

Karolina Ratajczak

Analiza oddziaływania warunków
środowiskowych i agrotechnicznych
na wzrost, rozwój i plonowanie owsa
oraz ocena możliwości ograniczenia
śladu węglowego w jego uprawie

Wydawnictwo
Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu

KOMITET REDAKCYJNY

Grażyna Czyżak-Runowska, Stanisław Grześ, Ewa Kiryluk-Dryjska, Andrzej Mazur, Julita Reguła,
Jacek Wójtowski (przewodniczący), Anna Zbierska, Lucyna Borowczyk

Redaktor Działu

prof. UPP dr hab. Stanisław Grześ

Recenzenci

prof. dr. hab. Janusz Podleśny

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa

Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

Publikacja dofinansowana ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministerstwa Edukacji i Nauki pod nazwą „Doskonała Nauka”, nr projektu 509.015/2022/DNM, kwota dofinansowania 15 157,00 zł, całkowita wartość projektu 17 139,00 zł.

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu

Poznań 2023, Poland



Książka jest dostępna na licencji Creative Commons – Uznanie autorstwa – Użycie niekomercyjne – Bez utworów zależnych 4.0 Międzynarodowe (CC BY-NC-ND 4.0)

ISBN 978-83-67112-33-8

e-ISBN 978-83-67112-34-5

<https://doi.org/10.17306/978-83-67112-34-5>

Opracowanie redakcyjne

Kamila Sowińska

Opracowanie graficzne i komputerowe oraz projekt okładki

Exemplum

WYDAWNICTWO UNIwersytetu PRZYRODniczego w POZNANIU

ul. Witosza 45, 61-693 Poznań

tel. 61 848 78 08, e-mail: wydawnictwo@up.poznan.pl

Ark. wyd. 10,9. Ark. druk. 8,5.

Wersja elektroniczna dostępna na stronie <https://wydawnictwo.up.poznan.pl/books.html?dostepnosc=open%20access> oraz w serwisie <https://www.ibuk.pl/>

Spis treści

Wstęp	5
1. Problem badawczy i cel badań	9
2. Materiał i metody badań	11
2.1 Opis doświadczenia.....	11
2.2. Metodyka i zakres badań.....	12
2.3. Statystyczne opracowanie wyników	17
3. Warunki prowadzenia doświadczeń	20
3.1. Warunki glebowe	20
3.2. Warunki agrotechniczne	20
3.3. Warunki pogodowe	21
4. Wyniki badań	27
4.1. Wpływ warunków pogodowych na wzrost, rozwój i plonowanie owsa	27
4.2. Wpływ czynników agrotechnicznych na wzrost, rozwój i plonowanie owsa	38
4.2.1. Krzewienie produkcyjne i wysokość roślin	38
4.2.2. Plon ziarna	39
4.2.3. Plon słomy	43
4.2.4. Komponenty plonowania	45
4.2.5. Zmienność plonowania owsa	52
4.2.6. Współzależności plonu oraz cech kształtujących plonowanie owsa	54
4.2.7. Plon potencjalnie możliwy do osiągnięcia w optymalnych i utracony w niesprzyjających warunkach pogodowych	73
4.2.8. Produktywność wody	74
4.2.9. Zawartość składników organicznych i popiołu w ziarnie	76
4.2.10. Plon białka	77
4.2.11. Wartość energetyczna plonu ziarna	80
4.2.12. Efektywność nawożenia azotem	84
4.2.13. Wartość siewna ziarna	86
4.3. Emisja gazów cieplarnianych w uprawie owsa	87

