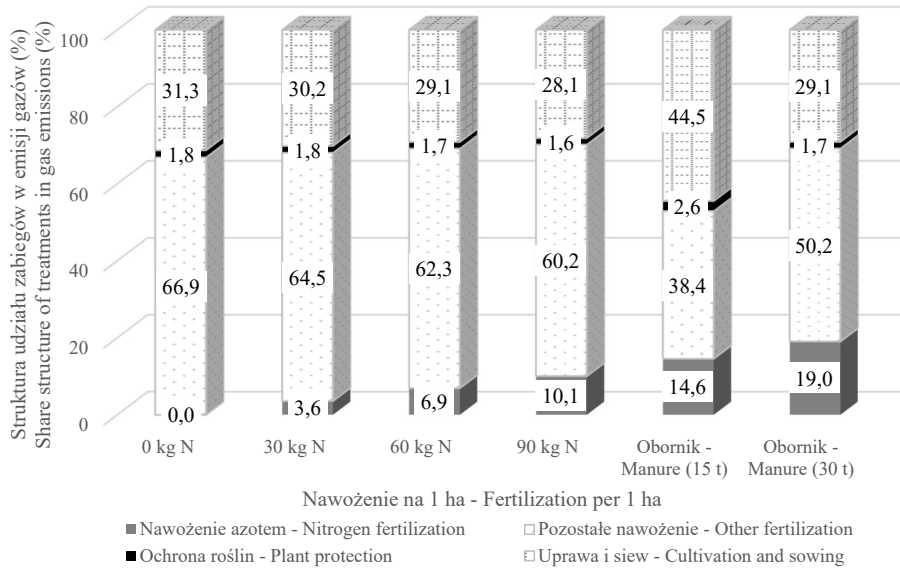
zauważyć, że ślad węglowy z tych obiektów był niższy od wyliczonego dla obiektu kontrolnego ($0 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$). Wielkości śladu węglowego obu pszenic nawożonych obornikiem w dawce $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ były najniższe.

Wykazano, że w uprawie obu pszenic dominujące znaczenie w strukturze udziału poszczególnych zabiegów agrotechnicznych w emisji gazów cieplarnianych (GHG) miało nawożenie mineralne, w tym głównie nawożenie fosforem i potasem (ryc. 26, 27). Względny udział nawożenia mineralnego wynosił średnio dla pszenicy orkisz $64,8\%$ i pszenicy zwyczajnej $66,9\%$, przy braku nawożenia (obiekt kontrolny nawożony tylko fosforem i potasem), a w warunkach stosowania zróżnicowanych dawek azotu $66,1\text{--}68,3\%$ dla pszenicy orkisz i $68,1\text{--}70,3\%$ dla pszenicy zwyczajnej. Natomiast na obiektach, gdzie zastosowano obornik w różnych dawkach, udział nawożenia mineralnego w emisji GHG był niższy i wynosił odpowiednio $50,6\%$ i $67,2\%$ dla pszenicy orkisz oraz $53,0\%$ i $69,2\%$ dla pszenicy zwyczajnej. Uprawa i siew ze względu na zużycie paliwa i energii elektrycznej miały znaczący wpływ na emisję GHG. Wymienione zabiegi technologiczne miały największy udział w emisji gazów cieplarnianych w obiektach nawożonych obornikiem w dawce $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. W uprawie obu pszenic udział



Ryc. 26. Struktura udziału zabiegów technologicznych w emisji gazów cieplarnianych powstających w uprawie pszenicy orkisz przy zróżnicowanym nawożeniu

Fig. 26. Share structure of technological treatments in the greenhouse gas emissions arising from spelt wheat cultivation with varying fertilization



Ryc. 27. Struktura udziału zabiegów technologicznych w emisji gazów cieplarnianych powstających w uprawie pszenicy zwyczajnej przy zróżnicowanym nawożeniu

Fig. 27. Share structure of technological treatments in the greenhouse gas emissions in common wheat cultivation with varying fertilization

zabiegów uprawowych i siewu w emisji GHG w tym wariancie nawożenia wyniósł odpowiednio 47,9% oraz 44,5%. Pozostałe zabiegi związane z ochroną roślin miały niewielki udział w emisji gazów cieplarnianych, który w uprawie pszenicy orkisz nie przekraczał 1,0%, a w uprawie pszenicy zwyczajnej 1,8%. Z kolei na obiektach, gdzie stosowano obornik w dawce 15 t·ha⁻¹, udział środków ochrony roślin w emisji GHG był najwyższy i wynosił 1,5% dla pszenicy orkisz oraz 2,6% dla pszenicy zwyczajnej.

5. Dyskusja

5.1. Wpływ warunków środowiskowych na rozwój roślin, plonowanie i jakość ziarna

Systematyczne wprowadzanie nowych środków produkcji oraz postęp biologiczny powodują, że ocena oddziaływania poszczególnych czynników przyrodniczych i agrotechnicznych na produktywność zbóż pozostaje zagadnieniem ciągle aktualnym. Dlatego z rolniczego punktu widzenia ważne jest poznanie zależności pomiędzy rozwojem i plonowaniem danego gatunku, zwłaszcza odmiany, a warunkami siedliskowymi, które często modyfikują działanie poszczególnych czynników agrotechnicznych (Małecka, 2003). Poziom plonowania roślin uprawnych, poza uwarunkowaniami genetycznymi, zależy od czasu trwania oraz intensywności wzrostu i rozwoju roślin. Liczne obserwacje wskazują na silny związek plonowania roślin uprawnych ze środowiskiem, w którym przebiega wegetacja (Koziała, 1996). Z kolei zmienność warunków termicznych i wodnych wpływa na długość trwania poszczególnych faz rozwojowych oraz całego okresu wegetacji roślin, co według literatury na ogół jest dodatnio skorelowane z wysokością plonu (Panek, 1993). Prac dotyczących wpływu warunków pogodowych w poszczególnych fazach rozwojowych roślin na długość ich trwania jest niewiele. Badania dotyczące pszenżyta przeprowadzone przez Koziałę (1996) wskazują na dużą zależność długości trwania poszczególnych okresów rozwojowych od średniej temperatury powietrza. Przy wzroście temperatury o 1°C okres strzelania w źdźbło – kłoszenie oraz kwitnienie – dojrzałość woskowa skracał się odpowiednio o 4 i 6 dni. Rozbicki (2001) potwierdza, że długość okresów między kolejnymi fazami fenologicznymi roślin w danym roku zależy od przebiegu warunków pogodowych scharakteryzowanych przez elementy meteorologiczne, z których największe znaczenie ma temperatura powietrza. Również Kozyra (2013) wskazuje na tendencję do przyspieszania terminów kłoszenia i dojrzałości woskowej

pszenicy ozimej o 3, 6 i 5 dni na 10 lat, wraz ze wzrostem temperatury. Wyniki badań z innych źródeł sugerują również, że na czas trwania poszczególnych fenofaz u roślin mogą wpływać takie czynniki, jak susza, poziom nawożenia czy podwyższona zawartość dwutlenku węgla w atmosferze, powodując w sposób pośredni wzrost temperatury powierzchni roślin i dodatkowe przyspieszenie ich rozwoju (Brisson i in., 2003; Mirschel i in., 2005; Springer i Ward, 2007). Podolska (1999) w badaniach nad pszenicą wskazuje na termin siewu jako czynnik różnicujący przebieg faz rozwoju – głównie okresów od siewu do wschodów i od wschodów do strzelania w źdźbło. Wydłużeniu ulegały okresy od siewu do wschodów i od wschodów do krzewienia, natomiast okresy od początku krzewienia do strzelania w źdźbło i od strzelania w źdźbło do kłoszenia – skróceniu. Z kolei Sulewska (2004a), powołując się na badania Heina (1989) podaje, że całkowity rozwój wegetatywny i generatywny pszenicy orkisz we wszystkich fazach (od wschodów do dojrzałości pełnej) przebiega wolniej niż u pszenicy zwyczajnej, a różnice wynoszą od 4 do 8 dni. Obserwacje te znalazły potwierdzenie w wynikach badań własnych, gdyż w całym siedmioletnim okresie badań całkowity rozwój, zarówno wegetatywny, jak i generatywny pszenicy orkisz był wolniejszy w porównaniu z pszenicą zwyczajną. Różnica w długości całego okresu wegetacji między badanymi podgatunkami pszenicy, mierzona średnią liczbą dni od siewu do dojrzałości pełnej, wynosiła 5 dni. Z kolei wartości minimalne i maksymalne dla okresu siew – dojrzałość pełna wskazują, że ten okres rozwojowy był 2–5 dni dłuższy dla pszenicy orkisz w porównaniu z pszenicą zwyczajną. W badaniach własnych zaobserwowano również brak istotnego zróżnicowania w osiągnięciu poszczególnych faz rozwojowych między poszczególnymi odmianami orkisz biorącymi udział w badaniach. Na podobne zależności wskazuje także Sulewska (2004a), która porównując 22 genotypy formy ozimej pszenicy orkisz, podaje, że fazy rozwoju wegetatywnego przebiegały bardzo podobnie, a różnice pomiędzy formami pojawiły się dopiero od fazy kłoszenia. Ponadto z wyżej cytowanych badań wynika, że długość wegetacji od siewu do dojrzałości woskowej badanych genotypów orkisz wahała się od 266 dni (drugi rok badań) do 282 dni (pierwszy rok badań). Na różnice w długości okresu wegetacji między orkiszem a pszenicą zwyczajną wskazuje również Radzikowska (2020). Autorka podaje, że całkowity rozwój liczony od siewu do dojrzałości pełnej trwał 4–5 dni dłużej u pszenicy orkisz w porównaniu z pszenicą zwyczajną. Z kolei Małecka (2003) na podstawie wyników wieloletnich badań uważa, że optymalna długość wegetacji dla plonowania pszenicy ozimej mieści się w granicach 302–308 dni. Natomiast wyniki badań własnych wskazują, że średnia liczba dni od siewu do dojrzałości pełnej dla pszenicy orkisz wyniosła 297 dni, a dla pszenicy zwyczajnej była o 4 dni krótsza. Z kolei badania amerykańskie (Stallknecht i in., 1996), prowadzone w rejonie posusznym wskazują, że rośliny orkisz, aby osiągnąć fazę kłoszenia, potrzebowały 154–166 dni, podczas gdy w badaniach Sulewskiej (2004a) okres

ten był znacznie dłuższy i wynosił 226–237 dni. Późniejsze badania Sulewskiej (2012) wskazują, że faza kłoszenia orkiszu zwykle rozpoczyna się po 224 dniach od siewu, a jej pełnia następuje po upływie kolejnych trzech dni. Autorka uważa również, że termin kłoszenia jest najbardziej zmienną z faz rozwoju generatywnego orkiszu i zależy od odmiany, pogody oraz poziomu agrotechniki. Wyniki badań własnych wskazują natomiast, że rośliny pszenicy orkisz, aby osiągnąć fazę kłoszenia, potrzebowały 219–277 dni, w zależności od roku badań. Tak duże zróżnicowanie w liczbie dni niezbędnych do osiągnięcia fazy kłoszenia przez rośliny orkiszu wynika niewątpliwie z dużej zmienności pod wpływem warunków środowiska, które modyfikują tempo wzrostu i rozwoju roślin. Ponadto Rüegger i in. (1990) podają, że okres różnicowania się kłosek u orkiszu jest krótszy, ponieważ później wchodzi on w czwarte stadium organogenezy (koniec krzewienia). W związku z powyższym dłuższy okres rozwoju wegetatywnego skutkuje mniejszą liczbą ziaren w kłosie. Obserwacje wystąpienia poszczególnych faz fenologicznych pszenicy orkisz w doświadczeniach własnych potwierdzają, że orkisz, w porównaniu z pszenicą zwyczajną, później osiągał fazę krzewienia i charakteryzowała go mniejsza liczba ziaren w kłosie. Zależność ta była szczególnie widoczna w drugiej serii badań, natomiast w serii pierwszej liczba ziaren w kłosie dla odmian ‘Badengold’ i ‘Schwabenspelz’ była porównywalna z wartościami charakteryzującymi pszenicę zwyczajną.

Z analizy dotyczącej długości trwania poszczególnych faz rozwojowych roślin przeprowadzonej w badaniach własnych wynika, że najdłuższą fenofazą rozwoju był okres od krzewienia do strzelania w źdźbło i charakteryzował ją niski współczynnik zmienności, a najkrótszą – okres od kłoszenia do kwitnienia o wysokim współczynniku zmienności. Zależności te charakteryzowały zarówno pszenicę orkisz, jak i pszenicę zwyczajną. Przyczyną dużej zmienności długości trwania poszczególnych fenofaz roślin pszenicy było duże zróżnicowanie warunków pogodowych w poszczególnych latach badań. Również Galant (1983) w badaniach prowadzonych na pszenicy ozimej podkreśla istotny wpływ warunków meteorologicznych na długość trwania poszczególnych międzyfaz. Autor ten wskazuje, że skrócenie międzyfaz siew – wschody oraz wznowienie wegetacji wiosennej – kłoszenie miało miejsce przy wyższych temperaturach, natomiast opady wydłużyły okres od wznowienia wegetacji do kłoszenia. Z kolei na okres od kłoszenia do dojrzałości woskowej oddziaływanie warunków meteorologicznych było mniejsze. Stwierdzenia te w większości potwierdzają wyniki badań własnych, z których wynika, że czas trwania większości faz rozwojowych pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej był dodatnio skorelowany z sumą opadów atmosferycznych. Silną zależność stwierdzono dla fenofaz strzelanie w źdźbło – kłoszenie, dojrzałość mleczna – dojrzałość woskowa oraz dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna. Dodatkowo dla pszenicy orkisz opady atmosferyczne wydłużały czas trwania fazy kłoszenie – kwitnienie. Wyniki badań własnych skłaniają do stwierdzenia,

że o długości okresu wegetacji pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej nie decyduje przebieg pogody w konkretnej fazie rozwojowej, ale skumulowany z całego okresu wzrostu i rozwoju roślin wpływ warunków zewnętrznych, wśród których istotną grupę stanowią czynniki pogodowe. Sobczyński i in. (2016) wskazują natomiast, że zmienność genotypowa (odmiana) również wpływa w dużym stopniu na termin osiągnięcia poszczególnych stadiów rozwojowych przez pszenicę oraz na czas trwania poszczególnych fenofaz. Podolska (2009) uważa, że czynnikiem modyfikującym długość okresu wegetacji oraz terminy osiągnięcia przez pszenicę zwyczajną poszczególnych międzyfaz jest również nawożenie azotem. Autorka wskazuje na wydłużenie okresów od fazy strzelania w źdźbło do początku kłoszenia, od pełni kłoszenia do dojrzałości mleczonej oraz od dojrzałości woskowej do dojrzałości pełnej pod wpływem wzrastających dawek azotu. Stwierdzenia te uwiarygadniają późniejsze badania Podolskiej i Wyzińskiej (2011a). Rozbicki i Sobczyński (2016) podają z kolei, że tempo wzrostu i rozwoju roślin, jako reakcja odmian na nawożenie azotem, jest specyficzne dla poszczególnych genotypów, a Podolska i Wyzińska (2011b) wskazują również na interakcję terminu siewu z warunkami pogody w kształtowaniu długości okresu wegetacji oraz poszczególnych faz wzrostu i rozwoju pszenicy. W literaturze przedmiotu dostępne są również wyniki badań przeczące tym tezom. Na brak zależności długości okresu wegetacji oraz długości poszczególnych okresów wzrostu i rozwoju od dawki nawożenia azotem u pszenicy twardej wskazują prace Rachonia (1999) oraz Podolskiej i Nity (2006).

Na podstawie wyników wieloletnich badań podjęto próbę określenia zależności między długością trwania poszczególnych faz rozwojowych orkisz i pszenicy zwyczajnej a plonem ziarna. Wyniki badań własnych wskazują na ogół, że zależności te dla analizowanych podgatunków pszenicy były niewielkie. Jedynie dla pszenicy orkisz zaobserwowano silny związek pomiędzy plonem ziarna a długością trwania fenofazy krzewienie – strzelanie w źdźbło, a w warunkach prowadzenia doświadczenia optymalna długość trwania tego okresu wynosiła 161 dni. Natomiast dla pszenicy zwyczajnej zaobserwowano dużą zależność plonu ziarna od długości trwania okresu pomiędzy kwitnieniem a dojrzałością mleczną, a optymalna długość trwania tej fenofazy wynosiła 16 dni. Brak wyraźnego związku między długością poszczególnych faz rozwojowych a wielkością plonu ziarna według Koziary (1996) można tłumaczyć niejednakową wrażliwością zbóż na układ warunków w różnych fazach rozwojowych oraz zdolnością roślin do rekompensowania w pewnym zakresie niekorzystnego wpływu czynników pogodowych z jednego okresu w kolejnych fazach rozwojowych. Również Małecka (2003) w badaniach dotyczących pszenicy wykazała na ogół niską zależność plonu ziarna i elementów plonowania od długości poszczególnych faz rozwojowych, o czym świadczyły niskie wartości współczynników korelacji. Wyniki te nie znalazły potwierdzenia w badaniach własnych, gdyż uzyskaniu wyższej masy

1000 ziaren pszenicy zwyczajnej sprzyjał krótszy czas trwania fenofazy kwitnienie – dojrzałość mleczna oraz dłuższy fazy dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna, a tworzeniu większej liczby kłosów na 1 m² sprzyjało skrócenie okresu kłoszenie – kwitnienie. Dla orkiszu największa liczba ziaren w kłosie łączyła się z krótszym okresem fazy strzelanie w źdźbło – kłoszenie, a liczba kłosów na 1 m² z krótszą fazą kłoszenie – kwitnienie. Wyniki badań własnych dotyczące orkiszu wydają się zbieżne z badaniami Sulewskiej (2004a) oraz Rüegger i in. (1990), które wskazują, że skrócenie okresu do początku kłoszenia sprzyja większej liczbie ziaren w kłosie. Z kolei Koziara (1996) podaje, że dla wysokości plonu ziarna pszenżyta korzystne jest wydłużenie okresu rozwoju wegetatywnego kosztem zimowej przerwy w wegetacji roślin.

Poziom plonowania pszenicy jest ściśle związany z intensywnością wzrostu oraz przebiegiem rozwoju generatywnego roślin. Z literatury przedmiotu wiadomo, że stabilność plonowania i produktywność roślin zbożowych jest uwarunkowana przede wszystkim genetycznie, często jednak czynniki środowiskowe i agrotechniczne działają modyfikująco na wielkość i jakość plonu. Spośród czynników klimatycznych wpływających na plonowanie roślin zbożowych, w tym pszenicy, największe znaczenie mają takie czynniki, jak temperatura powietrza, światło i opady atmosferyczne, a nierzadko również ich współdziałanie (Mazurek, 1999; Podolska, 1999; Rudnicki, 2000; Podolska i in., 2002). W wielu pracach podkreśla się również znaczenie kompleksowego działania temperatury i opadów, gdyż od wzajemnego współdziałania tych czynników zależą: kierunek ich oddziaływania na plon, komponenty plonowania oraz cechy morfologiczne roślin (Rudnicki i Wasilewski, 1993; Rudnicki i in., 1996; Bombik i in., 1997; Małecka, 2003). W literaturze przedmiotu podkreśla się również, że na plonowanie zbóż w większym stopniu wpływa czynnik wodny, zwłaszcza w okresie krytycznym między fazą strzelania w źdźbło a kłoszeniem (Kuchar, 1987; Samborski, 2007; Orzech i in., 2009). Temperatura powietrza jest natomiast jednym z głównych czynników decydujących o tempie rozwoju roślin (Koziara, 1996; Jankowska i in., 2001; Galant i Andruszczak, 2004; Kalbarczyk, 2005; Samborski, 2006). Według Starczewskiego i in. (1997) czynnik termiczny odgrywa znaczącą rolę w początkowym okresie wegetacji, czyli w czasie kiełkowania i wschodów. Stwierdzenia te znajdują potwierdzenie w wynikach badań własnych, ponieważ czas trwania poszczególnych faz rozwojowych pszenicy orkisz ulegał skróceniu wraz ze wzrostem temperatury powietrza, co potwierdzają ujemne współczynniki korelacji oraz badania przeprowadzone przez Zorovskiego i in. (2018). Odnotowano również silną korelację pomiędzy temperaturą powietrza a długością okresu pomiędzy siewem a wschodami roślin orkisz. Badania własne wskazują również, że tylko dwie fenofazy: wschody – krzewienie oraz kwitnienie – dojrzałość mleczna, niezależnie od podgatunku pszenicy, były dodatnio skorelowane z temperaturą powietrza, co oznacza, że wzrost temperatury prowadził do ich wydłużenia. Zmiany

w rozkładzie temperatur i opadów w okresie wegetacji badanych podgatunków pszenicy wpływały na duże zróżnicowanie czasu trwania poszczególnych fenofaz. Największą zmiennością wśród faz rozwojowych, niezależnie od podgatunku, charakteryzował się okres krzewienie – strzelanie w źdźbło, przy współczynnikach zmienności na poziomie 37,0% dla orkisz oraz 37,6% dla pszenicy zwyczajnej. Taką reakcję roślin na temperaturę można tłumaczyć tym, że jest ona często modyfikowana przez opady i odwrotnie, co znalazło potwierdzenie w badaniach Rudnickiego i in. (1996).

Ważnym zagadnieniem związanym z adaptacją roślin do postępujących zmian klimatu jest także rozpoznanie reakcji poszczególnych gatunków na obserwowany wzrost temperatury. Badania dowodzą, że obserwowane ocieplenie klimatu w Europie przyspieszyło rozwój wielu gatunków roślin uprawnych (Menzel i in., 2006) i prognozuje się, że w warunkach dalszych zmian klimatycznych zboża będą wcześniej rozpoczynać kwitnienie i dojrzewanie (Semenov, 2009; Rötter i in., 2011). Literatura przedmiotu podaje również, że w przyszłości wpływ stresu suszy na plonowanie pszenicy będzie mniejszy niż obecnie, ponieważ gatunek ten w cieplejszym klimacie będzie dojrzewał wcześniej, co pozwoli mu uniknąć suszy w okresie letnim. Prognozuje się także, że prawdopodobieństwo wystąpienia stresu cieplnego w okresie kwitnienia może prowadzić do znacznych strat w plonach, dlatego prace hodowlane w tworzeniu nowych odmian pszenicy powinny skupiać się przede wszystkim na odmianach tolerujących wysokie temperatury, a nie stres suszy (Semenov, 2009). Źródła literaturowe wskazują, że wymagania termiczne formy ozimej pszenicy orkisz po siewie mieszczą się w zakresie 5–10°C, co sprzyja hartowaniu roślin przed zimą (Sawicka i Krochmal-Marczak, 2012). Według Siebeneiher (1997) oraz Krochmal-Marczak i Sawickiej (2016) pszenicę orkisz można uprawiać w rejonach o surowszym klimacie, ponieważ jest to podgatunek zimotrwały, charakteryzujący się niższymi od pszenicy zwyczajnej wymaganiami cieplnymi. Na większą tolerancję na niskie temperatury pszenicy orkisz w porównaniu z pszenicą zwyczajną wskazują również badania Jablonskytė-Raščė i in. (2013), w których autorzy wskazują na większe spadki plonowania pszenicy zwyczajnej niż pszenicy orkisz przy niskich temperaturach w czasie zimy. Stwierdzenia te są spójne z wynikami badań własnych, ponieważ uzyskaniu wyższych plonów ziarna pszenicy orkisz sprzyjała niższa temperatura od siewu do dojrzałości pełnej. Ponadto niższe temperatury w okresie dojrzałość mleczna – dojrzałość woskowa sprzyjały wytworzeniu przez orkisz większej liczby ziaren w kłosie. Z kolei Sulewska (2012) wskazuje, że pszenica orkisz charakteryzuje się wymaganiami termicznymi podobnymi do pszenicy zwyczajnej. Zdaniem autorki optimum krzewienia przebiega w temperaturze 6–8°C, a do rozwoju generatywnego orkisz nie wymaga temperatury wyższej niż 20–25°C. Ponadto w okresie od kwietnia do czerwca orkisz negatywnie reaguje na wzrost średniej dobowej temperatury powietrza powyżej normy. Stwierdzenia

te potwierdzają wcześniejsze badania Sulewskiej (2006) dotyczące formy ozimej orkisz, w których wyższa temperatura w grudniu oraz niższa w maju i czerwcu sprzyjała wyższemu plonowaniu. Również Sawicka i Krochmal-Marczak (2012) podają, że orkisz w fazie krzewienia wymaga umiarkowanych temperatur, ponieważ zbyt wysokie temperatury w tym okresie nadmiernie przyspieszają wzrost i rozwój roślin, co prowadzi do spadku plonowania. Dopiero w fazie strzelania w źdźbło i kłoszenia pożądany jest wzrost temperatury, a w fazie wypełniania ziarna dostateczne nasłonecznienie, co ma bezpośrednie przełożenie na wysokość plonowania. Nowicka (1993) uważa natomiast, że wymagania termiczne pszenicy ozimej w czasie jej rozwoju są zbliżone w poszczególnych fenofazach do wymagań żyta. Autorka wskazuje, że w okresie od wiosennego ruszenia vegetacji do kłoszenia korzystniejszy wpływ na rozwój i plonowanie pszenicy mają niższe temperatury, a wyższe od kłoszenia do dojrzałości woskowej. Tezy te potwierdzają wyniki badań własnych, ponieważ wyższa temperatura powietrza w okresie kłoszenie – kwitnienie, sprzyjała wyższemu plonowaniu pszenicy zwyczajnej ($R = 0,686^{**}$) oraz większej liczbie kłosów na jednostce powierzchni ($R = 0,700$). Wieloletnie badania własne wskazują również, że niższa temperatura powietrza w okresie kwitnienie – dojrzałość mleczna sprzyjała tworzeniu przez pszenicę zwyczajną wyższej masy 1000 ziaren ($R = -0,807^{*}$). Rezultaty te są zbieżne z badaniami Małeckiej (2003) oraz Ratajczak (2023) dotyczącymi pszenicy i owsa. W badaniach dotyczących pszenicy Małecka (2003) podkreśla, że w okresie intensywnego wzrostu vegetatywnego niższe temperatury są korzystniejsze od zbyt wysokich ze względu na oszczędniejsze gospodarowanie wodą oraz właściwą dystrybucję asymilatów do korzeni i pędów. W literaturze przedmiotu podkreśla się również, że wysoka temperatura w okresie kwitnienia i zapłodnienia prowadzi do zmniejszenia produkcji i żywotności pyłku, liczby zapłodnionych kwiatków, skraca okres vegetacji i powoduje gorsze wypełnienie ziarna (Johnson i Kanemasu, 1983; Dupnis i Dumas, 1990; Engel, 1991; Wang i Connor, 1996; Małecka, 2003; Rane i in., 2007; Radzikowska, 2020). Z kolei w badaniach Rudnickiego i in. (1996) znaleźć można stwierdzenie, że wysokiemu plonowaniu pszenicy ozimej sprzyja ciepły kwiecień i maj oraz chłodny czerwiec i lipiec. Autorzy wskazują również, że pszenica w kwietniu, czyli w czasie krzewienia, ma duże wymagania termiczne, o czym świadczy zdecydowane zwiększanie się plonów pszenicy wraz ze wzrostem temperatury w tym czasie. Małecka (2003) wskazuje również na ujemną zależność plonu ziarna pszenicy od temperatury powietrza w międzyfazach strzelanie w źdźbło – kłoszenie i kłoszenie – kwitnienie oraz dodatnią w czasie od kwitnienia do dojrzałości mlecznej. Wykazane zależności są zbieżne z opisywanymi dla pszenicy ozimej przez Nowicką (1993), pszenżyta ozimego przez Koziarę (1996) oraz pszenicy orkisz przez Sulewską (2006). Wyniki badań własnych również wskazują na wyraźny wpływ temperatury powietrza na plon ziarna pszenicy zwyczajnej, w okresie od fazy strzelania w źdźbło do dojrzałości

pełnej. W przypadku pszenicy orkisz, tak wyraźnego wpływu temperatury powietrza na plon ziarna w tym okresie nie zaobserwowano. W tej międzyfazie wzrost temperatury powodował spadek plonu ziarna pszenicy zwyczajnej, a najniższy plon teoretyczny stwierdzono przy średniej temperaturze dobowej wynoszącej 17,9°C. Według Małeckiej (2003) optymalne temperatury w międzyfazie strzelanie w źdźbło – kłoszenie mieszczą się w zakresie niższych temperatur i wynoszą: dla plonu ziarna pszenicy 12,3°C, liczby kłosów 7,3°C, liczby ziaren w kłosie 9,8°C i masy 1000 ziaren 11,8°C. Z kolei Samborski (2008) podaje, że w warunkach pogodowych Zamojszczyzny optymalna temperatura powietrza dla wegetacji pszenicy ozimej w okresie od kłoszenia do dojrzałości woskowej powinna mieścić się w przedziale 15,1–19,0°C. Autor wskazuje również, że wymagania termiczne pszenicy dotyczące temperatury minimalnej powinny się zawierać w przedziale 3,0–4,0°C, optymalnej 15–20°C, a maksymalnej 30–37,0°C. Późniejsze doniesienia (Asseng i in., 2011) wskazują podobnie, że pszenica jest bardzo wrażliwa na wysoką temperaturę, szczególnie w okresie zawiązywania i nalewania ziarna. Z kolei zdaniem Małeckiej (2003), w uzyskaniu wysokich plonów zbóż sprzyjają lata o przeciętnych opadach i umiarkowanych temperaturach.

Bezpośrednim źródłem wody dla roślin w warunkach polowych są jej zasoby w glebie, a pośrednim – opady atmosferyczne. Charakterystyczne dla klimatu Polski duże zróżnicowanie opadów w poszczególnych latach sprawia, że optymalne sumy i ich rozkład zgodny lub zbliżony do wymagań rośliny uprawnej występuje rzadko. Dużo częściej występują natomiast okresy zarówno z niedoborem, jak i nadmiarem opadów (Ziarnicka-Wojtaszek i Zawora, 2005). Warunki glebowo-klimatyczne panujące w Polsce nie sprzyjają wiernemu plonowaniu zbóż. Powszechnie wiadomo, że woda jest tym czynnikiem, który obok nawożenia decyduje o produktywności większości roślin uprawnych. Zboża ozime, w tym pszenica, wykazują słabszą reakcję na ilość opadów niż zboża jare, jednak niedostatek wody w okresach krytycznych, lub ich nadmiar w czasie kwitnienia może znacząco wpływać na wielkość plonów (Urbanowski i in., 1994; Koziara, 1996; Rudnicki i in., 1996; Małeczka, 2003; Grzebisz, 2008). Stąd za główną przyczynę zmienności plonowania roślin uważa się stan zaopatrzenia w wodę w okresie ich wzmożonego zapotrzebowania, a rozkład opadów w poszczególnych miesiącach i fenofazach ma wyraźnie większe znaczenie niż suma w całym okresie wegetacji (Koziara, 1996; Rudnicki i in., 1996; Podolska i Nita, 2006). Małeczka (2003) dodaje również, że wpływ opadów na plonowanie pszenicy należy rozpatrywać dla dłuższych okresów rozwoju, gdyż opady z jednej fazy mogą oddziaływać na dostępność wody dla roślin w późniejszym okresie. Stwierdzenia te uwiarygadniają badania Rudnickiego i in. (1996), w których wykazano silną zależność interakcyjną plonowania pszenicy ozimej z ilościami opadów w miesiącach poprzednich. Potrzeby wodne zbóż i ich reakcja na opady atmosferyczne są różne w poszczególnych okresach rozwojowych i wyróżnia je również to, że mają one mniejsze potrzeby wodne niż strączkowe,

ziemniaki czy buraki. Przyjmuje się, że największe potrzeby wodne u zbóż występują w ostatnich fazach rozwoju wegetatywnego i w początkowych fazach rozwoju generatywnego, czyli od początku strzelania w źdźbło do końca dojrzałości młeczonej (Kuchar, 1987; Dzieżyc i Trybała, 1989; Panek, 1993; Podolska i Hołubowicz-Kliza, 2006b; Samborski, 2007; Woźniak i Staniszewski, 2007; Orzech i in., 2009; Budzyński, 2012b). Niektóre ze źródeł literaturowych wskazują również na fazę krzewienia, podczas której następuje tworzenie źdźbeł bocznych, jako okres krytyczny w gospodarce wodnej (Hassan i in., 1987). Potrzeby wodne pszenicy zwyczajnej, zarówno formy ozimej, jak i jarej, są duże, co wynika z dużego współczynnika transpiracji, braku przystosowań morfologicznych chroniących roślinę przed utratą wody oraz faktu, że okres krytyczny zapotrzebowania na wodę zaczyna się w momencie, kiedy zapasy wody pozimowej w glebie są już wyczerpane (Budzyński, 2012b). Na fakt, że wrażliwość roślin na suszę jest zależna od gatunku i zmienia się wraz ze wzrostem i stadium rozwojowym rośliny, zwraca uwagę wielu autorów (Małecka, 2003; Sulewska, 2006; Podolska i Hołubowicz-Kliza, 2006b; Gąsiorowska i in., 2006; Ratajczak, 2023). Z badań Rudnickiego i in. (1996) wynika, że plony pszenicy ozimej zależą od ilości i rozkładu opadów w okresie wiosenno-letniej wegetacji, natomiast mniejsze znaczenie mają sumy opadów zimowych, co wydaje się spójne z późniejszymi badaniami przeprowadzonymi przez Wesołowskiego i Cierpiąłę (2011). Również Podolska i Hołubowicz-Kliza (2006a) wskazują, że największą redukcję plonu ziarna u pszenicy ozimej – wynoszącą 33,0% – wywołała susza w okresie od kłoszenia do dojrzałości młecznej. Mniejszy spadek plonu (22,0–23,0%) stwierdzono po wystąpieniu suszy w okresie od strzelania w źdźbło do kłoszenia oraz od dojrzałości młecznej do pełnej. Późniejsze badania Podolskiej i in. (2011) dotyczące orkiszu wykazały, że niedobór wody występujący od fazy kłoszenia do dojrzałości pełnej powoduje znaczące zmniejszenie plonowania oraz wpływa negatywnie na cechy struktury plonu. W odniesieniu do pszenżyta ozimego Koziara (1996) wykazał najsilniejszy związek z opadami w międzyfazie strzelania w źdźbło – dojrzałość woskowa. Z kolei na nieco odmienną reakcję pszenicy na niedobory wody w warunkach klimatu suchego wskazują badania Hassana i in. (1987). Autorzy stwierdzili, że niedobór opadów w okresie krzewienia i początku strzelania w źdźbło obniżał liczbę kłosów oraz ziaren w kłosie, a także długość kłosa i wysokość roślin. Masa 1000 ziaren zmniejszała się natomiast najsilniej przy braku wody w fazie kłoszenia i dojrzałości młecznej. W literaturze przedmiotu można również znaleźć wyniki badań wskazujące na stymulujący wpływ okresowych niedoborów wody na wzrost i rozwój roślin orkiszu. Sawicka i Krochmal-Marczak (2012) uważają, że średni niedobór wody, który następuje po siewie, pobudza rozwój systemu korzeniowego, a tym samym podnosi odporność roślin na suszę w kolejnych fazach wzrostu. Z kolei Feledyn-Szewczyk (2012) podkreśla również, że orkisz ma dużą zdolność przystosowawczą do warunków ekstensywnej uprawy i w stresowych warunkach

maleje różnica w plonowaniu między pszenicą zwyczajną a orkiszem. Sulewska (2006), poszukując związku pomiędzy sumą opadów w poszczególnych miesiącach a plonowaniem orkisz pszennego, nie wykazała ścisłych zależności, wskazując na silniejsze oddziaływanie innych czynników poza pogodowymi, świadczących o istnieniu bardziej złożonych powiązań. Autorka uważa, że w regionie Wielkopolski w latach 1997–2005 sumy opadów atmosferycznych w poszczególnych miesiącach, dla innych gatunków najczęściej uznawane za zbyt niskie, nie były czynnikiem szczególnie limitującym wielkość plonu ziarna orkisz. Jako korzystne dla plonowania orkisz uważa lata o zwiększonych opadach w grudniu i maju. Na nieco inne zależności wskazują wyniki badań własnych. Udowodniono silniejszy związek plonu ziarna orkisz i pszenicy zwyczajnej z opadami atmosferycznymi niż z temperaturą powietrza. Duży wpływ na plonowanie pszenicy orkisz oraz pszenicy zwyczajnej miały sumy opadów atmosferycznych w okresie od dojrzałości młecznej do dojrzałości pełnej, o czym świadczą wysokie współczynniki korelacji. Należy jednak zaznaczyć, że silniejszy związek między plonem ziarna a opadami stwierdzono dla pszenicy zwyczajnej. Dla uzyskania maksymalnego plonu pszenicy zwyczajnej, optymalna suma opadów w tym okresie powinna wynosić 84,2 mm. Wskazane w badaniach własnych wielkości opadów optymalnych nie są zbieżne z wynikami Małeckiej (2003), która wyższy poziom plonowania pszenicy ozimej uzyskała przy opadach w okresie strzelania w źdźbło – dojrzałość woskowa wynoszących 185,1 mm. Wesołowski i Cierpiał (2011) większe plony ziarna pszenicy odnotowali w sezonie, w którym suma opadów w okresie kwiecień – lipiec osiągnęła wartość 276,3 mm. Również Rudnicki i in. (1996) w doświadczeniu z pszenicą ozimą na glebie lekkiej uzyskali plony przekraczające $5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ przy sumie 130, 200, jak i 250 mm opadów od kwietnia do lipca, tłumacząc to tym, iż większe znaczenie plonotwórcze dla pszenicy ma rozkład opadów w poszczególnych miesiącach niż sumaryczna ich ilość w całym okresie wiosenno-letniej wegetacji. Autorzy zwracają również uwagę, że reakcja roślin na ilość opadów jest często modyfikowana przez temperaturę. Według niektórych autorów orkisz, którego materiałem siewnym są kłoski, jest bardziej wytrzymały niż pszenica zwyczajna na nadmiar wody w czasie wschodów i na niedotlenienie (Burgos i in., 2001; Sulewska, 2012). Możliwe jest to dzięki temu, że orkisz zużywa mniej tlenu i rośnie szybciej przy mniejszej jego dostępności. Ponadto badania Sulewskiej (2012) wskazują, że znaczenie plonotwórcze dla orkisz mają również opady bezpośrednio przed siewem i bezpośrednio po siewie (ok. 30–50 mm) oraz ok. 40 mm w październiku. Decydują one bowiem o równomierności wschodów i krzewieniu produkcyjnym. Również Sawicka i Krochmal-Marczak (2012) uważają, że znaczne niedobory wody pojawiające się w początkowych fazach rozwojowych orkisz wydłużają wschody roślin i powodują zahamowanie wzrostu. Sulewska (2012) stoi na stanowisku, że cechy orkisz typowe dla gatunków dzikich, takie jak oplewienie ziarniaków, mogą korzystnie wpływać na kiełkowanie. Zdaniem autorki grube,

skórzaste plewki z jednej strony utrudniają pobieranie wody przez ziarniaki, z drugiej jednak po napęcznieniu ziarniaków zabezpieczają je przed ewentualnym zasychaniem w razie wystąpienia okresu suszy w czasie kiełkowania i wschodów. Stwierdzenia te uwiarygadniają wieloletnie wyniki badań własnych, ponieważ średnie wartości opadów atmosferycznych w całym okresie badań dla pszenicy orkisz, w fazie siew – wschody wyniosły 17,2 mm, a dla fazy wschody – krzewienie 50,5 mm. Takie sumy opadów wydają się wystarczające dla zapewnienia roślinom równomiernych wschodów i rozkrzewienia, przy czym należy zaznaczyć, że charakteryzowała je duża zmienność w latach. Ponadto suma opadów atmosferycznych w wymienionych fazach rozwojowych orkisz decydowała o wytworzeniu przez rośliny większej liczby ziaren w kłosie. Analizując wpływ opadów w pozostałych fenofazach na komponenty plonowania badanych podgatunków pszenic wykazano, że wyższa suma opadów atmosferycznych w okresie od dojrzałości mlecznej do dojrzałości pełnej sprzyjała wytworzeniu przez orkisz większej masy 1000 ziaren. Natomiast w przypadku pszenicy zwyczajnej duże znaczenie dla większej liczby ziaren w kłosie oraz masy 1000 ziaren miały sumy opadów w międzyfazie dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna ziarna. Nieco inne wyniki uzyskała Małecka (2003) z pszenicą; duże znaczenie dla plonu ziarna, liczby ziaren w kłosie oraz masy 1000 ziaren miały opady w okresie od kłoszenia do dojrzałości mlecznej, a dla liczby kłosów w okresie od kłoszenia do kwitnienia. Na dodatni związek masy 1000 ziaren z opadami w fenofazie od kwitnienia do dojrzałości mlecznej wskazują także wcześniejsze badania Hassana i in. (1996). Rozbieżności w wynikach badań dotyczących zależności plonowania roślin od przebiegu warunków pogodowych według Małeckiej (2003) wskazują na silne współdziałanie czynników meteorologicznych mających wpływ na plonowanie zbóż. O dużym zróżnicowaniu plonów pszenicy ozimej pod wpływem zmiennych warunków klimatycznych świadczą wyliczone współczynniki zmienności, mieszczące się w granicach 15,8–24,5%. Obliczenia te są zbieżne z wartościami wyliczonymi w badaniach własnych, gdzie zmienność plonu ziarna pszenicy orkisz z serii II mieściła się w granicach 14,3–24,6%, a pszenicy zwyczajnej z serii I wyniosła 23,3%. Natomiast dużo wyższe współczynniki zmienności wyliczono dla plonu orkisz z serii I (27,3–39,8%) oraz pszenicy zwyczajnej z serii II (27,4%). Z kolei zmienność plonów pszenicy w okresie 20 lat badań prowadzonych przez Fotymę (2005), spowodowana przebiegiem czynników pogodowych, wynosiła dla pszenicy ozimej 15–29%, a dla formy jarej 15–38%. Ponadto autorka za główny czynnik – poza nawożeniem azotem – wpływający na wielkość plonów ziarna uznała czynnik pogodowy.