5. Dyskusja	91
6. Podsumowanie i wnioski	115
Literatura	117
Abstrakt	135
Abstract	136

WSTĘP

Owies siewny (*Avena sativa* L.) zaczęto uprawiać kilka tysięcy lat później niż pszenicę (*Triticum* L.) i jęczmień (*Hordeum* L.). Początkowo owies jako chwast segetalny towarzyszył zbożom (Legget, 1992), stąd jest to gatunek wtórny. Wskazuje się, że jego uprawa zyskała na znaczeniu wraz z pogarszaniem się klimatu w okresie subborealnym (Gąsiorowski, 1995), wypierając bardziej wymagające zboża. W warunkach chłodnego klimatu oceanicznego owies zastąpił pszenicę na obszarach Wysp Brytyjskich, Danii, Szwecji i Finlandii. Gatunek ten okazał się szczególnie przydatny do uprawy w rejonach niekorzystnych pod względem klimatycznym czy glebowym, zwłaszcza w krajach nadbałtyckich (Nowiński, 1970). W greckich źródłach medycznych owies był dobrze udokumentowanym zbożem wykorzystywanym w celach leczniczych (Kokoszko i in., 2014). Przypuszcza się, że na ziemiach polskich wprowadzanie owsa do uprawy było związane z obecnością Celtów, a znalezione odciski dorodnych ziarniaków owsa na stanowiskach archeologicznych w Mogile (Kraków-Nowa Huta) i w Nowej Cerkwi (opolskie) z okresu wpływów rzymskich (I–V w. n.e.) stanowią dowód postępu w technice uprawy gleby i nawożeniu. Prawdopodobnie w tym okresie doszło do zmiany rodzaju paszy dla koni. Owies zaczęto traktować jako dobre dla zwierząt źródło energii, niewywołujące nadmiernej tuszy, dzięki czemu wyparł on mniej przydatny jęczmień wielorzędowy. Od czasu wpływów rzymskich (I–V w. n.e.) owies uprawiano na coraz większej powierzchni na ziemiach polskich (Hensel, 1980), o czym świadczą jego pozostałości w kilku osadach na terenie Małopolski. Istnieją także tezy, że uprawa owsa rozpowszechniła się dopiero w okresie przedpiastowskim (VIII–X w.) wraz z wprowadzeniem przez Słowian gospodarki ornej (Nowiński, 1970). Obecnie największy udział w zasiewach zbóż gatunek ten ma na terenach o słabych glebach oraz o niskiej kulturze rolnej, m.in. w województwach: podkarpackim, mazowieckim i podlaskim (10–12%), natomiast najmniejszy w województwach: opolskim, kujawsko-pomorskim i wielkopolskim (zaledwie 2–5%) (Prażak i Romanowicz, 2014). Powierzchnia uprawy owsa w ostatnich latach wynosi średnio 500 tys. ha. Do niedawna Polska była trzecim producentem owsa na świecie (9,9 mln ha) (Arseniuk i Oleksiak, 2009), a obecnie zajmuje piątą pozycję zaraz po Rosji, Kanadzie, Australii i Hiszpanii (FAO, 2020).

Ziarno owsa wykorzystuje się w Polsce do celów paszowych (80%), konsumpcyjnych (5%) i przemysłowych (15%), podobnie jak we wszystkich regionach świata o klimacie umiarkowanym (Gąsiorowski, 1995; Marshall i in., 2013; Kawka i Ahremowicz, 2014; Bartnikowska i in., 2000; Biel i in., 2009).

Owies nabiera coraz większego znaczenia jako składnik zdrowej, zbilansowanej diety ludzi, a uwarunkowane jest to potrzebami oraz wymaganiami zdrowotnymi i żywieniowymi współczesnego konsumenta, w tym szczególnie osób starszych i dzieci (Zarzecka i in., 2018; Aparicio-García i in., 2021). W porównaniu do innych zbóż ziarno owsa wyróżnia duża zawartość składników odżywczych, w tym największa zawartość białka o najlepszym zestawie aminokwasów (Pisulewska, 2005), wysoka zawartość tłuszczu, szczególnie nienasyconych kwasów tłuszczowych (Welch, 2011), błonnika pokarmowego z frakcją rozpuszczalną, tzw. beta-glukanem, o unikalnych właściwościach prozdrowotnych (Joyce i in., 2019), a także bogactwo składników mineralnych (Myszka i Boros, 2013). Beta-glukan bierze udział w naturalnej obronie przed infekcjami powodowanymi przez wirusy, bakterie i grzyby oraz w redukcji poziomu glukozy i cholesterolu we krwi (Rondanelli i in., 2009; Djukic i Knežević, 2014). Beta-glukan zawarty w owsie różni się pod wieloma względami od tego, który znajduje się w jęczmieniu i pszenicy, w tym szczególnie właściwościami fizykochemicznymi, takimi jak rozpuszczalność czy masa cząsteczkowa, co pozytywnie wpływa na funkcje fizjologiczne w przewodzie pokarmowym (Chu, 2014). Korzyści dietetyczne dla zdrowia i potencjał terapeutyczny tego zboża udokumentowano w licznych opracowaniach naukowych, w których podkreśla się jego znaczenie w leczeniu chorób wieńcowych, poprzez obniżenie zawartości cholesterolu w surowicy krwi i kontroli otyłości (Nwachukwu i in., 2015; Schuster i in., 2015; Chang i in., 2013; Shebini El i in., 2014), a także w leczeniu cukrzycy typu II, dzięki stabilizacji poziomu cukru we krwi (Zhang i in., 2014; Ho, 2015).

Oprócz unikalnych właściwości prozdrowotnych owies odgrywa ogromną rolę w zmianowaniu jako szczególnie cenna roślina fitosanitarna w płodozmianie o wysokim udziale zbóż (Noworolnik, 2008). Ryzosfera owsa jest zasiedlana przez grzyby niepatogeniczne, niepowodujące chorób pszenicy, jęczmienia i żyta (Mazurek, 1993). Dodatkowo rośliny wydzielają specyficzną substancję organiczną (awenacynę), działającą grzybobójczo na patogeny glebowe, co czyni ten gatunek najlepszym przedplonem dla innych zbóż (Bednarek i in., 2013) i dobrze tolerującym uprawę po zbożach (Pisulewska, 2005). Korzenie owsa bardzo efektywnie pobierają składniki pokarmowe znajdujące się w glebie w formie trudno dostępnej, stąd roślina ta lepiej niż inne zboża plonuje na słabszych glebach. Owies jest więc szczególnie polecany do upraw ekologicznych, w których przemysłowe środki produkcji są zakazane (Cyrkler-Degulis i Bulińska-Radomska, 2007). Ponadto zaletami uprawy owsa są jego małe wymagania glebowe i ciepłne oraz tolerancja na niskie pH gleby (Noworolnik i Terelak, 2006).

Początkowe prace hodowlane prowadzone w zakresie zwiększenia jakości ziarna i możliwości wykorzystania konsumpcyjnego owsa miały na celu zmniejszenie udziału

łuski, która stanowiła 25–30% ziarna (Rhymer, 2002). W efekcie w 2002 r. wyhodowano pierwszą polską odmianę nagoziarnistą – ‘Polar’. Obecnie w krajowym rejestrze znajduje się 35 odmian owsa, w tym 32 odmiany owsa zwyczajnego i 3 odmiany owsa nagiego (COBORU, 2021). W porównaniu do oplewionego ziarna owsa, ziarno owsa nieoplewionego cechuje mała zawartość włókna, a duża białka i tłuszczu, co sprawia, że jest atrakcyjnym surowcem w przemyśle spożywczym, kosmetycznym i farmaceutycznym (Aparicio-García i in., 2021). Mimo wielu wyjątkowych zalet odmiany nagoziarniste podlegają licznym ograniczeniom. W porównaniu do owsa oplewionego poziom plonowania form nagich jest wyraźnie niższy, średnio o 10–20% (Peltonen-Sainio, 1994; Buerstmayr i in., 2007; Andruszczak i in., 2010). Oprócz cech genetycznych ograniczenia związane są już z samą biologią gatunku. Wśród innych zbóż owies wyróżnia się wyjątkowo miękką teksturą bielma (Pogna i in., 2002; Hansen i in., 2004), na co zwraca uwagę wielu autorów, sugerując, że cecha ta łączy się z większymi wymaganiami agrotechnicznymi, zwłaszcza u form nagich. Brak łuski zwiększa podatność ziarna na uszkodzenia podczas omłotu lub przechowywania, co przekłada się na wigor ziarna, mniejszą zdolność kiełkowania i zdrowotność, a w konsekwencji prowadzi do spadku plonu ziarna (Valentine, 1995; Valentine i Hale, 1990; Kirkkari i in., 2001). Ponadto lekkie nasiona mogą być przyczyną strat przy zbiorze spowodowanych wywiewaniem ich w strumieniu powietrza z kombajnu (Łapiński i in., 2013). Stąd też początkowo priorytetem w hodowli owsa nagoziarnistego było opracowanie wysokoplennych odmian o dużej masie tysiąca ziaren wraz z radykalnym zmniejszeniem udziału frakcji drobnego ziarna, przy jednoczesnym zwiększeniu koncentracji podstawowych składników pokarmowych w ziarnie (Łapiński i in., 2013; Gorash i in., 2017). Wysoka masa ziarniaka jest dodatnio skorelowana z odpornością na suszę (Leischmann i Westoby, 1994), ponieważ większe ziarno kiełkuje lepiej i korzenie szybciej docierają do głębszych, zasobniejszych w wilgoć warstw gleby, co skutkuje później lepszym zagęszczeniem ładu i wyższym plonem (Mut i Akay, 2010). Prace hodowlane prowadzone w ostatnich kilkunastu latach przyczyniły się do podniesienia plonu owsa na skutek podwyższenia genetycznego potencjału produktywności odmian oraz zmniejszenia wpływu cech utrudniających jego realizację (np. zwiększenie odporności na choroby). Stwierdzono także poprawę jakości ziarna w wyniku zwiększenia zawartości białka i tłuszczu, zmniejszenia omszenia i rozszerzenia ekspresji nagości w formach nagoziarnistych (Prażak i Romanowicz, 2014).