Wartość gospodarczą odmian roślin rolniczych, w tym pszenicy, wyznacza wielkość plonu i jakość ziarna. Od odmian uprawianych na paszę oczekuje się głównie wysokiej plenności, natomiast u tych przeznaczonych na cele przemysłowe uwaga skoncentrowana jest na cechach technologicznych (Podolska i Sułek,

2002). Otrzymanie ziarna o wysokich parametrach technologicznych nie jest łatwe, ponieważ liczba czynników, które mają wpływ na wzrost i rozwój upraw rolniczych, a w rezultacie – na wielkość i jakość ich plonu, jest bardzo duża i oddziałuje przeważnie kompleksowo (Podolska i Sułek, 2002; Martyniak, 2006). Na relacje między plonem ziarna a jego jakością technologiczną wśród wielu czynników największy wpływ ma genotyp, czyli odmiana, oraz jego współdziałanie z warunkami siedliska i stosowaną agrotechniką (Johansson i in., 2001; Varga i in., 2003; Budzyński i in., 2008; Dubis i Borysewicz, 2008; Woźniak i Gontarz, 2009; Podolska, 2014). Spośród czynników agrotechnicznych główną rolę w kształtowaniu jakości ziarna przypisuje się nawożeniu azotem, zwłaszcza we współdziałaniu z ilością i rozkładem opadów w trakcie wegetacji (López-Bellido i in., 1998; Woźniak i Gontarz, 2005; Podolska, 2009). Wilgotność gleby jest zatem jednym z podstawowych czynników siedliskowych kształtujących produktywność pszenicy oraz jakość ziarna. Okresowe susze i niedobory azotu to główne czynniki modyfikujące parametry jakościowe ziarna zbóż w Polsce (Kocoń i Podolska, 2008). W literaturze dość dużo miejsca poświęca się zagadnieniom dotyczącym nawożenia azotem oraz jego wpływowi na wartość technologiczną ziarna. Znacznie mniej jest badań i prac naukowych dotyczących wpływu niedoboru wody, nie tyle na plon, co na jakość ziarna (Kocoń i Sułek 2004). Wskazuje się, że ciepłe i umiarkowanie wilgotne miesiące letnie sprzyjają gromadzeniu białka w ziarnie pszenicy ozimej, a zwłaszcza dużej zawartości glutenu oraz wysokiej wartości wskaźnika sedymentacji Zeleny’ego, a chłodna i wilgotna pogoda w tym okresie zwiększa aktywność alfa-amylazy, co prowadzi do porastania ziarna (Lopez-Bellido i in., 1996, 1998; Podolska i Sułek, 2003; Małecka i Blecharczyk, 2004; Woźniak i Gontarz, 2005; Woźniak i Staniszewski, 2007; Budzyński, 2012b; Podolska, 2014). Również Kocoń i Podolska (2008) za korzystne w kształtowaniu parametrów jakościowych ziarna uznały te lata, kiedy w okresie od kłoszenia do dojrzałości ziarna pszenicy ozimej panowały wyższe temperatury powietrza i było większe usłonecznienie, co korzystnie wpłynęło na gromadzenie białka i większą zawartość glutenu w ziarnie. O wpływie czynników klimatycznych na jakość technologiczną ziarna, donoszą też prace Kocoń i Sułek (2004) oraz Kocoń i Podolskiej (2008) z których wynika, że niedobór wody w podłożu, oprócz redukcji plonu ziarna, prowadził jednocześnie do wzrostu zawartości białka oraz glutenu mokrego w ziarnie. Autorzy tłumaczą to tym, że umiarkowany deficyt wody w glebie prawdopodobnie korzystnie wpływał na procesy metaboliczne związane z gromadzeniem się białka i glutenu w ziarnie. Doniesienia literaturowe wskazują również, że wśród parametrów określających jakość ziarna pszenicy można wyróżnić te, które są bardziej stabilne, a przebieg pogody i rejon uprawy różnicuje je w niewielkim stopniu. Rothkaehl i in. (2004) do najbardziej stabilnych cech zaliczyli zawartość popiołu i gęstość ziarna w stanie zsypanym. Z kolei z badań przeprowadzonych we Włoszech wynika, że w rejonach o małych

opadach w okresie wegetacji (do 300 mm) pszenica twarda plonuje lepiej, a ziarno ma lepszą jakość (Vita i in., 2007). Również wyniki uzyskane w doświadczeniu własnym wskazują, że kształtowaniu parametrów jakościowych ziarna orkisz oraz pszenicy zwyczajnej, sprzyjał korzystny układ warunków wilgotnościowo-termicznych. Roczne sumy opadów wynosiły od 360,1 mm do 720,3 mm i dla większości lat były wyższe od sumy z wielolecia. Natomiast w okresie wiosenno-letniej wegetacji, czerwiec był miesiącem najbardziej stabilnym, zarówno pod względem temperatury, jak i opadów.

5.2. Wpływ odmiany i nawożenia na wzrost, rozwój i plonowanie

Najbardziej plonotwórczym elementem agrotechniki bez wątpienia jest nawożenie, zwłaszcza azotem. Korzystne oddziaływanie nawożenia azotem na plonowanie zbóż wynika między innymi z wpływu tego składnika na zwiększenie krzewistości produkcyjnej (Podolska, 1999). Z literatury przedmiotu wynika, że pszenica orkisz jest podgatunkiem prymitywnym o dużej zdolności samoregulacji zwartości łanu. Regułą jest słabe rozkrzewienie roślin pochodzących z siewów zagęszczonych i odwrotnie, silne rozkrzewienie orkisz sianego rzadko (Sulewska i in., 2008a). Ponadto literatura wskazuje, że pszenica orkisz krzewi się z reguły silniej niż pszenica zwyczajna, zwłaszcza w porównaniu ze współczesnymi odmianami pszenicy zwyczajnej (Sulewska, 2012). Stwierdzenia te znalazły potwierdzenie w wynikach badań własnych, przy czym współczynniki krzewienia, zarówno dla odmian orkisz z serii I, jak i serii II były zawsze większe niż dla odmian pszenicy zwyczajnej. Najintensywniejszym krzewieniem ogólnym z grupy odmian testowanych w serii I charakteryzowały się ‘Schwabenkorn’ i ‘Schwabenspelz’, a z serii II odmiany ‘Badenkrone’ oraz ‘Badenstern’. Na dużą zmienność w zakresie krzewienia między poszczególnymi genotypami orkisz wskazują badania Sulewskiej (2004a). Autorka wśród obserwowanych (w latach o różnej sumie opadów) 22 genotypów orkisz wykazała, że współczynnik krzewienia ogólnego wahał się od 2,5 do 5,7, a współczynnik krzewienia produkcyjnego od 2,2 do 4,5. Na dużo mniejszą zmienność współczynników krzewienia wskazują rezultaty badań własnych. Zakres współczynnika krzewienia ogólnego średnio dla odmian orkisz mieścił się w przedziale 2,3–2,7, a współczynnik krzewienia produkcyjnego 1,7–2,1. Stąd można wnioskować, że intensywność krzewienia orkisz jest cechą związaną z pochodzeniem tego podgatunku, który zachował wiele prymitywnych cech, ale bardzo często modyfikująco działa genotyp. Z kolei Feledyn-Szewczyk (2012) uważa, że orkisz ma większą zdolność konkurowania z chwastami w porównaniu z pszenicą zwyczajną, ze względu na takie cechy morfologiczne, jak duże rozkrzewienie i powierzchnia liści oraz szybkie tempo wzrostu początkowego, które wpływają na zagęszczenie łanu i zacienienie

powierzchni gleby, co z kolei ogranicza wschody chwastów. Badań dotyczących wpływu nawożenia azotem oraz obornikiem na rozkrzewienie roślin orkiszu i pszenicy zwyczajnej jest niewiele, a reakcja pszenicy na ten czynnik jest mało rozpoznana, stąd brak możliwości skonfrontowania wyników badań własnych z literaturą. W wieloletnim okresie badań własnych wartości współczynników krzewienia dla orkiszu i pszenicy zwyczajnej były cechami, które zmieniały się pod wpływem badanych czynników, działających niezależnie od siebie. Współczynnik rozkrzewienia ogólnego orkiszu determinował głównie czynnik odmianowy, natomiast pszenica zwyczajna najintensywniej krzewiła się po zastosowaniu dawki $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ lub $30 \text{ t obornika na } 1 \text{ ha}$. Z kolei zastosowanie $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ w uprawie pszenicy orkisz wystarczało dla uzyskania dobrego krzewienia produkcyjnego, a dla pszenicy zwyczajnej była to dawka $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ponadto obydwa podgatunki pszenicy charakteryzowało intensywne krzewienie produkcyjne po zastosowaniu obornika w dawce $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Według Małeckiej (2003) w badaniach dotyczących produktywności gatunków i odmian zbóż duże znaczenie ma rozpoznanie genetycznie uwarunkowanych elementów plonowania oraz ich zmienności i reakcji na czynniki zewnętrzne. Ratajczak (2023) czynniki wpływające na plonowanie zbóż podzieliła na dwie grupy. Według autorki pierwszą stanowią te, które mogą być kontrolowane, a drugą – czynniki zupełnie niezależne od warunków zewnętrznych. Wzrost i rozwój, a co za tym idzie wydajność końcowa, uzależnione są m.in. od wyboru odmiany, gospodarowania glebą, stosowania nawozów oraz pełnej ochrony uwzględniającej zwalczanie patogenów. Z kolei warunki pogodowe nie podlegają kontroli i jedynie nawadnianie umożliwia poprawę zaopatrzenia roślin w wodę.

Jak podają Weber i Podolska (2009) oraz Sulewska (2012), plon ziarna pszenicy jest funkcją iloczynu wartości komponentów plonowania, uwarunkowaną według powszechnie dostępnych danych literaturowych liczbą kłosów na jednostce powierzchni, liczbą ziaren w kłosie oraz masą 1000 ziarniaków. Ponadto w opinii Webera i Podolskiej (2009) składowe te podlegają istotnym zmianom w zależności od odmiany i warunków glebowo-klimatycznych. Spośród podstawowych komponentów plonowania obsada kłosów powszechnie uznawana jest za czynnik determinujący wielkość plonu. Również Małecka (2003) wskazuje na największe powiązanie plonu ziarna pszenicy ozimej z liczbą kłosów na jednostce powierzchni ($r = 0,86\text{--}0,88$) oraz nieco mniejsze z liczbą ziaren w kłosie ($R = 0,54\text{--}0,60$). Wartości liczbowe poszczególnych składowych plonu zbóż kształtowane są przez silne współzależności pomiędzy nimi. Według Sulewskiej (2012) zwiększeniu wartości liczby kłosów na jednostce powierzchni towarzyszy na ogół obniżanie wartości pozostałych dwóch komponentów. Z kolei liczba ziaren determinuje w pewnym zakresie masę 1000 ziaren, mimo że ten ostatni parametr uznawany jest u zbóż za najbardziej stabilny i związany z gatunkiem czy odmianą. Zależności te nie znalazły potwierdzenia w wynikach badań własnych.

Dla wszystkich odmian pszenicy orkisz z pierwszej serii badań oraz odmiany 'Zollernspelz' z serii drugiej stwierdzono istotną dodatnią korelację pomiędzy liczbą kłosów a masą 1000 ziaren. Analiza korelacji prostej wykazała również, że w obydwu seriach badań liczba kłosów pszenicy zwyczajnej była istotnie skorelowana z liczbą ziaren w kłosie ($R = 0,709$ oraz $0,729$). Jak podaje Rüegger i in. (1990), u pszenicy orkisz i pszenicy zwyczajnej plon ziarna z kłosa jest podobny, a różnice dotyczą podstawowych cech jego budowy i wynikają najczęściej z niskonakładowej uprawy orkiszu. Podstawową różnicą jest mniejsza liczba ziaren w kłosie orkiszu, wynikająca głównie z większego odsetka kłosków płonnych, które występują najczęściej u podstawy kłosa. Cecha ta znacząco zmienia się pod wpływem warunków pogodowych i w obrębie podgatunków w małym stopniu jest modyfikowana przez genotyp. Potwierdzają to badania Jablonskytë-Raščë i in. (2013) oraz Radzikowskiej (2020), w których także stwierdzono znacznie mniejszą produktywność kłosa pszenicy orkisz w stosunku do pszenicy zwyczajnej. Wyniki badań własnych uwiarygadniają te stwierdzenia, przy czym należy podkreślić, że odmiany orkiszu 'Badengold' oraz 'Schwabenspelz' wytworzyły porównywalną z pszenicą zwyczajną liczbę ziaren w kłosie. Z kolei kłosa odmian orkiszu z serii II, w porównaniu do pszenicy zwyczajnej, zawierały 11,7–20,2% mniej ziarniaków, czego nie potwierdzają Rachoń i in. (2009b), podając, że te dwa podgatunki pszenicy nie różnią się istotnie między sobą pod względem wartości tej cechy. Pospišil i in. (2011) wskazują natomiast na istotny wpływ czynnika genetycznego na liczbę kłosków płonnych w kłosach orkiszu. Kłosa odmiany 'Ostro' charakteryzowały się większą liczbą sterylnych kłosków w porównaniu z kłosami odmiany 'Nirvana', a różnica w zależności od roku badań wynosiła 42,3–46,4%. Sulewska (2012) z kolei uważa, że liczba ziaren w kłosie orkiszu najsilniej modyfikowana jest przez warunki pogodowe w trakcie okresu wegetacji oraz zaopatrzenie roślin w składniki odżywcze, a szczególnie w azot. Poza tym autorka obserwowała niekiedy duże różnice między odmianami. Jablonskytë-Raščë i in. (2013) zaobserwowali wzrost liczby ziaren w kłosach orkiszu odmiany 'Franckenkorn' i pszenicy zwyczajnej odmiany 'Toras', stosując w uprawie tych podgatunków nawozy ekologiczne i bio-aktywatory. Mikos (2012) w badaniach dotyczących orkiszu uzyskała wzrost wartości tego komponentu plonowania pod wpływem stosowania nawożenia azotem mineralnym. Również Małecka (2003) wykazała, że nawożenie azotem pszenicy zwyczajnej sprzyja zwiększeniu liczby ziaren w kłosie, a optymalny poziom nawożenia dla wartości tej cechy wynosił $178,0 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ dla pierwszego okresu badań i $141,0 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ dla okresu drugiego. Stwierdzenia te uwiarygadniają wyniki badań własnych, które wskazują, że dawka azotu potrzebna kłosom orkiszu do wytworzenia największej liczby ziaren w kłosie w zależności od odmiany mieściła się w zakresie od 60 do $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, natomiast dla pszenicy zwyczajnej wynosiła $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ponadto w badaniach własnych wartości liczby ziaren w kłosie u większości odmian orkiszu były

zbliżone i podobne do tych, które wykazała Radzikowska (2020). Znacznie niższe wartości liczby ziaren w kłosie uzyskali Pospíšil i in. (2011) oraz Andruszczak (2017), gdyż zakres wartości między odmianami mieścił się w zakresie 19,4–38,0 szt. Z kolei w badaniach Sulewskiej (2004a) nad liczną grupą odmian orkiszu wartości tej cechy mieściły się w przedziale 14,3–22,7 szt., a w późniejszych badaniach Sulewskiej i in. (2008b) zaobserwowano jeszcze niższe wartości omawianego komponentu plonowania (11,8–16,2 szt.). Sulewska i in. (2008a) podają również, że z powodu mniejszej liczby ziarniaków w kłosie orkisz charakteryzował się mniejszym potencjałem plonowania niż pszenica zwyczajna. W innych badaniach Sulewskiej i in. (2010) zarówno odmiana, jak i dawka obornika wpływały istotnie na liczbę ziaren w kłosie. Autorzy podają, że kłosy odmiany ‘Badengold’ zawierały średnio o 7,9 ziaren więcej niż ‘Schwabenspelz’ (21,4 szt.), czego nie potwierdzają wyniki badań własnych. Również w tych badaniach nawożenie obornikiem korzystnie wpływało na tę cechę, a istotny przyrost nastąpił po wniesieniu pełnej dawki obornika. Taki układ zaobserwowano w obu latach, dla odmiany ‘Schwabenspelz’ i w jednym roku dla ‘Badengold’. Podobną reakcję odmian ‘Bauländer’ i ‘Schwabenkorn’ na nawożenie obornikiem wykazano we wcześniejszych badaniach Sulewskiej (2004c), w których średni przyrost liczby ziaren w kłosie wyniósł 18,3%. Do podobnych stwierdzeń skłaniają wyniki badań własnych, przy czym spośród wszystkich odmian orkiszu i pszenicy zwyczajnej najslabiej na nawożenie obornikiem zareagowała odmiana ‘Schwabenkorn’; w porównaniu do kontroli zastosowanie obornika, niezależnie od dawki, powodowało wzrost liczby ziaren w kłosie, ale nie był on istotny statystycznie.

Podstawowe znaczenie dla zmian wielkości plonu pszenicy według literatury ma liczba kłosów na jednostce powierzchni (Brzozowska i in., 2008; Sulewska i in., 2010). Dane empiryczne z licznie przeprowadzonych na terenie całego kraju badań ścisłych wskazują, że orkisz może wytworzyć więcej kłosów na 1 m² niż pszenica zwyczajna. Świadczy to o możliwości wystąpienia takich warunków, w których ujawnia się jego duży potencjał i zdolność do produktywnego zagęszczenia łanu (Sulewska, 2012). Stwierdzenia te uwiarygadniają wyniki badań własnych, przy czym należy podkreślić silny wpływ czynnika genetycznego na wartości tej cechy. Odmiany orkisz z serii II wytworzyły większą (‘Badenkrone’ – 544,0 szt.·m⁻²) lub podobną (‘Badenstern’ – 520,5 szt.·m⁻²) do pszenicy zwyczajnej liczbę kłosów na jednostce powierzchni. Pozostałe odmiany orkisz charakteryzowała dużo niższa, bo o 4,0% (‘Badengold’) do 11,1% (‘Schwabenkorn’) liczba kłosów na 1 m² w porównaniu z pszenicą zwyczajną. Z kolei Radzikowska (2020) nie wykazała istotnych różnic w wartościach tej cechy pomiędzy badanymi odmianami orkisz. Jednocześnie autorka wykazała dużo niższą liczbę kłosów orkisz na jednostce powierzchni w porównaniu z pszenicą zwyczajną. Odmienne wyniki badań, wskazujące na brak istotnych różnic w obsadzie kłosów pomiędzy orkiszem (660,0 szt.·m⁻²) a pszenicą zwyczajną (692,0 szt.·m⁻²), uzyskali

Rachoń i in. (2009b). Obsada kłosów orkiszu na 1 m² w badaniach własnych była zbliżona do podawanej przez Lacko-Bartošová i Rédllová (2007), która osiągnęła wartości tej cechy dla badanych odmian w granicach między 476,0 a 551,0 szt.·m⁻², przy czym dla odmiany ‘Schwabenkorn’ była ona większa niż w badaniach własnych. Również Radzikowska (2020) dla odmian ‘Badengold’, ‘Schwabenspelz’ oraz ‘Schwabenkorn’ uzyskała większą liczbę kłosów na 1 m² w porównaniu z wartościami tej cechy z badań własnych. Z kolei Andruszczak (2017) stwierdziła, że orkisz charakteryzuje się dużą zmiennością produktywności kłosa, determinowaną przez czynnik genetyczny. Autorka wykazała znaczący i różnicujący wpływ odmiany na komponenty plonowania. Odmiany ‘Schwabenspelz’ (375,0 szt.·m⁻²) i ‘Badengold’ (399,0 szt.·m⁻²) charakteryzowały się istotnie najmniejszą obsadą kłosów, czego nie potwierdzają wyniki badań własnych. Znacznie mniejsze wartości liczby wytworzonych kłosów na jednostce powierzchni, od uzyskanych w badaniach własnych stwierdzono w badaniach Sulewskiej i in. (2008b) dla odmian orkiszu ozimego ‘Bauländer’ i ‘Schwabenkorn’ oraz Sulewskiej i in. (2010) dla odmian ‘Schwabenspelz’ i ‘Badengold’. Wcześniejsze, trzyletnie badania Sulewskiej (2004c) informują natomiast, że w korzystnych warunkach wilgotnościowych i termicznych rośliny orkiszu mogą zawiązać nawet 749,0 szt. kłosów na jednostce powierzchni, a w mniej korzystnych 544,0 szt.·m⁻². Pospisil i in. (2016) wskazują z kolei, że pogłowne nawożenie azotem dwóch odmian orkiszu ozimego ‘Nirvana’ i ‘Ostro’ na początku i na końcu krzewienia (25 + 25 kg N·ha⁻¹) istotnie zwiększyło liczbę wytworzonych kłosów na jednostce powierzchni o 26,0% w pierwszym roku i o 16,0% w drugim roku badań, w porównaniu z kontrolą, na której nie stosowano nawożenia. Podobne efekty nawożenia azotem orkiszu odmiany ‘STH 4809’ uzyskała również w swoich badaniach Mikos (2012). Do podobnych stwierdzeń skłaniają wyniki badań własnych, które również wskazują na stymulujący wpływ nawożenia azotem na ten komponent plonowania, przy czym silniejszą reakcję potwierdzoną statystycznie wykazano dla odmian orkiszu z Serii I. Ponadto, dla wszystkich odmian orkiszu w obydwu seriach badań zastosowanie nawożenia azotem w dawce 60 kg·ha⁻¹ pozwoliło osiągnąć najwyższą liczbę kłosów na jednostce powierzchni. Natomiast w warunkach wyższego nawożenia azotem rośliny orkiszu najczęściej redukowały liczbę kłosów na 1 m². Z kolei dla pszenicy zwyczajnej optymalną dawką azotu pod względem wartości tej cechy było 90 kg·ha⁻¹. Również Małecka (2003) podaje, że wzrost nawożenia azotem sprzyjał zwiększeniu liczby kłosów u pszenicy zwyczajnej, a optymalny poziom nawożenia dla tej cechy wyniósł 140,0 kg N·ha⁻¹.

Wyniki badań własnych wskazują również, że nawożenie orkiszu i pszenicy zwyczajnej obornikiem, w obu seriach badań prowadziło do wzrostu liczby kłosów na jednostce powierzchni, w porównaniu do obiektu kontrolnego. Zastosowanie większej dawki obornika skutkowało zawiązaniem większej liczby kłosów na 1 m² od 25,5% (u odmiany ‘Schwabenspelz’) do 59,0% (u odmiany ‘KWS

Dakotana’). Podobne efekty nawożenia obornikiem, który dodatkowo wpływał na formowanie się kłosów u dwóch odmian orkisz (‘Schwabenspelz’ i ‘Badengold’) wykazała również Sulewska i in. (2010), przy czym wielkość zastosowanej dawki nie miała istotnego znaczenia. Z kolei we wcześniejszych badaniach Sulewskiej (2004c) nawożenie obornikiem w dawce 20 t·ha⁻¹ powodowało zmniejszenie obsady kłosów średnio o 5,8%, co w efekcie prowadziło do spadku plonu w porównaniu z obiektem kontrolnym.

Masa tysiąca ziaren jest parametrem świadczącym o dorodności ziarna, czyli stopniu jego wypełnienia przez substancje zapasowe (Krawczyk i in., 2008a). W opinii Biel i in. (2016c) wyższe wartości masy tysiąca ziaren świadczą o możliwości uzyskania wyższych wydajności z przemiału ziarna, natomiast niskie wskazują na słaby rozwój bielma. W badaniach własnych wartości tej cechy w ziarnie badanych odmian orkisz zawierały się w przedziale 42,2–51,5 g i były podobne do prezentowanych przez innych badaczy (Sulewska, 2004c; Sulewska i in., 2005; Krawczyk i in., 2008a; Sobczyk i in., 2017; Radzikowska, 2020). Sulewska (2004a) w badaniach prowadzonych na 22 genotypach ozimej formy orkisz podaje, że masa tysiąca ziaren wahała się od 35,0 do 53,8 g. Autorka uzyskała wartości MTZ dla odmiany ‘Schwabenkorn’ o 8,2% większe niż w badaniach własnych. Lacko-Bartošová i in. (2010) po przetestowaniu ośmiu odmian ozimych orkisz w warunkach uprawy ekologicznej uzyskali wartości MTZ 38,3–50,1 g, a dla odmiany ‘Schwabenkorn’, która była testowana także w badaniach własnych, wartości tej cechy były niższe o 19,8%. Cacak-Pietrzak i in. (2013) wykazali z kolei, że MTZ badanej przez nich odmiany ‘Schwabenkorn’ wynosiła jedynie 34,3 g. We wcześniejszej pracy Cacak-Pietrzak i Gondek (2010) podają zbliżoną wartość MTZ orkisz ww, odmiany do oznaczonej przez Lacko-Bartošová i in. (2010) oraz Sobczyka i in. (2017). Tymczasem Waga i in. (2002) oraz Capouchová (2001) uzyskali większe MTZ orkisz dla testowanych przez nich odmian, które wynosiły 52,0–54,0 g i były one dużo wyższe niż w badaniach własnych. Krawczyk i in. (2008a) w badaniach dotyczących orkisz stwierdzili ponadto, że wszystkie badane rody orkisz charakteryzowały się istotnie mniejszą masą tysiąca ziaren w porównaniu z odmianą ‘Schwabenkorn’. Autorzy wykazali również, że ziarno jednego spośród badanych rodów (‘STH 11’) oraz odmiany ‘Schwabenkorn’ charakteryzowało się większą masą tysiąca ziaren niż ziarno pszenicy zwyczajnej, co jest spójne z wynikami badań jakie uzyskał Moudrý (1999). Również Lacko-Bartošová i Otepka (2001) wykazali większą o 7,8–14,0% MTZ pszenicy orkisz w porównaniu ze zwyczajną. Biel i in. (2016c) podają natomiast, że tylko dwa rody orkisz (‘STH 8’ oraz ‘STH 28-4614’), spośród sześciu biorących udział w badaniu, charakteryzowały się ziarnem o niższej masie tysiąca w porównaniu z pszenicą zwyczajną. Odmienne wyniki badań uzyskali z kolei Sobczyk i in. (2017), wskazując, że ziarno badanych odmian orkisz charakteryzowało się generalnie mniejszymi wartościami MTZ w porównaniu do ziarna pszenicy zwyczajnej.

Podobne efekty badań uzyskał również Rachoń i in. (2009b) oraz Stankowski i in. (2016b). Na wyższą masę tysiąca ziaren orkisz, w porównaniu z pszenicą zwyczajną, wskazują natomiast wyniki badań własnych, co szczególnie widoczne było w drugiej serii badań, gdzie porównywano z pszenicą zwyczajną grupę nowych odmian orkisz. Z kolei w grupie odmian z serii I, w porównaniu z pszenicą zwyczajną, wyższą masę tysiąca ziaren o 11,1% charakteryzowało się ziarno orkisz odmiany ‘Schwabenspelz’ oraz o 6,6% ziarno odmiany ‘Schwabenkorn’. Na nieco wyższe wartości MTZ niż u pszenicy zwyczajnej dla starszych odmian orkisz wskazuje również Sulewska (2012). Ponadto autorka stoi na stanowisku, że liczne doświadczenia wskazują, że wartości tego komponentu plonowania ulegają zmianom pod wpływem czynników środowiskowych i agrotechnicznych, a także zależne są od odmiany. O decydującym wpływie czynnika genetycznego na ten komponent plonowania, zarówno u orkisz, jak i pszenicy zwyczajnej, donoszą również Zecevic i in. (2014), Stankowski i in. (2016b), Andruszczak (2017), Gawęda i in. (2019) oraz Radzikowska (2020). Z kolei Sulewska i in. (2008a) uważają, że wpływ genotypu na wartości tej cechy jest zdecydowanie mniejszy niż środowiska. Zdaniem tych autorów źródłem zmienności dorodności ziarna jest przede wszystkim układ warunków meteorologicznych w czasie wzrostu, co potwierdzają także inni badacze (Moudry, 1999; Sulewska i in., 2010). Z kolei analiza wyników własnych wykazała, że nawożenie azotem we współdziałaniu z odmianą w małym stopniu wpływało na dorodność ziarna. Zauważono jednak zależności o charakterze tendencji, gdyż odmiany orkisz z serii I do wytworzenia bardziej dorodnego ziarna, o większej masie potrzebowały nawożenia azotem w przedziale 60–90 kg N·ha⁻¹, a odmiana ‘Bogatka’ 90 kg N·ha⁻¹. Niższym zapotrzebowaniem na azot charakteryzowały się odmiany orkisz i pszenicy zwyczajnej z serii II, ponieważ najwyższe wartości masy tysiąca ziaren osiągnęły przy nawożeniu wynoszącym 60 kg N·ha⁻¹. Wyjątek stanowiła odmiana ‘Zollernspelz’, która potrzebowała nawożenia w dawce 90 kg N·ha⁻¹. Podobne zależności w badaniach dotyczących ozimej formy pszenicy zwyczajnej uzyskała Małecka (2003), w których masa 1000 ziaren w dwóch okresach badań zwiększała się do dawki 96,8 i 88,7 kg N·ha⁻¹. Zdaniem autorki pszenica ozima wytwarza duże ziarniaki przy znacznie niższym nawożeniu, aniżeli wymagane jest to do wytworzenia maksymalnego plonu i może się to wiązać z wzajemnym oddziaływaniem elementów plonowania na siebie. Informacje zamieszczane w pracach naukowych, dotyczące wpływu nawożenia na dorodność ziarna i jego wypełnienie, nie są jednoznaczne. Niektórzy autorzy wskazują, że zwiększenie poziomu nawożenia azotem nie ma wpływu na tę składową plonu zarówno u orkisz, jak i pszenicy zwyczajnej (Stankowski i in., 2004; Podolska, 2008; Andruszczak i in., 2011; Mikos, 2012; Podolska i in., 2015; Wojtkowiak i in., 2018a). Według Brzozowskiej i in. (2008) nawożenie azotem może wywierać korzystny wpływ na elementy składowe plonu, takie jak liczba ziaren w kłosie oraz masa 1000 ziaren, ale przeważnie bez istotnego

zróźnicowania pomiędzy dawkami nawozów azotowych, co potwierdzają także wyniki badań własnych. Podobnie niewielki wpływ na ten komponent plonowania miało nawożenie obornikiem w badaniach, jakie przeprowadziła Sulewska i in. (2010). Wyniki badań własnych również wskazują, że dorodność ziarna orkiszu oraz pszenicy zwyczajnej w obu seriach badań ulegała niewielkim zmianom pod wpływem stosowania nawożenia obornikiem. Zauważono jedynie tendencję, że zastosowanie wyższej dawki obornika w zakresie badanych dawek przyczyniało się do zwiększenia masy tysiąca ziaren w przedziale 1,1–1,5 g w zależności od odmiany. Z kolei Podolska (2009) w doświadczeniu wazonowym z pszenicą zwyczajną uzyskała interakcję nawożenia azotem z odmianą w stosunku do tej cechy, wskazując jednocześnie na różnice w reakcji odmian na kształtowanie MTZ w zależności od dawki azotu. Wzrost masy tysiąca ziaren w wyniku zaplikowania najwyższego nawożenia azotem (3,6 g N-wazon) wykazało ziarno czterech spośród sześciu odmian biorących udział w badaniu. Jedna odmiana zareagowała obniżką MTZ i jedna nie wykazała zmian w MTZ pod wpływem dawki azotu. Podobne zależności uzyskały Kocoń i Sułek (2004) w badaniach dotyczących jarej formy pszenicy zwyczajnej.

Literatura przedmiotu podaje, że wprowadzane do uprawy nowe gatunki czy odmiany powinny charakteryzować się korzystnym zespołem cech rolniczo-użytkowych, do których w przypadku pszenicy wykorzystywanej głównie przez przemysł młynarski, oprócz zdrowotności ziarna, wartości przemiałowej i wypiekowej zaliczamy również poziom plonowania (Mikos, 2012). Wysokość osiąganych plonów w uprawie orkiszu zależy, podobnie jak, i u innych zbóż, od czynników środowiskowych i agrotechnicznych (Sulewska 2012). Z licznych opracowań literaturowych wynika, że poziom plonowania orkiszu w warunkach glebowo-klimatycznych Polski jest różny i charakteryzuje go duża zmienność, co potwierdzają także rezultaty badań własnych. W badaniach Sulewskiej i in. (2010) prowadzonych na terenie Wielkopolski również udokumentowano dużą zmienność plonowania dla ozimych form orkiszu, co wskazuje na dużą zależność plonowania orkiszu od przebiegu warunków pogodowych, co jest spójne z badaniami Jug i in. (2011) oraz Knapowskiego i in. (2016b). Na dużą zmienność plonowania orkiszu odmiany 'STH 4809', wynoszącą 36,0% wskazują również badania przeprowadzone przez Mikos (2012). Ponadto Woźniak i Staniszewski (2007) podają, że deficyt wody w okresie kłoszenia, kwitnienia i formowania ziarna ma negatywny wpływ na efektywne kształtowanie plonu ziarna u zbóż i jego jakości.

Ważnym zagadnieniem, szeroko dyskutowanym w literaturze przedmiotu jest poziom plonowania pszenicy orkisz w odniesieniu do pszenicy zwyczajnej. Zdaniem kilku badaczy (Rüegger i Winzeler, 1993; Oliveira, 2001; Cyrkler-Degulis i Bulińska-Radomska, 2007; Pospíšil i in., 2011) pszenica orkisz może plonować na podobnym poziomie jak współczesne odmiany pszenicy zwyczajnej. Jednak

większość badaczy wskazuje na jej mniejszy potencjał plonowania, uzasadniając to tym, że różnice w poziomie plonowania w odniesieniu do pszenicy zwyczajnej są zmienne, gdyż wynikają z przebiegu pogody w okresie wegetacji, genotypu oraz technologii produkcji. Ponadto, zdaniem Sulewskiej i in. (2010), mniejszy potencjał plonowania orkiszu niż pszenicy zwyczajnej wynika m.in. z mniejszej liczby ziaren w kłosie. W literaturze przedmiotu można znaleźć również takie badania (Rimle i in., 1995; Castagna i in., 1996), w których wykazano, że w mniej sprzyjających warunkach uprawy maleje różnica w plonowaniu pomiędzy pszenicą zwyczajną a orkiszem, natomiast w wilgotnych i zimnych rejonach orkisz plonuje nawet wyżej niż pszenica zwyczajna. Stallknecht i in. (1996) w badaniach dotyczących plenności ziarna orkisz w warunkach rolnictwa intensywnego w USA uzyskali plony netto orkisz w przedziale 2,09–4,24 t·ha⁻¹, podczas gdy pszenica zwyczajna plonowała w granicach 3,43–5,91 t·ha⁻¹. Z kolei Troccoli i Codianni (2005) uprawiali orkisz we Włoszech według zasad rolnictwa konwencjonalnego i określili plonowanie brutto (nieodplewione ziarno) na poziomie 2,76–2,86 t·ha⁻¹. Dużo wyższy plon kłosek uzyskano w badaniach własnych, ponieważ zawierał się on w przedziale od 35,7 dt·ha⁻¹ ('Schwabenkorn') do 44,3 dt·ha⁻¹ ('Schwabenspelz'). Zdaniem Lacko-Bartošovej i Oteпки (2001) plon orkisz kształtuje się w zależności od odmiany na poziomie 77,2–92,2% plonu pszenicy zwyczajnej. Niższy poziom plonowania pszenicy orkisz, jak podają autorzy, uwarunkowany był niższymi wartościami MTZ, masy ziarna z kłosa i gęstości ziarna w stanie zsywnym. Podobnie Rachoń i in. (2009b) otrzymali dla wszystkich linii orkisz średnio o 18,7% niższy plon ziarna w porównaniu z pszenicą zwyczajną ('Tonacja'). Z kolei Wiwart i in. (2023) wskazują na różnice, jakie występują w plonie ziarna pomiędzy pszenicą zwyczajną a odmianami i liniami hodowlanymi orkisz. Badacze wykazali, że mieszańce, w których komponentem matecznym był orkisz, charakteryzowały się niższym o 18,2% plonem ziarna w porównaniu z pszenicą zwyczajną, a w przypadku odmian orkisz plon ziarna był niższy o 25,2%. Na dużo niższy poziom plonowania pszenicy orkisz w porównaniu z pszenicą zwyczajną wskazują natomiast badania Radzikowskiej (2020). Autorka badając jedenaście odmian orkisz, uzyskała plon ziarna na poziomie 44,8–60,8% plonu pszenicy zwyczajnej. Stwierdzenia te potwierdzają wyniki badań własnych, które również wskazują na niższy poziom plonowania badanych odmian orkisz w porównaniu z pszenicą zwyczajną. Mniejsze różnice w plonie ziarna pomiędzy orkiszem a pszenicą zwyczajną wystąpiły w pierwszej serii badań, ponieważ plon orkisz stanowił od 54,6% (odmiana 'Schwabenkorn') do 70,1% (odmiana 'Schwabenspelz') plonu pszenicy zwyczajnej. Natomiast odmiany orkisz z serii II plonowały od 41,4% (odmiana 'Badenstern') do 52,9% (odmiana 'Zollernspelz') niżej niż pszenica zwyczajna. Również Sulewska (2012) uważa, że większość badań dowodzi małej plenności tego zboża w warunkach polskich, w porównaniu z uszlachetnioną przez hodowlę pszenicą zwyczajną. Zdaniem

autorki nawożenie azotem nie zniweluje tej różnicy, a może prowadzić nawet do jej pogłębienia.

Według Tyburskiego i Babalskiego (2006) odmiany pszenicy orkisz różnią się poziomem plonowania, co potwierdzają również wyniki badań własnych oraz prace wielu innych badaczy (Sulewska, 2006; Cyrkler-Degulis i Bulińska-Radomska, 2007; Lacko-Bartošová i Rédlová, 2007; Rachoń i in., 2009b; Sulewska i in., 2010; Mikos, 2012; Andruszczak, 2017; Radzikowska, 2020; Wiwart i in., 2023). Autorzy podają, że ze wstępnych doświadczeń i obserwacji prowadzonych w Polsce w rejonach nizinnych wynika, iż w warunkach krajowych najlepiej plonuje odmiana ‘Schwabenkorn’, a niewiele ustępują jej odmiany ‘Ceralio’ oraz ‘Schwabenspelz’. Stwierzeń tych nie potwierdzają wyniki badań własnych, gdyż z grupy odmian testowanych w serii I najwyższej plonowała odmiana ‘Schwabenspelz’ ($28,4 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$), a z grupy odmian z serii II ‘Badenstern’ ($30,6 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$). Z kolei w badaniach Andruszczak (2017) odmiany ‘Badengold’, ‘Schwabenkorn’ oraz ‘Schwabenspelz’ plonowały wyżej niż w badaniach własnych. Dużo wyższe plony ziarna niż w badaniach własnych w odniesieniu do odmiany ‘Schwabenkorn’ uzyskała także Lacko-Bartošová i Rédlová (2007) oraz Sulewska i in. (2008a).

Dotychczas przeprowadzone badania naukowe jednoznacznie wskazują, że spośród czynników agrotechnicznych główną rolę w kształtowaniu wielkości plonu przypisuje się nawożeniu azotem. Efektywność działania azotu zależy od wielu czynników, a według Podolskiej (1999) są to między innymi wielkość dawki, sposób aplikacji, wymagania pokarmowe uprawianych odmian, gęstość siewu i przebieg warunków pogodowych. Korzystne oddziaływanie nawożenia azotem na plon, zdaniem autorki, wynika z wpływu azotu na zwiększenie krzewistości produkcyjnej, liczby ziaren w kłosie, masy ziarna z kłosa, liczby kłosów na jednostce powierzchni oraz długości kłosa. Nawożenie azotem jako czynnik plonotwórczy dla pszenicy orkisz jest bardzo nielicznie dyskutowany w literaturze (Rüegger i Winzeler, 1993; Castagna i in., 1996; Sulewska, 2004c; Biel i in., 2010; Andruszczak i in., 2011; Podolska i in., 2015; Knapowski i in., 2016b; Andruszczak, 2018), a głównym powodem jest fakt, że ten podgatunek pszenicy uprawiany jest przede wszystkim w gospodarstwach ekologicznych. Jednak dostępna literatura – zarówno polska, jak i zagraniczna – wskazuje, że reaguje on pozytywnie na dawkę azotu, a na zachodzie Europy uprawiany jest również w warunkach rolnictwa integrowanego (Rüegger i Winzeler, 1993; Castagna i in., 1996; Lacko-Bartošová i Otepka, 2001; Sulewska, 2004c). Bepirszcz i Budzyński (2011b) udowodnili wzrost plonu ziarna odmiany ‘Schwabenkorn’ wraz ze wzrostem dawki azotu. Wysokie dawki azotu w ilości $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ powodowały wzrost plonu pszenicy orkisz o 9,0%. Wpływ dawki azotu na poziom plonowania badań również Stankowski in. (2011). Maksymalny plon orkisz autorzy uzyskali, stosując $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, a zwiększenie nawożenia z 0 do $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ powodowało wzrost plonu ziarna średnio o $30 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$. Również Podolska i in. (2015), prowadząc

badania dotyczące odmiany ‘Rokosz’, udowodniła, że plon ziarna wzrastał wraz ze wzrostem dawki azotu do $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. W odniesieniu do obiektu kontrolnego plon z obiektów N_{40} , N_{80} i N_{120} był wyższy odpowiednio o 1,0%, 3,0% i 13,0%. Podobne wyniki otrzymali Andruszczak i in. (2011), Podolska i in. (2011) oraz Sulewska (2004c). Andruszczak i in. (2011) również stwierdzili istotny 8,0% wzrost plonu ziarna dla dwóch odmian pszenicy orkisz – ‘Schwabenkorn’ oraz ‘Spelt I.N.Z.’ – na skutek zwiększenia dawki azotu z 60 do $80 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Z kolei w badaniach Knapowskiego i in. (2016b) wielkość plonu ziarna orkiszu odmiany ‘Rokosz’ zwiększała się w poszczególnych latach badań o 29,5% i 56,0% wraz ze zwiększeniem dawki azotu z 0 do $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Przy czym autorzy wskazują, że w pierwszym roku badań każdorazowy wzrost dawki azotu o $20 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ prowadził do istotnego wzrostu plonu ziarna w porównaniu z kontrolą, natomiast w drugim roku zwiększanie nawożenia o kolejne $20 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ powodowało istotny wzrost plonu w porównaniu do obiektów nawożonych mniejszą dawką. Zdaniem badaczy świadczy to o wysokim potencjale plonotwórczym orkiszu oraz niskiej efektywności stosowania w uprawie orkiszu wysokich dawek azotu, co potwierdzają także wcześniejsze badania Mikos (2012). Z kolei z wyników badań własnych wynika, że podobnie jak w wyżej cytowanych badaniach, analizowane odmiany orkiszu pozytywnie zareagowały na wzrastające dawki azotu, przy czym o wielkości plonu ziarna orkiszu decydowała interakcja tego czynnika z genotypem. Dla wszystkich odmian orkiszu istotny przyrost plonu ziarna miał miejsce tylko do dawki $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ i w porównaniu z kontrolą – w zależności od odmiany – był on wyższy od 21,1% (‘Badenkrone’) do 43,3% (‘Badenstern’). Ponadto zwiększanie dawki azotu dla odmian ‘Schwabenkron’, ‘Zollernspelz’, ‘Badenstern’ i ‘Badenkrone’ nie podtrzymało tendencji przyrostu plonu ziarna, a nawet powodowało istotny spadek jego wartości, jak to miało miejsce w przypadku odmiany ‘Schwabenkron’ lub – jak u pozostałych odmian – nieznacznie go obniżało. Podobne wyniki otrzymała Mikos (2012), która również odnotowała zwyżkę plonu ziarna orkiszu potwierdzoną statystycznie, wraz ze wzrostem dawki azotu do $80 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Autorka uważa, że wymagania orkiszu co do ilości azotu są na średnim poziomie i orkisz z powodzeniem można uprawiać w integrowanym systemie uprawy. Ponadto badaczka podkreśla, że powtarzalność tej zależności w poszczególnych latach badań świadczy o większych możliwościach wykorzystania azotu jako czynnika plonotwórczego u orkiszu niż się powszechnie ocenia. Według Sułek i in. (2007) różna reakcja odmian zbóż na nawożenie azotem, uwarunkowana jest genetycznie i wiąże się z odmiennym metabolizmem, a tym samym zróżnicowanymi wymaganiami pokarmowymi. Odmiany, które lepiej plonują przy wyższym poziomie nawożenia azotem, cechują się większą krzewistością produkcyjną oraz masą ziarna z rośliny i kłosa, a na obniżkę plonu ziarna niektórych odmian przy dużych dawkach azotu mogą wpływać pewne zaburzenia w metabolizmie roślin. W związku z powyższym badania własne

mogą stanowić zalecenie do stosowania nawożenia azotem w uprawie orkiszu do dawki $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Na istotny wzrost plenności pszenicy zwyczajnej w zależności od dawki azotu zwraca uwagę wielu badaczy. Liczne badania naukowe, zarówno krajowe, jak i zagraniczne wskazują również, że powszechnie stosowane w uprawie pszenicy zwyczajnej nawożenie azotem uważane jest za główny czynnik decydujący o plonowaniu tego podgatunku (Ducsay i Łożek, 2004; Sieling i in., 2005; Suwara i in., 2007; Brzozowska i in., 2008; Dubis i Borysewicz, 2008; Bednarek i in., 2009; Haliniarz i in., 2013; Wojtkowiak i in., 2018a; 2018b). Małecka-Jankowiak i in. (2018) w miarę wzrostu nawożenia z poziomu 0 do 60, 120 i $180 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ zaobserwowali, że plon ziarna pszenicy istotnie zwiększał się. Największy przyrost plonu ziarna o $2,18 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ autorzy zaobserwowali po zastosowaniu dawki azotu $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Natomiast zwiększenie dawek azotu do 120 i $180 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ skutkowało malejącymi przyrostami plonu ziarna, odpowiednio o 1,02 i $0,69 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Zależności te częściowo są zbieżne z wynikami badań własnych, ponieważ w pierwszej serii badań największy przyrost plonu ziarna pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ zaobserwowano po zastosowaniu dawki $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, natomiast dla odmiany ‘KWS Dakotana’ z serii drugiej największy przyrost plonu miał miejsce przy dawce $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Z kolei Harasim i Wesołowska-Trojanowska (2010) w warunkach ścisłego doświadczenia polowego zaobserwowały, że zastosowane poziomy nawożenia azotem (100 i $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) nie różnicowały istotnie plonu ziarna pszenicy zwyczajnej. Autorki podają, że zastosowanie większej dawki azotu ($150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) wywołało przyrost plonu ziarna o charakterze tendencji, który średnio dla trzech lat badań wyniósł 3,8%. Celowość stosowania w uprawie pszenicy zwyczajnej nawożenia azotem większego niż $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ potwierdzają z kolei badania Kruczek i Wójtowicz (1998) oraz Wojtkowiaka i in. (2018b). Również Gawrońska-Kulesza i in. (1997) odnotowali wzrost plonowania pszenicy ozimej do dawki $140 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, Wróbel i Szempliński (1999) do dawki $160 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, a Sieling i in. (2005) nawet do poziomu $200 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Także Budzyński i in. (2004) oszacowali, że największy plon ziarna pszenicy zwyczajnej uzyskaliby po zastosowaniu dawki od 143 do $165 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Analiza wyników badań własnych wskazuje z kolei, że maksymalny plon ziarna dla odmiany ‘KWS Dakotana’ uzyskano po zastosowaniu dawki $85,8 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, a zastosowanie 1 kg azotu w uprawie odmiany ‘Bogatka’ spowodowało przyrost plonu ziarna o $12,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Inni autorzy podkreślają natomiast niską efektywność plonotwórczą azotu po przekroczeniu dawki $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Chrzanowska-Drożdż, 2001; Bednarek i in., 2009; Harasim i Wesołowska-Trojanowska, 2010). W literaturze przedmiotu można spotkać i takie opinie, że długoletnie nawożenie mineralne, a szczególnie stosowanie wysokich dawek azotu może przyczynić się do postępującej degradacji gleb, co wiąże się z obniżeniem pH i wymywaniem składników zasadotwórczych w głąb profilu glebowego (Jankowiak i in., 2005).

Zdaniem Panasiewicz (2013) uwarunkowań produktywności roślin należy upatrywać przede wszystkim w czynnikach genetycznych, ale w opinii autorki również czynniki środowiskowe i agrotechniczne w pewnym zakresie mogą modyfikować zmienność plonu przejawiającą się zróżnicowaniem jego składowych. W dostępnej literaturze wiele badań dotyczy pszenicy zwyczajnej, w których określa się zależności plonu od komponentów plonowania, natomiast w przypadku orkiszu zagadnienia te nie są szeroko dyskutowane. Ponadto opinie prezentowane w wielu pracach naukowych dotyczące zależności plonu pszenicy zwyczajnej od elementów składowych plonu są często niejednoznaczne. Najwięcej rozbieżności dotyczy wpływu na plon liczby ziaren w kłosie i masy 1000 ziaren oraz ich współzależności (Małecka, 2003). Na ogół w publikacjach podkreśla się ujemną korelację między tymi składowymi plonu (Blecharczyk, 2002; Mądry i in., 2000; Zajac i in., 1998). Małecka (2003) za Pyzik i Błazej (1988) podkreśla z kolei wysoką dodatnią korelację plonu ziarna z liczbą ziaren w kłosie i masą 1000 ziaren. Także Mrozowski i Gawrońska-Kulesza (1987) oraz Suwara i in. (2007) wykazali, iż podstawowym elementem plonowania, w największym stopniu dodatnio skorelowanym z wielkością plonu ziarna pszenicy ozimej, jest liczba kłosów na 1 m², podobnie jak w badaniach poświęconych uprawie pszenżyta przeprowadzonych przez Koziarę (1996). Stwierdzenia te są spójne z badaniami Małeckiej (2003), która podaje, że plon ziarna pszenicy ozimej w największym stopniu był powiązany z liczbą kłosów na jednostce powierzchni ($R = 0,86-0,88$) oraz nieco słabiej z liczbą ziaren w kłosie ($R = 0,54-0,60$). Plon ziarna pszenicy ozimej w cytowanych badaniach nie wykazywał natomiast istotnego związku z masą 1000 ziaren. Potwierdzeniem powyższych spostrzeżeń mogą być wyniki badań własnych, które wskazują również na największe powiązanie plonu ziarna pszenicy zwyczajnej odmiany 'KWS Dakotana' z liczbą kłosów na jednostce powierzchni ($R = 0,765$) oraz liczbą ziaren w kłosie ($R = 0,811$). Uzyskane w badaniach własnych współczynniki korelacji prostej wskazują również, iż plon ziarna orkiszu odmian 'Badenstern' ($R = 0,954$) oraz 'Schwabenkorn' ($R = 0,522$) był najsilniej związany tylko z liczbą kłosów na jednostce powierzchni, a dla pozostałych odmian orkiszu silniejszy związek odnotowano z liczbą kłosów i masą tysiąca ziaren. Z kolei plon ziarna pszenicy zwyczajnej 'Bogatka' charakteryzowała ścisła dodatnia zależność z liczbą ziaren w kłosie i masą 1000 ziaren.

Rozpatrywany w badaniach własnych związek komponentów plonowania z plonem ziarna w zależności od nawożenia wskazuje, że w pierwszej serii badań na plon ziarna orkiszu, niezależnie od rodzaju zastosowanego nawożenia, największy wpływ miała masa 1000 ziaren. Plon odmian orkiszu z serii II na wszystkich stosowanych poziomach nawożenia azotem był z kolei najsilniej skorelowany z liczbą kłosów oraz masą tysiąca ziaren. Natomiast po zastosowaniu obornika zaobserwowano zależność plonu orkiszu tylko od liczby kłosów. Dla pszenicy zwyczajnej z pierwszej serii badań, nawożonej azotem w dawkach 60 i 90 kg·ha⁻¹,

wielkość plonu ziarna była najsilniej determinowana liczbą ziaren w kłosie oraz masą tysiąca. Brak doniesień literaturowych na temat zależności plonu orkisz od komponentów plonowania przy zróżnicowanych poziomach i rodzajach nawożenia nie pozwolił na skonfrontowanie uzyskanych obserwacji własnych. Natomiast badania Panasiewicz (2013) dotyczące pszenżyta jarego, rozpatrujące związek komponentów plonowania z plonem ziarna wskazują, iż na wszystkich stosowanych poziomach nawożenia azotem wielkość plonu ziarna w płodozmianie norfolkskim była najsilniej skorelowana z masą tysiąca ziaren. Zbliżone zależności autorka stwierdziła także w płodozmianie ze 100-procentowym udziałem zbóż, przy czym na dwóch wyższych poziomach nawożenia wykazała wyraźny związek plonu z obsadą kłosów.

W literaturze przedmiotu dotyczącej oceny cech bezpośrednio lub pośrednio związanych z plonem podaje się, że najczęściej stosowaną metodą jest analiza korelacji prostej lub wielokrotnej oraz równań regresji (Rudnicki, 2000; Zajac i in., 1998). Zależności te, zdaniem Zajaca i in. (1998), mogą mieć różne natężenie i często przeciwne znaki, a powiązania plonu z elementami plonowania zależą od troficzności siedliska. Autor zaznacza również, że niewielu badaczy podejmuje problem przeanalizowania struktury związków przyczynowo-skutkowych w odniesieniu do pszenicy zwyczajnej, a dla orkisz nie był on do tej pory w ogóle dyskutowany. Podjęta w badaniach własnych próba określenia związku poszczególnych komponentów plonowania badanych podgatunków pszenicy z wielkością plonu ziarna za pomocą równań regresji wielokrotnej – zarówno dla orkisz, jak i pszenicy zwyczajnej – wskazuje na brak jednoznacznej istotnej zależności plonu od zmiennych niezależnych. Największe wartości współczynnika determinacji (51,5–89,1%) odnotowano w pierwszej serii badań dla pszenicy orkisz odmiany ‘Schwabenkorn’, gdzie zmiany plonu na wszystkich ocenianych poziomach nawożenia azotem miały związek z liczbą ziaren w kłosie oraz masą tysiąca ziaren. Natomiast pod wpływem stosowania obornika plon ziarna u tej odmiany w największym stopniu zależał od liczby kłosów oraz masy 1000 ziaren. Podobny silny związek plonu ziarna z liczbą kłosów oraz masą 1000 ziaren stwierdzono dla odmian ‘Badenkrone’ ($R^2 = 86,8\%$) oraz ‘Zollernspelz’ ($R^2 = 74,7\%$) nawożonych dawką $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. W każdej z serii badań w niektórych z wyliczonych równań regresji wielokrotnej zmienne niezależne wystąpiły z ujemnym współczynnikiem regresji, czego nie należy odczytywać jako dowodu na ujemny wpływ tych zmiennych na wielkość plonu ziarna, a jedynie jako współzależność między komponentami plonowania. Zbliżone wyniki prezentuje praca Koziary (1996) opisująca dwie formy pszenżyta, w której autor na podstawie równań regresji wielokrotnej wskazuje, iż plon ziarna w największym stopniu zależał od liczby kłosów i masy tysiąca ziaren, co potwierdzają późniejsze badania Panasiewicz (2013) dotyczące pszenżyta jarego uprawianego w płodozmianie norfolkskim w warunkach deszczowania.

Odżywające zainteresowanie uprawą pszenicy orkisz według literatury wynika między innymi z nadprodukcji zbóż podstawowych, wprowadzania technologii przyjaznych środowisku oraz rosnącego zainteresowania konsumentów nowymi produktami (Sulewska i in., 2010). Mimo obserwowanego od kilku lat wzrostu znaczenia gospodarczego orkiszu zboże to jest nadal traktowane jako niszowe, stanowiąc tylko alternatywę dla producentów pszenicy zwyczajnej (Sulewska, 2012). Trudności w uprawie pszenicy orkisz na szeroką skalę wynikają między innymi z tego, że orkisz charakteryzuje się cechami niepożądanymi, typowymi dla dzikich gatunków pszenic, do których zaliczyć można łamliwą osadkę kłosową utrudniającą zbiór, słabą wymłacalność wynikającą ze ściśle przylegających do ziarniaka plewek, a także podatność na wyleganie (Campbell, 1997; Krawczyk i in., 2008a; Anders i in., 2020). O jakości omłotu kłosów orkisz według Sadowskiej i in. (2010) decyduje wytrzymałość osadki kłosowej oraz siła wiązania ziarna z kłosem. Obecnie uprawiane odmiany orkisz charakteryzuje zwykle długi i bardzo luźny kłos, o dużo mniejszej zbitości niż kłosa pszenicy zwyczajnej (Sulewska, 2012; Radzikowska, 2020), co potwierdzają również wyniki badań własnych. Według Sulewskiej (2012) długość kłosa orkisz waha się od 6,8 cm do 11,5 cm i podobnie jak u innych zbóż jest silnie dodatnio skorelowana z wysokością roślin. Według autorki wysokie odmiany orkisz lub rosnące w korzystnych dla wzrostu warunkach zwykle wytwarzają długie kłosa, co nie do końca znalazło potwierdzenie w wynikach badań własnych. Rośliny odmiany 'Schwabenkorn', charakteryzujące się długim źdźbłem (99,1 cm), wytworzyły w warunkach badań własnych najkrótszy kłos (9,4 cm). Z kolei odmiana 'Badenstern', która zaliczona została do odmian wysokich (93,5 cm), wytworzyła długi kłos (12,9 cm), co sugeruje, że nie tylko korzystne warunki siedliskowe mają wpływ na wystąpienie tej zależności, ale również czynnik genetyczny odgrywa tu istotną rolę. Z kolei w badaniach Andruszczak (2017), dotyczących ośmiu odmian pszenicy orkisz, długość kłosów mieściła się w przedziale 9,9–11,5 cm, a najkrótszy kłos (10,2 cm), podobnie jak w badaniach własnych (9,4 cm), charakteryzował odmianę 'Schwabenkorn'. Znacznie krótsze kłosa odnotowała Sulewska (2004a) dla ozimych odmian orkisz, których długość wahała się od 7,3 cm do 10,5 cm. Zebrane wyniki badań własnych wskazują również na zróżnicowanie długości kłosów, zarówno orkisz, jak i pszenicy zwyczajnej, pod wpływem stosowania badanych rodzajów nawożenia. Wykazano, że optymalna dawka azotu wynosi pomiędzy 60 a 90 kg·ha⁻¹, natomiast obornika 30 t·ha⁻¹. Wzrost długości kłosów orkisz odmiany 'Franckenkorn' i pszenicy zwyczajnej odmiany 'Toras' odnotowali również Jablonskytė-Raščė i in. (2013), stosując w uprawie tych podgatunków nawozy ekologiczne i bio-aktywatory. Zbitość kłosa, czyli liczba kłosek na określonej długości osadki kłosowej, to jedna z cech kłosów orkisz odróżniających je od kłosów pszenicy zwyczajnej. Według literatury (Sulewska, 2004a) zbitość kłosów orkisz jest mniejsza niż u pszenicy zwyczajnej i zwykle, w zależności od

odmiany, waha się od 13,6 do 20,1. Na dużą zmienność tej cechy pod wpływem odmiany wskazują również badania Radzikowskiej (2020), w których zbiżość kłosów orkiszu wahała się od 16,6 dla odmiany 'Filderstolz' do 13,1 dla odmiany 'Schwabenspelz'. Z wieloletnich badań własnych wynika z kolei, że w kształtowaniu zbiżości kłosa decydującą rolę odegrał podgatunek oraz czynnik odmianowy. Zarówno wśród odmian z serii I, jak i z serii II zaobserwowano zmienność w tym względzie, gdyż zbiżość kłosów odmian orkiszu z serii I wahała się w zakresie 19,1–20,9, a w serii II była dużo mniejsza i mieściła się w przedziale 17,7–18,5. Uzyskane dane potwierdzają, że kłosy orkiszu są dużo bardziej luźne niż pszenicy zwyczajnej, co jest spójne z wynikami prezentowanymi przez Sulewską (2004a), Sadowską i in. (2010) oraz Radzikowską (2020). Ponadto na efekty działania nawożenia w kształtowaniu zbiżości kłosów pszenicy zwyczajnej bardzo duży wpływ miał czynnik genetyczny. Wzrost zbiżości kłosów u odmiany 'Bogatka' miał miejsce po zastosowaniu azotu w dawce $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ lub obornika w ilości $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, a u odmiany 'KWS Dakotana' w dawce $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ lub obornika w ilości $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Z kolei dla wszystkich odmian pszenicy orkisz optymalnym nawożeniem do uzyskania wiekszej zbiżości kłosów wydaje się dawka azotu $60\text{--}90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ lub obornika w ilości $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Literatura przedmiotu (Sulewska, 2012) podaje również, że zwykle to pszenica zwyczajna wykształca więcej ziarniaków w kłosku niż pszenica orkisz, jednak w gorszych warunkach środowiskowych różnica między nimi znacząco spada i może wynosić zaledwie 4%, podczas gdy w korzystnych warunkach dochodzi do 20–25%. Konsekwencją różnic w budowie kłosa orkisz i pszenicy zwyczajnej jest inny sposób kształtowania plonu ziarna. W kłosie orkisz powstaje mniej ziarniaków, lecz są one większe, podczas gdy w kłosie pszenicy zwyczajnej ziarniaki są drobniejsze, jednak jest ich więcej, a różnica ta wynosi zwykle ok. 20%. Z morfologii kłosa orkisz wynika, że kłoski bywają najczęściej dwuziarnowe, ale mogą występować odstępstwa od tej reguły i w zależności od warunków wzrostu roślin w kłosku może zawiązać się tylko jeden ziarniak, a najrzadziej wykształcają się trzy (Sulewska, 2012). Liczba ziaren w kłosku u obu podgatunków pszenicy w pewnym stopniu determinowana jest również genetycznie. Przytoczone stwierdzenia potwierdzono w badaniach własnych, ponieważ to czynnik odmianowy głównie decydował o liczbie kłosek 1- i 2ziarnowych u tych podgatunków pszenicy, przy czym zdecydowanie więcej takich kłosek zawiązały kłosy orkisz niż pszenicy zwyczajnej. Odmiany orkisz z serii I wykształciły 30,3–51,8% więcej kłosek 2-ziarnowych niż kłosy pszenicy zwyczajnej, a dla odmian z serii II różnica była zdecydowanie większa i wynosiła od 76,8% do 92,8%. Potwierdza to również Sulewska (2012), która wskazuje, że u większości odmian orkisz przeważają kłoski dwuziarnowe, których udział w kłosie zależy od odmiany i wynosi 48,0–73,0%. Z kolei liczba kłosek 3-ziarnowych w kłosach pszenicy zwyczajnej była porównywalna z wartościami, jakie stwierdzono dla kłosek orkisz odmiany 'Badengold' oraz 'Badenkrone'. Ponadto kłosy

pszenicy zwyczajnej charakteryzowała zdecydowanie większa liczba kłosek 4ziarnowych w porównaniu z kłosami orkiszu. Badania własne dowiodły również, że nawożenie azotem w zakresie dawek 60–90 kg·ha⁻¹ lub obornikiem w ilości 30 t·ha⁻¹ sprzyjało zawiązywaniu przez kłosy orkiszu i pszenicy zwyczajnej większej liczby kłosek 3- i 4-ziarnowych.

Literatura wskazuje, że udział plew w masie kłosa orkiszu jest znaczny i wynosi 25%–30%, co przekłada się na wielkość plonu ziarna, który maksymalnie może stanowić do 70,0% odplewionych ziaren. Drobne i chude ziarniaki często nie dają się odplewić, dlatego też wydajność technologiczna ziarna orkiszu jest niższa od teoretycznej wydajności netto, nawet o kilkanaście procent (Tyburski i Babalski, 2006). Są i takie badania (Sulewska, 2004a), z których wynika, że procentowy udział plew w kłosach orkiszu może być jeszcze większy i w zależności od odmiany może wynosić od 25,8% (odmiana ‘Schwabenkorn’) do 38,7% (odmiana ‘Schweizer Alt Gold’). Wyniki badań własnych wskazują natomiast, że udział ziarna w plonie kłosek dla odmian orkiszu z serii I oscylował od 58,9% do 67,8%, a dla odmian z serii II od 66,1% do 71,8%. Najlepszymi pod względem tej cechy były odpowiednio odmiany ‘Badengold’ (67,8%) oraz ‘Badenstern’ (71,8%). Na dużą zmienność udziału ziarna w masie omłotowej wskazują również badania Sulewskiej i in. (2010), w których korzystniejszą strukturą kłosek odznaczała się odmiana ‘Badengold’, przewyższająca pod tym względem odmianę ‘Schwabenkorn’ średnio o 9,8 pkt.% (co potwierdziły również wyniki badań własnych). Z kolei Dostatny i in. (2020) uważają, że na słabsze wyniki odplewienia kłosek orkiszu ma wpływ również niski poziom nawożenia, silna susza oraz uprawa tego gatunku na słabych glebach i po złym przedplonie. Wcześniejsze badania Sulewskiej i in. (2010) wskazują natomiast, że nawożenie obornikiem spowodowało spadek udziału ziarna w kłoskach o 3,1% i 3,8 pkt.% po zastosowaniu 15 i 30 t·ha⁻¹ obornika. Takich zależności nie zaobserwowano w badaniach własnych. Średni udział ziarna w masie omłotowej odmian orkiszu z serii I nawożonych obornikiem, niezależnie od dawki, był wyższy niż w obiekcie kontrolnym. Ponadto nawożenie azotem bardziej stymulowało te odmiany orkiszu do zwiększenia udziału ziarna w plonie kłosek, niż nawożenie obornikiem. Z kolei dla odmian orkiszu z serii II to genotyp był tym czynnikiem, który w największym stopniu decydował o udziale ziarna w masie omłotowej, co nie znalazło potwierdzenia we wcześniejszych badaniach Lacko-Bartošovej i in. (2010). Istnieją także doniesienia, według których to układ warunków pogodowych w największym stopniu decyduje o udziale plew w masie omłotowej ziarna orkiszu. W badaniach Pospíšil i in. (2016) udział ziarna orkiszu, w zależności od roku badań, określili na 68,4–78,9% i nie zmieniał się on pod wpływem czynników badawczych. Podobne rezultaty osiągnęła również Lacko-Bartošová i in. (2010).

Literatura przedmiotu jest dość spójna w twierdzeniu, że większość uprawianych na terenie Europy odmian ozimych orkiszu cechuje się długim żdźbłem,

dlatego podgatunek ten zaliczany jest do zbóż wysokich i bardziej podatnych na wyleganie niż pszenica zwyczajna, co potwierdzają wyniki badań własnych, a także badania przeprowadzone przez Radzikowską (2020) oraz Dolijanovića i in. (2022). Problem wylegania roślin ma istotne znaczenie zarówno w produkcji, jak i w hodowli, a ograniczeniu zjawiska wylegania sprzyja wykorzystanie postępu biologicznego w kontekście podniesienia odporności nowych odmian na wyleganie (Sadowska i in., 2012). Badania własne dowiodły również, że największą podatnością na wyleganie charakteryzowała się jedna z najczęściej uprawianych w Polsce odmian orkiszu ‘Schwabenkorn’ (6,5°), a zdecydowanie mniejszą odmiana ‘Badengold’ (8,3°) oraz ‘Schwabenspelz’ (8,6°), na co wcześniej wskazywały badania Sulewskiej (2012) oraz Sadowskiej i in. (2012). Ponadto Sadowska i in. (2012) uważają, że za większą podatność roślin orkiszu na wyleganie odpowiedzialna jest również długość dokłosa, gdyż niejednokrotnie obserwuje się ugięcie właśnie tej części źdźbła. Z grupy odmian biorących udział w badaniach w serii II podobną do pszenicy zwyczajnej podatnością na wyleganie wyróżniały się odmiany ‘Zollernspelz’ oraz ‘Badenstern’. Ponadto, w przeciwieństwie do pszenicy zwyczajnej, w przypadku wszystkich odmian orkiszu stosowanie nawożenia mineralnego i naturalnego niezależnie od dawki sprzyjało wyleganiu roślin. O podobnej zależności wylegania roślin orkiszu pod wpływem stosowania nawożenia mineralnego donoszą również Bojňanská i Frančáková (2002). Również badania Andruszczak (2018) wskazują, że wyższa dawka azotu, wynosząca 80 kg·ha⁻¹, prowadziła do znacznego zwiększenia wysokości roślin orkiszu, co miało przełożenie na wzrost wylegania. W rezultacie spadek plonu ziarna w porównaniu z obiektami nawożonymi dawką 50 kg N·ha⁻¹ wyniósł 15,2%. Wśród dawnych odmian orkiszu długość źdźbła wynosi 120–160 cm, zaś nowo wyhodowane odmiany charakteryzują się krótszą słomą i są wyższe od pszenicy zwyczajnej nie więcej niż o 10 cm (Tyburski i Babalski, 2006; Sulewska, 2012). Cechami morfologicznymi, które decydują o większej podatności roślin orkiszu na wyleganie w porównaniu z pszenicą zwyczajną, jak twierdzi Sulewska (2012), jest większa długość międzywęzli, a nie większa ich liczba. Wcześniejsze badania Sulewskiej i in. (2010) wskazują również, że wysokość roślin ulega dużym wahaniom pod wpływem warunków pogodowych. Wyniki badań własnych potwierdzają, że rośliny pszenicy zwyczajnej były dużo niższe w porównaniu z pszenicą orkisz, przy czym różnica w wysokości roślin pomiędzy tym podgatunkami pszenicy była dużo większa od tej, którą można znaleźć w piśmiennictwie. Odmiany pszenicy orkisz z serii I były wyższe od pszenicy zwyczajnej o 17,7–27,3 cm, natomiast z serii II o 17,9–25,3 cm. Z kolei w badaniach Sulewskiej (2004a), które obejmowały 22 genotypy orkiszu, wartości dotyczące wysokości roślin wahały się od 95,6 do 130,4 cm, co nie jest spójne z wynikami badań własnych. W grupie odmian z serii I wysokość roślin orkiszu mieściła się w przedziale 89,5–99,1 cm (‘Schwabenkorn’), a w grupie odmian z serii II 86,1–93,5 cm (‘Badenstern’). Sulewska

i in. (2010) wskazują również, że pod wpływem nawożenia pełną dawką obornika obserwowano tendencję do skracania wysokości roślin u odmiany ‘Badengold’ i wydłużania u ‘Schwabenspelz’. Zależności tych nie potwierdzają wieloletnie wyniki badań własnych, gdyż nawożenie obornikiem – szczególnie w wyższej dawce, niezależnie od podgatunku pszenicy – stymulowało źdźbła do wydłużania. Należy zaznaczyć, że większe działanie stymulujące wzrost wysokości roślin miało jednak nawożenie azotem, niż obornikiem, a optymalną dawką zarówno dla orkisz, jak i pszenicy zwyczajnej wydaje się $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Dodatni wpływ dawki azotu na wysokość źdźbła orkisz wskazują także badania przeprowadzone przez Mikos (2012), z tym że w dwóch latach badań większą wysokość roślin stwierdzono po zastosowaniu dawki $40 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, a tylko w jednym roku badań bardziej efektywna była wyższa dawka, która wynosiła $80 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$.

5.3. Wpływ odmiany i nawożenia na jakość ziarna

Skład chemiczny ziarna zbóż, w tym również pszenicy, zmienia się pod wpływem wielu czynników, do których należą m.in. czynniki agrotechniczne (nawożenie, przedplon, sposób uprawy, ochrona chemiczna, jakość gleb), genetyczne oraz siedliskowe. Ponadto oddziaływanie tych czynników zmienia się w zależności od gatunku oraz regionu uprawy (Jablonskytė-Raščė i in., 2013; Kraska i in., 2013; Stankowski i in., 2016a; Biel i in., 2020). Zawartość białka i glutenu w ziarnie jest jednym z ważniejszych kryteriów świadczących o jakości zbóż. W literaturze przedmiotu wskazano jednak, że plenność zarówno orkisz, jak i pszenicy zwyczajnej jest zazwyczaj ujemnie skorelowana z jakością jej ziarna (Kaczyński, 1999; Harasim i Wesołowska-Trojanowska, 2010; Sulewska, 2012), co znalazło potwierdzenie również w badaniach własnych. Z wielu czynników agrotechnicznych azot ma zasadnicze znaczenie w kształtowaniu jakości uzyskiwanego ziarna. Z literatury wynika, iż wpływ odżywienia azotem na właściwości mąki i ciasta pszennego zależy od wielu czynników i nie zawsze da się określić jako pozytywny, szczególnie w wysokich zakresach dawek (Podolska, 2014). Najczęściej wzrost parametrów jakościowych ziarna następuje do pewnego progu nawozowego, którego wysokość kształtowana jest konstrukcją genetyczną uprawianej odmiany oraz układem warunków pogodowych w okresie wegetacji (Budzyński i in., 2008; Achremowicz i in., 1995). Wyniki prowadzonych dotychczas badań są na ogół dość spójne i świadczą o tym, że często obserwuje się korzystny wpływ wzrastających dawek azotu na zawartość białka i glutenu w ziarnie oraz wskaźnik sedimentacji (Woźniak i in., 2006; Stankowski i Rutkowska, 2006; Budzyński i in., 2008), co znalazło potwierdzenie również w badaniach własnych. Cacak-Pietrzak i in. (1999) podają, że wzrost dawki azotu z 40 do $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ powodował wzrost zawartości białka w ziarnie pszenicy zwyczajnej o 1,8%, a Mazurek i in.

(1999) wykazali zwiększenie zawartości białka o 2% przy zwiększeniu dawki N z 50 do 90 kg·ha⁻¹. Z kolei Budzyński i in. (2008) uzyskali przy niskiej dawce azotu (60 kg·ha⁻¹) taką samą zawartość białka, jak w ziarnie z obiektu bez azotu, dopiero zastosowanie 120 i 180 kg N·ha⁻¹ spowodowało istotny wzrost zawartości białka. Ponadto Dubis i Borysewicz (2008) wskazują na liniowy wzrost zawartości białka pod wpływem wzrastających dawek azotu do 200 kg·ha⁻¹, natomiast Harasim i Wesołowska-Trojanowska (2010) wykazały brak wpływu dawki azotu od 100 do 150 kg·ha⁻¹ na zawartość białka w ziarnie pszenicy ozimej. Są i takie badania, które wskazują, że wysokie dawki azotu w przypadku niektórych odmian pszenicy zwiększają zawartość glutenu w ziarnie (Mazurek i in., 1999; Małecka, 2003; Woźniak i Gontarz, 2009) i poprawiają jego jakość, natomiast u innych odmian obniżają wartość tego parametru (Nowak i in., 2004). Jak podają Budzyński i in. (2004), wynika to ze współdziałania cech odmianowych pszenicy z warunkami siedliska i stosowaną agrotechniką. Wyniki wieloletnich badań własnych stanowią potwierdzenie tych tez, gdyż zastosowanie dawki 90 kg N·ha⁻¹ pozwoliło uzyskać ziarno pszenicy zwyczajnej o najwyższej koncentracji białka i glutenu, przy czym czynnik odmianowy w największym stopniu modyfikował wartości tych parametrów. Średnia zawartość białka i glutenu w ziarnie odmiany pszenicy zwyczajnej ‘Bogatka’ wynosiła odpowiednio 131,6 i 314,3 g·kg⁻¹ s.m., a ziarno odmiany ‘KWS Dakotana’ charakteryzowało się o 13,7 i 32,0 g·kg⁻¹ s.m. niższą koncentracją tych składników. Z kolei Achremowicz i in. (1995) uważają, że stosowanie azotu w późnych fazach rozwojowych pszenicy zwiększa w białku udział niskocząsteczkowej gliadyny, w wyniku czego pogarszają się właściwości glutenu. Również Budzyński (2012a) uważa, że białka zapasowe, wysokocząsteczkowe glutenowe (gluteniny i gliadyny) tworzą się podczas nalewania ziarna i z tego powodu decydujący wpływ na ich ilość ma azot aplikowany najpóźniej. Dlatego aplikacja azotu, który odgrywa zasadniczą rolę w otrzymaniu surowca o korzystnych parametrach jakościowych, powinna być powiązana zarówno z określeniem dawki, jak i terminem oraz sposobem stosowania (Cacak-Pietrzak i in., 1999; Budzyński i in., 2004; Nowak i in., 2004; Woźniak i Gontarz, 2005; Stankowski i Rutkowska, 2006; Budzyński, 2012a; Podolska, 2014). Azot pobierany jest przez pszenicę w całym okresie wegetacji, ale z różną intensywnością, dlatego zarówno dawkę, jak i termin stosowania tego składnika należy tak dobrać, aby rośliny go w pełni wykorzystały (Cacak-Pietrzak i in., 1999; Mazurek i in., 1999; Podolska i Sułek, 2002; Budzyński i in., 2008; Dubis i Borysewicz, 2008). Ponadto literatura przedmiotu podaje, że dawka azotu powinna być dobierana indywidualnie odpowiednio do odmiany, gdyż każda z nich ma własne optimum nawożenia azotem i jego znajomość jest niezbędna dla uzyskania najwyższego plonu przy zachowaniu pełni cech technologicznych (Dubis i Borysewicz, 2008).

Wartość odżywcza ziarna orkiszu jest dość dobrze udokumentowana zarówno w literaturze krajowej, jak i zagranicznej (Grela, 1996; Campbell, 1997; Sulewska,

2004b; 2004c; 2012; Ruibal-Mendieta i in., 2005; Sulewska i in., 2008b; Krawczyk i in., 2008a; Cacak-Pietrzak i Gondek, 2010; Podolska i in., 2011; Sawicka i Krochmal-Marczak, 2012; Jablonskytė-Raščė i in., 2013; Konvalina i in., 2013; Rachoń i in., 2013; Krochmal-Marczak i Sawicka, 2016; Stankowski i in., 2016a; Sobczyk i in., 2017; Radzikowska, 2020). Ziarno orkisz zawiera duże ilości niezbędnych składników odżywczych, takich jak białko, błonnik, nienasycone kwasy tłuszczowe, węglowodany, witaminy i biopierwiastki, co wyróżnia je korzystnie spośród ziarna innych zbóż (Sulewska i in., 2008b). Ponadto w literaturze podano, że ziarno orkisz poza wyższą niż u pszenicy zwyczajnej zawartością białka połączoną z dobrą jakością glutenu, charakteryzuje się również dużą ilością lepiej przyswajalnych składników odżywczych, takich jak związki mineralne i witaminy (Ranhotra i in., 1996b; Campbell, 1997; Bojňanská i Frančáková, 2002; Majewska i in., 2007; Krawczyk i in., 2008a; Zieliński i in., 2008b; Biel i in., 2010; Sulewska, 2012; Rachoń i in., 2013; Podolska i in., 2015; Bodroža-Solarov i Filipčev, 2020; Polonskiy i in., 2020; Tóth i in., 2022). Zainteresowanie orkiszem wynika także z możliwości wykorzystania tego podgatunku jako cennego źródła genów odpowiedzialnych za wiele korzystnych cech, takich jak wysoka zawartość białka w ziarnie (Krawczyk i in., 2008a).

Ziarno orkisz w porównaniu z ziarnem pszenic chlebowych ma większy udział warstwy aleuronowej, dzięki czemu zawiera więcej białka bogatego w gluten, która to właściwość jest już dobrze rozpoznana (Moudrý, 1999; Bojňanská i Frančáková, 2002; Dvoraček i in., 2002; Biel i in., 2010). Ponadto białko orkisz odznacza się lepszym stopniem strawności, który według literatury wynosi 80,0–85,0% oraz wyższą wartością biologiczną niż białko pszenicy zwyczajnej, z racji większej zawartości aminokwasów egzogennych (Chrenková i in., 2000; Sulewska i in., 2005; Kwiatkowski i in., 2015; Sobczyk i in., 2017). Biel i in. (2010) podkreślają jednak, że pomimo relatywnie wysokiej zawartości aminokwasów w białku ziarna orkisz jest ono niepełnowartościowym białkiem, ponieważ, podobnie jak inne zboża, jest ubogie w lizynę. Z drugiej strony jest ono doskonałym źródłem aminokwasów siarkowych. Z danych literaturowych wynika, że zawartość białka ogółem w ziarnie orkisz mieści się w szerokim zakresie i jest dość mocno zróżnicowana. W doświadczeniach Sulewskiej i in. (2005) zawartość białka w ziarnie 22 badanych odmian i rodów orkisz wahała się w zależności od genotypu i roku badań od 13,3% do 21,5%, co jest spójne z wcześniejszymi badaniami Achremowicza i in. (1999), Bojňanskiej i Frančákovéj (2002) oraz Tótha i in. (2022). Również Stallknecht i in. (1996), badając orkisz, uzyskali wysoką zawartość białka oraz wykazali bardzo dużą zmienność zawartości tego składnika w ziarnie (18,0–40,0%), wynikającą z genotypu i wpływu lokalizacji, a więc agrotechniki oraz warunków środowiskowych. Z kolei Sulewska (2004b) we wcześniejszych badaniach wykazała, że skład chemiczny ziarna orkisz, z wyjątkiem włókna, kształtował się niezależnie od odmian i sposobu nawożenia. Na nieco niższą zawartość

białka w mące sześciu odmian orkiszu wskazują z kolei późniejsze badania Majewskiej i in. (2007). W tych badaniach zawartość białka w mące pozyskanej z orkiszu wahała się w granicach 2,4–8,6% s.m., przy czym i tak była ona wyższa od zawartości białka w mące otrzymanej z ziarna pszenicy zwyczajnej. Wielu innych autorów również wykazuje wyższą zawartość białka ogółem w orkiszu w porównaniu z pszenicą zwyczajną (Bonafaccia i in., 2000; Chrenková i in., 2000; Gálová i Knoblochová, 2001; Skrabanja i in., 2001; Sulewska i in., 2008b; Zieliński i in., 2008b; Rachoń i Szumiło, 2009; Podolska i in., 2011; Rachoń i in., 2013; Biel i in., 2016c; Rodríguez-Quijano i in., 2019; Radzikowska, 2020; Tóth i in., 2022; Żuk-Gołaszewska i in., 2022; Wiwart i in., 2023). Zależności te znalazły potwierdzenie w wynikach badań własnych, które również wskazują na niższą koncentrację białka w ziarnie pszenicy zwyczajnej w porównaniu z ziarnem orkiszu. Różnica w koncentracji tego składnika w ziarnie u odmian z serii I wynosiła 6,8–24,5%, a z serii II 3,4–24,2%. W literaturze przedmiotu można spotkać również doniesienia, w których prezentowana jest odwrotna tendencja. Dowodem na to są badania prowadzone przez Grełę (1996), Achremowicza i in. (1999), Cacak-Pietrzak i in. (2013), w których ziarno orkiszu zawierało mniej białka ogółem w porównaniu do ziarna pszenicy zwyczajnej. Także późniejsze badania Sobczyka i in. (2017) dowodzą, że rody hodowlane orkiszu charakteryzowały się ziarnem o mniejszej zawartości białka w porównaniu do ziarna pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Tonacja’. Dodatkowo Bojňanská i Frančáková (2002) zwracają uwagę na wpływ warunków pogodowych, które modyfikowały zawartość białka w ziarnie orkiszu. Autorki najwyższą zawartość białka uzyskały w mące otrzymanej z ziarna orkiszu zebranego w ekstremalnie suchym roku. Również badania Dąbkowskiej (2009) wskazują na zmienność zawartości białka ogółem w mące z ziarna ozimych odmian orkiszu pod wpływem warunków pogodowych. Autorka uważa, że zwiększeniu koncentracji białka w mące sprzyjał gorący i suchy lipiec. Z kolei Marconi i in. (1999) podkreślają, że zawartość białka jest ściśle zależna od miejsca uprawy i stosowanych metod agrotechnicznych. Istnieją także doniesienia, według których to genotyp jest tym czynnikiem, który w największym stopniu różnicuje zawartość białka w ziarnie orkiszu (Gálová i Knoblochová, 2001; Makowska i in., 2008b; Sulewska i in., 2008b; Biel i in., 2010; 2016c; Mikos, 2012; Podolska i in., 2015; Krochmal-Marczak i Sawicka, 2016; Radzikowska, 2020; Tóth i in., 2022), co potwierdzają także badania własne. Zawartość białka w ziarnie odmian orkiszu z serii I mieściła się w zakresie 140,6–163,8 g·kg⁻¹ s.m., a najwyższą wartość odnotowano dla odmiany ‘Schwabenkorn’. Oznaczone zawartości białka w ziarnie orkiszu były zbliżone do podawanych przez Bonafaccia i in. (2000), Lacko-Bartošová i Redlovą (2007), Biel i in. (2016c), Knapowskiego i in. (2016a), Krochmal-Marczak i Sawicką (2016), Andruszczak (2017) oraz Wiwarta i in. (2023). Również Lacko-Bartošovej i Redlovej (2007) najwyższą zawartość białka odnotowały w ziarnie odmiany ‘Schwabenkorn’ (18,6%), co potwierdzają

także badania Sulewskiej i in. (2008), Krawczyka i in. (2008a), Rachonia i in. (2013) oraz Krochmal-Marczak i Sawickiej (2016). Z kolei oznaczone zawartości białka w ziarnie odmian orkiszu z drugiej serii badań mieściły się w zakresie 121,9–146,4 g·kg⁻¹ s.m. i były zbliżone do podawanych przez Achremowicza i in. (1999), Krawczyka i in. (2008a), Sulewską i in. (2008), Szumiło i in. (2009), Cacak-Pietrzak i in. (2013), Knapowskiego i in. (2016b), Pospisil i in. (2016) oraz Sobczyka i in. (2017). Dość duże różnice w koncentracji białka w ziarnie między odmianami orkiszu stwierdzono w badaniach własnych, które mogły wynikać nie tylko z modyfikującego działania warunków środowiskowych, ale także z właściwości odmianowych wynikających z obecności genów odpowiedzialnych za większe podobieństwo tych odmian do pszenicy zwyczajnej. O istnieniu takiej zależności świadczyć mogą badania Krawczyka i in. (2008a) oraz Sobczyka i in. (2017), w których wskazuje się, że ziarno rodów hodowlanych otrzymanych w wyniku skrzyżowania orkiszu z pszenicą zwyczajną charakteryzuje niższa zawartość białka, ze względu na większe podobieństwo do pszenicy zwyczajnej. Dostępne w pracach naukowych wyniki badań dość jednoznacznie wskazują, że spośród czynników agrotechnicznych, to nawożenie azotem w największym stopniu decyduje o wartości technologicznej ziarna zbóż. Plonotwórcze działanie azotu związane jest z intensywnością syntezy chlorofilu, procesów fotosyntezy i zwiększeniem produkcji białka, co bezpośrednio wpływa na pobieranie azotu (Stankowski i in., 2016a). Siebeneiher (1997) podkreśla, że orkisz w porównaniu z pszenicą zwyczajną lepiej wykorzystuje wszystkie składniki mineralne, co przekłada się na mniejsze zapotrzebowanie na azot. Zdaniem Sulewskiej (2012) możliwe jest to dzięki budowie i właściwościom systemu korzeniowego, który podobnie jak u innych traw jest typu wiązkowego, jednak wykazuje on większą siłę ssącą przy większej objętości i mniejszej masie w porównaniu z systemem korzeniowym pszenicy zwyczajnej. Z kolei Knapowski i in. (2016b) podkreślają, że pomimo niskich wymagań orkisz w zakresie nawożenia azotem charakteryzuje go dość duża wrażliwość na deficyt tego pierwiastka w środowisku glebowym. Badań nad wpływem dawki azotu na wartość technologiczną pszenicy orkisz jest niewiele, przede wszystkim dlatego, że uprawa tego podgatunku skoncentrowana jest głównie w gospodarstwach ekologicznych. Ponadto w piśmiennictwie trudno znaleźć jednoznaczne wyniki badań określające wpływ nawożenia azotem na zawartość składników mineralnych w ziarnie orkisz. Badania Podolskiej i in. (2015) wskazują na stymulujący wpływ nawożenia azotem na zawartość białka w ziarnie orkisz odmiany ‘Rokosz’. Wzrost dawki do 120 kg N·ha⁻¹ spowodował wzrost zawartości białka do poziomu 13,9%. Biel i in. (2010), badając wpływ takiej samej ilości azotu na skład chemiczny ziarna dwóch niemieckich odmian orkisz, uzyskali podobne wyniki, wskazując, że pod wpływem zwiększonego nawożenia azotem nastąpił wzrost zawartości białka ogólnego w ziarnie z 133 do 179 g·kg⁻¹ s.m. Wzrost zawartości białka wraz ze wzrostem dawki azotu

w swoich badaniach uzyskali także Rachoń i in. (2013). Autorzy wykazali, że zwiększenie nawożenia azotem z 70 do 140 kg·ha⁻¹ powodowało u pszenicy orkisz wzrost zawartości białka o 1,8 pkt.%. Ponadto badania te dowodzą, że aby uzyskać surowiec wysokiej jakości, konieczne jest zastosowanie technologii bardziej intensywnych nie tylko w uprawie pszenicy zwyczajnej, ale również innych podgatunków pszenicy uznawanych za tzw. ekstensywne, takich jak orkisz. Również w badaniach Knapowskiego i in. (2016a) wzrost dawki azotu do 50 kg·ha⁻¹ prowadził do zwiększenia koncentracji białka w ziarnie orkiszu, odpowiednio o 3,7% i 12,6% w porównaniu z obiektami, gdzie zastosowano 25 kg N·ha⁻¹ oraz 0 kg N·ha⁻¹. Inne badania Knapowskiego i in. (2016b) z różnymi dawkami azotu (0–100 kg·ha⁻¹) także potwierdzają, że wraz ze wzrostem dawki wzrasta zawartość białka w ziarnie orkiszu odmiany ‘Rokosz’, a średni wzrost tego parametru wyniósł 23,5 g·kg⁻¹ s.m. Ponadto autorzy zaobserwowali istotną dodatnią korelację ($R = 0,93^{***}$) tej cechy z nawożeniem azotem. Z kolei Nowak i in. (2015) dowiedli, że zwiększenie nawożenia azotem do 80 kg·ha⁻¹, uznawanego za poziom umożliwiający uzyskanie satysfakcjonującego plonu, nie obniża wartości biologicznej białka orkiszu i stabilizuje skład aminokwasowy. Ważnym aspektem w uprawie orkiszu jest bowiem uzyskanie wysokiego plonu ziarna, przy zachowaniu jak największej zawartości białka wysokiej jakości. W literaturze przedmiotu dostępne są i takie doniesienia (Pospíšil i in., 2016), w których nie udowodniono istotnego wpływu nawożenia azotem na zawartość białka w ziarnie różnych odmian ozimych orkiszu (‘Nirvana’ i ‘Ostro’). Z kolei w badaniach własnych nawożenie w zakresie badanych dawek (0–90 kg N·ha⁻¹) zwiększało zawartość białka w ziarnie orkiszu dla odmian z serii pierwszej od 16,6 do 23,8 g·kg⁻¹ s.m., a dla odmian z serii drugiej od 18,0 do 27,1 g·kg⁻¹ s.m., przy czym najwyższą koncentrację białka stwierdzono po zastosowaniu dawki 90 kg N·ha⁻¹. Również prezentowane w pracy wyniki dotyczące wpływu nawożenia azotem na plon białka badanych odmian orkiszu wskazują na stymulujący wpływ tego czynnika. Dla wszystkich badanych odmian orkiszu odnotowano wzrost plonu białka wraz ze wzrostem dawki do 90 kg N·ha⁻¹.