Analiza danych globalnych z okresu 45 lat wykazała najniższy, bo 39-procentowy, wzrost plonowania wśród zbóż i w porównaniu z pszenicą czy kukurydzą był on mniejszy odpowiednio o 108 i 104 pkt. procentowych (Menon i in., 2016). W związku z postępem biologicznym prognozuje się, że wprowadzanie nowych, wysokoplonujących nagich odmian owsa może zwiększyć produkcję i efektywność ekonomiczną jego uprawy (Gorash i in., 2017). Stąd tak ważne stają się działania podejmowane w hodowli roślin oraz doskonalenie technologii uprawy. Obserwowany w ostatnich latach zarówno w Polsce, jak i na świecie efekt większej zmienności plonowania zbóż, w tym owsa, jest spowodowany

częstszym występowaniem niekorzystnych dla plonowania zjawisk klimatycznych (Kozłowski i in., 2010). Badania skutków zmian klimatu wskazują, że rolnictwo wciąż podlega ogromnemu ryzyku klimatycznemu (Trnka i in., 2011), czyli wzrostowi częstotliwości występowania lat o niekorzystnych warunkach pogodowych. Wielu negatywnych konsekwencji zmian klimatu można by uniknąć lub je opóźnić poprzez ograniczanie wzrostu stężeń dwutlenku węgla, metanu i podtlenku azotu w atmosferze. Przewiduje się jednak, że dalsze ocieplenie się klimatu jest nieuchronne, stąd obecnie istnieje potrzeba adaptacji rolnictwa do zmieniających się warunków (Kundzewicz i Kozyra, 2011). Wśród potencjalnych działań adaptacyjnych wyróżnia się potrzebę zmian w ilości stosowanych nawozów.

Nawożenie azotem jest powszechną metodą maksymalizacji plonu i zwiększenia koncentracji białka w ziarnie. Z uwagi na relatywnie niskie plony i stan agrochemiczny gleb w Polsce, potrzebna jest umiarkowana intensyfikacja nawożenia (Fotyma i in., 2009). Przewiduje się, że aby osiągnąć przyrost plonu ziarna zbóż o $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, należy dodatkowo zastosować co najmniej $2 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, a więc zakładając uzyskanie średnio w Polsce plonów zbóż w granicach 3,9–4,0 t z ha, należałoby zwiększyć nawożenie mineralne do poziomu $150\text{--}160 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$ użytków rolnych, tj. o około 30–40% w stosunku do dawek obecnie stosowanych (średnio w kraju) (Krasowicz i Kuś, 2010). Wyniki badań nad pszenicą wskazują, że wzrost plonu ziarna nie jest liniowo powiązany ze wzrostem dawki azotu (Małecka, 2003). Niewłaściwe nawożenie azotem może stwarzać wiele zagrożeń dla środowiska i prowadzić do strat ekonomicznych. Efektywność nawożenia azotem jest często ograniczana ilością i rozkładem opadów, zwłaszcza na glebach lekkich, na których uprawia się owies. Przy niekorzystnym układzie czynników pogodowych, współdziałanie deszczowania z nawożeniem warunkuje wielkość plonów i zastosowanie azotu. Dążenie do zwiększenia plonowania owsa uzasadnione jest względami ekonomicznymi i przyrodniczymi. Obecnie zboża w strukturze zasiewów zajmują 69% (GUS, 2020). Zasady integrowanej uprawy i ochrony roślin, które obowiązują w Polsce od 2014 r., przyczyniły się do ograniczenia występowania płodozmianów zbożowych. Jednak nadal w wysyconych zbożami zmianowaniach fitosanitarne oddziaływanie owsa ma duże znaczenie dla plonowania innych gatunków (Kozłowski, 2004). W kontekście adaptacji rolnictwa do wahań przebiegu pogody priorytetowe stają się działania mające na celu ograniczenie negatywnych skutków zmian klimatu, tj. niedoboru opadów poprzez doskonalenie elementów agrotechniki, w tym m.in. stosowanie nawodnień oraz optymalizację nawożenia azotem w uprawie różnych form owsa.

1. PROBLEM BADAWCZY I CEL BADAŃ

Jak dotąd w literaturze niewiele jest prac, w których opisano by w sposób kompleksowy reakcję form owsa na warunki pogodowe oraz czynniki agrotechniczne. W tym opracowaniu wskazano czynniki sprzyjające i ograniczające rozwój produkcji owsa, z uwzględnieniem specyfiki danego regionu.