Ważnym wskaźnikiem związanym z oceną jakości wypieku są ilość i jakość glutenu, który decyduje o elastyczności ciasta oraz jest odpowiedzialny za gębczą strukturę i pulchność pieczywa (Rachoń i in., 2011; Gawęda i in., 2019). Rachoń i Szumiło (2009) podają, że gluten dobrej jakości powinien być mocny, elastyczny i plastyczny, a jego zawartość w ziarnie powinna mieścić się w przedziale 30–40%. Autorzy stwierdzają również, że ziarno pszenicy przeznaczone do przetworzenia powinno zawierać co najmniej 25% glutenu, przy czym zaznaczają, że pomiędzy poszczególnymi gatunkami i odmianami mogą wystąpić znaczne różnice w wartościach tej cechy. Bojňanská i Frančáková (2002) oraz Marconi i in. (2002) potwierdzają wcześniejsze doniesienia, że mąka orkiszowa zawiera więcej białka ogółem, co przekłada się na uzyskanie większej wydajności glutenu. Jednak

jego właściwości reologiczne sprawiają, że mąki orkiszowe wykazują mniejszą przydatność do wypieku pieczywa. Autorzy podają, że gluten orkiszowy charakteryzuje się dużą rozpląwalnością, a ciasto nadmiernie rozciągliwą strukturą, niezdolną do zatrzymania wytwarzanego podczas fermentacji dwutlenku węgla, co prowadzi do gorszego wyrastania chleba. Zdaniem Abdel-Aala i in. (1997) oraz Schobera i in. (2002) właściwości reologiczne ciasta w dużej mierze zależą od struktury glutenu, który powstaje z połączenia gliadyny i gluteniny w odpowiednim stosunku. Ponadto ciasto z mąki orkiszowej wykazuje mniejszą stałość i elastyczność oraz większą lepkość w porównaniu z ciastem z mąki otrzymanej z pszenicy zwyczajnej. Według wielu autorów (Abdel-Aal i in., 1997; Marconi i in., 1999; Sulewska i in., 2005; Schober i in., 2006) gluten zawarty w ziarnie orkiszu charakteryzuje również wysoka wrażliwość na zbyt intensywną obróbkę mechaniczną w trakcie formowania ciasta. Stąd też ważną cechą glutenu jest w tym przypadku jego rozpląwalność. Z przeprowadzonych dotychczas badań wynika, że ziarno orkiszu i uzyskana z niego mąka charakteryzuje się wyższą wydajnością glutenu mokrego w porównaniu do mąki otrzymanej z ziarna pszenicy zwyczajnych. Spotykana w literaturze wydajność glutenu mokrego dla mąki z ziarna orkiszu mieści się w granicach od 11,2% do nawet 57,1%, podczas gdy dla mąki z ziarna pszenicy zwyczajnej kształtuje się na poziomie 27,4–36,0% (Chrenková i in., 2000; Gálová i Knoblochová, 2001; Skrabanja i in., 2001; Bojňanská i Frančáková, 2002; Schober i in., 2002; 2006; Lacko-Bartošová i Rédlová, 2007; Majewska i in., 2007; Krawczyk i in., 2008a; Zieliński i in., 2008b; Rachoń i in., 2013; Podolska i in., 2015; Sobczyk i in., 2017; Gawęda i in., 2019; Belcar i in., 2020; Podolska i in., 2020; Rachoń i in., 2020). W badaniach własnych zawartość glutenu w ziarnie badanych odmian orkiszu oscylowała na relatywnie niskim poziomie w porównaniu z wynikami innych autorów (Achremowicz i in., 1999; Bojňanská i Frančáková, 2002; Sulewska i in., 2005) i średnio wynosiła od 274,1 g·kg⁻¹ s.m. (odmiana ‘Badenkrone’) do 404,1 g·kg⁻¹ s.m. (odmiana ‘Schwabenkorn’). Bardzo zbliżone zawartości glutenu do wyników własnych wykazały natomiast Lacko-Bartošová i Rédlová (2007) w warunkach uprawy ekologicznej orkiszu. Ponadto analogicznie jak w badaniach własnych, autorki uzyskały istotnie najwyższą zawartość glutenu w ziarnie odmiany ‘Schwabenkorn’, co potwierdzają również badania Bojňanskiej i Frančákovéj (2002) oraz późniejsze Radzikowskiej (2020). Z kolei Sobczyk i in. (2017) nie potwierdzili wyższej zawartości glutenu w ziarnie odmiany ‘Schwabenkorn’ w porównaniu z innymi odmianami i rodzajami orkiszu biorącymi udział w badaniach. Istnieją także doniesienia, według których stare odmiany orkiszu charakteryzują się większą wydajnością glutenu w porównaniu z nowo wyhodowanymi rodzajami tego zboża (Sobczyk i in., 2017), co jest spójne z wynikami badań własnych. Analiza piśmiennictwa wskazuje również na pozytywne działanie azotu w kształtowaniu zawartości glutenu w ziarnie orkiszu. Podolska i in. (2015) wykazali wzrost wydajności glutenu mokrego

w ziarnie odmiany ‘Rokosz’ w stosunku do obiektu kontrolnego, po zastosowaniu azotu w dawkach 40, 80 i 120 kg N·ha⁻¹, a wyniósł on odpowiednio 2,0 pkt.%, 5,9 pkt.% oraz 8,1 pkt.%. Również Bepirszcz i Budzyński (2011a) oraz Rachoń i in. (2013) stwierdzili, że nawożenie azotem znacząco poprawiało wydajność glutenu mokrego, nawet o 5,3 pkt.%. Z kolei Knapowski i in. (2016a) analizując nawożenie azotem w zakresie dawek 0–100 kg N·ha⁻¹, odnotowali jeszcze większy wzrost zawartości glutenu w ziarnie odmiany ‘Rokosz’, który w zależności od lat badań wyniósł 5,0–10,2 pkt.%. Zależności te potwierdzają wyniki badań własnych, przy czym wzrost zawartości glutenu pod wpływem zastosowanych dawek azotu w ziarnie odmian orkisz z serii I wyniósł 59,3–79,7 g·kg⁻¹ s.m., a u odmian z serii II 60,2–89,0 g·kg⁻¹ s.m. Na różnicujący wpływ nawożenia azotem na zawartość glutenu mokrego w orkisz wskazuje także badania Schobera i in. (2002), przy czym autorzy zaznaczają, że wartości tego parametru mogą się zmieniać także pod wpływem odmiany i warunków środowiskowych w trakcie wegetacji. Także badania Rachonia i in. (2020) wskazują, że bardziej korzystne dla uzyskania surowca o większej zawartości glutenu są lata o nieco niższej sumie opadów i równomiernym ich rozkładzie. W cytowanych badaniach udowodniono również, że wraz ze wzrostem intensywności technologii produkcji rosła zawartość glutenu (z 36,5 do 39,9%) w ziarnie orkisz, niezależnie od porównywanych odmian, gatunków i lat badań, przy czym pogorszeniu ulegała jakość pieczywa. Podobne zależności uzyskali Podolska i Wyzińska (2013) dla pszenicy twardej, Sułek (2014) dla pszenicy zwyczajnej, Woźniak (2006) dla pszenicy zwyczajnej i twardej oraz Mikos (2012) dla orkisz.

Kolejnym wyróżnikiem świadczącym o jakości ziarna jest wskaźnik sedymentacji Zeleny’ego, który pozwala na ocenę glutenu zawartego w mące pod względem ilościowo-jakościowym. Im wyższa wartość tego wskaźnika, tym większa zawartość glutenu w mące, a konkretnie wysokocząsteczkowej glutenu, mającej dobrą zdolność pęcznienia i zapewniającej dobrą wartość wypiekową. W opinii Biel i in. (2016c) wskaźniki sedymentacji Zeleny’ego dla mąki orkiszowej zwykle wskazują, że mąka ta pomimo wyższej zawartości białka i lepszej jakości glutenu, w porównaniu z mąką pszenną, charakteryzuje się gorszą wartością wypiekową. Dostępna literatura (Bojňanská i Frančáková, 2002; Lacko-Bartošová i Rédlová, 2007; Majewska i in., 2007; Krawczyk i in., 2008a; Dąbkowska, 2009; Lacko-Bartošová i in., 2010; Rachoń i in., 2011; Mikos, 2012; Mikos i Podolska, 2012; Biel i in., 2016c; Stankowski i in., 2016a; Sobczyk i in., 2017; Andruszczak, 2018; Gawęda i in., 2019; Radzikowska, 2020; Tóth i in., 2022) wskazuje na dużą zmienność odmian pod względem tej cechy, ale również wyższe wartości wskaźnika sedymentacji dla pszenicy zwyczajnej w porównaniu z orkiszem. W badaniach Majewskiej i in. (2007) wskaźnik sedymentacji orkisz zawierał się w bardzo szerokim przedziale wartości i wynosił od 12,0 cm³ dla odmiany ‘Ceralio’ do 27,0 cm³ dla odmian ‘Schwabenkorn’ i ‘Schwabenspelz’.

Ponadto w opinii autorów ziarno orkisz stanowi dobry surowiec do produkcji mąki chlebowej, ale jego parametry jakościowe są ściśle zależne od odmiany. Istotnie wyższe wartości wskaźnika sedymentacji SDS dla mąki orkiszowej, który zawierał się w przedziale 44,4–57,8 cm³, uzyskała Mikos (2012). Również w badaniach Sobczyka i in. (2017) wskaźnik sedymentacji Zeleny'ego kształtował się na dość wysokim poziomie 23,0–44,0 cm³, a zakres wartości był podobny do tych, które wykazali Krawczyk i in. (2008a) oraz Podolska i in. (2015). Z kolei wartości wskaźnika sedymentacji Zeleny'ego w badaniach własnych były zbliżone do tych, które otrzymali Rachoń i in. (2011) oraz Radzikowska (2020) i dla analizowanych odmian orkisz wyniosły one 20,6–33,7 ml. Istotnie największą wartością tego wskaźnika w badaniach własnych charakteryzowało się ziarno odmiany 'Schwabenspelz', co jest spójne z wcześniejszymi badaniami Majewskiej i in. (2007). Także późniejsze badania Sobczyka i in. (2017) potwierdzają, że starsze odmiany orkisz osiągają wyższe wartości wskaźnika sedymentacji w porównaniu z nowymi rodami i odmianami. Z kolei dużo niższe wartości wskaźnika sedymentacji SDS dla odmiany 'Rokosz' (16,5 ml) i 'Schwabenspelz' (16,4 ml) uzyskali Gawęda i in. (2019), co jest spójne z badaniami Biel i in. (2016c), gdzie również stwierdzono niskie wartości wskaźnika SDS, mieszczące się w zakresie 15,9–22,8 cm³. Jeszcze niższy przedział wartości wskaźnika SDS (12,7–17,5 cm³) dla sześciu odmian/rodów orkisz stwierdzono w badaniach Stankowskiego i in. (2016a). Ponadto Biel i in. (2016c) wskazują, że tylko dwie odmiany/rody orkisz ('STH 8' oraz 'Oberkulmer Rotkorn') spośród sześciu badanych charakteryzował niższy współczynnik sedymentacji w porównaniu z pszenicą zwyczajną. Zależności te są częściowo zbieżne z wynikami badań własnych, w których tylko u odmiany 'Badengold' zauważono tendencję do niższych wartości wskaźnika SDS w porównaniu z pszenicą zwyczajną 'Bogatka'. Podobne wyniki uzyskał również Krawczyk i in. (2008b). Natomiast według Mikos i Podolskiej (2012) oraz Podolskiej i in. (2020) orkisz w porównaniu z pszenicą zwyczajną charakteryzuje niższy współczynnik SDS. Z kolei Bojňanská i Frančáková (2002) uważają, że o wysokości wskaźnika sedymentacji Zeleny'ego w większym stopniu decyduje układ warunków pogodowych w danym roku badań oraz agrotechnika niż czynnik genetyczny. Tezę tę potwierdzają także badania Mikos (2012), wskazując, że wskaźnik sedymentacji SDS oznaczony w mące z pełnego przemiału był zmienny w latach i dla orkisz ozimego 'STH 4809' mieścił się w zakresie 52,8–63,7 cm³. Również Andruszczak (2018) w badaniach dotyczących orkisz jarego podkreśla istotny wpływ warunków atmosferycznych na wartość wskaźnika sedymentacji. Autorka podaje, że najwyższe wartości tego parametru uzyskała w sezonie wegetacyjnym, który był stosunkowo suchy i gorący. W piśmiennictwie dominuje również teza o zwiększaniu się wskaźnika sedymentacji pod wpływem wzrastających dawek azotu. Doniesienie Bepirszcza i Budzyńskiego (2011a) wskazuje na zróżnicowanie wartości tej cechy dla orkisz od 63,4 cm³ (N₀) do 66,4 cm³ (N₁₀₂).

Każdy wzrost dawki azotu powodował wzrost wskaźnika sedymentacji u odmiany ‘Rokosz’, również w badaniach Podolskiej i in. (2015) i wyniósł w odniesieniu do kontroli odpowiednio 9% (N_{40}), 28% (N_{80}) oraz 37% (N_{120}), przy czym różnic tych nie potwierdzono statystycznie. O podobnym, jednak udowodnionym statystycznie wpływie nawożenia azotem na wskaźnik sedymentacji u tej samej odmiany orkiszu donoszą również Knapowski i in. (2016b). Wartości wskaźnika w zakresie badanych dawek azotu ($0\text{--}100\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) w poszczególnych latach badań wzrosły o 22,0% i 37,0% i charakteryzował je wysoki współczynnik korelacji ($R = 0,97^{***}$). Wysokie dodatnie współczynniki korelacji, opisujące związek pomiędzy wskaźnikiem sedymentacji Zeleny’ego a zawartością białka w ziarnie jedenastu odmian orkiszu, uzyskała również Radzikowska (2020). Dodatni wpływ nawożenia azotem na wskaźnik SDS ziarna orkiszu potwierdzają także badania przeprowadzone przez Mikos (2012) i Andruszczak (2018), a w odniesieniu do pszenicy zwyczajnej Podolska i in. (2005), Budzyński i in. (2008), Dubis i Borysewicz (2008) i Podolska (2014). Wyniki badań własnych potwierdzają badania wyżej cytowanych autorów i wskazują, że zarówno dla orkiszu, jak i pszenicy zwyczajnej najwyższe wartości wskaźnika SDS stwierdzono po zastosowaniu dawki $90\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. W badaniach Budzyńskiego i in. (2008) najwyższy poziom wskaźnika sedymentacji w ziarnie pszenicy zwyczajnej uzyskano, stosując dawkę $180\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, w badaniach Dubisa i Borysewicza (2008) $150\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, a u Podolskiej i in. (2005) $120\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Ponadto ostatni z cytowanych autorów wskazują, że wzrost dawki azotu o $10\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ może zwiększyć wartość wskaźnika SDS o $0,73\text{ cm}^3$.

Tłuszcze występujące w ziarnie zbóż to duża grupa różnorodnych związków chemicznych, które są rozpuszczalne w rozpuszczalnikach organicznych. Na przestrzeni lat podejmowano wiele badań nad składem chemicznym ziarna zbóż, w tym i orkiszu, określając w nich zawartość tłuszczu ogółem oraz zawartość, skład i proporcje kwasów tłuszczowych. Lipidy są ilościowo niewielkim, ale bardzo istotnym składnikiem ziarna pszenicy, ponieważ odgrywają istotną rolę zarówno pod względem technologicznym, jak i żywieniowym. Jak wynika z danych literaturowych, średnia zawartość tłuszczu w suchej masie ziarna zbóż wynosi ok. 3,6% (Dąbkowska, 2009). Badania dotyczące zawartości tłuszczu ogółem w ziarnie i w uzyskanej z niego mące wykazały, że orkisz jest bogatszym źródłem tłuszczu w porównaniu z pszenicą zwyczajną, co potwierdzają również badania własne. Wartość tego składnika w ziarnie orkiszu kształtuje się na poziomie 1,4–2,6%, podczas gdy w ziarnie pszenicy zwyczajnej jest go mniej i mieści się w zakresie 1,43–1,9% (Grela, 1996; Marconi i in., 1999; Ruibal-Mendieta i in., 2005; Čertík i in., 2006; Lacko-Bartošová i Rádlová, 2007; Rachoń i Szumiło, 2009; Biel i in., 2016b; Rachoń i in., 2018). Abdel-Aal i in. (1995) oraz Marconi i in. (1999) wyższą zawartość tłuszczu w orkiszu tłumaczą większym udziałem zarodka w ziarnie, który zawiera sporo wolnych lipidów. Ponadto Grela (1996)

uważa, że tłuszcz zawarty w ziarnie orkiszu charakteryzuje się lepszą jakością ze względu na wyższą zawartość jednonienasyconych kwasów tłuszczowych oraz wyższym udziałem rozpuszczalnych w tłuszczach witamin. Według Sulewskiej i in. (2008) dominującym kwasem tłuszczowym w ziarnie orkiszu jest cenny dla zdrowia nienasycony kwas linolowy, podczas gdy kwas linolenowy występuje w niewielkiej ilości (Čertík i in., 2006). Andruszczak (2018), badając dwie linie orkiszu jarego, wykazała, że ziarno zawierało średnio 1,58–1,95% tłuszczu. Natomiast Biel i in. (2016b) dla dwóch odmian i trzech rodów orkiszu ozimego podają, że średnia zawartość tłuszczu w ziarnie mieści się w przedziale od 16,6–19,3 g·kg⁻¹ s.m. Wyniki badań własnych również wskazują, że zawartość tłuszczu w ziarnie badanych odmian orkiszu nie odbiegała od wartości spotykanych w literaturze przedmiotu, a najlepsza pod względem tej cechy okazała się odmiana ‘Badenkrone’ (19,6 g·kg⁻¹ s.m.). Rachoń i Szumiło (2009) donoszą o zawartości tłuszczu w ziarnie dwóch linii orkiszu wynoszącej 2,0% oraz 2,1%, czyli niewiele wyższej od wartości uzyskanych w badaniach własnych. Podobną zawartość tłuszczu w ziarnie ośmiu ozimych odmian orkiszu uzyskała również Lacko-Bartošová (2010). Z kolei dużo wyższą zawartość tłuszczu w ziarnie orkiszu, w porównaniu z wynikami badań własnych oraz Andruszczak (2018), wykazali Ruibal-Mendieta i in. (2005) oraz Lacko-Bartošová i Otepka (2001). Badacze stwierdzili, że zawartość tłuszczu w ziarnie orkiszu wynosiła odpowiednio 2,57–3,08 g·100 g⁻¹ oraz 2,53–3,04%.

Jak podaje Lacko-Bartošová (2010), wyższa temperatura powietrza oraz umiarkowane opady podczas kwitnienia i nalewania ziarna sprzyjają akumulacji tłuszczu w ziarnie orkiszu. Również Andruszczak (2018) zwraca uwagę, że zmienia się ona pod wpływem warunków atmosferycznych panujących w danym roku badań. Autorka podaje, że gromadzeniu tłuszczu w ziarnie orkiszu jarego sprzyja wyższa, w porównaniu z wieloleciem, temperatura powietrza i suma opadów. W cytowanych badaniach nie stwierdzono natomiast stymulującego wpływu nawożenia azotem na zawartość tłuszczu w ziarnie jarych odmian orkiszu. Wzrost dawki azotu z 50 do 80 kg·ha⁻¹ spowodował spadek zawartości tłuszczu w ziarnie o 0,15 pkt.%. Również Biel i in. (2016b) w badaniach dotyczących ozimych odmian orkiszu wykazali, że wzrost dawki azotu do 150 kg·ha⁻¹ obniżył zawartość tłuszczu w ziarnie o 2,8%. Odmienne zależności stwierdzono w badaniach własnych, w których odmiany orkiszu ‘Zollernspelz’ i ‘Badenstern’ oraz pszenica zwyczajna (‘KWS Dakotana’) zareagowały wzrostem zawartości tłuszczu w ziarnie pod wpływem wzrastających dawek azotu. Analiza wyników badań wskazała również, że największą zawartość tłuszczu w ziarnie orkiszu uzyskano w obiekcie z dawką azotu na poziomie 60 kg·ha⁻¹, natomiast dla pszenicy zwyczajnej pomiędzy 30 a 60 kg N·ha⁻¹. Podobne efekty badań uzyskali Biel i in. (2010) wykazując wzrost zawartości tłuszczu w ziarnie orkiszu pod wpływem zwiększonego nawożenia azotem z 21,63 do 23,10 g·kg⁻¹ s.m.

Wielu autorów zwraca uwagę, że ziarno orkiszu jest bogatym źródłem błonnika pokarmowego i zawiera go więcej niż pszenica zwyczajna (Grela, 1996; Sulewska i in., 2008b; Kwiatkowski i in., 2015; Sobczyk i in., 2017; Rachoń i in., 2018). Marconi i in. (1999), badając ilość włókna całkowitego w ziarnie różnych odmian orkiszu wykazali, że jego poziom waha się w zakresie 10,5–14,9% w suchej masie. Jednak z punktu widzenia wartości odżywczej bardzo ważna jest różnica pomiędzy włóknem rozpuszczalnym i nierozpuszczalnym, ponieważ każda z jego form wywiera określony wpływ na procesy fizjologiczne i zapewnia określone korzyści jako jeden z elementów diety (Jenkins i in., 1995). Zdaniem Marconiego i in. (1999) zawartość włókna rozpuszczalnego w orkiszu waha się w zależności od odmiany o 1,2–2,5% s.m., co stanowi odpowiednio 8,7–21,1% zawartości włókna całkowitego. Podobny poziom zawartości włókna w ziarnie orkiszu uzyskali również Biel i in. (2016b) oraz Rachoń i in. (2018). W innych badaniach stwierdzono, że średnia zawartość włókna surowego w ziarnie orkiszu może być dużo wyższa i wynosić nawet 33,4 g·kg⁻¹ s.m. (Biel i in., 2016a; Sobczyk i in., 2017). Z kolei wyniki badań własnych wskazują, że zawartość włókna w ziarnie badanych odmian orkiszu była o 20,0% niższa od wartości, które podaje Biel i in. (2016a), i zbliżona do wartości jakie uzyskał Grela (1996). W badaniach własnych wykazano również, że czynnik odmianowy w niewielkim stopniu modyfikował zawartość włókna w ziarnie porównywanych podgatunków pszenicy, co potwierdzają także badania Biel i in. (2016b) oraz Sobczyka i in. (2017). Z kolei Biel i in. (2016a) dowiedli, że czynnik genetyczny oraz sposób zwalczania chwastów modyfikowały istotnie zawartość włókna surowego w ziarnie orkiszu, a wyższą koncentrację błonnika stwierdzono w ziarnie roślin odchwaszczanych mechanicznie. Starsze doniesienia (Sulewska i in., 2008b) wskazują również, że koncentracja błonnika pokarmowego w ziarnie orkiszu nie zmieniała się pod wpływem terminu i ilości wysiewu. Sobczyk i in. (2017) wykazali natomiast, że zawartość włókna w ziarnie orkiszu zmniejsza się wraz ze wzrostem MTZ, o czym świadczy wysoki współczynnik korelacji ($r = -0,73$). Rachoń i in. (2018) zaobserwowali, że wraz ze wzrostem intensywności uprawy zawartość włókna surowego w ziarnie orkiszu zmalała 0,33%, w przeciwieństwie do pszenicy zwyczajnej, dla której odnotowano znaczny wzrost zawartości tego składnika wynoszący 0,19%. Inni badacze (Biel i in., 2010; 2016b) donoszą natomiast, że zawartość włókna surowego w ziarnie orkiszu nie ulegała istotnej zmianie pod wpływem wzrastających dawek azotu, przy czym w badaniach Biel i in. (2016b) wzrastające dawki nawożenia azotem obniżały w ziarnie orkiszu zawartość frakcji neutralnego włókna detergentowego (NDF). Największe obniżenie wartości tej cechy (o prawie 10,0%) miało miejsce po zastosowaniu azotu w dawce powyżej 100 kg·ha⁻¹. Wyniki badań własnych wskazują z kolei na dużą zależność zawartości włókna w ziarnie od współdziałania nawożenia azotem z genotypem. Dla pszenicy zwyczajnej ‘KWS Dakotana’ oraz orkiszu odmiany ‘Badenkrone’ wzrost dawki azotu

prowadził do zwiększenia tego parametru, natomiast u odmian ‘Zollernspelz’ oraz ‘Badenstern’ najkorzystniej na zawartość włókna w ziarnie wpływało nawożenie azotem w zakresie dawek 30–60 kg·ha⁻¹.

Wartość pokarmową orkiszu uzupełniają składniki mineralne. Według Wiwarta i in. (2023) wysoka zawartość popiołu w ziarnie wpływa na zmniejszenie wydajności procesu mielenia oraz uzysku mąki. Jednakże z punktu widzenia żywieniowego oznacza to wysoką zawartość minerałów, co świadczy o dobrej jakości ziarna. W badaniach Krochmal-Marczak i Sawickiej (2016) zawartość popiołu surowego w ziarnie orkiszu znajdowała się w przedziale 15,1–19,5 g·kg⁻¹ s.m., przy współczynniku zmienności wynoszącym 9,7%. Na podobne ilości popiołu w ziarnie orkiszu, a niekiedy nawet wyższe, osiągające poziom 4,61%, wskazują również badania prowadzone przez Sulewską i in. (2008), Lacko-Bartošová (2010), Biel i in. (2016a, 2016b), Sobczyk i in. (2017), Rachonia i in. (2015, 2018) oraz Żuk-Gołaszewską i in. (2022). Dużo niższą zawartość popiołu w ziarnie badanych podgatunków pszenic, mieszczącą się w przedziale 13,4–16,1 g·kg⁻¹ s.m., stwierdzono w badaniach własnych. Na niskie zawartości popiołu w ziarnie orkiszu wskazują także badania prowadzone przez Krawczyka i in. (2008b), Belcara i in. (2020) oraz Wiwarta i in. (2023). Zieliński i in. (2008a) wysoką zawartość popiołu w ziarnie orkiszu – wyższą niż w pszenicy zwyczajnej – interpretują jako efekt wysokiej koncentracji mikro- i makropierwiastków, szczególnie fosforu, cynku, miedzi i selenu. Biel i in. (2016a) uzasadniają to natomiast mniejszym rozmiarem ziarna orkiszu i większym udziałem okrywy owocowo-nasiennej w stosunku do bielma, co potwierdzają również Sobczyk i in. (2017). Autorzy wykazali ujemną korelację między zawartością popiołu w ziarnie a masą tysiąca ziaren ($r = -0,63$). Wielu innych autorów wskazuje również na wyższą zawartość popiołu w ziarnie orkiszu w porównaniu z pszenicą zwyczajną (Abdel-Aal i in., 1995; Grela, 1996; Lacko-Bartošová i Otepka, 2001; Cacak-Pietrzak i in., 1999; 2013; Marconi i in., 2002; Zieliński i in., 2008a; Cacak-Pietrzak i Gondek, 2010; Sobczyk i in., 2017; Rachoń i in., 2015; 2018; Żuk-Gołaszewska i in., 2022; Wiwart i in., 2023). Badania własne nie potwierdzają tej zależności, gdyż zawartość popiołu w ziarnie pszenicy zwyczajnej ‘KWS Dakotana’ była na podobnym poziomie jak u orkiszu odmiany ‘Badenkrone’ oraz ‘Badenstern’. Podobne rezultaty uzyskali również Majewska i in. (2007), Krawczyk i in. (2008b), Cacak-Pietrzak i Gondek (2010) oraz Belcar i in. (2020). Z kolei Bojňanská i Frančáková (2002) oraz Rachoń i in. (2015) wskazują istotny wpływ na tę cechę czynnika genetycznego, co jest spójne z wynikami badań własnych. Tezę tę potwierdzają również badania Cacak-Pietrzak i in. (2013), w których autorzy podają, że zawartość popiołu niewiele zmienia się pod wpływem czynników agrotechnicznych, za to modyfikuje je czynnik genetyczny, czego nie udowodniły wcześniejsze badania Cacak-Pietrzak i in. (1999). Na brak wpływu nawożenia azotem na wartości tego parametru oznaczone w ziarnie orkiszu wskazują także Biel i in. (2016b). Również Sulewska i in. (2008b) donoszą,

że zawartość popiołu, w skład którego wchodzi makro i mikroelementy, niewiele zmieniała się pod wpływem terminu i gęstości siewu, co jest spójne z badaniami Cacak-Pietrzak i in. (1999) oraz Biel i in. (2016a). Ponadto w opinii tych autorów (Biel i in., 2016a) zawartość związków mineralnych w postaci popiołu zmienia się w zależności od metody zwalczania chwastów, a chemiczne odchwaszczanie orkiszu prowadziło do zwiększenia zawartości tego składnika w ziarnie o 16,0%.

Podstawowym i w zasadzie jedynym polisacharydem zapasowym gromadzącym się w ziarnie pszenicy w ilości 55–70% jest skrobia (Dąbkowska, 2009). Zdaniem Rachonia i in. (2013) zawartość skrobi, obok ilości i jakości glutenu, decyduje o właściwościach wypiekowych pszenicy. Autorzy wykazali, że średnia zawartość skrobi w ziarnie orkiszu wynosiła 47,9% s.m., a korzystniejsze warunki do akumulacji tego składnika w ziarnie występują w latach bardziej suchych i ciepłych. Bojňanská i Frančáková (2002) najniższą zawartość skrobi w ziarnie orkiszu osiągnęły w tych latach badań, w których podczas uprawy wystąpiła susza. Również Dąbkowska (2009) oraz Lacko-Bartošová (2010) podkreślają, że zawartość tego składnika w ziarnie orkiszu jest zależna nie tylko od odmiany, ale i od układu warunków pogodowych w danym roku.

Według Greli (1996) ziarno orkiszu cechuje przeważnie nieco niższa zawartość skrobi ogółem (66,0–67,6% s.m.), w porównaniu do ziarna pszenicy zwyczajnej (59,4–68,1% s.m.), co potwierdzają także badania Abdel-Aal i in. (1995), Rachonia i in. (2015) oraz Sobczyka i in. (2017). Natomiast wyniki Wiwarta i in. (2023) sugerują, że ziarno orkiszu nie różni się istotnie pod względem zawartości skrobi od ziarna pszenicy zwyczajnej, a wartości tego parametru dla tych podgatunków pszenic kształtują się na podobnym poziomie. Z kolei Zieliński i in. (2008a), testując 10 rodów orkiszu, wykazali, że zawartość skrobi w ziarnie kształtowała się na dużo wyższym poziomie niż w badaniach Greli (1996) i mieściła się w granicach 71,6–85,4%. Wieloletnie badania własne wskazują natomiast na istotny wpływ czynnika genetycznego na wartości tej cechy. Zawartość skrobi w ziarnie orkiszu odmiany ‘Badenkrone’ oraz pszenicy zwyczajnej ‘KWS Dakotana’ była bardzo podobna i wynosiła odpowiednio 604,1 g·kg⁻¹ s.m. oraz 597,1 g·kg⁻¹ s.m. Natomiast wartości tej cechy dla pozostałych odmian orkiszu były niższe niż 2,5 % do 3,6%.

Według Rachonia i in. (2013) poziom agrotechniki nie różnicuje istotnie zawartości skrobi w ziarnie orkiszu, czego nie potwierdzają wyniki badań własnych, w których zaobserwowano dość silne współdziałanie czynnika odmianowego z nawożeniem. W przypadku odmian ‘Zollernspelz’ oraz ‘Badenstern’ zaobserwowano spadek koncentracji skrobi w ziarnie po zastosowaniu badanych rodzajów nawożenia, z kolei dla ‘Badenkrone’ oraz pszenicy zwyczajnej ‘KWS Dakotana’ najwyższą zawartość skrobi w ziarnie stwierdzono po zastosowaniu nawożenia azotem w dawce 30 kg·ha⁻¹ oraz obornikiem w ilości 30 t·ha⁻¹, przy czym wzrost ten nie został potwierdzony statystycznie.

Gęstość ziarna w stanie zsylnym wyraża masę jednego hektolitra ziarna i uznawana jest jako pośredni wskaźnik charakteryzujący wartość przemiałową ziarna. Literatura podaje, że wyższe wartości tej cechy świadczą o lepszej wydajności mąki, małe zaś o słabym wykształceniu bielma (Woźniak i Gontarz, 2005; Dąbkowska, 2009). Według Cacak-Pietrzak i in. (1999) gęstość ziarna w stanie zsylnym jest cechą bardzo stabilną, jednak mogą na nią wpływać warunki siedliska, poziom nawożenia i ochrony oraz gęstość i termin siewu. Na dużą stabilność gęstości ziarna jarych odmian orkiszu, w trzyletnim cyklu badań, wskazują także Szumiło i Rachoń (2015). Z kolei Belcar i in. (2020) uważają, że wartości tej cechy zmieniają się głównie pod wpływem warunków środowiskowych w trakcie wegetacji oraz czynnika odmianowego. Dużą zmienność w latach wartości tej cechy potwierdzają także badania przeprowadzone przez Szumiło i Rachonia (2008) oraz Mikos (2012). Stankowski i in. (2016a) wykazali, że chemiczna regulacja zachwaszczenia sprzyjała uzyskaniu ziarna orkiszu o większej masie usypowej w porównaniu z walką mechaniczną, przy czym wzrost ten nie był duży i nie przekraczał 5,0%. W dostępnej literaturze gęstość ziarna w stanie zsylnym dla orkiszu zawiera się najczęściej w przedziale 67,6–78,7 kg·hl⁻¹, z kolei wartości tego parametru dla ziarna pszenicy zwyczajnej kształtują się na nieco wyższym poziomie (Abdel-Aal i in., 1997; Lacko-Bartošová i Otepka, 2001; Sulewska, 2004c; Lacko-Bartošová i Rádlová, 2007; Krawczyk i in., 2008a; Zieliński i in., 2008a; Cacak-Pietrzak i in., 2013; Sobczyk i in., 2017; Radzikowska, 2020; Wiwart i in., 2023). Są i takie prace (Szumiło i Rachoń, 2008; Belcar i in., 2020), w których gęstość ziarna orkiszu była istotnie wyższa w porównaniu z ziarnem pszenicy zwyczajnej, twardej, płaskurki i samopszy. Stankowski i in. (2016a), badając sześć odmian/rodów orkiszu, wykazał natomiast, że tylko dwa genotypy wyróżniały się wyższą gęstością ziarna w stanie zsylnym w porównaniu z pszenicą zwyczajną. Przeprowadzone badania własne wykazały natomiast, że niezależnie od serii ziarno pszenicy zwyczajnej charakteryzowało się wyższą masą hektolitra (powyżej 79,0 kg·hl⁻¹) niż ziarno orkiszu, co nie jest spójne z wynikami badań jakie uzyskała Cacak-Pietrzak i Gondek (2010). Z kolei Wiwart i in. (2023) wskazują na różnice, jakie występują w wartościach tej cechy pomiędzy odmianami orkiszu a liniami hodowlanymi. Autorzy wykazali, że mieszańce, w których komponentem matczynym był orkisz, charakteryzowały się wyższą gęstością ziarna (79,5 kg·hl⁻¹) w porównaniu do odmian orkiszu (75,0 kg·hl⁻¹). Również badania Szumiło i Rachonia (2015) oraz Sobczyka i in. (2017) dotyczące zarówno ozimych, jak i jarych odmian orkiszu sugerują, że czynnik genetyczny ma decydujący wpływ na wartości tego parametru. Sobczyk i in. (2015) wskazują, że ziarno większości nowych rodów orkiszu cechowała niższa gęstość w stanie zsylnym w porównaniu do starych odmian, podobnie jak w badaniach własnych. Stwierżeń tych nie potwierdzają natomiast wcześniejsze badania przeprowadzone przez Krawczyka i in. (2008a), w których ziarno badanych rodów orkiszu wykazywało większą

gęstość w stanie usypowym niż odmiany ‘Schwabenkorn’, a wartości tej cechy były bardziej zbliżone do ziarna pszenicy zwyczajnej. W badaniach własnych średnie wartości omawianego parametru dla orkiszu mieściły się w granicach od 72,5 do 79,4 kg·hl⁻¹ i były zbliżone do podawanych przez Krawczyka i in. (2008a), Szumiło i Rachonia (2008), Cacak-Pietrzak i Gondek (2010), Mikos (2012), Cacak-Pietrzak i in. (2013), Stankowskiego i in. (2016a), Sobczyka i in. (2017), Belcara i in. (2020), Radzikowską (2020) oraz Wiwarta i in. (2023), z kolei dla pszenicy zwyczajnej wynosiły 77,4,3 kg·hl⁻¹ i były zbliżone do wartości wskazanych przez Cacak-Pietrzak i Gondek (2010), Stankowskiego i in. (2016a), Sobczyka i in. (2017), Radzikowską (2020) oraz Wiwarta i in. (2023).

Wpływ nawożenia azotem na gęstość ziarna pszenic w stanie zsylnym jest zagadnieniem dość rzadko dyskutowanym w literaturze przedmiotu. W badaniach własnych, pomimo braku istotnego wpływu współdziałania nawożenia z odmianą, na wartości tej cechy zarysowały się pewne tendencje w reakcji poszczególnych odmian na wzrastające dawki azotu. U odmian ‘Schwabenspelz’ oraz ‘Schwabenkorn’ wykształcaniu ziarna o większej masie hektolitra sprzyjało nawożenie w dawce 90 kg N·ha⁻¹, natomiast dla pozostałych odmian orkisz oraz pszenicy zwyczajnej była to dawka 60 kg N·ha⁻¹. Mikos (2012) pod wpływem wzrostu dawki azotu stwierdziła wzrost gęstości ziarna orkisz z 75,6 (N₀) do 77,1 kg·hl⁻¹ (N₁₂₀). Z kolei w badaniach nad z pszenicą zwyczajną (Podolska i in., 2005) oraz orkiszem (Podolska i in., 2015; Hury i in., 2016) nawożonych różnymi dawkami azotu autorzy nie wykazali istotnego zróżnicowania gęstości ziarna w stanie zsylnym pod wpływem nawożenia.

Według źródeł literaturowych parametrem, który ma istotny wpływ na wartość przemiałową ziarna, jest jego twardość (Turnbull i Rahman, 2002; Muhamad i Campbell, 2004). Cecha ta określa stopień adhezji pomiędzy ziarnami skrobi a matrycą białkową (Mikulíková, 2007). Nie ma jednoznacznej definicji twardości ziarna, wiadomo jednak, że twardość ziarna jest w głównej mierze zależna od czynników genetycznych (Greffeuille i in., 2006), ale może również się zmieniać pod wpływem zabiegów agrotechnicznych, gatunku i odmiany, warunków klimatycznych, jak również twardości endospermu, która maleje wraz ze wzrostem wilgotności ziarna (Muhamad i Campbell, 2004; Konopka i in., 2005; Dziki i in., 2011). Na przestrzeni lat do pomiaru twardości ziarna wykorzystywano różne metody. Niektóre z nich polegają na pomiarze siły ściskającej (odkształcającej) ziarno, inne na pomiarze czasu przemiału masy ziarna, wielkości cząstek powstałych po przemiale lub stopnia mechanicznego uszkodzenia skrobi (Muhamad i Campbell, 2004). Według Dzikiego i in. (2011) skomplikowana budowa komórkowa, niewielkie wymiary i złożony kształt surowców ziarnistych powodują duże trudności w zastosowaniu metod klasycznych do pomiaru twardości pojedynczych ziarniaków. Współczesna analityka, szczególnie w odniesieniu do ziarna pszenicy, rozwinęła wiele metod pomiaru twardości, takich jak metoda

WHI (*Wheat Hardness Index*), NIR (*Near Infrared Reflectance*), PSI (*Particle Size Index*) oraz HI (*Hardnes Index*). Niestety, brak jednolitych metod i różnorodność urządzeń pomiarowych sprawia trudności w rzetelnym porównaniu wyników otrzymywanych przez badaczy zajmujących się tym zagadnieniem. Badane przez Ceglińską (2003) hybrydy orkisz w większości przypadków charakteryzowały się twardszym ziarnem (280–460 j.B.) niż ziarno orkisz czystego gatunkowo (290 j.B.). Powyższe spostrzeżenia potwierdził również Zieliński i in. (2008a). Z kolei w badaniach Cacak-Pietrzak i Gondek (2010) twardość badanych prób ziarna mieściła się w przedziale od 505 j.B (orkisz) do 760 j.B (pszenica zwyczajna). Zdaniem autorów orkisz, cechujący się mączystą strukturą bielma, nie wymagał w procesie przemiału tak dużych nakładów energii, jak bardziej szkliste ziarno pszenicy zwyczajnej. Mniejsza twardość ziarna orkisz (420 j.B.) w porównaniu z ziarnem pszenicy zwyczajnej (750 j.B.) wystąpiła również w późniejszych badaniach Cacak-Pietrzak i in. (2013). Natomiast z wcześniejszych badań autorów (Cacak-Pietrzak i in., 2009) wynika, że ziarno mączyste cechuje się luźną strukturą bielma, w której ziarna skrobi są oddzielone od siebie, a przestrzenie między nimi są puste lub częściowo wypełnione białkiem. Natomiast w ziarnie szklistym ziarna skrobi są głęboko wtopione w matrycę białkową. Takie ziarno jest bardziej wytrzymałe na działanie sił niszczących i dlatego wymaga większych nakładów pracy koniecznych na pokonanie odkształceń sprężystych i plastycznych oraz na wytworzenie nowych powierzchni. Abdel-Aal i in. (1996), badając twardość ziarna orkisz, pszenicy twardej i zwyczajnej, przeprowadzili w tym celu pomiary czasu przemiału ziarna. Uzyskane przez badaczy wyniki mieściły się w granicach 26,3–38,8 min dla ziarna orkisz, podczas gdy ziarno pszenicy zwyczajnej i twardej uzyskało krótszy czas przemiału (15,5–17,6 min), co oznacza, że było dużo twardsze w porównaniu z orkiszem. Wyniki badań własnych wskazują natomiast, że o indeksie twardości ziarna badanych podgatunków pszenicy w największym stopniu decydował czynnik genetyczny. W pierwszej serii badań ziarno tylko jednej odmiany ('Schwabenkorn') charakteryzowało się wyższym indeksem twardości w porównaniu z ziarnem pszenicy zwyczajnej. Natomiast indeks twardości ziarna dla pozostałych odmian orkisz był porównywalny z wartościami, jakie zaobserwowano dla pszenicy zwyczajnej. Z kolei w drugiej serii badań istotnie wyższym indeksem twardości ziarna w porównaniu z orkiszem charakteryzowało się ziarno pszenicy zwyczajnej 'KWS Dakotana'. Według Dziamby i in. (2001) nawożenie azotem jest tym czynnikiem, który w szczególności wpływa na twardość ziarna pszenicy. W badaniach własnych zależność ta miała jedynie charakter tendencji. Dla większości odmian orkisz zastosowanie nawożenia azotem w dawce 60 kg·ha⁻¹ sprzyjało uzyskaniu ziarna o wyższym indeksie twardości, a dla pszenicy zwyczajnej było to 90 kg N·ha⁻¹. Z kolei Cacak-Pietrzak i in. (2010) podają, że zwiększenie dawki azotu z 1,2 do 2,4 g N·wazon⁻¹ spowodowało istotny wzrost twardości ziarna wszystkich badanych odmian pszenicy jarej (wartości średnie

odpowiednio 715 i 760 j.B.). Według Mikulíkovéj (2007) za twardość pszenicy odpowiedzialny jest gen Ha o skomplikowanej budowie, który koduje dwa typy białek – puroindolinę a (PINa) oraz puroindolinę b (PINb) – i jest charakterystyczny dla odmian pszenicy o miękkim bielmie. Zawartość wody w ziarnie również istotnie oddziałuje na twardość. Według Dzikiego i in. (2011) wzrost wilgotności ziarna powoduje istotne zmiany właściwości mechanicznych, w tym spadek twardości. Ponadto wielokrotne nawilżanie i wysychanie ziarniaków w warunkach polowych może prowadzić do licznych pęknięć poprzecznych bielma, a tym samym spowodować spadek twardości ziarna. Niektórzy autorzy (Cacak-Pietrzak i in., 2009) wykazują także związek pomiędzy twardością a zawartością białka w ziarnie. Jednak Mikulíková (2007) udowadnia, że twardość ziarna zależy nie od ilości białka, ale od jego składu i rozmieszczenia w ziarniakach.

5.4. Wpływ odmiany i nawożenia obornikiem na plonowanie

Podstawowym wskaźnikiem urodzajności gleby są osiągnięte plony roślin o dużej wartości biologicznej, najczęściej mierzonej zawartością białka. Wielkość i jakość plonu roślin zależy od zasobów składników pokarmowych w glebach, a czynnikiem szczególnie silnie oddziałującym na te parametry jest nawożenie (Mazur i Sądej, 2002). Dla uzyskania wysokich i dobrej jakości plonów pszenicy ważne jest zaopatrzenie roślin w składniki pokarmowe, dostarczone w odpowiedniej ilości i formie (Suwara i in., 2007). O ile zagadnienie wpływu nawożenia mineralnego na plonowanie roślin zbożowych i jakość ziarna było przedmiotem wielu prac, o tyle rola nawożenia naturalnego jest zagadnieniem mniej rozpoznany w literaturze przedmiotu. Przewaga nawozów organicznych i naturalnych nad mineralnymi w kształtowaniu żyzności gleby jest powszechnie znana (Panak i in., 1993; Mazur i Sądej, 1999; Mazur i Sądej, 2002; Stefanescu, 2004; Dresler i in., 2010; Černý i in., 2010; Seremesic i in., 2011). Obornik to jeden z wielu nawozów naturalnych, stanowiący ważne źródło azotu dla roślin. W literaturze podaje się, że ten rodzaj nawozu dostarcza nie tylko składników pokarmowych, ale przede wszystkim korzystnie wpływa na zawartość próchnicy w glebie, jej strukturę, życie mikrobiologiczne, efektywność enzymatyczną oraz zawartość mikroskładników (Budzyński, 2012b). Azot pochodzący z obornika uwalniany jest stopniowo w procesie mineralizacji substancji organicznej, przy czym dynamika tego procesu zależy w dużej mierze od stosunku C:N w samym nawozie oraz warunków glebowo-klimatycznych. Ponadto tempo uwalniania azotu z obornika nie jest w pełni zbieżne z fazami największego zapotrzebowania roślin na ten składnik, dlatego część azotu ulega stratom, a część zostaje trwale wbudowana w substancję organiczną gleby (Rutkowska, 2014). Udowodniono empirycznie, że azot pochodzący z obornika wykorzystywany jest w ok. 40–50%,

a w sprzyjających warunkach agrotechnicznych wykorzystanie wynosi nawet 60% (Mercik i Stępień, 2012; Cameron i in., 2013).

Nawożenie obornikiem nie jest powszechnie stosowane w uprawie pszenicy, ponieważ gatunek ten nie otwiera zmianowania i najczęściej funkcjonuje w płodozmianie jako roślina następcza. Jednak z prowadzonych badań wynika, że pszenica zwyczajna uprawiana na pełnej dawce obornika może plonować wyżej niż po zastosowaniu nawożenia mineralnego, zwłaszcza w warunkach suszy (Sawinska, 2004). Na podobną zależność wskazują wyniki badań własnych, gdzie zastosowanie nawożenia obornikiem w uprawie pszenicy zwyczajnej, niezależnie od odmiany, zwiększało plon ziarna. Najlepszy efekt plonotwórczy w obydwu seriach badań uzyskano po zastosowaniu wyższej dawki obornika ($30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), a wzrost plonu ziarna w stosunku do obiektu kontrolnego bez nawożenia wyniósł $8,7 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ (seria I) oraz $24,3 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ (seria II). Tak duża różnica we wzroście plonu ziarna między poszczególnymi seriami badań wynikała prawdopodobnie z bardzo silnego wpływu genotypu oraz układu warunków pogodowych. Wzrost plonu ziarna stwierdzono również po zastosowaniu obornika w dawce niższej ($15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), przy czym w I serii badań był on niewielki, a w serii II wyniósł $20,7 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$. Wyniki badań własnych dowiodły również, że stosowanie obornika w uprawie pszenicy zwyczajnej w dawce $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ stabilizuje plon ziarna, o czym świadczą niskie współczynniki zmienności. Należy jednak podkreślić, że zależność ta wystąpiła tylko w pierwszej serii badań, na co niewątpliwie największy wpływ miał czynnik odmianowy. O plonotwórczym działaniu obornika w uprawie roślin następczych (jęczmień jary i pszenica jara) donoszą również Krzebietke i in. (2005). Autorzy wskazują, że produktywność roślin w zmianowaniu z obornikiem była prawie o 25% wyższa niż w zmianowaniu z wykorzystaniem wyłącznie nawozów mineralnych, a plon całkowity zmianowania wyrażony w jednostkach zbożowych był wyższy o ponad 65%. Korzystne działanie obornika zmniejszało się natomiast w warunkach stosowania coraz intensywniejszego nawożenia mineralnego. Jednak ocena wpływu stosowania obornika w uprawie pszenicy na plonowanie i jakość ziarna nie zawsze jest tak jednoznaczna, ponieważ działanie obornika może być modyfikowane różnymi warunkami glebowo-klimatycznymi, a także stosowanym płodozmianem i czynnikami agrotechnicznymi (Gawrońska-Kulesza i Lenart, 1987; Mazur i Sądej, 1999; 2002; Filipek i in., 2004; Gondek, 2012). Podobne wnioski dotyczące nawożenia orkiszu obornikiem sformułowała Sulewska (2004b), która uważa, że efekty stosowania tego rodzaju nawożenia mogą być różne i ściśle zależą od przebiegu warunków pogodowych. Badania tej autorki wskazują, że obornik stosowany w dawce $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ograniczał plonowanie pszenicy orkisz w porównaniu z kontrolą, w dwóch spośród czterech lat badań. Niekorzystne efekty nawożenia obornikiem były najbardziej widoczne w sezonach o łagodnym przebiegu zimy oraz podczas wiosenno-letniej wegetacji w warunkach sprzyjających plonowaniu orkiszu. W innych badaniach (Sulewska i in.,

2010) z odmianami ‘Schwabenspelz’ i ‘Badengold’ nawożenie obornikiem jako jedyne źródło nawozu podnosiło plony ziarna orkiszu obu porównywanych odmian, zarówno w dobrych, jak i gorszych warunkach wilgotnościowych. Średnio dla 4 lat badań autorzy wykazali, że najwyższe plony orkiszu uzyskano, stosując obornik w dawce $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Z kolei przeprowadzona analiza regresji wykazała, że najwyższego plonu można oczekiwać po zastosowaniu $20,2 \text{ t}$ obornika dla odmiany ‘Schwabenspelz’ oraz $16,8 \text{ t}$ dla odmiany ‘Badengold’. W badaniach własnych nawożenie obornikiem pszenicy orkisz zwiększyło plony zarówno kłosków, jak i ziarna, przy czym ich wysokość była zależna od genotypu oraz układu warunków klimatycznych. W obydwu seriach badań zastosowanie obornika, niezależnie od wysokości dawki, prowadziło do wzrostu plonu kłosków, przy czym największy wzrost plonu – wynoszący odpowiednio $11,9\%$ (seria I) oraz $29,5\%$ (seria II) – odnotowano po zastosowaniu obornika w dawce $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Zastosowanie obornika w wyższej dawce podnosiło również plony ziarna, które wzrosły w zależności od odmiany w zakresie $2,7\text{--}5,5 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ w serii I i $4,4\text{--}7,7 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ w II serii. Wyniki badań własnych nie udowodniły natomiast, że nawożenie obornikiem jest czynnikiem stabilizującym plonowanie orkiszu.

Spśród elementów plonowania jedynie masa 1000 ziaren oraz liczba ziaren w kłosie z drugiej serii badań były cechami, na które nawożenie obornikiem wpływało najbardziej stabilizująco. Dostępne wyniki badań wskazują, że rozpoznanie reakcji orkiszu na nawożenie obornikiem jest trudne ze względu na silne uzależnienie działania tego rodzaju nawożenia od wilgotności gleby, tempa mineralizacji, stosunku C:N oraz życia mikrobiologicznego w glebie. Niemniej jednak Sulewska (2004b) uważa, że nawożenie NPK, niezależnie od formy wniesienia składników pokarmowych, jest czynnikiem stabilizującym plonowanie orkiszu, szczególnie w warunkach stresowych. W literaturze przedmiotu można znaleźć i takie stwierdzenia, że w optymalnych warunkach siedliskowych wpływ obornika na plonowanie roślin jest stosunkowo niewielki (Mercik i in., 2004 za Łabętowicz i in., 1999), a jego korzystny efekt ujawnia się na glebach zakwaszonych lub wyczerpanych ze składników pokarmowych. Co więcej, nawożenie obornikiem może być jednym ze sposobów złagodzenia ujemnych skutków silnego zakwaszenia gleb dla roślin (Mercik i Stępień, 2012).

5.5. Akumulacja biomasy oraz odżywienie roślin

W badaniach Stankowskiego i in. (2016a) odmiany orkiszu wykazywały dość duże zróżnicowanie zawartości azotu w ziarnie. Najbardziej zasobne w ten pierwiastek było ziarno odmiany ‘Franckernkorn’ ($27,0 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ p.s.m.}$), a ziarno rodu ‘STH 12’ zawierało tylko $21,9 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ p.s.m.}$, czyli mniej niż wartość przeciętna ($22,3 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ p.s.m.}$), jaką podaje Budzyński (2012b). Również w badaniach

własnych ziarno analizowanych odmian orkiszu, z wyjątkiem odmiany 'Badenkrone', charakteryzowało się dużo wyższą od przeciętnej zawartością azotu. Stankowski in. (2016a) zaobserwowali ponadto, że wzrastające nawożenie azotem spowodowało liniowy istotny wzrost zawartości azotu w ziarnie orkiszu do poziomu $27,2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ p.s.m. Spostrzeżenia te potwierdzają wyniki badań wielu innych autorów (Ranhotra i in., 1996a; Schober i in., 2002; Krawczyk i in., 2008a) oraz wyniki badań własnych, które dowodzą, że zawartość azotu w ziarnie orkiszu po zastosowaniu dawki $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ była najwyższa i wynosiła $28,9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. (seria I). W badaniach własnych wykazano również, że w fazach BBCH 35 oraz BBCH 59, w grupie odmian z serii I, niezależnie od podgatunku pszenicy liście charakteryzowały się wyższą zawartością azotu w porównaniu do źdźbeł oraz kłosów. Według Greenwooda i in. (1990) całkowita zawartość azotu w liściach zwiększa się do momentu rozwinięcia wszystkich liści, a tuż przed kwitnieniem zaczyna się obniżać, co świadczy o tym, że gromadzenie azotu w roślinach odbywa się pod kontrolą ontogenetyczną. Podobne zależności, badając łubin żółty, uzyskał Prusiński (2005), który również stwierdził największą zawartość azotu w liściach w fazie pąkowania i kwitnienia. Według autorów po przekwitnięciu zarówno zawartość azotu, jak i udział liści i łodyg w akumulacji azotu ulegał obniżeniu, co najpewniej było związane z przemieszczaniem się azotu do strąków i nasion. Stwierdzenia te uwiarygadniają wyniki badań własnych, w których zaobserwowano klasyczny model akumulacji azotu, gdzie większym udziałem w pobraniu tego składnika charakteryzowało się ziarno niż słoma. Ponadto badania dynamiki akumulacji azotu w roślinach orkiszu oraz pszenicy zwyczajnej, prowadzone w sposób ciągły przez cały okres wzrostu roślin wskazują, że miała ona różny przebieg, co szczególnie było widoczne w początkowym i końcowym okresie wegetacji. Pomiędzy fazą wzrostu wegetatywnego (BBCH 35) a początkiem fazy wzrostu generatywnego (BBCH 59) pobranie azotu przez rośliny pszenicy zwyczajnej było dużo niższe niż u odmian pszenicy orkisz. Odwrotną zależność zaobserwowano natomiast pomiędzy fazą dojrzałości młecznej (BBCH 75) a dojrzałości pełnej (BBCH 89). Według Greenwooda i in. (1990) wraz z rozwojem roślin i gromadzeniem wyższych plonów suchej masy następuje też swoiste rozcieńczanie zawartości azotu, dlatego w badaniach własnych nie stwierdzono istotnego dodatniego związku między plonem suchej masy a zawartością azotu w roślinach. Zdaniem Małeckiej (2003) ilość pobranego azotu przez rośliny pszenicy ozimej zależy od wysokości plonów oraz jego zawartości w roślinach. Według wyliczeń autorki rośliny pszenicy nienawożone azotem pobierały corocznie z 1 ha 59–75 kg N. W miarę wzrostu dawek azotu zwiększał się poziom tego składnika w plonach, a największe jego pobranie wynosiło 140–150 kg. Krochmal-Marczak i Sawicka (2016), na podstawie wyliczonych współczynników zmienności twierdzą, że najbardziej stabilną cechą składu mineralnego ziarna orkiszu jest azot. Nie potwierdzają tego wyniki badań własnych, ponieważ zawartość azotu w nadziemnych częściach roślin

pszenicy w każdej z serii badań charakteryzowały dużo wyższe współczynniki zmienności niż te, które podaje Krochmal-Marczak i Sawicka (2016).

Przebieg procesu fotosyntezy może mieć decydujący wpływ na produktywność roślin (Uździcka i in., 2012), dlatego poszukuje się możliwości oceny tych procesów za pomocą rozmaitych wskaźników, takich jak wskaźnik zieloności liści (SPAD) czy indeks pokrycia liściowego (LAI). Dzięki postępowi technicznemu do oceny zawartości składników mineralnych w roślinach (głównie azotu) można zastosować aparaturę wykorzystującą zjawiska związane z charakterystyką światła (pochłanianie, odbicie). Test SPAD (ang. *Soil Plant Analysis Development*), tzw. indeks zieloności liści, jest testem pośrednim oceny stanu odżywienia roślin azotem (Pecio, 2021). Wykorzystanie tej nieinwazyjnej metody pomiaru do oceny stanu odżywienia roślin pszenicy w badaniach własnych wskazuje, że czynnik genetyczny w największym stopniu decydował o wartościach tej cechy i był on istotnie wyższy dla pszenicy zwyczajnej niż dla orkisz. Uzyskane zależności znajdują potwierdzenie we wcześniejszych badaniach przeprowadzonych przez Ribauta i in. (2002), Machula (2005), Jankowskiej-Miąsik (2015), Monostori i in. (2016) oraz Pecio (2021). Autorzy Ci wskazują, że zawartość chlorofilu w liściu flagowym uwarunkowana jest głównie czynnikiem odmianowym. Według Giunta i in. (2002) odmiany, które charakteryzują się większą zawartością chlorofilu, mają bardziej wydajne aparaty fotosyntetyczne, dzięki czemu mogą plonować wyżej. Wyznaczona przez Samborskiego i Rozbickiego (2004) krytyczna wartość SPAD dla pszenicy wynosi 530 jednostek dla całego okresu prowadzenia pomiarów, przy czym wartość ta nie zależy od terminu przeprowadzenia badań. Porównanie uzyskanych wyników w doświadczeniach własnych dotyczących orkisz i pszenicy zwyczajnej z wyznaczoną wartością wskazuje na wysoki stan zaopatrzenia roślin w azot, co daje podstawę do wnioskowania, że czynnikiem ograniczającym plonowanie nie było zaopatrzenie roślin w azot. Ponadto zakres wartości wskaźnika SPAD, jaki wykazano w badaniach własnych dla pszenicy zwyczajnej, był podobny do tego, jaki uzyskali w swoich badaniach Sulewska i in. (2011) lub wyższy w porównaniu z badaniami Wojtkowiaka i in. (2018). W piśmiennictwie można znaleźć również opinie, że wzrastające nawożenie azotem zwiększa zawartość chlorofilu w liściach, ale tylko do pewnej granicy (Blackmer i Schepers, 1994). O korzystnym wpływie azotu na zawartość chlorofilu w liściach donoszą również Monostori i in. (2016), Wojtkowiak i in. (2018) oraz Sugár i in. (2019). Natomiast w badaniach własnych wraz ze wzrostem dawek azotu i obornika zaobserwowano niepotwierdzony statystycznie wzrost zieloności liści zarówno u pszenicy zwyczajnej, jak i orkisz. Wojtkowiak i in. (2018) wykazali, że zwiększenie nawożenia azotem ze 150 do 200 kg·ha⁻¹ zwiększyło indeks zieloności liścia flagowego pszenicy zwyczajnej o 2,8% (odmiana ‘Bogatka’) do 9,3% (odmiana ‘Sailor’). Z kolei Sugár i in. (2019), porównując pszenicę zwyczajną z orkiszem, dowiedli, że zawartość chlorofilu w liściach orkisz w obiekcie kontrolnym oraz nawożonym

awką 40 kg N·ha⁻¹ była wyższa w porównaniu z pszenicą zwyczajną, co według autorów potwierdza fakt, że orkisz jest gatunkiem ekstensywnym i w porównaniu z pszenicą zwyczajną ma większą zdolność do efektywnego wykorzystania zasobów gleby w niesprzyjających warunkach środowiskowych. Zależności tych nie zaobserwowano w badaniach własnych, ale zgodnie z tym, co podają Sugár i in. (2019), pszenica zwyczajna wykazała znacznie silniejszą niż orkisz reakcję na rosnące dawki nawożenia azotem. Prowadziło to do bardziej dynamicznego wzrostu indeksu zieloności liści flagowych wyrażonych w jednostkach SPAD. Z kolei Barutçular i in. (2016) uważają, że wskaźnik zieloności liści (SPAD), określający pośrednio ilość zmagazynowanego chlorofilu, może stanowić ważny wskaźnik odżywienia roślin azotem i jest on zależny od układu warunków pogodowych. Badania przeprowadzone przez Kuliga i in. (2010) wskazują na silny związek pomiędzy wartościami SPAD w liściu flagowym pszenicy jarej a zawartością białka w ziarnie, plonem ziarna oraz słomy.

Najczęściej stosowanym wskaźnikiem umożliwiającym ocenę dynamiki wzrostu i akumulacji biomasy jest wskaźnik powierzchni liściowej (LAI), stanowiący wielokrotność powierzchni liści w stosunku do powierzchni zajmowanej przez łan (Prusiński i in., 2008 za: Starck, 1998). Indeks LAI jest ważnym wskaźnikiem produktywności roślin, charakteryzującym ich zdolność do absorpcji, od której zależy fotosynteza i pośrednio przyrost biomasy (Lepiarczyk i in., 2005). Powierzchnia liści jest jednym z ważniejszych elementów architektury łanu, która w dużym stopniu decyduje o potencjale produkcyjnym roślin (Szmigiel i Oleksy, 2004). Teoretycznie im większy LAI, tym większa powinna być produkcja biomasy i plonu rolniczego (Czerednik i Nalborczyk, 2000). Faber i Nieróbca (1999) podają, że optymalna wartość LAI w okresie kwitnienia pszenicy ozimej powinna wynosić 5,5. Z kolei Prusiński i in. (2008) za Westgate (1999) uważają, że zakres wartości LAI 3,5–4,0 pozwala teoretycznie na uzyskanie maksymalnej wydajności fotosyntezy i maksymalnego plonu nasion. Autorzy zaznaczają jednak, że możliwe jest to tylko w optymalnych warunkach świetlnych, wilgotnościowych i troficznych, przy jednoczesnej ochronie przed chorobami i szkodnikami. Również według Czerednik i Nalborczyka (2000) optymalny LAI dla roślin zbożowych powinien wynosić ok. 4. Wysokie wartości indeksu powierzchni liściowej LAI dla orkiszu i pszenicy zwyczajnej w fazie kłoszenia, kwitnienia i dojrzałości młecznej, mieszczące się w przedziale 2,2–6,2, uzyskali w swoich badaniach także Andruszczak i in. (2012), Feledyn-Szewczyk (2012), Rachoń i Szumiło (2015) oraz Radzikowska (2020). Badania własne wskazują natomiast, że w okresie kwitnienia orkiszu i pszenicy zwyczajnej, wartości wskaźnika LAI były dużo niższe od tych, jakie wskazują wyżej cytowani autorzy. Ponadto większość badanych odmian orkiszu charakteryzowały wyższe wartości LAI w porównaniu do pszenicy zwyczajnej, co potwierdzają także wcześniejsze badania Feledyn-Szewczyk (2012), Pużyńskiego i in. (2015), Rachonia i Szumiło (2015) oraz Radzikowskiej

(2020). Wielu autorów podkreśla modyfikujący wpływ czynnika genetycznego na wartości wskaźnika LAI roślin zbożowych (Biskupski i in., 2004; 2006; 2007; Pużyński i in., 2015; Bobrecka-Jamro i in., 2015), wskazując na duże zróżnicowanie między poszczególnymi odmianami pszenicy jarej oraz orkiszu. Zależności tych nie zaobserwowano w badaniach własnych, gdyż nie wykazano istotnego zróżnicowania w wartościach tej cechy pomiędzy odmianami orkiszu z serii I, w przeciwieństwie do odmian z serii II, wśród których zróżnicowanie w wartościach LAI już wystąpiło. Literatura przedmiotu podaje również, że odmiany orkiszu charakteryzujące się między innymi większą powierzchnią liści osiągają wyższe wartości indeksu pokrycia liściowego LAI, dzięki czemu wykazują większe zdolności konkurencyjne w stosunku do chwastów (Feledyn-Szewczyk, 2012).

Przeprowadzone badania własne wskazują, że nawożenie azotem lub obornikiem zwiększało wartości indeksu LAI. Dla większości odmian orkiszu były one najwyższe po zastosowaniu dawki $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, a dla pszenicy zwyczajnej dawki $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Z kolei wyższa dawka obornika ($30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) zwiększała powierzchnię asymilacyjną liści pszenicy zwyczajnej oraz odmian orkiszu 'Badenstern' i 'Badenkrone'. Prusiński i in. (2008) zaobserwowali, że w latach suchych wystąpiły pewne tendencje do wzrostu wartości LAI w miarę zwiększania dawek nawożenia przedsięwzięgo, a w latach wilgotnych dawka $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ zastosowana przedsięwzięnie lub dolistnie gwarantowała wyższe wartości LAI dla bobiku. Dodatni wpływ nawozów mineralnych NPK na wzrost wskaźnika LAI pszenicy zwyczajnej oraz orkiszu potwierdzają również Biskupski i in. (2004, 2006, 2007), Olsen i Weiner (2007), Rehman i in. (2010), Bobrecka-Jamro i in. (2015) oraz Andruszczak (2018). Biskupski i in. (2006) podają jednak, że zbyt wysokie wartości LAI powodują pogorszenie warunków świetlnych w łanie oraz podaży CO_2 . Zwiększa się również podatność roślin na wyleganie, a także presja ze strony chorób i szkodników (Rachoń i Szumiło, 2015). Z kolei Podleśny i Kocoń (2006) zwracają uwagę, że rośliny bobiku rosnące w warunkach niedoboru wody w glebie wytwarzają mniejszą powierzchnię liści oraz charakteryzuje je mniejsza intensywność fotosyntezy.

Literatura przedmiotu jednoznacznie wskazuje, że nawożenie azotem roślin uprawnych jest jednym z głównych czynników agrotechnicznych umożliwiających osiągnięcie wysokich plonów. Bardzo często ilość zastosowanego azotu jest większa niż bezwzględne wymagania pokarmowe roślin, a błędy popełniane podczas nawożenia powodują niekorzystne zmiany zarówno w jakości plonu, jak i w środowisku (Wierzbicka i Trawczyński, 2015). Dlatego jednym z najważniejszych działań ograniczających straty biogenów z rolnictwa jest optymalizacja nawożenia, czyli dostosowanie dawek nawozów do rzeczywistych potrzeb roślin, odpowiadających ich pobraniu z plonami oraz stosowanie nawozów we właściwym czasie i w odpowiedni sposób (Pecio, 2021). Elementem sprzyjającym lepszemu wykorzystaniu azotu są metody diagnostyczne oceny roślin pod względem jego niedoboru. Jedną z nich jest ocena stanu odżywienia roślin

azotem nazywana testem NNI. Metoda ta opiera się na wykorzystaniu zależności pomiędzy zawartością azotu i nagromadzoną suchą masą roślin, opisaną w postaci funkcji potęgowej. Równanie tej funkcji, wyznaczającej krytyczną zawartość azotu, według wielu autorów jest uniwersalne i ma duże praktyczne znaczenie w ocenie stanu odżywienia roślin (Justes i in., 1994; Fotyma i Pecio, 1999; Wierzbicka i Trawczyński, 2015). Wyliczony w badaniach własnych indeks NNI dla analizowanych faz rozwojowych roślin na wszystkich obiektach był niższy od wartości optymalnej (1,0), co wskazuje na niedostateczne odżywienie roślin azotem. W fazie strzelania w źdźbło (BBCH 35) w obu seriach badań rośliny pszenicy zwyczajnej w porównaniu do orkiszu charakteryzowały niższe wartości indeksu NNI. Ponadto w tej fazie rozwojowej najwyższe indeksy NNI dla większości odmian uzyskano w obiektach nawożonych dawką 60 kg N·ha⁻¹ oraz wyższą dawką obornika (30 t·ha⁻¹). W fazie BBCH 59 najlepszym odżywieniem charakteryzowały się rośliny orkiszu odmiany ‘Schwabenspelz’ i ‘Badengold’ (seria I) oraz ‘Badenkrone’ (seria II). Wyliczone w tej fazie wartości wskaźnika NNI wskazują z kolei, że nawożenie azotem w dawce 60 kg N·ha⁻¹ oraz obornikiem w dawce 15 t·ha⁻¹ było wystarczające dla odmian orkiszu i pszenicy zwyczajnej z serii I, natomiast dla odmian z serii II była to dawka 90 kg N·ha⁻¹ lub 30 t·ha⁻¹ obornika. Podobne zależności wystąpiły w fazie dojrzałości mleczej (BBCH 75), gdzie zastosowanie najwyższej dawki azotu i obornika sprzyjało lepszemu odżywieniu roślin orkiszu oraz pszenicy. Wyjątek stanowiły rośliny orkiszu odmiany ‘Schwabenkorn’ i ‘Badenkrone’, dla których najwyższy NNI zaobserwowano po zastosowaniu dawki 60 kg N·ha⁻¹ oraz odmiana ‘Badenstern’, której najwyższe odżywienie roślin zapewniło zastosowanie dawki 15 t obornika. Dużo wyższe niż w badaniach własnych wartości NNI dla pszenicy uzyskała Małecka i in. (2013). W tych badaniach dla pszenicy ozimej w fazie kłoszenia, uprawianej trwale w siewie bezpośrednim, najwyższa wartość NNI wynosiła 0,88. Autorzy wykazali również, że uzyskane wartości indeksu przeważnie odbiegały od wartości optymalnej 1,0. Optymalnego odżywienia roślin jęczmienia jarego nie wykazali również Blecharczyk i in. (2009). Najwyższe wartości indeksu NNI autorzy odnotowali po łącznym nawożeniu obornikiem z NPK. Ponadto w fazie strzelania w źdźbło zastosowanie samego obornika obniżyło wartość indeksu NNI w porównaniu do nawożenia wyłącznie mineralnego, co znalazło również potwierdzenie w wynikach badań własnych. Z kolei w badaniach Wierzbickiej i Trawczyńskiego (2015) standardowe nawożenie azotem (100 kg N·ha⁻¹), w zależności od wczesności i fazy rozwojowej, zapewniało optymalne odżywienie roślin ziemniaka zbliżone do jedności. W badaniach Fotymy i Bezdusznika (2000) wartości wskaźników NNI dla zbóż ozimych, podobnie jak w badaniach własnych, zwiększały się w miarę wzrostu dawek azotu, co było związane z poprawą stanu odżywienia roślin i zwiększaniem plonu ziarna.

5.6. Wskaźniki efektywności nawożenia oraz wskaźniki plonu

Dla praktyki rolniczej istotne znaczenie ma między innymi zwiększenie efektywności nawożenia azotem. Literatura przedmiotu zwraca uwagę na konieczność opracowania precyzyjnych zaleceń uprawowych w taki sposób, aby zapewnić ekonomiczną opłacalność produkcji przy jednoczesnym uwzględnieniu jak najmniejszego wpływu technologii uprawy na środowisko naturalne (Parry i in., 2011; Mantai i in., 2021). W tym kontekście określenie efektywności nawożenia azotem orkiszem oraz pszenicą zwyczajną, przy wykorzystaniu wskaźników efektywności rolniczej, fizjologicznej i wykorzystania azotu (Novoa i Loomis, 1981), staje się ważnym elementem poznawczym, stanowiącym odpowiedź na poszukiwanie bardziej zrównoważonych procesów gospodarowania azotem w uprawie tych podgatunków pszenicy. Wielu autorów, poszukując przyczyn i oceniając zmienność efektywności nawożenia azotem, często podaje, że zależy ona od warunków siedliska, przedplonu, odmiany oraz warunków meteorologicznych (Fotyma, 1990; Małecka, 2003; Sułek i in., 2007; Barraclough i in., 2010; Pecio, 2017). Zarówno literatura polska, jak i zagraniczna podaje, że rolnicza efektywność nawożenia azotem wyrażona przyrostem plonu na 1 kg N zastosowanego w nawozach w miarę wzrostu dawki azotu maleje (Grzebisz, 1988; Buniak, 1990; Fotyma, 1990; Jankowiak, 1991; Hussain i in., 1996; Koziara, 1996; Delogu i in., 1998; Małecka, 2003; Ladha i in., 2005; Koziara i in., 2007; Ciepeli i in., 2009; Panasiewicz, 2013; Pecio, 2017). W badaniach własnych także odnotowano obniżenie efektywności rolniczej azotu wraz ze wzrostem dawki tego składnika, co może wynikać z ograniczonej zdolności roślin orkiszem oraz pszenicą zwyczajną do przetworzenia pobranego azotu na plon użytkowy przy wyższych dawkach azotu (Fageria i in., 2008). Potwierdzają to wyniki oceny efektywności fizjologicznej nawożenia azotem, wskazujące na ograniczenie plonu na jednostkę pobranego przez rośliny 1 kg azotu z nawozu. Podkreślenia wymaga również fakt, że w badaniach własnych bezwzględne wartości wskaźników efektywności fizjologicznej były znacznie wyższe od wartości wskaźników efektywności rolniczej, co może świadczyć o tym, że zarówno rośliny orkiszem, jak i pszenicą zwyczajną dobrze przetwarzały pobrany azot na plon ziarna. Zależności te znajdują również potwierdzenie w badaniach Małeckiej (2003) i Pecio (2017) nad pszenicą ozimą, Ciepeli i in. (2009) nad runią łąkową, Panasiewicz (2013) nad pszenżytem jarym oraz Ratajczak (2023) nad owsem.

Wskaźnikiem pozwalającym na szerszą analizę i interpretację zjawisk oddziałujących na wykorzystanie azotu z nawozów przez rośliny uprawne jest współczynnik wykorzystania azotu z nawozów, czyli stopień odzyskania go. Wartości tego wskaźnika w zbożach, w tym również dla pszenicy, wahają się od 30,0% do 50,0% (Tabak i in., 2020), a przy niższych dawkach azotu i bardzo dobrym gospodarowaniu składnikami pokarmowymi mogą sięgać 50,0–80,0% (Chuan i in.,

2016) i najczęściej obniżają się wraz ze wzrostem poziomu nawożenia (Grzebisz, 1988; Małecka, 2003; Panasiewicz, 2013; Tabak i in., 2020; Ratajczak, 2023). Zdaniem Małeckiej (2003) wykorzystanie składników z nawozów mineralnych zależy od dawki i formy azotu, terminu nawożenia, rodzaju gleby i przebiegu pogody. Z kolei niskie wartości współczynnika wykorzystania azotu z nawozów pociągają za sobą efekty ekonomiczne i ekologiczne. Straty składników pokarmowych, które nie zostały pobrane przez rośliny lub mikroorganizmy glebowe, wiążą się z ich utlenianiem, denitryfikacją oraz wymywaniem (Szmigiel i in., 2016; Shah i Wu, 2019). W przeprowadzonych badaniach własnych stopień wykorzystania azotu z nawozów był większy dla badanych podgatunków pszenicy z serii II, niż dla serii I. Wyjątek stanowiła odmiana pszenicy zwyczajnej ‘Bogatka’, dla której wyliczony współczynnik wykorzystania azotu z nawozów dla zakresu 0–90 kg N·ha⁻¹ był nieco wyższy (66,5%) niż dla odmiany ‘KWS Dakotana’ (61,3%). Ponadto, zgodnie z oczekiwaniami i dotychczasowym piśmiennictwem, zarówno dla orkiszu, jak i pszenicy zwyczajnej wykorzystanie azotu z nawozów było większe przy mniejszych dawkach azotu i malało w miarę wzrostu zastosowanych dawek azotu. W pierwszej serii badań dużo większy współczynnik wykorzystania azotu wyliczono dla pszenicy zwyczajnej niż dla badanych odmian orkiszu, z wyjątkiem zakresu dawek 0–30 kg N·ha⁻¹, gdzie współczynnik wykorzystania azotu z nawozów dla pszenicy zwyczajnej oraz orkiszu odmiany ‘Badengold’ i ‘Schwabenspelz’ był bardzo podobny (76,4–76,7%). Z kolei w drugiej serii, najwyższy stopień wykorzystania azotu z nawozów, w zakresie 0–60 kg N·ha⁻¹, charakteryzował odmianę orkiszu ‘Badenstern’. Odmienne rezultaty badań otrzymała Pecio (2017), która podaje, że współczynniki wykorzystania azotu z nawozów były wysokie i niezależnie od wielkości zastosowanych dawek wynosiły dla pszenicy ozimej 85,0%, a dla jarej 67,0%. Wcześniejsze badania Kocoń (2003) dotyczące pszenicy dowiodły natomiast, że wykorzystanie azotu z mocznika znakowanego ¹⁵N w plonie ziarna było wysokie, szczególnie w przypadku stosowania doglebowego i wynosiło 71,0%. Natomiast efekt dokarmiania dolistnego roślin był znacznie gorszy, a współczynnik wykorzystania azotu dla ziarna był blisko o połowę niższy i wyniósł 37,0%.

Jedną z powszechnie stosowanych metod oceny presji rolnictwa na środowisko, pozwalającą także ocenić efektywność i poprawność prowadzonej gospodarki nawozowej, jest wyliczenie efektywności wykorzystania azotu z nawozów, która zależy od zgodności pomiędzy zapotrzebowaniem rośliny i ilością N uwalnianego z nawozów. W literaturze przedmiotu podano, że wartości tego wskaźnika wahają się w zakresie 0,30–0,50 kg·kg⁻¹, a w dobrze zarządzanych systemach rolniczych, w warunkach małych dawek nawożenia N lub małych zasobów N w glebie mogą osiągać nawet wartości w przedziale 0,50–0,80 kg·kg⁻¹ (Pecio, 2017). Wyliczone w badaniach własnych wartości wskaźnika efektywności wykorzystania azotu z nawozów przez wegetatywne i generatywne części roślin pszenicy były podobne

do tych, jakie można znaleźć w piśmiennictwie. Zgodnie z oczekiwaniami, w każdej z analizowanych faz rozwojowych (BBCH 75, BBCH 89) zmniejszały się one w miarę wzrostu poziomu nawożenia i niezależnie od organu rośliny, a najwyższy wskaźnik efektywności zaobserwowano w przedziale 0–30 kg N·ha⁻¹. Ponadto badania własne dowiodły, że w pierwszej serii badań w fazie BBCH 75 wyższą efektywnością wykorzystania azotu z nawozów charakteryzowały się kłosa w porównaniu do liści i źdźbeł pszenicy, a fazie BBCH 89 ziarno w porównaniu ze słomą. W drugiej serii badań, w każdej z analizowanych faz rozwojowych, efektywność wykorzystania azotu pobranego przez poszczególne organy roślin pszenicy była bardzo podobna. W fazie dojrzałości młeczej, w grupie odmian z serii I, najwyższą efektywnością wykorzystania pobranego azotu charakteryzowały się liście orkiszu ‘Schwabenspelz’, źdźbła pszenicy zwyczajnej ‘Bogatka’ oraz kłosa orkiszu ‘Badengold’. Z kolei w serii II wykorzystanie pobranego przez liście i źdźbła azotu dla orkiszu ‘Badenstern’ oraz pszenicy zwyczajnej ‘KWS Dakotana’ było bardzo podobne. W fazie dojrzałości pełnej (BBCH 89) słoma pszenicy zwyczajnej odmiany ‘Bogatka’ charakteryzowała się istotnie wyższą efektywnością wykorzystania azotu z nawozów w porównaniu z orkiszem, a dla ziarna była ona podobna jak u orkiszu odmiany ‘Schwabenspelz’. Bardzo niską efektywność wykorzystania azotu, wynoszącą tylko 23,3%, zaobserwowano natomiast dla ziarna odmiany ‘Badenkrone’ z serii drugiej. Znikomy zasób literatury naukowej, dotyczącej wskaźnika efektywności wykorzystania azotu z nawozów przez poszczególne części roślin zbożowych, utrudnił skonfrontowanie zebranych badań własnych z wynikami innych badaczy. Istniejące źródła literaturowe (Kocoń, 2003) podają, że zawsze, niezależnie od sposobu podania N oraz badanego gatunku, zasadnicza część azotu zastosowana w nawożeniu pogłównym przemieszczana jest do nasion, co znalazło potwierdzenie w wynikach badań własnych. Z kolei Faber i in. (2019), na podstawie wyników uzyskanych w eksperymencie symulacyjnym podają, że wyliczona na podstawie metody różnicy efektywność wykorzystania azotu (NUE) dla pszenicy ozimej – w zależności od rodzaju zastosowanego nawożenia – mieściła się w przedziale od 83,5% do 88,0%, przy czym autorzy przewidują, że postępujące zmiany klimatu mogą spowodować obniżenie efektywności wykorzystania azotu przez pszenicę, zwłaszcza na glebach lekkich.

Zwiększenie wartości indeksu zbioru (HI) oraz indeksu zniwnego azotu (NHI) według piśmiennictwa jest ważnym elementem oceny produktywności i wykorzystania azotu (Cassman i in., 1992; Kemanian i in., 2007; Peltonen-Sainio i in., 2008). Wyliczony w badaniach własnych indeks zbioru w obu seriach badań był bardziej korzystny dla pszenicy zwyczajnej niż dla pszenicy orkisz, co potwierdzają wcześniejsze badania Sugára i in. (2019). Ponadto w grupie odmian z serii I zastosowanie nawożenia prowadziło do obniżenia indeksu plonowania, co jest spójne z badaniami przeprowadzonymi przez Blecharczyka i in. (2009),

w których nawożenie organiczno-mineralne jęczmienia jarego obniżyło wartość HI. Podobną reakcję zaobserwowano również dla odmiany pszenicy zwyczajnej ‘KWS Dakotana’ z serii drugiej. Z kolei w grupie odmian orkisz z serii II zastosowanie nawożenia skutkowało wzrostem indeksu plonowania, z wyjątkiem odmiany ‘Badenkrone’, u której indeks zbioru pod wpływem nawożenia nie zmieniał się. Małecka i in. (2013) podają natomiast, że indeks zbioru wahał się w zakresie 50,6–52,3% dla pszenicy ozimej oraz 48,8–51,3% dla pszenżyta ozimego, przy czym był on dużo wyższy od tego, jaki wykazano w badaniach własnych. Dużo wyższe niż w badaniach własnych wartości indeksu plonowania dla jęczmienia jarego w zależności od nawożenia (0,49–0,53%) uzyskali również Blecharczyk i in. (2009). Z kolei Sugár i in. (2019), porównując pszenicę zwyczajną z orkiszem pod względem wartości indeksu zbioru, wykazali, że dla pszenicy zwyczajnej mieścił się on w zakresie 33,1–44,0% i był porównywalny z tym, jaki zaobserwowano w badaniach własnych, a dla orkisz wynosił 28,4–36,4% i był znacznie wyższy niż w doświadczeniu własnym. Według Haya (1995), White’a i Wilsona (2006) oraz Dai i in. (2016) wartości indeksu zbioru (HI) dla nowoczesnych odmian zbóż, nadających się do intensywnej uprawy, powinny mieścić się w przedziale 0,4–0,6 (40%–60%). Ponadto Pecio (2017) podaje, że średnie wartości indeksu żniwnego azotu (NHI) dla pszenicy ozimej wynoszą 76%, a dla jarej 78%. Autorka podaje również, że wartości NHI u pszenicy ozimej zmniejszały się w miarę wzrostu dawki azotu, natomiast u pszenicy jarej nie zależały od wielkości zastosowanych dawek azotu. Podobne wartości indeksu żniwnego azotu zanotowała Małecka i in. (2013) w tradycyjnej uprawie roli dla pszenicy ozimej oraz pszenżyta ozimego. Z kolei Blecharczyk i in. (2009) zaobserwowali, że system następstwa roślin nie różnicował indeksu pobrania azotu (NHI), a nawożenie organiczno-mineralne obniżyło wartości tego wskaźnika, czego nie stwierdzono po zastosowaniu samego obornika (0,76%) lub nawożenia NPK (0,77%). Badania własne dowodzą natomiast, że wartości indeksu żniwnego azotu były dużo niższe niż w cytowanych powyżej pracach i mieściły się w zakresie 51,8–71,2%. Odmiany orkisz z serii I (‘Schwabenspelz’ i ‘Badengold’) charakteryzował wyższy indeks pobrania azotu niż pszenicę zwyczajną ‘Bogatka’, a w grupie odmian z serii II był on najwyższy dla pszenicy zwyczajnej ‘KWS Dakotana’. Podobnie jak w badaniach Pecio (2017), wartości NHI dla orkisz i pszenicy zwyczajnej, po zastosowaniu nawożenia azotem lub obornikiem były niższe niż w warunkach kontrolnych (bez nawożenia). Badania własne wskazują również, że orkisz ‘Schwabenspelz’ i ‘Schwabenkorn’ oraz pszenica zwyczajna ‘Bogatka’ i ‘KWS Dakotana’ z serii II osiągnęły najwyższy indeks żniwny azotu na obiektach nawożonych dawką 30 kg N·ha⁻¹, a pozostałe odmiany orkisz po zastosowaniu 90 kg N·ha⁻¹. Niższa dawka obornika (15 t·ha⁻¹) sprzyjała również osiągnięciu przez odmiany ‘Badengold’, ‘Schwabenspelz’, ‘Bogatka’, ‘Badenkrone’ i ‘KWS Dakotana’ wyższego indeksu pobrania azotu niż w obiekcie kontrolnym.