W hipotezie badawczej założono, że formy owsa są zróżnicowane pod względem cech biologicznych i gospodarczych, stąd ich wymagania odnośnie do potrzeb nawozowych i adaptacyjnych są różne. Ponadto uznano, że nawadnianie może niwelować negatywne aspekty zmian klimatu i przyczynić się do zmniejszenia śladu węglowego w uprawie owsa.

Celem przeprowadzonych badań była ocena reakcji dwóch form owsa (oplewionej i nagiej) na zróżnicowane warunki pogodowe i agrotechniczne oraz wskazanie działań mitygacyjnych.

Dla tak sformułowanego celu ogólnego prezentowanych badań zdefiniowano następujące cele pomocnicze:

- ocenę wpływu czynników pogodowych na wzrost, rozwój i plonowanie owsa
- analizę zależności plonu i jego komponentów w warunkach zróżnicowanych dawek azotu
- określenie wpływu nawadniania na plonowanie, komponenty plonowania i ważniejsze cechy jakościowe ziarna owsa
- ustalenie optymalnej dawki nawożenia azotem dla obu form owsa w zależności od warunków wodnych
- ocenę ilościową emisji gazów cieplarniarnych oraz identyfikację źródeł emisji w uprawie owsa
- wskazanie działań mitygacyjnych przy wykorzystaniu narzędzia oceny zmian ilościowych emisji (ślada węglowego).

Skutki zmian klimatycznych w postaci anomalii pogodowych, w tym coraz częściej występujących okresów suszy, są między innymi następstwem emisji CO₂, którego głównym źródłem w działalności rolniczej jest zużycie energii i materiałów na uprawę gleby oraz produkcję nawozów mineralnych. Istnieje więc ciągła potrzeba prowadzenia badań

nad optymalizacją nawożenia (m.in. zmianą ilości stosowanych nawozów) i zwiększenia efektywności ich wykorzystania poprzez dobór i odpowiednie zastosowanie czynników agrotechnicznych. Wobec rosnącego zagrożenia związanego z ocieplaniem się klimatu, niezbędne staje się przeciwdziałanie zmianom klimatu i adaptacja do nich rolnictwa.

2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

2.1. Opis doświadczenia

Materiał do pracy stanowiły wyniki ścisłych doświadczeń polowych przeprowadzonych w latach 2010–2019 w Zakładzie Doświadczalno-Dydaktycznym Gorzyń, Stacja Złotniki (N: 52°29'0", E: 16°49'53"), należącym do Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Doświadczenia założono w układzie bloków zrandomizowanych kompletnych (split-split-plot), w czterech powtórzeniach. W doświadczeniu badanymi czynnikami, w kolejności rozlosowania, były:

1. Wariant wodny:

- niedeszczowany (ND) – naturalny układ warunków wilgotnościowych gleby
- deszczowany (D) – deszczowanie w okresie największych potrzeb wodnych gatunku, przy spadku wilgotności gleby do 70% ppw w warstwie ornej od 0–20 cm.

2. Formy owsa:

- oplewiona – odmiana 'Bingo'
- nieoplewiona – odmiana 'Nagus'.

3. Nawożenie azotem ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$):

- N_0 – 0
- N_1 – 50
- N_2 – 100
- N_3 – 150.

Nawożenie azotem w formie saletry amonowej stosowano w ilości $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ przed siewem (obiekty N_1 , N_2 i N_3), dodatkowo w fazie strzelania w źdźbło (obiekty N_2 - N_3), ponadto na obiektach N_3 w fazie kłoszenia.

W doświadczeniu wykorzystano deszczownię typu półstałego z przenośnym zraszaczem obrotowym o zasięgu zraszania 18 m, typu NAAN233/91 o średnicy dyszy 7 mm i dawki wody $5 \text{ mm}\cdot\text{ha}^{-1}$. Deszczowanie stosowano zgodnie z kryterium optymalnego uwilgotnienia gleby (Dzieżyc, 1973) przy spadku wilgotności w warstwie 0–20 cm do 70% ppw w okresie największej wrażliwości roślin na niedobór wody, od fazy strzelania w źdźbło do dojrzałości woskowej. Terminy i dawki nawadniania przedstawiono

w tabeli 1. Nie stosowano zabiegu deszczowania w 2015 roku ze względu na awarię deszczowni. Pomiar wilgotności gleby wykonywano metodą suszarkowo-wagową w odstępach dekadowych oraz przed każdym deszczowaniem i po nim.