5.7. Wpływ odmiany i nawożenia na zdrowotność roślin

Zarówno w literaturze krajowej, jak i zagranicznej często podejmowanymi problemami badawczymi dotyczącymi uprawy pszenicy są nawożenie, intensywność technologii uprawy, gęstość oraz termin siewu. Istotne znaczenie ma również obecność agrofagów, które są jednym z ważniejszych czynników ograniczających wielkość i jakość plonu (Strange i Scott, 2005). Patogeny atakujące rośliny uprawne trudno kontrolować, ponieważ ich populacje są zmienne w czasie i przestrzeni. Ewolują, bardzo często pokonując bariery uzyskane dzięki pracom hodowlanym. Szacunkowe dane literaturowe wskazują, że co-roczenie powodowane przez nie straty wynoszą co najmniej 10,0% produkcji (Oerke, 2006). Piśmiennictwo wskazuje jednoznacznie, że stare i dobrze znane praktyki agronomiczne związane z uprawą roślin, takie jak płodozmian, tradycyjna uprawa, mieszanki upraw czy nawożenie naturalne bardzo często zostają wyparte lub są modyfikowane ze względów ekonomicznych, co niesie z sobą konsekwencje w postaci większej presji ze strony chorób i szkodników. Zdaniem wielu autorów rozpoznanie reakcji odmian na czynniki chorobotwórcze jest warunkiem uzyskania wysokich plonów o korzystnych parametrach jakościowych (Jończyk, 2002; Cacak-Pietrzak i in., 2003). Pszenica zwyczajna jest jednym z gatunków roślin zbożowych bardziej podatnych na presję ze strony chorób o wysokim znaczeniu gospodarczym, co ma wpływ na wzrost i rozwój roślin oraz wysokość plonowania. Z kolei odmiany orkiszu porażane są najczęściej przez mączniaka prawdziwego zbóż i traw, rdzę brunatną pszenicy oraz septoriozę plew. Według Sulewskiej (2004a) oraz Sawickiej i Krochmal-Marczak (2012) orkisz charakteryzuje się wyższą odpornością na choroby źdźbła i kłosa w porównaniu z pszenicą zwyczajną. Tak jednoznacznych stwierdzeń nie można sformułować natomiast na podstawie wyników badań własnych. Objawy występowania na roślinach rdzy brunatnej pszenicy obserwowano przez cały okres prowadzenia badań w serii I i tylko w jednym sezonie wegetacyjnym w serii II. Z obserwacji tych wynika, że odmiany orkiszu z serii I, w porównaniu z pszenicą zwyczajną, charakteryzował wyższy indeks porażenia liści przez *Puccinia recondita* Roberge ex Desm., natomiast w serii II najbardziej odporna na porażenie przez tego patogena okazała się odmiana orkiszu 'Zollernspelz'. Ocena stanu zdrowotności roślin wykazała również, że indeks porażenia liści przez *Blumeria graminis* (DC.) – sprawcę mączniaka prawdziwego zbóż i traw – był niższy dla pszenicy zwyczajnej w porównaniu z orkiszem, z wyjątkiem jednej odmiany orkiszu 'Badenkrone', którą charakteryzowała wyższa odporność niż pszenicę zwyczajną. Stwierdzenia te są w dużym stopniu zbieżne z wynikami, jakie uzyskała Radzikowska (2020), która porównywała zdrowotność jedenastu odmian orkiszu z pszenicą zwyczajną oraz Cyrkler-Degulis i Bulińska-Radomska (2006), badające zdrowotność czterech gatunków pszenicy ozimej. Ponadto

odmiany orkiszu z serii I w badaniach własnych, charakteryzowały się dużo mniejszą podatnością na porażenie przez septoriozę paskowaną liści niż pszenica zwyczajna, co jest spójne z tym, co podaje literatura. Odwrotną zależność zaobserwowano natomiast w grupie odmian z serii drugiej. Kuś i in. (2006) w badaniach dotyczących pszenicy zwyczajnej oraz orkiszu wykazali istotne różnice w nasileniu chorób grzybowych u poszczególnych odmian w zależności od układu warunków pogodowych. Podobnie w badaniach Kurowskiego i in. (2004) oraz Sawinskiej i in. (2016) nasilenie chorób liści jęczmienia ozimego i jarego zmieniało się w zależności od przebiegu pogody.

Ważnym zagadnieniem wywołującym zainteresowanie naukowców już od lat 40. XX wieku jest rola mineralnych składników pokarmowych w ograniczaniu presji patogenów w zasiewach roślin uprawnych (Grzebisz i in., 2010). Wśród naukowców nie ma jednak zgodności co do wpływu poszczególnych rodzajów nawozów na zdrowotność roślin, ponieważ mogą one stymulować rozwój jednych agrofagów, a hamować inne (Lipa, 1992). Bogaty przegląd piśmiennictwa wykonany przez Grzebisza i in. (2010) wskazuje na ogólną poprawę stopnia odporności roślin na atak patogena w warunkach aplikacji czy też zwiększenia zawartości danego składnika pokarmowego w roślinie. Jednak zdaniem autorów z tak ogólnie sformułowanego twierdzenia należy wyłączyć azot. Dla pierwiastka, którego działanie fizjologiczne i plonotwórcze na roślinę jest nadrzędne w stosunku do pozostałych składników mineralnych, stwierdzono zależność bardziej złożoną, gdyż ogólny wzrost zawartości azotu w roślinie wywołuje najczęściej wzrost podatności roślin uprawnych na atak patogenów. Wypadkowa działania azotu jest jednak ściśle związana z formą zastosowanego azotu i gatunkiem patogena, na co wskazują również wyliczone w badaniach własnych indeksy porażenia dla orkiszu i pszenicy zwyczajnej. Literatura podaje też, że korzystne działanie azotu na wzrost odporności roślin na choroby notuje się najczęściej w warunkach aplikacji azotu w formie amonowej, która prowadzi do lokalnego zakwaszenia środowiska, co w konsekwencji zwiększa aktywność mikroskładników, w tym manganu będącego pierwiastkiem toksycznym dla wielu patogenów (Grzebisz i in., 2010). Wyżej cytowani autorzy wskazują również, że intensywne nawożenie azotem w połączeniu z cynkiem może prowadzić do wzrostu porażenia roślin przez *Blumeria graminis* (DC.) powodującego mączniaka prawdziwego zbóż i traw. W badaniach własnych dla większości odmian orkiszu porażenie liści przez *Blumeria graminis* (DC.) narastało wraz ze zwiększeniem dawki azotu do 60 kg·ha⁻¹, a dla orkiszu odmiany ‘Schwabenspelz’ i ‘Badenkrone’ oraz pszenicy zwyczajnej była to dawka 90 kg N·ha⁻¹. Podobnie Kurowski i in. (2004) zaobserwowali silniejsze porażenie roślin jęczmienia ozimego wraz ze wzrostem dawki azotu, co szczególnie wyraźnie było widoczne dla mączniaka prawdziwego zbóż i traw oraz rynchosporiozy zbóż. Z kolei Sawinska i in. (2016) za Hamkalo (2000) uważają, że w odniesieniu do zasiedlania roślin przez

patogeny istotnym elementem, poza systemem następstwa, jest rodzaj stosowanego nawożenia. Środowisko glebowe może znacząco zmieniać się pod wpływem nawożenia mineralnego, jak i naturalnego. Kierunki przemian zachodzących w glebie zależą w dużym stopniu od dostępu tlenu, temperatury, wilgotności i odczynu, aktywności mikroorganizmów, a także zabiegów agrotechnicznych i wysokości dawek nawozów. Według Grzebisza i in. (2010) stosowanie wyłącznie nawozów naturalnych nie zapewnia jednak odpowiedniej równowagi składników pokarmowych, a najlepsze efekty dla roślin uzyskuje się, stosując obornik łącznie z nawozami mineralnymi. Nawożenie roślin wpływa ponadto na liczebność oraz skład gatunkowy mikroorganizmów zasiedlających glebę i może przyczynić się do wzrostu liczebności patogenów roślin lub ich antagonistów, a tym samym wpływać na ich zdrowotność. Sawinska i in. (2016) w badaniach dotyczących jęczmienia jarego dowodzi, że zastosowanie nawożenia zarówno organicznego, jak i mineralnego bądź mineralno-organicznego zwiększyło procent porażonych liści w porównaniu z kontrolą. Mimo że w literaturze podano, że nawożenie obornikiem wpływa korzystnie na zdrowotność (Lipa, 1992), to według Kurowskiego i in. (2004, 2015) zwiększenie dawki nawożenia naturalnego przez dodanie nawozów mineralnych powoduje wzrost porażenia roślin przez patogeny wywołujące choroby liści.

5.8. Emisja gazów cieplarnianych

Właściwe gospodarowanie składnikami zawartymi w nawozach mineralnych stanowi podstawowy czynnik produkcji, a jednocześnie to także główny składnik biogeny istotnie wpływający na jakość wody, gleby i powietrza (Zegar i in., 2009). Do najczęściej stosowanych miar intensywności produkcji rolniczej według Kopińskiego (2011) należy poziom nawożenia mineralnego oraz obsada zwierząt. Badania skutków zmian klimatu wskazują, że jednym z zagrożeń mających wpływ na rozwój ekonomiczny i stan środowiska, są wysokie poziomy emisji gazów cieplarnianych (GHG) będące efektem wzrastającej intensyfikacji produkcji rolniczej (Bieńkowski i in., 2015). Żyłowski (2022) za Shuklą i in. (2019) podaje, że globalnie udział rolnictwa w emisji gazów cieplarnianych wynosi ok. 12%, przy czym szacuje się, iż produkcja żywności (cały łańcuch dostaw od wytworzenia środków produkcji aż do utylizacji odpadów) odpowiada za emisję 21–37% gazów cieplarnianych. Trendy emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych w 2022 r. raportowane przez KOBiZE (2024) wskazują, że dominującą rolę w emisji krajowej odgrywa dwutlenek węgla (82,9%). Udział metanu i podtlenku azotu jest znacznie mniejszy i wynosi odpowiednio 10,7% i 5,2%. Według tego źródła (KOBiZE, 2024) rolnictwo w Polsce odpowiada za ok. 8,8% całkowitej emisji gazów cieplarnianych, przy czym główne źródło

emisji podtlenku azotu w Polsce to sektor rolniczy, który odpowiedzialny jest za 80,2% emisji N_2O w skali kraju. Udział rolnictwa w krajowej emisji metanu (CH_4) wynosił natomiast 39,4%, a emisję dwutlenku węgla (CO_2) oszacowano na poziomie 0,4%. Żyłowski (2022) zauważa również, że wspomniany udział rolnictwa odnosi się do emisji występujących bezpośrednio podczas produkcji roślinnej i zwierzęcej i nie obejmuje wytworzenia użytych środków produkcji, które raportowane są w innych gałęziach gospodarki. Prognozy postępujących, globalnych zmian klimatycznych spowodowały, że w wielu opracowaniach krajowych i zagranicznych podkreśla się potrzebę ciągłego monitorowania gazów cieplarnianych emitowanych podczas produkcji surowców, ich przetwarzania oraz sprzedaży. Spowolnienie tempa wzrostu koncentracji GHG możliwe jest między innymi dzięki niskoemisyjnej gospodarce rolnej, a niezbędnym narzędziem w ocenie skuteczności działań w kierunku redukcji emisji GHG jest analiza śladu węglowego (Dong i in., 2013; Konieczny i in., 2013; Jarosz i Faber, 2014; Bieńkowski i in., 2015; Holka i Bieńkowski, 2020; Jaiswal i Agrawal, 2020). Obliczony w badaniach własnych, na podstawie danych z wielolecia, poziom emisji gazów cieplarnianych w uprawie orkisz i pszenicy zwyczajnej w odniesieniu do 1 ha powierzchni wyniósł odpowiednio 1091,7 oraz 1058,4 kg CO_2 ekw. $\cdot ha^{-1}$. Źródeł literaturowych opisujących emisję GHG w uprawie orkisz i pszenicy zwyczajnej jest niewiele, stąd trudno skonfrontować obliczenia własne z piśmiennictwem. Ponadto dostępne w literaturze dane są rozbieżne, co zdaniem Bieńkowskiego i in. (2017) może wynikać z niekomplementarności zastosowanych metod do oceny emisji GHG przy użyciu metody śladu węglowego. Żyłowski (2022) zwraca również uwagę, że szeroki zakres wyników dla tej samej rośliny może zależeć od przyjętej metodyki, zakresu badań, a także jakości i reprezentatywności danych użytych do obliczeń. W badaniach wyżej cytowanych autorów (Bieńkowski i in., 2017) dotyczących oceny emisji gazów cieplarnianych metodą śladu węglowego w intensywnej produkcji rolniczej, na przykładzie rzepaku ozimego uzyskano wysokie wartości wynoszące 2441,7 kg CO_2 ekw. $\cdot ha^{-1}$, a jeszcze wyższy poziom emisji gazów dla tego gatunku wynoszący ok. 4500,0 kg CO_2 ekw. $\cdot ha^{-1}$ uzyskała Borzęcka-Walker i in. (2011). Podobnie wysokie wartości w uprawie kukurydzy wyliczyli Żyłowski i in. (2018), a emisje wahały się od 1178,0 do 4636,0 kg CO_2 ekw. $\cdot ha^{-1}$ zależnie od ilości zastosowanych środków produkcji. Również Holka i Bieńkowski (2020) oszacowali wskaźnik emisji GHG w odniesieniu do 1 ha powierzchni uprawy pszenicy ozimej na dużo wyższym poziomie w porównaniu z tymi, jakie wyliczono w badaniach własnych. Autorzy w systemach uprawy tradycyjnej, uproszczonej i siewu bezpośredniego wyliczyli emisję na poziomie wynoszącym odpowiednio 2360,8 kg CO_2 ekw. $\cdot ha^{-1}$, 2717,7 kg CO_2 ekw. $\cdot ha^{-1}$ oraz 2627,9 kg CO_2 ekw. $\cdot ha^{-1}$. Dużo niższe wartości śladu węglowego w uprawie owsa (1248,5 kg CO_2 ekw. $\cdot ha^{-1}$), zbliżone do wyników badań własnych, uzyskała na podstawie wieloletnich danych Ratajczak

(2023). Z kolei Żyłowski (2022) oszacował emisję gazów cieplarnianych w odniesieniu do 1 ha uprawy pszenicy ozimej na poziomie 2501,0 kg CO₂ ekw.·ha⁻¹. Wartości te są porównywalne z wynikami uzyskanymi również dla pszenicy ozimej przez Charlesa i in. (2006) oraz Holkę i in. (2016). Niskie wartości emisji CO₂ oraz śladu węglowego w uprawie badanych pszenic, w porównaniu z cytowaną literaturą, wynikają z intensyfikacji produkcji, która w badaniach własnych była bardziej ekstensywna. Jednocześnie Żyłowski (2022) podkreśla fakt, że uprawa pszenicy ozimej powoduje największą emisję gazów cieplarnianych wśród analizowanych zbóż (jęczmień jary, pszenżyto ozime, mieszanki zbóż) na 1 ha, to jednak jej ślad węglowy w odniesieniu do 1 kg plonu jest najniższy ze względu na relatywnie najwyższy plon. Ślad węglowy produkcji 1 kg ziarna pszenicy zwyczajnej w badaniach własnych, oszacowano na 259,1 kg CO₂ ekw.·t⁻¹ (seria I) oraz 214,7 kg CO₂ ekw.·t⁻¹ (seria II), co jest wynikiem znacząco mniejszym niż podany przez Żyłowskiego (2022) (0,49–0,57 kg CO₂ ekw.·kg⁻¹) oraz Clune'a i in. (2017) (0,53 kg CO₂ ekw.·kg⁻¹). Badania własne wskazują również, że niezależnie od serii badań wartości średnie CF dla orkisz były zdecydowanie wyższe niż dla pszenicy zwyczajnej, co tłumaczyć można relatywnie niższym plonem ziarna. Analizy przeprowadzone przez Hilliera i in. (2009) dotyczące emisji gazów cieplarnianych z uprawy roślin strączkowych, zbóż jarych i ozimych, rzepaku i ziemniaka pokazują z kolei, iż średnio 75,0% emisji z uprawy jest skutkiem użycia nawozów azotowych (zarówno mineralnych, jak i naturalnych), przy czym brano pod uwagę zarówno produkcję nawozów mineralnych, jak i indukowane ich użyciem emisje N₂O z gleby. Decydujący wpływ poziomu nawożenia azotem na emisje GHG w produkcji pszenicy potwierdzają również badania przeprowadzone przez Charlesa i in. (2006) oraz Wójcik-Gront i Bloch-Michalik (2016). Według Holki i Bieńkowskiego (2020) nawożenie mineralne jest dominującym składnikiem śladu węglowego uprawy pszenicy ozimej, stanowiąc od 66,7% do 75,9% w zależności od systemu uprawy. Stosunkowo duży udział nawożenia w strukturze udziału zabiegów technologicznych w śladzie węglowym, wyliczyła również dla uprawy owsa Ratajczak (2023), który wahał się od 63% do 76% w warunkach niedeszczowanych i od 41% do 72% w warunkach nawadniania, odpowiednio przy dawce 50 i 150 kg N·ha⁻¹. Z kolei Jayasundara i in. (2014) podają, że udział nawożenia azotem w strukturze emisji w uprawie kukurydzy wynosił 72%. Podobny udział nawożenia został też stwierdzony w polskich badaniach dotyczących uprawy rzepaku ozimego – 78% (Bieńkowski i in., 2017) oraz pszenicy ozimej – ponad 70% (Holka i in., 2016). Literatura przedmiotu jest zgodna co do tego, że największy wpływ na emisje rolnicze mają emisje związane ze stosowaniem i produkcją nawozów azotowych (Jarosz i Faber, 2014; Holka i in., 2016; Bieńkowski i in., 2017; Żyłowski i in., 2018; Holka i Bieńkowski, 2020; Żyłowski, 2022), dlatego w kształtowaniu niskoemisyjnych technologii należy brać pod uwagę szczególnie zagrożenia wynikające ze stosowania tych

nawozów. Stąd w celu ograniczenia emisji rolniczych należy optymalizować nawożenie, uwzględniając ograniczenia przyrodnicze, warunki glebowe oraz produktywność upraw. Ponadto należy stosować taki asortyment nawozów, który jest obciążony mniejszą emisją GHG przy ich produkcji.

6. Wnioski i podsumowanie

1. Warunki pogodowe modyfikowały długość faz rozwojowych badanych pszenic. Największą zmienność dla obydwu podgatunków pszenic wykazano dla krótszych okresów, tj. między kłoszeniem a kwitnieniem oraz dojrzałością woskową a dojrzałością pełną, natomiast najmniejszą dla całego okresu wegetacji oraz okresu rozwoju wegetatywnego roślin (krzewienie – strzelanie w źdźbło). Zatem o długości okresu wegetacji badanych pszenic nie decydował przebieg pogody w konkretnej fenofazie, ale kumulujący się wpływ warunków całego okresu wzrostu i rozwoju roślin.
2. Długość poszczególnych okresów rozwojowych badanych pszenic była silniej modyfikowana opadami niż temperaturą powietrza. Wyraźny związek z opadami, niezależnie od podgatunku, zaznaczył się dla długości trwania okresów: strzelanie w źdźbło – kłoszenie, dojrzałość mleczna – dojrzałość woskowa oraz dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna, a w przypadku pszenicy orkisz również dla okresu kłoszenie – kwitnienie.
3. Plon ziarna pszenicy orkisz był dodatnio skorelowany z długością międzyfaz krzewienie – strzelanie w źdźbło oraz dojrzałość mleczna – dojrzałość woskowa, a w przypadku pszenicy zwyczajnej ujemnie skorelowany z okresem pomiędzy kwitnieniem a dojrzałością mleczną.
4. Na wielkość plonu ziarna badanych pszenic znacząco większy wpływ miały opady atmosferyczne niż temperatura powietrza. Dla pszenicy zwyczajnej optymalny poziom opadów w okresie od dojrzałości mlecznej do dojrzałości pełnej wyliczono na 84,2 mm, a dla pszenicy orkisz na 140,1 mm. Duże znaczenie dla plonowania pszenicy zwyczajnej miała również suma opadów w międzyfazie dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna, a dla pszenicy orkisz w okresie od dojrzałości mlecznej do dojrzałości woskowej.

5. Spośród przebadanych sześciu genotypów pszenicy orkisz najbardziej przydatne do uprawy w warunkach regionu Wielkopolski okazały się ‘Schwabenspelz’, ‘Badenstern’ i ‘Badenkrone’. Odmiany te charakteryzowały się najwyższymi plonami kłosków i ziarna oraz należały do grupy o wysokim udziale ziarna w plonie kłosków. Wykazywały także wysoką wartość masy 1000 ziaren i liczby ziaren w kłosie.
6. Żadna z badanych odmian orkisz nie dorównywała poziomem plonowania pszenicy zwyczajnej, stanowiąc od 47,1% (‘Zollernspelz’) do 70,1% (‘Schwabenspelz’) plonu ziarna pszenicy zwyczajnej. Wykazano, że odmiany pszenicy orkisz z serii II charakteryzowały się większą stabilnością plonowania niż pszenica zwyczajna.
7. Nawożenie azotowe korzystnie wpłynęło na plon ziarna i komponenty plonowania badanych pszenic, jednak efekt plonotwórczy zależny był od genotypu. Nawożenie stabilizowało plon ziarna oraz jego składowe tylko w przypadku odmian ‘Badengold’, ‘Schwabenspelz’, ‘Schwabenkorn’ oraz ‘Bogatka’. Przyrost plonu ziarna pszenicy orkisz w obydwu seriach badań w wyniku intensyfikacji nawożenia azotem następował do dawki 60 kg·ha⁻¹, a dla pszenicy zwyczajnej do 90 kg N·ha⁻¹. U obu podgatunków pszenicy większy wzrost plonu ziarna zaobserwowano po zastosowaniu obornika w dawce 30 t·ha⁻¹, w porównaniu z dawką 15 t·ha⁻¹.
8. Jedynie w przypadku odmiany ‘Bogatka’ uzyskano prostoliniowy wzrost plonu ziarna wraz ze zwiększaniem nawożenia azotem, natomiast plon ziarna pozostałych odmian wzrastał krzywoliniowo. Na podstawie wartości wyliczonych za pomocą rachunku regresji można oczekiwać, że uzyskanie maksymalnego plonu ziarna u odmian ‘Zollernspelz’, ‘Badenstern’, ‘Badenkrone’ i ‘KWS Dakotana’ jest możliwe po zastosowaniu niższych dawek azotu, co świadczy o tym, że można je zaliczyć do bardziej ekstensywnych w porównaniu z odmianami analizowanymi w serii I.
9. Plon ziarna pszenicy orkisz odmian ‘Badengold’, ‘Schwabenspelz’, ‘Zollernspelz’, ‘Badenkrone’ oraz pszenicy zwyczajnej ‘KWS Dakotana’ był determinowany przez obsadę kłosów oraz masę 1000 ziaren. W przypadku dwóch odmian orkisz (‘Schwabenkorn’ i ‘Badenstern’) istotny wpływ na plon ziarna miała liczba kłosów na jednostce powierzchni, a u pszenicy zwyczajnej ‘Bogatka’ liczba ziaren w kłosie oraz masa 1000 ziaren.
10. W obiektach bez nawożenia azotem spośród komponentów plonowania w największym stopniu o wielkości plonu ziarna odmian pszenicy orkisz z serii I decydowała obsada kłosów i masa 1000 ziaren, a w obecności nawożenia tylko masa 1000 ziaren. Z kolei plon ziarna odmian pszenicy orkisz z serii II, po zastosowaniu azotu był determinowany przez liczbę kłosów na 1 m² i wartość MTZ, a w miarę wzrostu dawki zwiększała się rola masy 1000 ziaren. Po zastosowaniu obornika plon ziarna pszenicy orkisz z serii I

zależał tylko od masy 1000 ziaren, a w serii II od obsady kłosów na jednostce powierzchni.

11. Wszystkie odmiany orkisz, w porównaniu z pszenicą zwyczajną, charakteryzowały się intensywniejszym krzewieniem, wyższym indeksem powierzchni liści LAI, większą wysokością roślin i podatnością na wyleganie oraz dłuższymi i mniej zbitymi kłosami o porównywalnej z kłosami pszenicy zwyczajnej liczbie kłosek w kłosie. Nawożenie azotowe w nieznacznym stopniu modyfikowało wartości tych cech.
12. Czynniki genetyczne w największym stopniu determinowały skład chemiczny ziarna badanych pszenic. Ziarno pszenicy orkisz, w porównaniu z ziarnem pszenicy zwyczajnej, charakteryzowało się wyższą koncentracją białka, glutenu oraz tłuszczu. Ziarno orkisz wyróżniały także wyższe wartości Rapid Mix Test oraz mniejsza masa hektolitra. Najwyższe wartości tych parametrów jakościowych ziarna zaobserwowano dla odmian 'Schwabenkorn' i 'Zollernspelz'.
13. Nawożenie azotowe na ogół korzystnie wpływało na skład chemiczny ziarna oraz poprawiało jego wartość technologiczną. Wzrost parametrów jakościowych ziarna najczęściej obserwowano do $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ lub po zastosowaniu $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ obornika, a ich wartości kształtowane były konstrukcją genetyczną odmian. Jedynie zawartość tłuszczu, skrobi oraz włókna w ziarnie była wyższa przy nawożeniu $30\text{--}60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Stosowanie obornika w ilości $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ sprzyjało gromadzeniu tłuszczu w ziarnie orkisz, natomiast koncentracja tłuszczu w ziarnie pszenicy zwyczajnej była większa po zastosowaniu wyższej dawki obornika ($30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$).
14. Przebieg gromadzenia suchej masy oraz akumulacji azotu w roślinach znacząco różnił się w zależności od podgatunku i odmiany badanych pszenic. Pszenica orkisz, w porównaniu z pszenicą zwyczajną, w okresie od strzelania w źdźbło do dojrzałości mlecznej gromadziła suchą masę z większą intensywnością, a rośliny pobierały dużo więcej azotu, natomiast w międzyfazie dojrzałość mleczna – dojrzałość pełna pobranie azotu było dużo niższe niż u pszenicy zwyczajnej. W fazie strzelania w źdźbło, w gromadzeniu suchej masy u pszenicy zwyczajnej, dominowały źdźbła, a u pszenicy orkisz liście. Ponadto, niezależnie od podgatunku, w fazie strzelania w źdźbło i kłoszenia najwięcej azotu kumulowały liście, w fazie dojrzałości mlecznej – kłosy, a w fazie dojrzałości pełnej – ziarno.
15. Dla wszystkich badanych pszenic wartości indeksu NNI odbiegały od wartości optymalnej, a zastosowane rodzaje nawożenia azotowego sprzyjały lepszemu odżywieniu roślin. W fazie strzelania w źdźbło, rośliny pszenicy orkisz, w porównaniu z pszenicą zwyczajną, charakteryzował wyższy indeks NNI oraz wyższe pobranie azotu. Ponadto dla większości odmian w tej fazie rozwojowej najwyższe indeksy NNI zaobserwowano, stosując nawożenie w dawce 60 kg

$\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$ lub $30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ obornika. W fazie kłoszenia wystarczająca dla odmian z serii I była dawka $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ lub $15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ obornika, a dla odmian z serii II dawka $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ lub $30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ obornika, która zapewniała także najlepsze odżywienie roślinom w fazie dojrzałości mleczonej.

16. Efektywność rolnicza i fizjologiczna oraz wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez badane pszenice wyraźnie zmniejszały się wraz ze wzrostem dawki tego składnika. Największa produktywność zastosowanego i pobranego azotu w przedziale $0\text{--}90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ charakteryzowała odmianę orkiszu ‘Badenstern’. Wysokimi zdolnościami przetworzenia pobranego azotu na plon użytkowy, dla dawek 60 i $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, wyróżniały się także odmiany ‘Badengold’ oraz ‘Schwabenspelz’. Odmiany z serii II charakteryzował wyższy wskaźnik wykorzystania azotu z nawozów ($42,2\text{--}83,8\%$) niż odmiany z serii I ($43,6\text{--}76,7\%$).
17. Uprawa pszenicy orkisz w porównaniu do pszenicy zwyczajnej, niezależnie od rodzaju i dawki nawożenia azotowego, generowała wyższe wartości emisji CO_2 oraz śladu węglowego (CF). Największą emisję CO_2 zaobserwowano po zastosowaniu $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. W uprawie pszenicy orkisz wielkość emisji CO_2 w tym obiekcie, w porównaniu z wariantem kontrolnym, wzrosła o $16,8\%$, a w uprawie pszenicy zwyczajnej o $17,4\%$. Z kolei wzrost dawki obornika z 15 do $30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ spowodował wzrost emisji CO_2 w uprawie pszenicy orkisz o $50,6\%$ i o $52,9\%$ dla pszenicy zwyczajnej. Najniższe wartości emisji CO_2 oraz śladu węglowego (CF), niezależnie od podgatunku pszenicy, zaobserwowano po zastosowaniu $15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ obornika.
18. O wystąpieniu ocenianych patogenów grzybowych decydował głównie układ warunków pogodowych w poszczególnych latach badań. Pszenicę orkisz, w porównaniu z pszenicą zwyczajną, charakteryzował wyższy indeks porażenia liści przez *Blumeria graminis* (DC.). Z kolei odmiany pszenicy orkisz z serii I charakteryzowały się dużo większą tolerancją na septoriozę paskowaną liści i mniejszą na rdzę brunatną. Nawożenie azotowe u większości badanych odmian powodowało zwiększenie presji ze strony grzybów *Blumeria graminis* (DC.), *Puccinia recondita* Roberge ex Desm. oraz *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt.

Pszenica orkisz różni się od pszenicy zwyczajnej pod względem cech biologicznych, gospodarczych, adaptacyjnych oraz potrzeb nawozowych. W warunkach środowiskowych regionu Wielkopolski zwiększenie produktywności pszenicy orkisz oraz uprawa w bardziej zintensyfikowanych systemach gospodarowania jest możliwa przez właściwy dobór odmiany oraz dostosowanie dawki nawożenia azotowego, dzięki czemu wykorzystamy jej potencjał plonowania, co będzie miało bezpośredni wpływ na redukcję emisji gazów cieplarnianych.

Literatura

- Abdel-Aal, E.-S.M., Hucl, P., Sosulski, F.W. (1995). Compositional and nutritional characteristics of spring einkorn and spelt wheats. *Cereal Chem.*, 72(6), 621–624.
- Abdel-Aal, E.-S.M., Hucl, P., Sosulski, F.W., Bhirud, P.R. (1997). Kernel, milling and backing properties of spring-type spelt and einkorn wheats. *J. Cereal Sci.*, 26(3), 363–370.
- Abdel-Aal, E.-S.M., Salama, D.A., Hucl, P., Sosulski, F.W., Cao, W. (1996). Electrophoretic characterization of spring spelt wheat gliadins. *J. Agric. Food Chem.*, 44(8), 2117–2123.
- Achremowicz, B., Borkowska, H., Styk, B., Grundas, S. (1995). Wpływ nawożenia azotowego na jakość glutenu pszenicy jarej. *Biul. IHAR.*, 193, 29–34.
- Achremowicz, B., Kulpa, D., Mazurkiewicz, J. (1999). Technologiczna ocena ziarna pszenic orkiszowych. *Zesz. Nauk. AR Kraków, Technol. Żyw.*, 360, 11–17.
- Adamczewski, K., Matysiak, K. (2002). Klucz do określania faz rozwojowych roślin jedno- i dwuliściennych w skali BBCH. Poznań, IOR.
- Anders, A., Kolankowska, E., Choszcz, D.J., Konopka, S., Kaliniewicz, Z. (2020). The effect of selected parameters on spelt dehulling in a wire mesh cylinder. *Sustainability*, 12(1), 43–53.
- Andruszczak, S. (2017). Reaction of winter spelt cultivars to reduced tillage system and chemical plant protection. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(1), 15–22.
- Andruszczak, S. (2018). Spelt wheat grain yield and nutritional value response to sowing rate and nitrogen fertilization. *J. Anim. Plant Sci.* 28(5), 1476–1484.
- Andruszczak, S., Kwiecińska-Poppe, E., Kraska, P., Pałys, E. (2011). Yield of winter cultivars of spelt wheat (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) cultivated under diversified conditions of mineral fertilization and chemical protection. *Acta Sci. Pol., Agric.*, 10(4), 5–14.
- Andruszczak, S., Kwiecińska-Poppe, E., Kraska, P., Pałys, E. (2012). Wpływ niektórych środków ochrony roślin na kształtowanie powierzchni liści i kąta ich nachylenia

- u wybranych odmian ozimych pszenicy orkisz (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.). Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 52(1), 163–166.
- Asseng, S., Foster, I., Turner, N.C. (2011). The impact of temperature variability on wheat yields. Glob. Chang. Biol., 17(2), 997–1012.
- Barraclough, P.B., Howarth, J.R., Jones, J., Lopez-Bellido, R., Parmar, S., Shepherd, C.E., Hawkesford, M.J. (2010). Nitrogen efficiency of wheat: genotypic and environmental variation and prospects for improvement. Eur. J. Agron., 33(1), 1–11.
- Barutçular, C., Yildirim, M., Koç, M., Akinci, C., Toptaş, I., Albayrak, O., Tanrikulu, A., El Sabagh, A. (2016). Evaluation of SPAD chlorophyll in spring wheat genotypes under different environments. Fresenius Environ. Bull., 25(4), 1258–1266.
- Bednarek, W., Tkaczyk, P., Dresler, S. (2009). Plonowanie pszenicy ozimej w zależności od niektórych właściwości gleby i zabiegów agrotechnicznych. Acta Agroph., 14(2), 263–273.
- Belcar, J., Sobczyk, A., Sobolewska, M., Stankowski, S., Gorzelany, J. (2020). Characteristics of technological properties of grain and flour from ancient varieties of wheat (einkorn, emmer and spelt). Acta Univ. Cibiniensis, Ser. E: Food Technol., 24(2), 269–278.
- Bepirszcz, K., Budzyński, W. (2011a). Wartość technologiczna ziarna *Triticum aestivum* ssp. *vulgare* i ssp. *spelta* w zależności od poziomu agrotechniki. Ogólnopolska Konferencja Naukowa nt. Hodowla, uprawa i wykorzystanie pszenicy orkisz (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) w warunkach zmian klimatu. Mat. Konf., Puławy, 28–29 czerwca, 6–8.
- Bepirszcz, K., Budzyński, W. (2011b). Plonowanie *Triticum aestivum* ssp. *vulgare* i ssp. *spelta* w zależności od poziomu agrotechniki. Ogólnopolska Konferencja Naukowa nt. Hodowla, uprawa i wykorzystanie pszenicy orkisz (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) w warunkach zmian klimatu. Mat. Konf., Puławy, 28–29 czerwca, 3–5.
- Biel, W., Hury, G., Maciorowski, R., Kotlarz, A., Jaskowska, I. (2010). Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem na skład chemiczny ziarna dwóch odmian orkisz (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.). Acta Sci. Pol., Zootech., 9(4), 5–14.
- Biel, W., Kazimierska, K., Bashutska, U. (2020). Nutritional value of wheat, triticale, barley and oat grains. Acta Sci. Pol. Zootech., 19(2), 19–28.
- Biel, W., Stankowski, S., Jaroszevska, A., Pużyński, S., Boško, P. (2016a). The influence of selected agronomic factors on the chemical composition of spelt wheat (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) grain. J. Integr. Agric., 15(8), 1763–1769.
- Biel, W., Hury, G., Jaroszevska, A., Sadkiewicz, J., Stankowski, S. (2016b). The effect of tillage system and nitrogen fertilization on nutritional value of winter spelt wheat cultivars. Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin. Agric., Aliment., Pisc., Zootech., 330(40)4, 23–32.
- Biel, W., Stankowski, S., Sobolewska, M., Sadkiewicz, J., Jaroszevska, A., Pużyński, S. (2016c). Effect of selected agronomic factors on the baking quality of winter spelt strains and cultivars (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) in comparison with common wheat (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*). Rom. Agric. Res., 33, 251–258.

- Bieńkowski, J., Holka, M., Jankowiak, J. (2017). Ocena emisji GHG za pomocą śladu węglowego w intensywnej produkcji rolniczej, na przykładzie rzepaku ozimego. Zesz. Nauk. Szk. Gł. Gospod. Wiej., Probl. Rol. Świat., 17(2), 18–28.
- Bieńkowski, J., Jankowiak, J., Holka, M., Dąbrowicz, R. (2015). Potrzeby wyznaczania śladu węglowego produkcji rolniczej i perspektywy jego zastosowań. Zagadnienia Doradztwa Rolniczego, 80(2), 83–96.
- Biskupski, A., Kaus, A., Pabin, J., Włodek, S. (2004). Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem na wskaźnik powierzchni liści (LAI), średni kąt nachylenia liści (MTA) i plon wybranych odmian pszenicy jarej. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Sect. E, Agri., 59(2), 649–654.
- Biskupski, A., Kaus, A., Włodek, S., Pabin, J. (2006). Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem na plonowanie oraz wybrane wskaźniki architektury łanu kilku odmian pszenicy jarej. Pam. Puł., 142, 31–41.
- Biskupski, A., Kaus, A., Włodek, S., Pabin, J. (2007). Zróżnicowane nawożenie azotem a plonowanie i wybrane wskaźniki architektury łanu kilku odmian pszenicy jarej. Inż. Rol., 3(91), 29–36.
- Blackmer, T.M., Schepers, J.S. (1994). Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 25(9–10), 1791–1800.
- Blecharczyk, A. (2002). Reakcja żyta ozimego i jęczmienia jarego na system następstwa roślin i nawożenie w doświadczeniu wieloletnim. Rocz. AR Pozn. Rozpr. Nauk. 326, 1–127.
- Blecharczyk, A., Małecka, I., Piechota, T., Sawinska, Z. (2009). Wpływ wieloletniego nawożenia i systemu następstwa roślin na plonowanie jęczmienia jarego oraz akumulację azotu. Fragm. Agron., 26(4), 14–21.
- Bobrecka-Jamro, D., Jarecka, A., Jarecki, W. (2015). Response of some spring wheat cultivars to diverse mineral NPK fertilization. Acta Sci. Pol., Agric., 14(2), 3–13.
- Bodroža–Solarov, M., Filipčev, B. (2020). Spelt vs common wheat: potential advantages and benefits. Acta Innovations, 35, 57–64.
- Bojňanská, T., Frančáková, H. (2002). The use of spelt wheat (*Triticum Spelta* L.) for baking applications. Plant Soil Environ., 48(4), 141–147.
- Bombik, A., Jankowska, J., Starczewski, J. (1997). Wpływ czynników meteorologicznych na plonowanie zbóż w warunkach produkcyjnych. Zesz. Nauk. AR Wroc., 313, 27–36.
- Bonafaccia, G., Galli, V., Francisci, R., Mair, V., Skrabanja, V., Kreft, I. (2000). Characteristics of spelt wheat products and nutritional value of spelt wheat-based bread. Food Chem., 68, 437–441.
- Borzęcka-Walker, M., Faber, A., Pudełko, R., Kozyra, J., Syp, A., Borek, R. (2011). Life cycle assessment (LCA) of crops for energy production. J. Food Agric. Environ., 9(3–4), 698–700.
- Brisson, N., Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., Zimmer, D., Sierra, J., Bertuzzi, P., Burger, F., Bussiere, F., Cabidoche, Y.M., Cellier, P., Debaeke, P., Gaudillere, J.P., Henault, C., Maraux, F., Seguin, B., Sinoquet, H. (2003). An overview of the crop model stics. Eur. J. Agron., 18(3–4), 309–332.

- Brzozowska, I., Brzozowski, J., Hruszka, M. (2008). Plonowanie i struktura plonu pszenicy ozimej w zależności od sposobu pielęgnacji i nawożenia azotem. *Acta Agrophy.*, 11(3), 597–611.
- Budzyński, W. (2012a). Pszenica na świecie i w Polsce. W: W. Budzyński (red.), *Pszenice – zwyczajna, orkisz, twarda. Uprawa i zastosowanie* (s. 13–22). Warszawa: PWRiL.
- Budzyński, W. (2012b). Pszenica zwyczajna. W: W. Budzyński (red.), *Pszenice – zwyczajna, orkisz, twarda. Uprawa i zastosowanie* (s. 23–150). Warszawa: PWRiL.
- Budzyński, W., Bielski, S., Borysewicz, J. (2008). Wpływ nawożenia azotem na jakość technologiczną ziarna pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.*, 25(1), 39–49.
- Budzyński, W., Borysewicz, J., Bielski, S. (2004). Wpływ poziomu nawożenia azotem na plonowanie i jakość technologiczną ziarna pszenicy ozimej. *Pam. Puł.*, 135, 33–44.
- Buniak, W. (1990). Wpływ nawadniania i nawożenia na skład jakościowy gleb i roślin. *Rozpr. Nauk. AR Wroc.*, 89.
- Burgos, M.St., Messmer, M.M., Stamp, P., Schmid J.E. (2001). Flooding tolerance of spelt (*Triticum spelta* L.) compared to wheat (*Triticum aestivum* L.) – a physiological and genetic approach. *Euphytica.*, 122: 287–295.
- Cacak-Pietrzak, G., Ceglińska, A., Gondek, E., Jakubczyk, E. (2009). Wpływ struktury ziarna pszenicy na proces rozdrabniania. *Post. Tech. Przet. Spoż.*, 2(19/35), 53–56.
- Cacak-Pietrzak, G., Ceglińska, A., Haber, T. (1999). Wartość technologiczna wybranych odmian pszenicy ozimej w zależności od zróżnicowanego nawożenia azotowego. *Pam. Puł.*, 118, 45–56.
- Cacak-Pietrzak, G., Ceglińska, A., Jończyk, K. (2003). Wartość technologiczna wybranych odmian pszenicy ozimej uprawianej w różnych systemach produkcji roślinnej. *Pam. Puł.*, 133, 17–25.
- Cacak-Pietrzak, G., Gondek, E. (2010). Właściwości przemiałowe ziarna orkiszu i pszenicy zwyczajnej. *Acta Agroph.*, 16(2), 263–273.
- Cacak-Pietrzak, G., Gondek, E., Jończyk, K. (2013). Porównanie struktury wewnętrznej oraz właściwości przemiałowych ziarna orkiszu i pszenicy zwyczajnej z uprawy ekologicznej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 574, 3–10.
- Cacak-Pietrzak, G., Sułek, A., Gondek, E., Sułek, A. (2010). Plonowanie oraz cechy jakościowe ziarna nowych odmian pszenicy jarej w zależności od poziomu nawożenia azotem. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 553, 11–19.
- Cameron, K.C., Di, H.J., Moir, J.L. (2013). Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. *Annals Appl. Biol.* 162(2), 145–173.
- Campbell, K.G. (1997). Spelt: agronomy, genetics and breeding. *Plant Breeding Reviews* 15, 188–213.
- Capouchová, I. (2001). Technological quality of spelt (*Triticum spelta* L.) from ecological growing system. *Sci. Agric. Bohem.*, 32, 307–322.
- Cassman, K.G., Bryant, D.C., Fulton, A.E., Jackson, L.F. (1992). Nitrogen supply effects on partitioning of dry matter and nitrogen to grain of irrigated wheat. *Crop. Sci.*, 32(5), 1251–1258.

- Castagna, R., Minoia, C., Porfiri, O., Rocchetti, G. (1996). Nitrogen level and seeding rate effects on the performance of hulled wheats *Triticum monococcum* L., *T. dicoccum* Schübler and *T. spelta* L. evaluated in contrasting agronomic environments. *J. Agron. Crop Sci.*, 176, 173–181.
- Ceglińska, A. (2003). Technological value of spelt and common wheat hybrid. *Electron. J. Pol. Agric. Univ. Ser. Food Sci. Technol.*, 6(1), 1–7.
- Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych (COBORU). (2023). Gatunki, których odmiany wpisane są do krajowego rejestru (KR). Pobrano z: https://www.coboru.gov.pl/pl/kr/kr_gat
- Černý, J., Balík, J., Kulhánek, M., Časová, K., Nedvěd, V. (2010). Mineral and organic fertilization efficiency in long-term stationary experiments. *Plant Soil Environ.*, 56(1), 28–36.
- Čertík, M., Sláviková, L., Masrnová, S., Šajbidor, J. (2006). Enhancement of nutritional value of cereals with γ -linolenic acid by fungal solid-state fermentation. *Food Technol. Biotechnol.*, 44(1), 75–82.
- Charles, R., Jolliet, O., Gaillard, G., Pellet, D. (2006). Environmental analysis of intensity level in wheat crop production using life cycle assessment. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 113(1–4), 216–225.
- Chrenková, M., Čerešňáková, Z., Sommer, A., Gálová, Z., Král'ová, V. (2000). Assessment of nutritional value in spelt (*Triticum spelta* L.) and winter (*Triticum aestivum* L.) wheat by chemical and biological methods. *Czech. J. Anim. Sci.* 45(3), 133–137.
- Chrzanowska-Drożdż, B. (2001). Reakcja pszenicy ozimej na dawki i terminy stosowania azotu. Cz. I. Rozwój i plonowanie pszenicy ozimej w zależności od dawki i terminu stosowania azotu. *Zesz. Nauk. AR Wroc. Rol.*, 80, 257–270.
- Chuan, L., He, P., Zhao, T., Zheng, H., Xu, X. (2016). Agronomic characteristics related to grain yield and nutrient use efficiency for wheat production in China. *PLoS ONE*, 11(9), e0162802.
- Ciepiela, G.A., Kolczarek, R., Jankowska, J., Jankowski, K. (2009). Efektywność nawożenia runi łąkowej azotem stosowanym w nawozie płynnym i stałym. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Sect. E*, 64(2), 67–77.
- Clune, S., Crossin, E., Verghese, K. (2017). Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *J. Clean. Prod.*, 140(2), 766–783.
- Cyrkler-Degulis, M., Bulińska-Radomska, Z. (2006). Plonowanie i zdrowotność odmian i populacji czterech gatunków pszenicy ozimej w warunkach gospodarstw ekologicznych. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 51(2), 17–21.
- Cyrkler-Degulis, M., Bulińska-Radomska Z. (2007). Zaniechane gatunki i stare odmiany zbóż czy współczesne odmiany hodowlane dla rolnictwa ekologicznego? *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 517, 827–840.
- Czerednik, A., Nalborczyk, E. (2000). Współczynnik wykorzystania napromieniowania fotosyntetycznego aktywnego (RUE) – nowy wskaźnik fotosyntetycznej produktywności roślin w łanie. *Biul. Inst. Hod. Aklim. Rośl.*, 215, 13–22.
- Dai, J., Bean, B., Brown, B., Bruening, W., Edwards, J., Flowers, M., Karow, R., Lee, C., Morgan, G., Ottman, M., Ransom, J., Wiersma, J.J. (2016). Harvest index and straw yield of five classes of wheat. *Biomass Bioener.*, 85, 223–227.

- Dąbkowska, E. (2009). Wpływ odmiany ziarna orkisz uzyskanego w warunkach produkcji ekologicznej na jakość mąki. Olsztyn, Rozprawa doktorska, 1–163.
- Delogu, G., Cattivelli, L., Pecchioni, N., De Falcis, D., Maggiore, T., Stanca, A. (1998). Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *Eur. J. Agron.*, 9, 11–20.
- Dolijanović, Ž., Nikolić, S.R., Subić, J., Jovović, Z., Oljača, J., Bačić, J. (2022). Organic spelt production systems: Productive and financial performance in three orographic regions. *Italian J. Agron.*, 17(2), 2025–2033.
- Dong, G., Mao, X., Zhou, J., Zeng, A. (2013). Carbon footprint accounting and dynamics and the driving forces of agricultural production in Zhejiang Province, China. *Ecol. Econ.*, 91, 38–47.
- Dostatny, D.F., Tyburski, J., Żurek, M. (2020). Vademecum dawnych roślin uprawnych. *Mon. Rozpr. Nauk. IHAR – PIB, Radzików*, 52, 1–200.
- Dresler, S., Bednarek, W., Tkaczyk, P. (2010). Plonowanie pszenicy jarej w zależności od niektórych właściwości gleby i zabiegów agrotechnicznych. *Acta Agroph.*, 16(1), 15–24.
- Dubas, A., Gładysiak, S. (1997). Szczegółowa uprawa roślin rolniczych. Skrypt do ćwiczeń, AR Poznań.
- Dubis, B., Borysewicz, J. (2008). Wpływ nawożenia azotem na plon i technologiczną jakość wybranych odmian pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.*, 25(1), 110–120.
- Ducsay, L., Łożek, O. (2004). Effect of topdressing with nitrogen on the yield and quality of winter wheat grain. *Plant Soil Environ.*, 50(7), 309–314.
- Dupnis, L., Dumas, Ch. (1990). Influence of temperature stress on in vitro fertilization and heat shock protein synthesis in maize (*Zea mays* L.) reproductive tissues. *Plant Physiol.* 94, 665–670.
- Dvoraček, V., Čurn, V., Moudrý, J. (2002). Evaluation of amino acid content and composition in spelt wheat varieties. *Cereal Res. Comm.*, 30(1–2), 187–193.
- Dziamba, J., Dziki, D., Laskowski, J. (2001). Wpływ nawożenia azotowego na wybrane właściwości ziarna pszenicy. *Inż. Roln.*, 10(30), 121–127.
- Dzieżyc, J., Trybała, M. (1989). Rola wody w intensyfikacji produkcji roślinnej na glebach lekkich. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 377, 179–193.
- Dziki, D., Różyło, R., Laskowski, J. (2011). Przemiał pszenicy i wpływ twardości ziarna na ten proces. *Acta Agroph.*, 18(1), 33–43.
- Elandt, R. (1964). Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczalnictwa rolnego. Warszawa: PWN.
- Engel, R. (1991). Simulated growing-season precipitation and nitrogen effects on winter wheat yield. *Agron. J.*, 83(1), 180–185.
- EPPO. (2012). EPPO Standards PP 1/26 (4), Foliar and ear diseases on cereals. *Bull. OEPP/EPPO Bull.*, 42(3), 419–425.
- European Commission (EC), (2023). Common catalogue of varieties of agricultural plant species – Consolidated version 27.01.2023. Pobrano 11.08.2023 z: https://food.ec.europa.eu/system/files/2023-08/plant-variety-catalogues_agricultural-plant-species.pdf

- Escarnot, E., Jacquemin, J.M., Agneessens, R., Paquot, M. (2012). Comparative study of the content and profiles of macronutrients in spelt and wheat, a review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 16(2), 243–256.
- Faber, A., Jarosz, Z., Król, A. (2019). Wpływ zmian klimatu na efektywność wykorzystania azotu oraz jego straty. *Zesz. Nauk. Szk. Gł. Gospod. Wiej., Probl. Rol. Świat.*, 19(1), 37–46.
- Faber, A., Nieróbca, A. (1999). Prognozowanie plonu pszenicy ozimej na podstawie indeksu powierzchni liści. *Fragm. Agron.*, 16(1), 59–68.
- Fageria, N.K., Baligar, V.C., Li, Y.C. (2008). The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. *J. Plant Nutr.*, 31(6), 1121–1157.
- Feledyn-Szewczyk, B. (2012). Porównanie zdolności konkurencyjnych w stosunku do chwastów oraz plonów ziarna pszenicy orkisz (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) z odmianami pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*) w ekologicznym systemie produkcji. *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin. Agric. Aliment. Pisc. Zootech.*, 293(21), 13–26.
- Feledyn-Szewczyk, B., Duer, I. (2005). Konkurencyjność kilku odmian pszenicy ozimej uprawianej w ekologicznym systemie produkcji w stosunku do chwastów. *Post. Ochr. Roślin.*, 45(1), 126–133.
- Feledyn-Szewczyk, B., Duer, I. (2006). Ocena konkurencyjności odmian pszenicy ozimej uprawianej w ekologicznym systemie produkcji w stosunku do chwastów. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 51(2), 30–35.
- Filipek, T., Fidecki, M., Harasim, P. (2004). Wpływ osadu ściekowego z mleczarni na plonowanie i niektóre wskaźniki jakości ziarna pszenicy ozimej. *Annales UMCS, Sec., E*, 59(4), 1925–1931.
- Fotyma, E. (1990). Określenie potrzeb nawozowych roślin w stosunku do azotu na przykładzie jęczmienia jarego. *Fragm. Agron.*, 7(4), 4–78.
- Fotyma, E. (1997). Efektywność nawożenia azotem podstawowych roślin uprawy polowej. *Fragm. Agron.*, 14(1), 46–66.
- Fotyma, E. (2005). Doświadczenia wieloletnie z nawożeniem azotem o modyfikowanym schemacie. *Fragm. Agron.*, 22(1), 49–60.
- Fotyma, E., Bezdusznik, D. (2000). Wykorzystanie testu NNI i testu SPAD do oceny stanu odżywienia zbóż azotem. *Nawoz. Nawoż./Fertilizer. Fertilizat.*, 4(5), 78–90.
- Fotyma, E., Pecio, A. (1999). Zależność pomiędzy zawartością azotu a nagromadzeniem suchej masy przez zboża. *Pam. Puł.*, 114, 93–100.
- Galant, H. (1983). Wpływ elementów meteorologicznych na czas trwania międzyfazy pszenicy ozimej. *Rocz. Nauk Roln. Ser. A*, 105(4), 9–21.
- Galant, H., Andruszczak, S. (2004). Wpływ warunków meteorologicznych na długość międzyfaz żyta ozimego. *Annales UMCS, Sec., E*, 59(2), 833–838.
- Gálová, Z., Knoblochová, H. (2001). Biochemical characteristics of five spelt wheat cultivars (*Triticum spelta* L.). *Acta Fyto. Zootech.*, 4, 85–87.
- Gawęda, D., Haliniarz, M., Chojnacka, S., Sobolewska, M., Łukasz, J., Hury, G., Weśłowska-Trojanowska, M. (2019). Evaluation of the technological quality of grain and flour of two spelt wheat (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) cultivars grown under

- different conditions of crop protection and seeding rate. *Appl. Ecol. Environ. Res.*, 17(2), 4377–4395.
- Gawlik-Dziki, U., Świeca, M., Dziki, D. (2012). Comparison of phenolic acids profile and antioxidant potential of six varieties of spelt (*Triticum spelta* L.). *J. Agric. Food Chem.*, 60, 4603–4612.
- Gawrońska-Kulesza, A., Lenart, S. (1987). Wpływ wieloletniego zróżnicowanego nawożenia na plonowanie pszenicy ozimej i niektóre właściwości fizykochemiczne gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 322, 225–245.
- Gawrońska-Kulesza, A., Suwara, I., Kaczmarska, M. (1997). Rola przedplonu i poziomu nawożenia azotem w kształtowaniu struktury łanu i plonu pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.*, 3(55), 24–35.
- Gąsiorowska, B., Buraczyńska, D., Makarewicz, A. (2006). Wpływ warunków pogodowych na plonowanie wybranych roślin uprawnych w rejonie środkowowschodniej Polski. *Rocz. AR Pozn. CCCLXXX, Roln.*, 66, 75–81.
- Giunta, F., Motzo, R., Deidda, M. (2002). SPAD reading and associated leaf traits in durum wheat, barley and triticale cultivars. *Euphytica*, 125(2), 197–205.
- Gomez-Becerra, H.F., Erdem, H., Yazici, A., Tutus, Y., Torun, B., Oztruk, L., Cakmak, I. (2010). Grain concentrations of protein and mineral nutrients in a large collection of spelt wheat grown under different environments. *J. Cereal Sci.*, 52(3), 342–349.
- Gondek, K. (2012). Wpływ nawożenia nawozami mineralnymi, obornikiem od trzody chlewnej i komunalnymi osadami ściekowymi na plon i niektóre wskaźniki jakości ziarna pszenicy jarej (*Triticum aestivum* L.). *Acta Agroph.*, 19(2), 289–302.
- Greenwood, D., Lemaire, G., Gosse, G., Cruz, P., Draycott, A., Neeteson, J.J. (1990). Decline in percentage N of C₃ and C₄ crops with increasing plant mass. *Ann. Bot.*, 66(4), 425–436.
- Greffeuille, V., Abecassis, J., Rousset, M., Oury, F.-X., Faye, A., Bar L'Helgouac'h, C., Lullien-Pellerin, V. (2006). Grain characterization and milling behaviour of near-isogenic lines differing by hardness. *Theor. Appl. Gen.*, 114, 1–12.
- Grela, E.R. (1996). Nutrient composition and content of antinutritional factors in spelt (*Triticum spelta* L.) cultivars. *J. Sci. Food Agric.*, 71, 399–404.
- Grzebisz, W. (1988). Środowiskowe i fizjologiczne uwarunkowania produktywności pszenicy ozimej uprawianej w zmianowaniach ze wzrastającym udziałem zbóż. *Rocz. AR Pozn. Rozpr. Nauk.* 182.
- Grzebisz, W. (2008). Nawożenie roślin uprawnych. T. 1. Podstawy nawożenia. Poznań, PWRiL.
- Grzebisz, W., Gaj, R., Przygocka-Cyna, K. (2010). Rola składników pokarmowych w budowaniu mechanizmów odporności roślin uprawnych na presje patogenów. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin*, 50(2), 517–532.
- GUS (2023). *Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2023*. Warszawa, 1–441.
- Haliniarz, M., Gawęda, D., Bujak, K., Frant, M., Kwiatkowski, C. (2013). Yield of winter wheat depending on the tillage system and level of mineral fertilization. *Acta Sci. Pol., Agric.*, 12(4), 59–72.
- Harasim, E., Wesołowska-Trojanowska, M. (2010). Wpływ nawożenia azotem na plonowanie i jakość technologiczną ziarna pszenicy ozimej. *Pam. Puł.*, 152, 77–84.

- Hassan, U., Ogunlela, V., Sinha, T. (1987). Agronomic performance of wheat (*Triticum aestivum* L.) as influenced by moisture stress at various growth stages and seeding rate. *J. Agron. Crop Sci.*, 158(3), 172–180.
- Hay, R.K.M. (1995). Harvest index: A review of its use in plant breeding and crop physiology. *Ann. Appl. Biol.*, 126(1), 197–216.
- Hillier, J., Hawes, C., Squire, G., Hilton, A., Wale, S., Smith, P. (2009). The carbon footprints of food crop production. *Int. J. Agric. Sustain.*, 7(2), 107–118.
- Hillocks, R. (2012). Farming with fewer pesticides: EU pesticide review and resulting challenges for UK agriculture. *Crop. Prot.*, 31, 85–93.
- Holka, M., Bieńkowski, J. (2020). Ocena emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia produkcji pszenicy ozimej w różnych systemach uprawy roli. *Agron. Sci.*, 75(3), 69–79.
- Holka, M., Jankowiak, J., Bieńkowski, J.F., Dąbrowicz, R. (2016). Life cycle assessment (LCA) of winter wheat in an intensive crop production system in Wielkopolska region (Poland). *Appl. Ecol. Environ. Res.*, 14(3), 535–545.
- Hryniewicz, M., Grzybek, A., Kujda, Ł. (2015). Analiza metodą LCA skumulowanych emisji gazów cieplarnianych powstających podczas uprawy buraka cukrowego. *Pr. Inż. Roln.*, 4(90), 89–98.
- Hury, G., Stankowski, S., Makarewicz, A., Sobolewska, M., Biel, W., Opatowicz, N. (2016). The effect of soil tillage system and nitrogen fertilization on baking quality of winter spelt cultivars. *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin. Agric. Aliment. Pisc. Zootech.*, 330(40)4, 91–100.
- Hussain, G., Al-Jaloud, A.A., Karimulla, S. (1996). Effect of treated effluent irrigation and nitrogen on yield and nitrogen use efficiency of wheat. *Agric. Water Manag.*, 30(2), 175–184.
- IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories (2006). W: S. Eggleston, L. Buenda, K. Miwa, T. Negra, K. Tanabe (red.), Prepared by national greenhouse gas inventories programme. Japan: Eggleston Published, IGES.
- ISTA International Seed Testing Association (2011). International rules for seed testing Seed Science and Technology. Basserdorf, Switzerland.
- Jablonskytė-Raščė, D., Maikštėnienė, S., Mankevičienė, A. (2013). Evaluation of productivity and quality of common wheat (*Triticum aestivum* L.) and spelt (*Triticum spelta* L.) in relation to nutrition conditions. *Zemdirbyste-Agriculture*, 100(1), 45–56.
- Jaiswal, B., Agrawal, M. (2020). Carbon footprints of agriculture sector. In: S. Muthu (red.), Carbon footprints. Environmental footprints and eco-design of products and processes (s. 81–99). Singapore: Springer.
- Jankowiak, J. (1991). Efektywność produkcyjna i ekonomiczna oraz optymalizacja nawożenia azotem pszenicy ozimej i ziemniaka w zależności od deszczowania. *Wyd. IUNG Puławy, Ser. R*, 282.
- Jankowiak, J., Spychaj-Fabisiak, E., Murawska, B. (2005). Kształtowanie odczynu gleby i zawartości przyswajalnych form fosforu w warunkach doświadczenia wieloletniego. *Fragm. Agron.*, 22(1), 78–87.

- Jankowska, J., Starczewski, J., Koc, G. (2001). Wpływ elementów meteorologicznych na rozwój i plonowanie żyta ozimego i pszenicy ozimej w rejonie środkowowschodniej Polski. *Przegl. Nauk. SGGW w Warszawie, Wydz. Inż. Kształ. Środ.*, 21, 45–51.
- Jankowska-Miąsik, E. (2015). Reakcja polskich odmian pszenżyta ozimego na wybrane elementy agrotechniki. Rzeszów, Rozprawa doktorska, 1–139.
- Jarosz, Z., Faber, A. (2014). Ograniczenia emisji rolniczych poprzez stosowanie optymalnych dawek nawożenia azotem. *Studia i Raporty IUNG – PIB*, 39(13), 29–42.
- Jayasundara, S., Wagner-Riddle, C., Dias, G., Kariyapperuma, K.A. (2014). Energy and greenhouse gas intensity of corn (*Zea mays* L.) production in Ontario: A regional assessment. *Can. J. Soil Sci.*, 94(1), 77–95.
- Jenkins, D.J.A., Jenkins, A.L., Wolever, T.M.S., Vuksan, V., Venket, E.A., Thompson, L.U., Josse, R.G. (1995). Effect of reduced rate of carbohydrate absorption on carbohydrate and lipid metabolism. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 49, 68–73.
- Johansson, E., Prieto-Linde, M.L., Jönsson, J.Ö. (2001). Effects of wheat cultivar and nitrogen application on storage protein composition and breadmaking quality. *Cereal Chem.*, 78(1), 19–25.
- Johnson, R., Kanemasu, E. (1983). Yield and development of winter wheat at elevated temperatures. *Agron. J.*, 75(3), 561–565.
- Jończyk, K. (2002). Reakcja wybranych odmian pszenicy ozimej na uprawę w różnych systemach produkcji roślinnej. *Pam. Puł.*, 130(1), 339–346.
- Jug, I., Jug, D., Sabo, M., Stipešević, B., Stošić, M. (2011). Winter wheat yield components as affected by soil tillage systems. *Turk. J. Agric. For.*, 35(1), 1–7.
- Justes, E., Mary, B., Meynard, J.M., Machet, J.M., Thelier-Huche, L. (1994). Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter crops. *Ann. Bot.*, 74(4), 397–407.
- Kabała, C., Charzyński, P., Chodorowski, J., Drewnik, M., Glina, B., Greinert, A., Hulisz, P., Jankowski, M., Jonczak, J., Łabaz, B., Lachacz, A., Marzec, M., Mendyk, Ł., Musiał, P., Musielok, Ł., Smreczak, B., Sowiński, P., Świtoniak, M., Uzarowicz, Ł., Waroszewski, J. (2019). Polish Soil Classification, 6th edition – principles, classification scheme and correlations. *Soil Sci. Ann.*, 70(2), 71–97.
- Kaczorowska, Z. (1962). Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. Warszawa: Wydawnictwa Geologiczne.
- Kaczyński, L. (1999). Wartość gospodarcza zarejestrowanych w Polsce odmian pszenicy. *Pam. Puł.*, 118, 183–205.
- Kaczyński, L., Zych, J., Behnke, M., Lewandowska, B., Szymczyk, R. (1998). Metodyka badania właściwości gospodarczej odmian (WGO) roślin uprawnych. Rośliny rolnicze. Zbożowe. Słupia Wielka: COBORU.
- Kalbarczyk, E. (2005). Wymagania termiczne pszenżyta ozimego. *Acta Sci. Pol. Agric.*, 4(1), 41–50.
- Karczewska, P., Ceglińska, A. (2013). Charakterystyka zbóż chlebowych uprawianych w Polsce. *Prz. Zboż. Młyn.*, 57(5), 8–10.
- Kemanian, A.R., Stöckle, C.O., Huggins, D.R. (2007). Estimating grain and straw nitrogen concentration in grain crops based on aboveground nitrogen concentration and harvest index. *Agron. J.*, 99(1), 158–165.

- Knapowski, T., Ralcewicz, M. (2004). Ocena wskaźników jakościowych ziarna i mąki pszenicy ozimej w zależności od zróżnicowanego nawożenia azotem. *Annales UMCS, Sec., E*, 59(2), 959–968.
- Knapowski, T., Kozera, W., Chmielewski, J., Gorczyca, D., Wszelaczyńska, E., Pobereżny, J. (2016a). Mineral fertilization as a factor determining technological value of grain of *Triticum aestivum* ssp. *spelta* L. *Environ. Prot. Nat. Resour.*, 27(3), 8–13.
- Knapowski, T., Spychaj-Fabisiak, E., Kozera, W., Barczak, B., Murawska, B. (2016b). Mineral fertilization and baking value of grain and flour of *Triticum aestivum* ssp. *spelta* L. *Am. J. Exp. Agric.*, 11(4), 1–11.
- KOBiZE (Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami) (2024). Poland's national inventory report 2024. Greenhouse gas emissions inventory for 1988–2022. Warszawa, The National Centre for Emissions Management.
- Kocoń, A. (2003). Efektywność wykorzystania azotu z mocznika (^{15}N) stosowanego dolistnie lub doglebowo przez pszenicę ozimą i bobik. *Acta Agroph.*, 85, 55–63.
- Kocoń, A., Sułek, A. (2004). Wpływ nawożenia azotem na plon i niektóre parametry jakościowe ziarna pszenicy jarej rosnącej w warunkach niedoboru wody w podłożu. *Annales UMCS, Sec., E*, 59(1), 471–478.
- Kocoń, A., Podolska, G. (2008). Wpływ niedoboru wody w glebie na plon i jakość ziarna wybranych odmian pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.*, 25(1), 167–176.
- Kolasa-Więcek, A., Koszela, K. (2013). Wykorzystanie narzędzi data mining w badaniu struktury upraw i chowu zwierząt w Polsce na tle krajów Unii Europejskiej. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 58(1), 73–77.
- Konieczny, P., Mroczek, E., Kucharska, M. (2013). Ślad węglowy w zrównoważonym łańcuchu żywnościowym i jego znaczenie dla konsumenta żywności. *J. Agribus. Rural Dev.*, 3(29), 51–64.
- Konopka, I., Kozirok, W., Tańska, M. (2005). Wheat endosperm hardness. Part I. Relationships to colour of kernel cross-section. *Eur. Food Res. Technol.*, 220, 11–19.
- Konvalina, P., Moudrý, J., Capouchová I. (2013). Agronomic characteristics and baking quality of *Triticum spelta* L. *Lucrări Ştiinţifice s. Agronomie*, 56(1), 11–14.
- Kopiński, J. (2011). Tendencje zmian intensywności produkcji rolniczej w Polsce w aspekcie potencjalnych oddziaływań środowiskowych. *Zesz. Nauk. Szk. Gł. Gospod. Wiej., Probl. Rol. Świat.*, 11(1), 95–104.
- Kopiński, J. (2018). Zróżnicowanie gospodarki nawozowej azotem w polskim rolnictwie. *Pol. J. Agron.*, 32, 3–16.
- Koziara, W. (1996). Wzrost, rozwój oraz plonowanie pszenżyta jarego i ozimego w zależności od czynników meteorologicznych i agrotechnicznych. *Rocz. AR Pozn. Rozpr. Nauk.*, 269.
- Koziara, W., Sulewska, H., Panasiewicz, K. (2007). Efektywność nawożenia azotem pszenicy ozimej w zależności od sposobu uprawy roli. *Fragm. Agron.*, 24(3), 238–244.
- Kozyra, J. (2013). Wpływ prognozowanych zmian temperatury powietrza na fenologię zbóż ozimych w Polsce. *Mono. Rozpr. Nauk.*, IUNG – PIB Puławy, 40.
- Kraska, P., Andruszczak, S., Kwiecińska-Poppe, E., Pałys, E. (2013). Effect of chemical crop protection on the content of some elements in grain of spelt wheat (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*). *J. Elem.*, 18(1), 79–90.

- Krawczyk, P., Ceglińska, A., Kardialik, J. (2008a). Porównanie wartości technologicznej ziarna orkisz z pszenicą zwyczajną. *Żywn., Nauka Technol., Jakość*, 5(60), 43–51.
- Krawczyk, P., Ceglińska, A., Izdebska K. (2008b). Porównanie właściwości reologicznych ciasta i jakości pieczywa otrzymanego z mąki orkisz i pszenicy zwyczajnej. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 4(59), 141–151.
- Krochmal-Marczak, B., Sawicka, B. (2016). Wartość odżywcza pszenicy orkiszowej (*Triticum spelta* L.) uprawianej na Podkarpaciu. *Herbalism*, 1(2), 146–159.
- Kruczek, G., Wójtowicz, J. (1998). Wpływ nawożenia azotowego na plonowanie i skład chemiczny ziarna pszenicy. *Zesz. Nauk. AR Kraków*, 54(1), 119–126.
- Krzebietke, S., Sienkiewicz, S., Wojnowska, T., Wierzbowska, J. (2005). Produktowność roślin i pobranie makroskładników w czwartej rotacji wieloletniego doświadczenia polowego. *Fragm. Agron.*, 22(1), 152–160.
- Kuchar, L. (1987). Modele pogoda – plon i metody prognozowania plonów roślin uprawnych. *Fragm. Agron.*, 4(1), 15–30.
- Kulig, B., Lepiarczyk, A., Oleksy, A., Kołodziejczyk, M. (2010). The effect of tillage system and forecrop on the yield and values of LAI and SPAD indices of spring wheat. *Europ. J. Agron.*, 33(1), 43–51.
- Kundzewicz, Z.W., Kozyra, J. (2011). Ograniczanie wpływu zagrożeń klimatycznych w odniesieniu do rolnictwa i obszarów wiejskich. *Pol. J. Agron.*, 7, 68–81.
- Kurowski, T.P., Sadowski, T., Adamiak, J., Borawska M. (2004). Wpływ nawożenia azotem i stosowania fungicydu na nasilenie chorób jęczmienia ozimego. *Acta Sci. Pol., Agric.*, 3(2), 97–107.
- Kurowski, T.P., Sądej, W., Kacprzak-Siuda, K., Kwiatkowska, E., Kowalska E. (2015). Zdrowotność zbóż w zależności od nawożenia organicznego. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin*, 55(2), 147–153.
- Kuś, J., Kopiński, J. (2012). Gospodarowanie glebową materią organiczną we współczesnym rolnictwie. *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego*, 2(68), 5–27.
- Kuś, J., Mróz, A., Jończyk, K. (2006). Nasilenie chorób grzybowych wybranych odmian pszenicy ozimej w uprawie ekologicznej. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 51(2), 88–93.
- Kwiatkowski, C.A., Haliniarz, M., Tomczyńska-Mleko, M., Mleko, S., Kawecka-Radowska, M. (2015). The content of dietary fiber, amino acids, dihydroxyphenols and some macro- and micronutrients in grain of conventionally and organically grown common wheat, spelt wheat and millet. *Agric. Food Sci.*, 24, 195–205.
- Lacko-Bartošová, M. (2010). Nutritional quality and antioxidant capacity of *Triticum spelta* varieties. *J. Ecol. Health.*, 14(6), 290–294.
- Lacko-Bartošová, M., Korczyk-Szabó, J., Ražný, R. (2010). *Triticum spelta* – a specialty grain for ecological farming systems. *Res. J. Agric. Sci.*, 42(1), 143–147.
- Lacko-Bartošová, M., Otepka, P. (2001). Quantitative characters and chemical composition of spelt wheat cultivars grown in southern Slovakia. *Acta Fytotechn. Zootechn.*, 14(4), 71–73.
- Lacko-Bartošová, M., Rádlová, M. (2007). The significance of spelt wheat cultivated in ecological farming in the Slovak Republic. W: *Proceeding of the Conference on Organic Farming 2007* (s. 79–81).

- Ladha, J.K., Pathak, H., Krupnik, T.J., Six, J., van Kessel, C. (2005). Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. *Adv. Agron.*, 87, 85–156.
- Lemaire, G., Gastal, F. (1997). N uptake and distribution in plant canopies. W: G. Lemaire (red.), *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. Springer Verlag, 3–45.
- Lepiarczyk, A., Kulig, B., Stępnik, K. (2005). Wpływ uproszczonej uprawy roli i przedplonu na plonowanie oraz kształtowanie LAI wybranych odmian pszenicy ozimej w płodozmianie zbożowym. *Fragm. Agron.*, 22(2), 98–105.
- Lipa, J.J. (1992). Wpływ nawożenia mineralnego na występowanie chorób i szkodników roślin. *Post. Nauk Roln.*, 39(2), 29–38.
- Longin, C.F.H., Würschum, T. (2016). Back to the future – tapping into ancient grains for food diversity. *Trends in Plant Sci.*, 21(9), 731–737.
- López-Bellido, L., Fuentes, M., Castillo, J.E., López-Garrido, F.J. (1998). Effect of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat-grain quality grown under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crops Res.*, 57(3), 265–276.
- López-Bellido, L., Fuentes, M., Castillo, J.E., López-Garrido, F.J., Fernandez, E. (1996). Long-term tillage, crop rotation, and nitrogen fertilizer effects on wheat yield under rainfed Mediterranean conditions. *Agron. J.*, 88(5), 783–791.
- Łubkowski, Z. (1968). *Metodyka doświadczalnictwa rolniczego*. Warszawa: PWRiL.
- Łyczko, W., Pływaczyk, L., Klaus, R. (2000). Oddziaływanie budowy piętrzącej na wody gruntowe w terenie przyległym. *Rocz. AR Pozn.* 342, *Melior. Inż. Środ.*, 23, 267–278.
- Machul, M. (2005). Zastosowanie testu SPAD do ustalenia uzupełniającej dawki azotu dla kukurydzy. *Pam. Puł.*, 140, 159–172.
- Majewska, K., Dąbkowska, E., Żuk-Gołaszewska, K., Tyburski, J. (2007). Wartość wypiekowa mąki otrzymanej z ziarna wybranych odmian orkiszu (*Triticum spelta* L.). *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 2(51), 60–71.
- Makowska, A., Obuchowski, W., Adler, A., Sulewska, H. (2008a). Charakterystyka wartości przemiałowej i wypiekowej wybranych odmian orkiszu. *Fragm. Agron.*, 25(1), 228–239.
- Makowska, A., Obuchowski, W., Sulewska, H., Koziara, W., Paschke, H. (2008b). Effect of nitrogen fertilization of durum wheat varieties on some characteristics important for pasta production. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.*, 7(1), 29–39.
- Małecka, I. (2003). Studia nad plonowaniem pszenicy ozimej w zależności od warunków pogodowych i niektórych czynników agrotechnicznych. *Rocz. AR Pozn. Rozpr. Nauk.* 335, 1–121.
- Małecka, I., Blecharczyk, A. (2004). Wpływ systemów uprawy roli na jakość ziarna pszenicy ozimej. *Pam. Puł.*, 135, 181–187.
- Małecka, I., Blecharczyk, A., Sawinska, Z., Dytman-Hagedorn, M. (2013). Produkcja biomasy nadziemnej oraz pobranie makroskładników przez zboża ozime w zależności od sposobu uprawy roli. *Fragm. Agron.*, 30(4), 84–96.
- Małecka-Jankowiak, I., Blecharczyk, A., Sawinska, Z., Waniorek, W. (2018). Wpływ następczy łubinów i grochu na plonowanie pszenicy ozimej w zależności od uprawy roli i nawożenia azotem. *Fragm. Agron.*, 35(4), 67–79.

- Mantai, R.D., da Silva, J.A., Carbonera, R., Carvalho, I.R., Lautenchleger, F., Pereira, L.M. (2021). Technical and agronomic efficiency of nitrogen use on the yield and quality of oat grains. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient.*, 25(8), 529–537.
- Maraseni, T.N., Cockfield, G., Maroulis, J. (2010). An assessment of greenhouse gas emissions: implications for the Australian cotton industry. *J. Agric. Sci.*, 148(5), 501–510.
- Marconi, E., Carcea, M., Graziano, M., Cubadda, R. (1999). Kernel properties and pasta – making quality of five European spelta wheats (*Triticum spelta* L.) cultivars. *Cereal Chem.*, 76(1), 25–29.
- Marconi, E., Carcea, M., Schiavone, M., Cubadda, R. (2002). Spelt (*Triticum spelta* L.) pasta quality: Combined effect of flour properties and drying conditions. *Cereal Chem.*, 79(5), 634–639.
- Martin-Gorriz, B., Soto-García, M., Martínez-Alvarez, V. (2014). Energy and greenhouse-gas emissions in irrigated agriculture of SE (southeast) Spain. Effects of alternative water supply scenarios. *Energy*, 77, 478–488.
- Martyniak, L. (2006). Wpływ warunków termicznych na rozwój roślin i zużycie wody w okresie wegetacji pszenżyta jarego. *Rocz. AR Pozn. CCCLXXX, Roln.*, 66, 219–226.
- Mazur, T., Sądej, W. (1999). Działanie wieloletniego nawożenia obornikiem, gnojowicą i nawozami mineralnymi na plon roślin i białka. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 465, 181–194.
- Mazur, T., Sądej, W. (2002). Działanie wieloletniego nawożenia organicznego i mineralnego na plon jęczmienia jarego i pszenicy ozimej uprawianych na glebie lekkiej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 484, 377–384.
- Mazurek, J. (1999). Biologiczne podstawy plonowania roślin zbożowych. *Pam. Puł.*, 114, 262–273.
- Mazurek, J., Jaśkiewicz, B., Kłupczyński, Z. (1999). Plonowanie i jakość ziarna pszenicy ozimej w zależności od techniki nawożenia azotem. *Pam. Puł.*, 118, 263–269.
- Mądry, W., Kozak, M., Rozbicki, J. (2000). Analiza ścieżek i sekwencyjna analiza plonu w badaniach zależności plonu od cech łanu. Cz. 2. Zastosowanie metod i porównanie wyników dla pszenżyta ozimego. *Rocz. Nauk Roln. Ser. A*, 115(1–4), 159–172.
- Menzel, A., Sparks, T.H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Alm-Kübler, K., Bissolli, P., Braslavská, O., Briede, A., Chmielewski, F.M., Crepinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, Å., Defila, C., Donnelly, A., Filella, Y., Jatczak, K., Måge, F., Mestre, A., Nordli, Ø., Peñuelas, J., Pirinen, P., Remišová, V., Scheifinger, H., Striz, M., Susnik, A., Van Vliet, A.J.H., Wielgolaski, F.-E., Zach, S., Zust, A. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biol.*, 12(10), 1969–1976.
- Mercik, S., Stępień, M., Stępień, W. (2004). Przydatność obornika do regeneracji gleb bardzo kwaśnych, ubogich w próchnicę oraz wyczerpanych ze składników pokarmowych. Cz. II. Plonowanie roślin i pobranie składników pokarmowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 499, 261–270.
- Mercik, S., Stępień, W. (2012). Effect of nitrogen on crop yield as influenced by soil pH and fertilization with farmyard manure. *Ecol. Chem. Eng., A*, 19(1–2), 105–111.

- Mikos, M. (2012). Plonowanie i wartość technologiczna ziarna pszenicy orkisz (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) w zależności od wybranych czynników agrotechnicznych. Puławy, Rozprawa doktorska, 1–140.
- Mikos, M., Podolska, G. (2012). Bread-making quality of old common bread (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare* L.) and spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) wheat cultivars. *J. Food Agric. Environ.*, 10(3/4), 221–224.
- Mikulíková, D. (2007). The effect of friabilin on wheat grain hardness. *Czech. J. Genet. Plant Breed.*, 43(2), 35–43.
- Mirschel, W., Wenkel, K.O., Schultz, A., Pommerening, J., Verch, G. (2005). Dynamic phenological model for winter rye and winter barley. *Eur. J. Agron.*, 23(2), 123–135.
- Molga, M. (1986). *Meteorologia rolnicza* (s. 465–475). Warszawa: PWRiL.
- Monostori, I., Árendás, T., Hoffman, B., Galiba, G., Gierczik, K., Szira, F., Vágújfalvi, A. (2016). Relationship between SPAD value and grain yield can be affected by cultivar, environment and soil nitrogen content in wheat. *Euphytica*, 211(1), 103–112.
- Moudrý, J. (1999). Productivity of spelt wheat (*Triticum spelta*) spike. *Sci. Agric. Biohem.*, 30(1), 15–26.
- Moudrý, J., Konvalina, P., Stehno, Z., Capouchová, I., Moudrý, J. Jr. (2011). Ancient wheat species can extend biodiversity of cultivated crops. *Sci. Res. Essays*, 6(20), 4273–4280.
- Mroczkowski, W., Cygański, A. (1983). Spektrofotometryczna metoda oznaczania azotu w materiale roślinnym. *Chem. Anal.*, 28, 319–323.
- Mrozowski, M., Gawrońska-Kulesza, A. (1987). Plonowanie pszenicy ozimej w warunkach różnego udziału zbóż w zmianowaniu. Cz. 2. Czynniki determinujące wzrost i plony pszenicy ozimej w uproszczonych zmianowaniach zbożowych. *Rocz. Nauk Roln. Ser. A*, 106(4), 45–154.
- Muhamad, I.I., Campbell, G.M. (2004). Effect of kernel hardness and moisture content on wheat breakage in the single kernel characterization system. *Inn. Food Sci. Emerg. Tech.*, 5, 119–125.
- Neeson, R. (2011). Organic spelt production. Climate and water research, Yanco. Industry & Investment NSW Government, 1–8.
- Novoa, R., Loomis, R.S. (1981). Nitrogen and plant production. *Plant Soil*, 58, 177–204.
- Nowak, K., Spychaj-Fabisiak, E., Barczak, B., Knapowski, T., Kozera, W. (2015). Wstępne badania składu aminokwasowego białka ziarna orkisz nawożonego azotem i mikroelementami. *Inż. Ap. Chem.*, 54(5), 265–266.
- Nowak, W., Zbroszczyk, T., Kotowicz, L. (2004). Wpływ intensywności uprawy na niektóre cechy jakościowe ziarna odmian pszenicy. *Pam. Puł.*, 135, 199–212.
- Nowicka, A. (1993). *Temperatura*. W: J. Dzieżyc (red.), *Czynniki plonotwórcze – plonowanie roślin*. Warszawa: Wyd. Nauk. PWN.
- Oerke, E.C. (2006). Crop losses to pests. *J. Agric. Sci.*, 144, 1, 31–43.
- Oliveira, J.A. (2001). North Spanish emmer and spelt wheat landraces: agronomical and grain quality characteristic evaluation. *Plant Gen. Res. Newsletter (FAO/IPGRI)*, 125, 16–20.