Tabela 1. Terminy i dawki deszczowania
Table 1. Dates and doses of irrigation

Rok – Year	Data/dawka wody (mm) Date/dose of water (mm)	Łącznie (mm) Total (mm)
2013	20.06/30; 10.07/30	60
2014	25.06/20; 7.07/24	54
2015	Brak – None	–
2016	27.06/25; 04.07/25; 11.07/20	70
2017	23.05/20; 05.06/20; 20.06/25; 28.06/35; 06.07/35	135
2018	28.05/20; 01.06/20; 08.06/30; 15.06/25; 02.07/30	125
2019	11.06/35; 18.06/35; 25.06/35; 01.07/35	140

2.2. Metodyka i zakres badań

W badaniach określono plon ziarna (w przeliczeniu na 15% wilgotności) i słomy z powierzchni całego poletka w przeliczeniu na hektar. Wielkość poletka do zbioru wynosiła 11,25 m². Komponenty plonowania określono, analizując liczbę roślin i wiech z 1 m², rozkrzewienie produktywne, liczbę i masę ziarna z jednej rośliny oraz masę tysiąca ziaren, oznaczoną zgodnie z normą PN-68/R-74017 (1969). Pomiar biometryczny wykonano na próbach roślin zebranych z 2 mb z każdego poletka z czterech powtórzeń. Ocenę wartości siewnej ziarna przeprowadzono zgodnie z metodą stosowaną w Państwowej Inspekcji Ochrony Roślin i Nasiennictwa oraz według metod ISTA (2011). Parametry wartości siewnej (energię i zdolność kiełkowania, udział nasion pleśniejących i gnijących oraz anormalnie kiełkujących) określono na próbie 100 nasion pobranych losowo z każdego poletka. Skład chemiczny ziarna zanalizowano w laboratorium chemicznym Katedry Agronomii Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu zgodnie z powszechnie stosowanymi metodami. Białko surowe oznaczono metodą Kjeldahla, tłuszcz surowy – metodą Soxhleta, włókno surowe – metodą zhydrolizowania pozostałych składników materiału roślinnego, popiół surowy – metodą spalania na sucho, bezazotowe związki wyciągowe – przez odjęcie od 100% zawartości pozostałych składników.

Na podstawie wyników analiz chemicznych wyliczono:

- pobranie składników (Fotyma, 1990) – jako iloczyn plonu suchej masy ziarna i wartości danego składnika podzielony przez 100

- efektywność rolniczą azotu (*er*) – jako stosunek przyrostu plonu pod wpływem nawożenia azotem (plon ziarna przy n_x – plon ziarna przy n_0) do dawki zastosowanego nawożenia azotem n_x , wyrażoną w $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Novoa i Loomis, 1981)
- efektywność fizjologiczną (*ef*) – jako stosunek przyrostu plonu pod wpływem nawożenia (plon ziarna n_x – plon ziarna przy n_0) do przyrostu pobrania azotu (pobranie przy n_x – pobranie przy n_0), wyrażoną w $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Novoa i Loomis, 1981)
- wykorzystanie azotu (*wn*) – jako iloraz efektywności rolniczej do efektywności fizjologicznej, wyrażone w procentach (Novoa i Loomis, 1981).

Wartość energetyczną ziarna wyliczono, wykorzystując metodę zalecaną przez Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG-Futterwerttabellen für Schweine, 1984), wykorzystywaną także w Polsce. Składniki strawne otrzymano, stosując współczynniki strawności według Smulikowskiej i Rutkowskiego (2005) i wyrażono je w gramach na 1 kg suchej masy. Wartość energetyczną wyrażono w postaci energii metabolicznej, posługując się wzorem Hoffmanna i Schiemanna:

$$EM (\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}) = 0,021 \times B_{ss} + 0,0374 \times T_{ss} + 0,0144 \times W_{ss} + 0,0171 \times B_{nws}$$

gdzie:

B_{ss} – białko surowe strawne ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)

T_{ss} – tłuszcz surowy strawny ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)

W_{ss} – włókno surowe strawne ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)

B_{nws} – związki bezazotowe wyciągowe strawne ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.).

Wydajność energetyczną plonu ziarna wyliczono jako iloczyn wartości energetycznej 1 kg nasion i plonu suchej masy ziarna z 1 ha.

Na podstawie indeksu pogodowego (*IP*) dla owsa w warunkach Wielkopolski, opracowanego przez Górskiego i in. (1996) oraz Nieróbcę i in. (2012), określono plony potencjalnie możliwe do osiągnięcia i utracone w warunkach pogodowych odpowiednio optymalnych oraz niekorzystnych według równań (Kopiński i in., 2013):

$$y_1 = \frac{x}{IP} 100$$

$$v = y_1 - x$$

gdzie:

y_1 – plon potencjalnie możliwy do osiągnięcia w optymalnych warunkach pogodowych

x – plon rzeczywisty

IP – indeks pogodowy

v – plon potencjalnie utracony z powodu nieprzejętych (niekorzystnych) warunków pogodowych.