- Olsen, J., Weiner, J. (2007). The influence of *Triticum aestivum* density, sowing pattern and nitrogen fertilization on leaf area index and its spatial variation. *Basic and Appl. Ecol.*, 8, 252–257.
- Orzech, K., Marks, M., Gragańska, E., Stępień, A. (2009). Plonowanie pszenicy ozimej w zależności od warunków pogodowych i różnych sposobów uprawy gleby średniej. *Annales UMCS, Sec., E*, 64(4), 122–129.
- Ostasiewicz, W. (1998). Statystyczne metody analizy danych. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Wrocław, 350.
- Panak, H., Wojnowska, T., Sienkiewicz, S. (1993). Wpływ nawożenia obornikiem i NPK na dynamikę wilgotności gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 411, 96–100.
- Panasiewicz, K. (2013). Wpływ czynników pogodowych i agrotechnicznych na wzrost i plonowanie pszenżyta jarego. *Rocz. UP Pozn. Rozpr. Nauk.* 453, 1–142.
- Panasiewicz, K., Koziara, W., Sulewska, H. (2011). Produktywność azotu w uprawie pszenicy twardej jarej (*Triticum durum* Desf.). *Nauka Przyr. Technol.*, 5(2), 13.
- Panek, K. (1993). Działanie i współdziałanie usłonecznienia, temperatury i opadów na plonowanie zbóż jarych w Polsce. *Zesz. Nauk. AR Wroc. Rozpr.*, 109.
- Parry, M.A., Reynolds, M., Salvucci, M.E., Raines, C., Andralojc, P.J., Zhu, X.G., Price, G.D., Condon, A.G., Furbank, R.T. (2011). Raising yield potential of wheat. II. Increasing photosynthetic capacity and efficiency. *J. Exp. Bot.*, 62(2), 453–467.
- Pawlak, J. (2017). Poziom i struktura emisji gazów cieplarnianych w rolnictwie. *Probl. Inż. Rol.*, 4(98), 55–63.
- Pecio, A. (2017). Efektywność wykorzystania azotu – sposoby wyznaczania oraz zastosowanie w badaniach rolniczych. *Studia i Raporty IUNG – PIB*, 53(7), 39–53.
- Pecio, A. (2021). Teoretyczne podstawy określania wymagań pokarmowych roślin i potrzeb nawożenia. *Studia i Raporty IUNG – PIB*, 65(19), 173–195.
- Peltonen-Sainio, P., Muurinen, S., Rajala, A., Jauhiainen, L. (2008). Variation in harvest index of modern spring barley, oat and wheat cultivars adapted to northern growing conditions. *J. Agric. Sci.*, 146(1), 35–47.
- Podleśny, J., Kocoń, A. (2006). Wpływ stresu suszy na rozwój i plonowanie dwóch genotypów bobiku. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.* 509, 125–131.
- Podolska, G. (1999). Budowa i wydajność łanu pszenicy ozimej w zależności od wybranych czynników agrotechnicznych i modelu rośliny. *Pam. Puł., Rozp. Hab.*, 116.
- Podolska, G. (2008). Wpływ dawki i sposobu nawożenia azotem na plon i wartość technologiczną ziarna odmian pszenicy ozimej. *Acta Sci. Pol. Agric.*, 7(1), 57–65.
- Podolska, G. (2009). Reakcja pszenicy ozimej na nawożenie azotem w doświadczeniach wazonowych. *Biul. Inst. Hod. Aklim. Rośl.*, 253, 83–91.
- Podolska, G. (2014). Czynniki siedliskowe i agrotechniczne wpływające na wartość technologiczną pszenicy ozimej. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 41(15), 99–115.
- Podolska, G., Aleksandrowicz, E., Szafrńska, A. (2020). Bread making potential of *Triticum aestivum* and *Triticum spelta* species. *Open Life Sci.*, 15(1), 30–40.
- Podolska, G., Boguszewska, E., Mikos, M., Antoniak, M. (2011). Wartość technologiczna ziarna i maki *Triticum spelta*, *Triticum durum* i *Triticum aestivum* w zależności

- od dawki azotu i niedoboru wody w glebie. Ogólnopolska Konferencja Naukowa nt. *Hodowla, uprawa i wykorzystanie pszenicy orkisz (Triticum aestivum ssp. spelta) w warunkach zmian klimatu*. Mat. Konf., Puławy, 28–29 czerwca, 31–33.
- Podolska, G. Hołubowicz-Kliza, G. (2006a). Reakcja pszenicy ozimej odmiany ‘Tonacja’ na stres suszy. *Rocz. AR Pozn. CCCLXXX, Roln.*, 66, 261–269.
- Podolska, G. Hołubowicz-Kliza, G. (2006b). Reakcja pszenżyta ozimego odmiany Sorento na stres suszy. *Fol. Univ. Agric. Stetin. Agric.*, 100, 145–149.
- Podolska, G., Krasowicz, S., Sułek, A. (2005). Ocena ekonomiczna i jakościowa technologii uprawy pszenicy ozimej przy różnym poziomie nawożenia azotem. *Pam. Puł.*, 139, 175–188.
- Podolska, G., Nita, Z. (2006). Wpływ warunków pogody i dawki nawożenia azotem na plonowanie i budowę łanu *Triticum durum*. *Rocz. AR Pozn. CCCLXXX, Roln.*, 66, 279–296.
- Podolska, G., Rothkaehl, J., Górniak, W., Stępniewska, S. (2015). Wpływ nawożenia azotem i gęstości siewu na plon i wartość wypiekową pszenicy orkisz (*Triticum aestivum ssp. spelta*) odmiany Rokosz. *Ann. UMCS, Sec. E*, 70(1), 93–103.
- Podolska, G., Sułek, A. (2002). Główne elementy technologii produkcji decydujące o wysokiej jakości ziarna pszenicy. *Pam. Puł.*, 130, 597–605.
- Podolska, G., Sułek, A. (2003). Główne elementy technologii produkcji decydujące o wysokiej jakości ziarna pszenicy. *Pam. Puł.*, 130, 597–605.
- Podolska, G., Sułek, A., Stankowski, S. (2002). Obsada kłosów – podstawowy parametr plonotwórczy pszenicy ozimej (artykuł przeglądowy). *Acta Sci. Pol. Agric.*, 1(2), 5–14.
- Podolska, G., Wyzińska, M. (2011a). Reakcja odmian pszenicy ozimej na nawożenie azotem w doświadczeniach wazonowych. *Pol. J. Agron.*, 5, 43–48.
- Podolska, G., Wyzińska, M. (2011b). Reakcja nowych odmian pszenicy ozimej na gęstość i termin siewu. *Pol. J. Agron.*, 6, 44–51.
- Podolska, G., Wyzińska, M. (2013). Wpływ nawożenia azotem na niektóre cechy jakościowe ziarna pszenicy twardej (*Triticum durum* Desf.) odmiany Komnata. *Fragm. Agron.*, 30(3), 148–158.
- Polonskiy, V., Loskutov, I., Sumina, A. (2020). Biological role and health benefits of antioxidant compounds in cereals. *Bio. Comm.*, 65(1), 53–67.
- Pospíšil, A., Pospíšil, M. (2021). The effect of organic fertilizers on the spelt yield and the yield of its components. *Poljoprivreda, Agriculture*, 27(1), 37–43.
- Pospíšil, A., Pospíšil, M., Brčić M. (2016). Influence of seeding and nitrogen topdressing upon the agronomic traits of spelt (*Triticum spelta* L.). *Rom. Agric. Res.*, 33, 235–240.
- Pospíšil, A., Pospíšil, M., Svečnjak, Z., Matotan, S. (2011). Influence of crop management upon the agronomic traits of spelt (*Triticum spelta* L.). *Plant Soil Environ.*, 57(9), 435–440.
- Potarzycki, J. (2010). Improving nitrogen use efficiency of maize by better fertilizing practices. Review paper. *Nawoz. Nawoż./ Fertilizer. Fertilizat.*, 39, 5–24.

- Prusiński, J. (2005). Dynamika gromadzenia świeżej i suchej masy oraz azotu przez rośliny tradycyjnej i samokończącej odmiany łubinu żółtego (*Lupinus luteus* L.). *Acta Sci. Pol. Agric.*, 4(2), 57–72.
- Prusiński, J., Borowska, M., Kaszkowiak, E. (2008). Wybrane wskaźniki produkcyjności roślin bobiku w warunkach wzrastającego nawożenia azotem. *Biul. Inst. Hod. Aklim. Rośl.*, 248, 105–116.
- Pużyński, S., Stankowski, S., Pużyńska, K., Iwański, R., Wiancki, M., Biel, W. (2015). Impact of weed control method and sowing density on yielding of selected winter spelt (*Triticum spelta* L.) cultivars. *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin. Agric. Aliment. Pisc. Zootech.*, 322(36)4, 103–112.
- Rachoń, L. (1999). Plonowanie i jakość pszenicy twardej (*Triticum durum* Desf.) nawożonej zróżnicowanymi dawkami azotu. *Pam. Puław.*, 118, 349–355.
- Rachoń, L., Krochmal-Marczak, B., Cebulak, T. (2020). Przydatność ziarna jarej pszenicy zwyczajnej, twardej i orkiszowej do produkcji pieczywa w zależności od intensywności technologii produkcji. *Agron. Sci.*, 75(2), 25–36.
- Rachoń, L., Szumiło, G. (2009). Comparison of chemical composition of selected winter wheat species. *J. Elementol.*, 14(1), 135–146.
- Rachoń, L., Szumiło, G. (2015). Zmienność wskaźnika powierzchni liści (LAI) w zależności od genotypu pszenicy i intensyfikacji technologii uprawy. *Ann. UMCS, Sect. E*, 70(1), 33–39.
- Rachoń, L., Szumiło, G., Brodowska, M., Woźniak, A. (2015). Nutritional value and mineral composition of grain of selected wheat species depending on the intensity of a production technology. *J. Elem.*, 20(3), 705–715.
- Rachoń, L., Szumiło, G., Czubacka, M. (2009a). Plonowanie ozimych linii pszenicy orkisz w warunkach zróżnicowanego poziomu ochrony chemicznej. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 542, 427–436.
- Rachoń, L., Szumiło, G., Nita, Z. (2009b). Plonowanie ozimych rodów *Triticum durum* i *Triticum aestivum* ssp. *spelta* w warunkach okolic Lublina. *Annales UMCS, Sec., E*, 64(3), 101–109.
- Rachoń, L., Szumiło, G., Stankowski, S. (2011). Porównanie wybranych wskaźników wartości technologicznej pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*), twardej (*Triticum durum*) i orkiszowej (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*). *Fragm. Agron.*, 28(4), 52–59.
- Rachoń, L., Szumiło, G., Kurzydłowska, I. (2013). Wpływ intensywności technologii produkcji na jakość ziarna pszenicy zwyczajnej, twardej, orkisz i jednoziarnistej. *Ann. UMCS Sec. E*, 68(2), 60–68.
- Rachoń, L., Szumiło, G., Woźniak, A., Krochmal-Marczak, B., Szafrńska, A. (2018). Nutritive value and mineral composition of husked and naked spring wheat species in relation to cultivation technology. *Fragm. Agron.*, 35(4), 93–102.
- Radzikowska, D. (2020). Ocena wartości biologicznej i rolniczej oraz odporności na stresy abiotyczny i biotyczny wybranych odmian ozimych pszenicy orkisz. *Poznań, Rozprawa doktorska*, 1–196.

- Raman, H., Rahman, R., Luckett, D., Raman, R., Bekes, F., Láng, L., Bedo, Z. (2009). Characterisation of genetic variation for aluminium resistance and polyphenol oxidase activity in genebank accessions of spelt wheat. *Breeding Sci.*, 59, 373–381.
- Rane, J., Pannu, R.K., Sohu, V.S., Saini, R.S., Mishra, B., Shoran, J., Crossa, J., Vargas, M., Joshi, A.K. (2007). Performance of yield and stability of advanced wheat genotypes under heat stress environments of the Indo-Gangetic plains. *Crop Sci.*, 47(4), 1561–1573.
- Ranhotra, G.S., Gelroth, J.A., Glaser, B.K., Lorenz, K.J. (1996a). Nutrient composition of spelt wheat. *J. Food Compos. Anal.*, 9(1), 81–84.
- Ranhotra, G.S., Gelroth, J.A., Glaser, B.K., Stallknecht, G.F. (1996b). Nutritional profile of three spelt wheat cultivars grown at five different locations. *Cer. Chem.*, 73, 533–535.
- Ratajczak, K. (2023). Analiza oddziaływania warunków środowiskowych i agrotechnicznych na wzrost, rozwój i plonowanie owsa oraz ocena możliwości ograniczenia śladu węglowego w jego uprawie. *Monog. Rozpr. Nauk.*, UP Poznań.
- Rehman, S., Khalil, S.K., Rehman, A., Khan, A.Z., Amanullah, Rehman Saljoki, A., Zubair, M., Hussain Khalil, I. (2010). Phenology leaf area index and grain yield of rainfed wheat influenced by organic and inorganic fertilizer. *Pak. J. Bot.*, 42(5), 3671–3685.
- Ribaut, J., Banziger, M., Hoisington, D. (2002). Genetic dissection and plant improvement under abiotic stress conditions: drought tolerance in maize as an example. *JIRCAS, Working report*, 85, 92.
- Rimle, R., Rügger, A., Schmid, J., Stamp, P. (1995). Vergleich von Weizen und Dinkel sowie ihrer F1-Hybriden. *Agrarforschung*, 2 (11/12), 512–515.
- Rodríguez-Quijano, M., Vargas-Kostiuk, M.E., Ribeiro, M., Callejo, M.J. (2019). *Triticum aestivum* ssp. *vulgare* and ssp. *spelta* cultivars. 1. Functional evaluation. *Eur. Food Res. Technol.*, 245, 1561–1570.
- Romankiewicz, D., Cacak-Pietrzak, G., Gońda, M. (2014). Ocena jakości makaronów handlowych typu świderki. *Acta Agroph.*, 21(3), 327–335.
- Rothkaehl, J., Filipiak, K., Podolska, G. (2004). Jakość ziarna pszenicy w zależności od rejonu uprawy. *Pam. Puł.*, 135, 269–277.
- Rozbicki, T. (2001). Związek między długością okresów międzyfazowych pszenicy ozimej i jęczmienia jarego a elementami meteorologicznymi z okresu uprzedniego. *Przegl. Nauk. Inż. Kształt. Środ.*, 23, 57–66.
- Rozbicki, J., Sobczyński, G. (2016). Wpływ odmiany i odżywienia roślin azotem na cechy plonotwórcze pszenicy ozimej w doświadczeniu wazonowym. Cz. II. Wpływ odżywienia roślin azotem na składowe plonu. *Fragm. Agron.*, 33(4), 110–122.
- Rudnicki, F. (2000). Wyznaczanie wpływu poszczególnych elementów plonowania na różnice plonów między obiektami doświadczalnymi. *Fragm. Agron.*, 3(67), 53–65.
- Rudnicki, F., Wasilewski, P. (1993). Wpływ doboru gatunków i ilości opadów na wydajność jarych mieszanek zbożowych. *Fragm. Agron.*, 10(4), 95–96.

- Rudnicki, F., Wasilewski, P., Urbanowski, S. (1996). Reakcje pszenicy ozimej i żyta na ilość i rozkład opadów a celowość ich nawadniania na glebie lekkiej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 438, 33–41.
- Rüegger, A., Winzeler, H. (1993). Performance of spelt (*Triticum spelta* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) at two different seeding rates and nitrogen levels under contrasting environmental conditions. J. Agron. Crop Sci., 170(5), 289–295.
- Rüegger, A., Winzeler, H., Nösberger, J. (1990). Dry matter production of spelt (*Triticum spelta* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) under different environmental conditions in the field. J. Agron. Crop Sci., 164 (3), 145–152.
- Ruibal-Mendieta, N.L., Delacroix, D.L., Mignolet, J.M.P., Marques, C., Rozenberg, R., Petitjean, G., Habib-Jiwan, J.L., Meurens, M., Qeentin-Leclercq, J., Delzenne, N.M., Larondelle, Y. (2005). Spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) as a source of breadmaking flours and bran naturally enriched in oleic acid and minerals but not phytic acid. J. Agric. Food Chem., 53, 2751–2759.
- Rutkowska, A. (2014). Racjonalne i efektywne nawożenie azotem. Studia i Raporty IUNG-PIB, 37(11), 33–46.
- Rötter, R.P., Palosuo, T., Pirttioja, N.K., Dubrovsky, M., Salo, T., Ristolainen, A., Fronzek, S., Aikasalo, R., Trnka, M., Carter, T.R. (2011). What would happen to barley production in Finland if global warming exceeded 4°C? A model-based assessment. Eur. J. Agron., 35(4), 205–214.
- Sadowska, U., Żabiński, A., Mudryk, K. (2012). Odporność na wyleganie wybranych odmian orkiszu pszennego *Triticum aestivum* ssp. *spelta* L. Inż. Roln., 16(2), 269–278.
- Sadowska, U., Żabiński, A., Mudryk, K., Pużyńska, K. (2010). Niektóre właściwości mechaniczne źdźbeł oraz kłosów orkiszu pszennego. Inż. Roln., 14(4), 189–197.
- Salvatore, DiF. (2012). On the value of agricultural biodiversity. Annu. Rev. Resour. Econ. 9(4), 207–223.
- Samborski, A.S. (2006). Ekstremalne temperatury powietrza w okresach międzyfazowych pszenicy ozimej na Zamojszczyźnie. Acta Agroph., 8(2), 481–488.
- Samborski, A.S. (2007). Opady atmosferyczne na Zamojszczyźnie w okresie wegetacji pszenicy ozimej w latach 1976–1995. Acta Agroph., 10(1), 187–192.
- Samborski, A.S. (2008). Zmienność średniej temperatury powietrza w okresach międzyfazowych pszenicy ozimej na Zamojszczyźnie. Acta Agroph., 12(2), 509–515.
- Samborski, S., Rozbicki, J. (2004). Kalibracja chlorofilometru do oceny odżywienia zbóż azotem. Post. Nauk Roln., 51(5), 27–37.
- Sawicka, B., Krochmal-Marczak, B. (2012). Pszenica orkiszowa (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) jako alternatywa dla gospodarstw ekologicznych. W: Współczesne dylematy polskiego rolnictwa (cz. II, s. 344–357). Biała Podlaska: PWS JPIL.
- Sawinska, Z. (2004). Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych na zdrowotność i plonowanie pszenicy ozimej. Poznań, Rozprawa doktorska, 1–157.
- Sawinska, Z., Blecharczyk, A., Małecka-Jankowiak, I., Strzelińska, J., Grześ, S. (2016). Porażenie jęczmienia jarego przez choroby w zależności od następstwa roślin i nawożenia w doświadczeniu wieloletnim. Fragm. Agron., 33(4), 123–133.

- Schober, T.J., Bean, S.R., Kuhn, M. (2006). Gluten proteins from spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) cultivars: A rheological and size-exclusion high-performance liquid chromatography study. *J. Cereal Sci.*, 44(2), 161–173.
- Schober, T.J., Clarke, C.I., Kuhn, M. (2002). Characterization of functional properties of gluten proteins in spelt cultivars using rheological and quality factor measurements. *Cereal Chem.*, 79(3), 408–417.
- Semenov, M.A. (2009). Impacts of climate change on wheat in England and Wales. *J. R. Soc. Interface.*, 6(33), 343–350.
- Seremesic, S., Milosev, D., Djalovic, I., Zeremski, T., Ninkov, J. (2011). Management of soil organic carbon in maintaining soil productivity and yield stability of winter wheat. *Plant Soil Environ.*, 57(5), 216–221.
- Shah, F., Wu, W. (2019). Soil and crop management strategies to ensure higher crop productivity within sustainable environments. *Sustainability*, 11(5), 1485–1504.
- Siebeneiher, G.E. (1997). Podręcznik rolnictwa ekologicznego dla różnych kierunków i dziedzin (tłum. zbiorowe pod red. Ostrowskiej D.), Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, ss. 524.
- Sieling, K., Stahl, C., Winkelmann, C., Christen, O. (2005). Growth and yield of winter wheat in the first 3 years of a monoculture under varying N fertilization in NW Germany. *Europ. J. Agron.*, 22(1), 71–84.
- Skowera, B., Puła, J. (2004). Skrajne warunki pluwiotermiczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971–2000. *Acta Agroph.*, 3(1), 171–177.
- Skrabanja, V., Kovac, B., Golob, T., Liljeberg-Elmstahl, H.G.M., Björck, I.M.E., Kreft, I. (2001). Effect of spelt wheat flour and kernel on bread composition and nutritional characteristics. *J. Agric. Food Chem.*, 49, 497–500.
- Skrajda-Brdak, M., Konopka, I., Tańska, M., Sulewska H. (2018). Phenolic nutrient composition and grain morphology of winter spelt wheat (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) cultivated in Poland. *Qual. Assur. Saf. Crop. Foods*, 10(3), 285–295.
- Sobczyk, A., Pycia, K., Jaworska, G. (2017). Charakterystyka porównawcza wartości technologicznej ziarna starych odmian i nowych rodów orkisz (*Triticum spelta* L.) oraz ziarna pszenicy zwyczajnej (*Triticum vulgare*). *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 589, 81–91.
- Sobczyński, G., Rozbicki, J., Kozdój, J., Golba, J. (2016). Wpływ odmiany i odżywienia roślin azotem na cechy plonotwórcze pszenicy ozimej w doświadczeniu wazonomym. Cz. I. Zaawansowanie wzrostu i rozwoju, krzewienie oraz zróżnicowanie rozwoju kłosa pędu głównego. *Fragm. Agron.*, 33(3), 92–106.
- Springer, C.J., Ward, J.K. (2007). Flowering time and elevated atmospheric CO₂. *New Phytol.*, 176(2), 243–255.
- Stallknecht, G.F., Gilbertson, K.M., Ranney, J.E. (1996). Alternative wheat cereals as food grains: einkorn, emmer, spelt, kamut, and triticale. *Progress in new crops*. ASHS Press, Alexandria, VA, 3, 156–170.
- Stanisz, A. (1998). *Przystępny kurs statystyki*. T. 1. Kraków: Statsoft Polska.

- Stankowski, S., Podolska, G., Pacewicz, K. (2004). Wpływ nawożenia azotem na plonowanie i jakość ziarna odmian pszenicy ozimej. *Annales UMCS, Sec., E*, 59(3), 1363–1369.
- Stankowski, S., Hury, G., Piskorska, A. (2011). Porównanie plonu wybranych odmian i rodów orkiszu pszenicznego i pszenicy zwyczajnej. *Ogólnopolska Konferencja Naukowa nt. Hodowla, uprawa i wykorzystanie pszenicy orkisz (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) w warunkach zmian klimatu. Mat. Konf., Puławy, 28–29 czerwca*, 41–42.
- Stankowski, S., Hury, G., Markiewicz, A., Jurgiel-Małecka, G., Gibczyńska, M. (2016a). Analiza zawartości składników mineralnych w ziarnie orkiszu ozimego (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) w zależności od systemu uprawy, nawożenia azotowego i odmiany. *Inż. Ekol.*, 49, 227–232.
- Stankowski, S., Pużyński, S., Sobolewska, M., Biel, W. (2016b). Effect of weed control and sowing rate on the baking quality of spelt in comparison with common wheat. *Bulg. J. Agric. Sci.*, 22(4), 604–610.
- Stankowski, S., Rutkowska, A. (2006). Kształtowanie się cech jakościowych ziarna i mąki pszenicy ozimej w zależności od dawki i terminu nawożenia azotem. *Acta Sci. Pol. Agric.*, 5(1), 53–61.
- Starczewski, J., Jankowska, J., Bombik, A. (1997). Plonowanie zbóż ozimych w doświadczeniach ścisłych w zależności od opadów i temperatury powietrza. *Zesz. Nauk. AR Wroc.*, 313, 190–196.
- StatSoft (2017). *STATISTICA (Data Analysis Software System)*, ver. 13.3. Retrieved from www.statsoft.com.
- Stefanescu, M. (2004). Role of manure in increasing soil fertility and yield of wheat and maize. *Rom. Agric. Res.*, 21, 43–47.
- Strange, R.N., Scott, P.R. (2005). Plant disease: a threat to global food security. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 43, 83–116.
- Su, W.H., Sun, D.W. (2016). Facilitated wavelength selection and model development for rapid determination of the purity of organic spelt (*Triticum spelta* L.) flour using spectra imaging. *Talanta*, 155, 347–357.
- Sugár, E., Fodor, N., Sándor, R., Bónis, P., Vida, G., Árendás, T. (2019). Spelt wheat: An alternative for sustainable plant production at low N-levels. *Sustainability*, 11(23), 6726–6741.
- Sulewska, H. (2004a). Charakterystyka 22 genotypów pszenicy orkisz (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) pod względem wybranych cech. *Biul. Inst. Hod. Aklim. Rośl.*, 231, 43–53.
- Sulewska, H. (2004b). Plonowanie i skład chemiczny ziarna dwóch odmian orkiszu *Triticum spelta* w zależności od sposobu nawożenia. W: *Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie* (s. 225–232). Poznań: PIMR.
- Sulewska, H. (2004c). Wpływ wybranych zabiegów agrotechnicznych na plonowanie i skład chemiczny ziarna formy ozimej orkiszu pszenicznego (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*). *Pam. Puł.*, 135, 285–293.
- Sulewska, H. (2006). Zmienność plonowania orkiszu pszenicznego (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) w warunkach Wielkopolski w zależności od przebiegu pogody. *Rocz. AR Pozn. CCCLXXX, Roln.*, 66, 339–346.

- Sulewska, H. (2012). Pszenica orkisz. W: W. Budzyński (red.), Pszenice – zwyczajna, orkisz, twarda. Uprawa i zastosowanie (s. 151–183). Poznań: PWRiL.
- Sulewska, H., Koziara, W., Panasiewicz, K., Niewiadomska, A. (2011). Reakcja pszenicy ozimej i jęczmienia jarego na nawożenie PRP SOL. J. Res. Appl. Agric. Eng., 56(4), 129–133.
- Sulewska, H., Koziara, W., Panasiewicz, K., Ptaszyńska, G. (2008a). Plonowanie dwóch odmian ozimych orkiszu pszennego w zależności od terminu i ilości wysiewu w warunkach środkowej Wielkopolski. J. Res. Appl. Agric. Eng., 53(4), 85–91.
- Sulewska, H., Koziara, W., Panasiewicz, K., Ptaszyńska, G., Morozowska, M. (2008b). Skład chemiczny ziarna oraz plon białka odmian ozimych orkiszu pszennego w zależności od wybranych czynników agrotechnicznych. J. Res. Appl. Agric. Eng., 53(4), 92–95.
- Sulewska, H., Koziara, W., Szymańska, G., Panasiewicz, K., Piekarczyk, J. (2010). Reakcja odmian ozimych orkiszu pszennego na nawożenie obornikiem. J. Res. Appl. Agric. Eng., 55(4), 126–130.
- Sulewska, H., Nita, Z., Kruczek, A. (2005). Zróżnicowanie cech jakościowych wybranych genotypów orkiszu (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.). Biul. IHAR., 235, 65–74.
- Sulek, A. (2014). Wybrane elementy technologii pszenicy jarej uprawianej na cele młynarskie i piekarskie. Stud. Rapor. IUNG-PIB, 41(15), 117–128.
- Sulek, A., Podolska, G. (2008). Plonowanie i wartość technologiczna ziarna pszenicy jarej odmiany Nawra w zależności od dawki i terminu stosowania azotu. Acta Sci. Pol. Agric., 7(1), 103–110.
- Sulek, A., Podolska, G., Leszczyńska, D., Noworolnik, K. (2007). Reakcja zbóż na nawożenie azotem. Stud. Rapor. IUNG – PIB, 9, 29–36.
- Suwara, I., Lenart, S., Gawrońska-Kulesza, A. (2007). Wzrost i plonowanie pszenicy ozimej po 50 latach zróżnicowanego nawożenia i zmianowania. Acta Agroph., 10(3), 695–704.
- Szafranski, W. (1995). Wpływ poziomu i sposobu nawożenia azotowego na plonowanie wybranych odmian jęczmienia jarego i owsa w zróżnicowanych warunkach siedliskowych Pogórza. Cz. I. Współczynnik zbioru i wysokości plonu ziarna. Zesz. AR Krak., Rol., 32, 99–111.
- Szmigiel, A., Kołodziejczyk, M., Oleksy, A., Kulig, B. (2016). Efficiency of nitrogen fertilization in spring wheat. Int. J. Plant Prod., 10(4), 447–456.
- Szmigiel, A., Oleksy, A. (2004). Kształtowanie się powierzchni liści dwóch odmian pszenżyta jarego w zależności od jego udziału w mieszance z pszenicą. Biul. Inst. Hod. Aklim. Rośl., 231, 211–221.
- Szulc, P. (2012). Differences in the accumulation and redistribution of dry matter and N_{min} content in the cultivation of two different maize (*Zea mays* L.) cultivars for grain. Pol. J. Environ. Stud., 21(4), 1039–1046.
- Szulc, P. (2013). Effects of soil supplementation with urea and magnesium on nitrogen uptake, and utilization by two different forms of maize (*Zea mays* L.) differing in senescence rates. Pol. J. Environ. Stud., 22(1), 239–248.

- Szumiło, G., Rachoń, L. (2008). Reakcja wybranych gatunków pszenicy ozimej na termin siewu. *Annales UMCS Sec. E*, 63(4), 78–86.
- Szumiło, G., Kulpa, D., Rachoń, L. (2009). Ocena przydatności ziarna wybranych gatunków pszenicy ozimej do produkcji pieczywa. *Annales UMCS, Sec., E*, 64(4), 1–8.
- Szumiło, G., Rachoń, L. (2015). Plonowanie i jakość ziarna jarej pszenicy orkisz w zależności od zastosowanego materiału siewnego. *Pol. J. Agron.*, 20, 9–14.
- Tabak, M., Lepiarczyk, A., Filipek-Mazur, B., Lisowska, A. (2020). Efficiency of nitrogen fertilization of winter wheat depending on sulfur fertilization. *Agron.*, 10(9), 1304–1320.
- Townsend, G.R., Heuberger, J.W. (1943). Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments. *Plant Dis. Report.*, 27, 340–343.
- Tóth, V., Láng, L., Vida, G., Mikó, P., Rakszegi, M. (2022). Characterization of the protein and carbohydrate related quality traits of a large set of spelt wheat genotypes. *Foods*, 11(14), 2061–2074.
- Trnka, M., Olesen, J.E., Kersebaum, K.C., Skjelvåg, A.O., Eitzinger, J., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rötter, R., Orlandini, S., Dubrovsky, M. (2011). Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Glob. Change. Biology.*, 17, 2298–2318.
- Troccoli, A., Codianni, P. (2005). Appropriate seeding rate for einkorn, emmer, and spelt grown under rainfed condition in southern Italy. *Eur. J. Agron.*, 22, 293–300.
- Turnbull, K.M., Rahman, S. (2002). Endosperm texture in wheat. *J. Cereal Sci.*, 36(3), 327–337.
- Tyburski, J., Babalski M. (2006). Uprawa pszenicy orkisz, poradnik dla rolników. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Oddz. w Radomiu.
- Ugrenović, V., Bodroža Solarov, M., Pezo, L., Đisalo, J., Popović, V., Marić, B., Filipović, V. (2018). Analysis of spelt variability (*Triticum spelta* L.) grown in different conditions of Serbia by organic conditions. *Genetika*, 50(2), 635–646.
- Urbanowski, S., Rajs, T., Kaszkowiak, E. (1994). Wpływ ilości opadów na efekty uprawy roślin w wieloletnich monokulturach. VI. Pszenica ozima. *Zesz. Nauk. AT-R Bydg. Rol.*, 35, 39–44.
- Uzdzińska, B., Juszczak, R., Sakowska, K., Olejnik, J. (2012). Związek między wskaźnikiem LAI a spektralnymi wskaźnikami roślinności na przykładzie wybranych gatunków roślin uprawnych. *Woda Śr. Obsz. Wiej.*, 12(2), 283–311.
- Varga, B., Svečnjak, Z., Jurković, Z., Kovačević, J., Jukić, Ž. (2003). Wheat grain and flour quality as affected by cropping intensity. *Food Technol. Biotechnol.*, 41(4), 321–329.
- Vita, P.D., Paolo, E.D., Fecondo, G., Fonzo, N.D., Pisante, M. (2007). No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil Tillage Res.*, 92 (1/2), 69–78.
- Waga, J., Węgrzyn, S., Boros, D., Cygankiewicz, A. (2002). Wykorzystanie orkisz (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) do poprawy właściwości odżywczych pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*). *Biul. IHAR.*, 221, 3–16.

- Wang, Y., Connor, D. (1996). Simulation of optimal development for spring wheat at two locations in southern Australia under present and changed climate conditions. *Agric. For. Meteo.*, 79(1–2), 9–28.
- Ward, J.H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Am. Stat. Assoc.* 69, 236–244.
- Weber, R. (2011). Analiza czynnikowa współzależności plonu i komponentów plonu pszenicy ozimej w warunkach wczesnego siewu na glebie lekkiej. *Zesz. Nauk. UP Wroc., Rol., XCVIII*, 581, 155–162.
- Weber, R., Podolska, G. (2009). Wpływ terminu i gęstości siewu na wielkość i strukturę plonu pszenicy ozimej. *Biul. Inst. Hod. Aklim. Rośl.*, 252, 81–90.
- Wellburn, A.R. (1994). The spectral determination of chlorophylls *a* nad *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J. Plant Physiol.* 144, 307–313.
- Wesołowski, M., Cierpiąła, R. (2011). Plonowanie pszenicy ozimej w zależności od sposobu wykonania uprawy przedsięwzięj. *Fragm. Agron.*, 28(2), 106–118.
- White, E.M., Wilson, F.E.A. (2006). Responses of grain yield, biomass and harvest index and their rates of genetic progress to nitrogen availability in ten winter wheat varieties. *Irish J. Agric. Food Res.*, 45(1), 85–101.
- Wierzbicka, A., Trawczyński, C. (2015). Zależność między zawartością azotu a plonem suchej masy liści, łodyg i bulw ziemniaka. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.*, 582, 115–124.
- Wiwart, M., Szafrńska, A., Suchowilska, E. (2023). Grain of hybrids between spelt (*Triticum spelta* L.) and bread wheat (*Triticum aestivum* L.) as a new raw material for breadmaking. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 73(3), 265–277.
- Wojtkowiak, K., Stępień, A., Orzech, K. (2018a). Wpływ nawożenia azotem na elementy składowe plonów, zawartość makroskładników oraz wskaźniki technologiczne w ziarnie czterech odmian pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*). *Fragm. Agron.*, 35(2), 146–155.
- Wojtkowiak, K., Stępień, A., Pietrzak-Fiećko, R., Warechowska, M. (2018b). Effects of nitrogen fertilisation on the yield, micronutrient content and fatty acid profiles of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *J. Elem.*, 23(2), 483–495.
- World reference base for soil resources. (2006). *World Soil Resources Reports 103*. IUSS Working Group WRB. FAO, Rome.
- Woźniak, A. (2006). Plonowanie i jakość ziarna pszenicy jarej zwyczajnej (*Triticum aestivum* L.) i twardej (*Triticum durum* Desf.) w zależności od poziomu agrotechniki. *Acta Agrophy.*, 8(3), 755–763.
- Woźniak, A., Gontarz, D. (2005). Wpływ zróżnicowanego udziału pszenicy ozimej w zmianowaniu i poziomu agrotechniki na cechy jakościowe ziarna. *Biul. IHAR.*, 237/238, 3–11.
- Woźniak, A., Gontarz, D. (2009). Wpływ systemów uprawy roli na plon i jakość ziarna pszenicy twardej (*Triticum durum* Desf.). *Acta Agroph.*, 13(3), 793–802.

- Woźniak, A., Gontarz, D., Staniszewski, M., Gos, M. (2006). Plonowanie i jakość ziarna pszenicy jarej uprawianej w zmianowaniach o różnym jej udziale. *Biul. IHAR.*, 242, 45–55.
- Woźniak, A., Staniszewski, M. (2007). Wpływ warunków pogodowych na jakość technologiczną ziarna pszenicy jarej cv. Opatka i pszenicy ozimej cv. Korweta. *Acta Agroph.*, 9(2), 525–540.
- Wójcik-Gront, E., Bloch-Michalik, M. (2016). Assessment of greenhouse gas emission from life cycle of basic cereals production in Poland. *Zemdir. Agric.*, 103(3), 259–266.
- Wróbel, E., Szempliński, W. (1999). Plonowanie i wartość technologiczna ziarna pszenicy nawożonej zróżnicowanymi dawkami azotu. *Pam. Puł.*, 118, 463–469.
- Zajac, T., Szafranski, W., Oleksy, A., Witkowicz, R. (1998). Indywidualny wkład komponentów struktury plonu ziarna z jednostki powierzchni i z kłosa pszenicy jarej uprawianej po różnych przedplonach. *Fragm. Agron.*, 15(4), 76–87.
- Zecevic, V., Boskovic, J., Knezevic, D., Micanovic, D. (2014). Effect of seeding rate on grain quality of winter wheat. *Chil. J. Agric. Res.*, 74(1), 23–28.
- Zegar, J., Toczyński, T., Wrzaszcz, W. (2009). Zrównoważenie polskiego rolnictwa w świetle danych statystyki publicznej. Seria: Z badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym (8), 161. Warszawa: IERiGŻ – PIB.
- Zieliński, H., Ceglińska, A., Michalska, A. (2008a). Bioactive compounds in spelt bread. *Eur. Food Res. Technol.*, 226, 537–544.
- Zieliński, H., Michalska, A., Ceglińska, A. (2008b). Antioxidant properties of spelt bread. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 58 (2), 217–222.
- Ziernicka-Wojtaszek, A., Zawora, T. (2005). Niedobory i nadmiary opadów dla pszenicy ozimej w latach ekstremalnych na obszarze Polski (1971–2000). *Woda Środ. Obsz. Wiej.*, 5(14), 375–382.
- Zorovski, P., Popov, V., Georgieva, T. (2018). Growth and development of *Triticum monococcum* L., *Triticum dicoccum* Sch. and *Triticum spelta* L. in organic farming conditions. *Contemp. Agr.*, 67(1), 45–50.
- Żuk-Gołaszewska, K., Majewska, K., Tyburski, J., Gołaszewski, J. (2022). Nutritional properties of organic spelt wheats in different growth stages and the resulting flours. *J. Elem.*, 27(3), 645–662.
- Żyłowski, T. (2022). Ślad węglowy głównych roślin uprawnych w Polsce. *Studia i Raporty IUNG – PIB*, 67(21), 25–35.
- Żyłowski, T., Król, A., Kozyra, J. (2018). Ocena możliwości ograniczenia śladu węglowego w uprawie kukurydzy na ziarno. *Rocz. Nauk. Stow. Ekon. Rol. Agrobiz.*, SERiA, 20(4), 217–223.
- www.1. <https://www.bundessoütenamt.de/bsa/en/variety-testing/descriptive-variety-lists> [data dostępu 5.10.2022]
- www.2. <https://op.europa.eu/pl/publication-detail/-/publication/99a8488e-8239-4a56-ab33-f560f7afa48c/language-pl/format-PDF/source-269684525> [data dostępu 5.10.2022]

- www.3. <https://danko.pl/glowna/odmiany/> [data dostępu 5.10.2022]
- www.4. <https://www.kws.com/pl/pl/produkty/zboza/pszenica/przeglad-odmian-pszenica/kws-dakotana/> [data dostępu 5.10.2022]
- www.5. <https://www.zg-raiffeisen.de/agrар/pflanzliche-produktion/ackerbau/saat-und-pflanzgut> [data dostępu 5.10.2022]
- www.6. <https://www.agrofakt.pl/pszenica-ozima-zollernspelz/> [data dostępu 5.10.2022]
- www.7. <http://www.speciesfungorum.org/names/Names.asp>

Ocena wpływu warunków środowiskowych i agrotechnicznych na wzrost, plonowanie i jakość ziarna pszenicy orkisz (*T. aestivum* ssp. *spelta* L.) i pszenicy zwyczajnej (*T. aestivum* ssp. *vulgare*) oraz analiza emisji CO₂ powstającego podczas uprawy tych podgatunków

Abstrakt

Cel badań. Ocena reakcji pszenicy orkisz na nawożenie mineralne azotem lub naturalne obornikiem oraz określenie optymalnej dawki nawozu dla różnych odmian orkiszu na tle odmian pszenicy zwyczajnej.

Materiał i metody. Badania polowe z pszenicą orkisz oraz pszenicą zwyczajną, przeprowadzono w dwóch seriach, w sezonach wegetacyjnych 2011/2012–2017/2018 w Zakładzie Doświadczalno-Dydaktycznym Uprawy Roli i Roślin Gorzyń, Stacja Swadzim oraz Stacja Złotniki. Doświadczenia zakładano jako dwuczynnikowe, gdzie czynnik I rzędu stanowiła odmiana pszenicy ozimej. W serii I testowano odmiany pszenicy orkisz ‘Badengold’, ‘Schwabenspelz’, ‘Schwabenkorn’ oraz pszenicy zwyczajnej ‘Bogatka’. Natomiast w serii II przebadano odmiany pszenicy orkisz ‘Zollernspelz’, ‘Badenstern’, ‘Badenkrone’ oraz pszenicę zwyczajną ‘KWS Dakotana’. Czynnikiem II rzędu było nawożenie azotowe w formie nawożenia mineralnego lub nawożenia naturalnego (obornik): 0 kg N·ha⁻¹, 30 kg N·ha⁻¹, 60 kg N·ha⁻¹, 90 kg N·ha⁻¹, 15 t·ha⁻¹ obornika, 30 t·ha⁻¹ obornika.

Podsumowanie. Warunki pogodowe modyfikowały tempo wzrostu i rozwoju oraz długość faz rozwojowych badanych pszenic, a o długości okresu wegetacji badanych pszenic, nie decydował przebieg pogody w konkretnej fenofazie, ale kumulujący się wpływ warunków całego okresu wzrostu i rozwoju roślin. Długość poszczególnych okresów rozwojowych badanych pszenic była silniej modyfikowana opadami niż temperaturą powietrza. Spośród przebadanych sześciu genotypów pszenicy orkisz najbardziej przydatne do uprawy w warunkach regionu Wielkopolski okazały się ‘Schwabenspelz’ (seria I) oraz ‘Badenstern’ i ‘Badenkrone’ (seria II). Żadna z badanych odmian orkiszu nie dorównywała poziomem

plonowania pszenicy zwyczajnej, stanowiąc od 47,1% ('Zollernspelz') do 70,1% ('Schwabenspelz') plonu ziarna pszenicy zwyczajnej. Nawożenie azotowe korzystnie wpłynęło na plon ziarna i komponenty plonowania badanych pszenic, jednak efekt plonotwórczy uzależniony był od genotypu. Przyrost plonu ziarna pszenicy orkisz w obydwu seriach badań w wyniku intensyfikacji nawożenia azotem następował do dawki $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, a dla pszenicy zwyczajnej do $90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. U obu podgatunków pszenicy większy wzrost plonu ziarna miał miejsce po zastosowaniu obornika w dawce $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ziarno orkisz, w porównaniu z ziarnem pszenicy zwyczajnej, charakteryzowało się wyższą koncentracją białka, glutenu oraz tłuszczu. Uprawa pszenicy orkisz w porównaniu do pszenicy zwyczajnej, niezależnie od rodzaju i dawki nawożenia azotowego, generowała wyższe wartości emisji CO_2 oraz śladu węglowego (CF). W warunkach środowiskowych regionu Wielkopolski zwiększenie produktywności pszenicy orkisz oraz uprawa w bardziej zintensyfikowanych systemach gospodarowania jest możliwa poprzez właściwy dobór odmiany oraz dostosowanie dawki nawożenia azotowego, dzięki czemu wykorzystamy jej potencjał plonowania, co będzie miało bezpośredni wpływ na redukcję emisji gazów cieplarnianych.

Słowa kluczowe: *T. aestivum* ssp. *spelta* L., *T. aestivum* ssp. *vulgare*, odmiana, azot, obornik, plonowanie, odżywienie roślin azotem, efektywność wykorzystania azotu, emisja CO_2

Assessment of the impact of environmental and agrotechnical conditions on the growth, yield and grain quality of spelt wheat (*T. aestivum* ssp. *spelta* L.) and common wheat (*T. aestivum* ssp. *vulgare*) and analysis of CO₂ emissions resulting from the cultivation of these subspecies

Abstract

Aim of the study. Evaluation of the response of spelt wheat to mineral fertilization with nitrogen or manure and determination of the optimal fertilizer dose for different spelt cultivars in comparison with common wheat cultivars.

Material and methods. Field experiments with spelt and common wheat, were conducted in two series, in the 2011/2012–2017/2018 growing seasons at the Gorzyń Experimental and Educational Station of Agricultural and Plant Cultivation, Swadzim and Złotniki station. The experiments were designed as two-factor experiments, where the first factor was the winter wheat cultivar. In Ist series spelt wheat cultivars ‘Badengold’, Schwabenspelz’, Schwabenkorn’, and the common wheat ‘Bogatka’ were tested. Spelt wheat cultivars ‘Zollernspelz’, Badenstern’, Badenkrone’ and common wheat ‘KWS Dakotana’ were tested in IInd series. The second-order factor was nitrogen fertilization in the form of mineral fertilization or natural fertilization (manure): 0 kg N·ha⁻¹, 30 kg N·ha⁻¹, 60 kg N·ha⁻¹, 90 kg N·ha⁻¹, 15 t·ha⁻¹ manure, 30 t·ha⁻¹ manure.

Summary. Weather conditions modified the rate of growth and development as well as the length of development phases of the tested wheats. The length of the vegetation period of the tested wheat, was determined not by the course of weather in a particular phenophase, but by the cumulative effect of the conditions of the entire period of plant growth and development. The length of the different development periods of the tested wheats was more strongly modified by precipitation than by air temperature. From among of the six spelt wheat genotypes tested, the most suitable for cultivation in the Wielkopolska region were ‘Schwabenspelz’ (Series I) and ‘Badenstern’ and ‘Badenkrone’ (Series II). None of the tested spelt varieties

matched the yield level of common wheat, accounting for 47.1% ('Zollernspelz') to 70.1% ('Schwabenspelz') of the common wheat grain yield. Nitrogen fertilization had a positive effect on grain yield and yield components of the tested wheats, but the yield-forming effect depended on the genotype. The increase in grain yield of spelt wheat in both series of studies as a result of intensification of nitrogen fertilization occurred up to the dose of 60 kg·ha⁻¹, and for common wheat up to 90 kg·ha⁻¹. In both wheat subspecies, a greater increase in grain yield occurred after the application of manure at a dose of 30 t·ha⁻¹. Spelt grain, compared to common wheat grain, was characterized by a higher concentration of protein, gluten and fat. Cultivation of spelt wheat compared to common wheat, regardless of the type and dose of nitrogen fertilization, generated higher values of CO₂ emissions and carbon footprint (CF). In the environmental conditions of the Wielkopolska region, increasing the productivity of spelt wheat and its cultivation in more intensified farming systems is possible through the proper selection of the variety and adjustment of the nitrogen fertilization dose, thus we will use its yield potential, which will have a direct impact on the reduction of greenhouse gas emissions.

Keywords: *T. aestivum* ssp. *spelta* L., *T. aestivum* ssp. *vulgare*, cultivar, nitrogen, manure, yielding, plants nutrition with nitrogen, nitrogen use efficiency, CO₂ emissions