Dane meteorologiczne dotyczące temperatury i opadów zestawiono na podstawie zapisów pomiarów rejestrowanych na serwerze Pessl Instruments, wykonywanych automatycznie co 24 godziny w Stacji Meteorologicznej iMetos (Pessl Instruments, Austria) w ZDD w Złotnikach.

Obliczono średnią temperaturę i sumę opadów atmosferycznych odpowiadających terminom występowania faz rozwojowych owsa określonych według skali BBCH (Lancashire i in., 1991).

Na podstawie danych temperatury i opadów wyliczono wartość współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa (K) według wzoru (Molga, 1986):

$$K = \frac{P}{0,1 \sum t}$$

gdzie:

P – suma opadów atmosferycznych w analizowanym okresie (mm)

$\sum t$ – suma średniej dobowej temperatury powietrza w analizowanym okresie ($^{\circ}\text{C}$).

Miesięczne sumy temperatury obliczono, mnożąc średnią miesięczną temperaturę przez liczbę dni w miesiącu. Do interpretacji współczynnika Sielianinowa posłużono się 10-stopniowym przedziałem wartości według Skowery i Puły (2004):

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

W celu określenia intensywności posuch posłużono się wskaźnikiem uwilgotnienia atmosfery według Radzkiej i in. (2009), przyjmując dla tego wskaźnika następujące klasy: $\leq 0,25$ – skrajna posucha, $0,26-0,50$ – długotrwała posucha, $0,51-0,75$ – posucha, $0,76-0,90$ – słaba posucha (Radzka i in., 2010). Wartości wskaźnika przyjęto jako stosunek miesięcznej sumy opadów atmosferycznych do miesięcznego parowania wskaźnikowego, które ze względu na brak bezpośrednich danych pomiarowych obliczono, posługując się wzorem Iwanowa (Przedpeńska, 1971):

$$E = 0,0018(25 + t)^2 (100 - f)$$

gdzie:

t – średnia miesięczna temperatura powietrza ($^{\circ}\text{C}$)

f – średnia miesięczna względna wilgotność powietrza (%).

Dane wilgotności powietrza pobrano ze strony internetowej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu (<http://www.au.poznan.pl/wogr/hobo/index.html>). Pomiaru rejestrowano regularnie przez stację meteorologiczną HOBO (Onset, USA), zainstalowaną w Stacji Doświadczalnej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

Charakterystykę poszczególnych lat pod względem wielkości opadów (niedoborów i nadmiarów wilgoci) oparto na klasyfikacji według Kaczorowskiej (1962):

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

Dla okresów miesięcznych przyjęto charakterystykę za Tomaszewską (1994), według której miesiąc uznaje się za normalny, jeśli suma opadów jest nie mniejsza niż 75%, suchy, jeśli suma opadów znajduje się w przedziale 50–75%, bardzo suchy – w przedziale 25–49% i skrajnie suchy – poniżej 25%.

Do wyliczeń wykorzystano metodę według wskaźnika względnego opadu *RPI*:

$$RPI = \frac{P}{\bar{P}} \cdot 100\%$$

gdzie:

\bar{P} – średnia wartość dla sum opadów w wieloleciu

P – suma opadów w badanym okresie.

Uwzględniając klasyfikację temperatur powietrza według Łyczko i in. (2002), na podstawie odchylenia temperatury od średniej z wielolecia, poszczególne lata oceniano jako:

- bardzo ciepłe: $>2^{\circ}\text{C}$
- ciepłe: $0,5-2,0^{\circ}\text{C}$
- normalne (średnie): $0,5-(-0,5)^{\circ}\text{C}$
- chłodne: $-0,5-(-2,0)^{\circ}\text{C}$
- bardzo chłodne: $<-2,0^{\circ}\text{C}$.

W pracy wykonano kalkulację ilości emitowanych gazów cieplarnianych w produkcji owsa. Emisję gazów obliczano jako sumę emisji bezpośrednich i pośrednich wytwarzanych w trakcie spalania paliw przez ciągniki biorące udział we wszystkich operacjach technologicznych uprawy, emisje gazów z pola w wyniku stosowania nawozów mineralnych i ich produkcji, emisje związane z przygotowaniem nasion, stosowaniem pestycy-

dów, a także wykorzystaniem energii elektrycznej oraz ciągników i maszyn rolniczych. Ilość emisji gazów CO_2 , N_2O i CH_4 wyrażono jako ekwiwalent CO_2 . Emisje z każdego źródła obliczono jako czynność mnożoną przez odpowiednie współczynniki emisji według danych literaturowych (tab. 2), a ich suma stanowiła całkowitą emisję z 1 ha uprawy, którą podzielono przez uzyskany eksperymentalnie plon. Do obliczeń emisji gazów cieplarnianych generowanych przy spalaniu paliwa przez ciągniki w trakcie prac polowych wykorzystano współczynniki emisji dla 1 litra oleju napędowego pomnożone przez użytą ilość w pracach polowych, takich jak: uprawa, talerzowanie, bronowanie, siew, nawożenie, orka, chemiczna ochrona i zbiór. Do obliczeń wykorzystano dane szacunkowego średniego zużycia oleju napędowego przy wykonywanych pracach ($2,05 \text{ dm}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ ziarna), wartości wskaźników jednostkowej energochłonności skumulowanej w MJ kg^{-1} ($43,33 \text{ MJ kg}^{-1}$), współczynnika emisji ($73,33 \text{ kg CO}_2 \text{ GJ}^{-1}$), które oznaczają, że spalanie każdego litra oleju napędowego wytwarza $2,67 \text{ kg}$ ekwiwalentu CO_2 (Wójcik-Gront i Bloch-Michalik, 2016). Emisje gazów podczas produkcji i transportu oleju napędowego mogą zwiększać udział gazów cieplarnianych nawet o 20% (Maraseni i in., 2010), co uwzględniono w kalkulacjach. Emisje bezpośrednie N_2O z gleby i CO_2 z zastosowania wapna oraz pośrednie N_2O związane z wytwarzaniem i stosowaniem nawozów mineralnych (IPCC, 2006) oraz pestycydów uwzględniono w kalkulacjach, przyjmując wskaźnik emisji według Wójcik-Gront i Bloch-Michalik (2016) na podstawie pracy Hughes i in. (2011) oraz danych zebranych na potrzeby projektu służącego opracowaniu narzędzia do oceny oddziaływania środowiska dla biomateriałów finansowanego przez Defra National Non-Food Crops Centre (NNFCC). W kalkulacjach nie uwzględniono emisji i sekwestracji dwutlenku węgla z gleby, przyjmując, że CO_2 jest usuwany z atmosfery podczas uprawy roślin (Wójcik-Gront i Bloch-Michalik, 2016). Zużycie energii elektrycznej związanej z nawadnianiem obliczono, biorąc pod uwagę wskaźnik emisji wynoszący $0,264 \text{ kg CO}_2 \cdot \text{kWh}^{-1}$ ujmujący emisje pośrednie związane z wydobyciem, produkcją i transportem energii elektrycznej, jak również związane ze stratami energii w dostawie do sieci (Martin-Gorriz i in., 2014). Zużycie prądu na deszczowanie wyliczono na podstawie danych dotyczących rocznych kosztów eksploatacji nawodnień przedstawionych w pracy Łuszczycy (2009). Emisję gazów cieplarnianych wyrażono jako kg ekwiwalentu CO_2 na ha, a ślad węglowy jako kg ekwiwalentu CO_2 na tonę ziarna.

Tabela 2. Współczynnik emisji gazów cieplarnianych (ekwiwalent CO₂) z uprawy
 Table 2. The greenhouse gas emission coefficient (CO₂ equivalent) from the crop

Źródło emisji Source of the emission	Gaz Gas	Współczynnik emisji Emission coefficient	Jednostka Unit
a. Emisje gazów cieplarnianych w wyniku zużycia paliw i energii elektrycznej a. Greenhouse gas emissions from fuel and electricity consumption			
Elektryczność Electricity	CO ₂ , CH ₄ , NO ₂	0,264 ^a	kg CO ₂ ekw. · kWh ⁻¹
Olej napędowy Diesel fuel	CO ₂ , CH ₄ , NO ₂	3,18 ^a	kg CO ₂ ekw. kg ⁻¹
b. Emisje GHG z produkcji, transportu, przechowywania i przewozu chemii rolniczej b. GHG emissions from the production, transport, storage and transport of agricultural chemicals			
Nawozy – Fertilizers			
N	CO ₂	6,98 ^b	kg CO ₂ ekw. kg ⁻¹
P ₂ O ₅	CO ₂	2,90 ^b	kg CO ₂ ekw. kg ⁻¹
K ₂ O	CO ₂	1,77 ^b	kg CO ₂ ekw. kg ⁻¹
Fungicydy Fungicides	CO ₂	3,30 ^b	kg CO ₂ ekw. kg ⁻¹
Insektycydy Insecticides	CO ₂	4,74 ^b	kg CO ₂ ekw. kg ⁻¹
Herbicydy Herbicides	CO ₂	5,08 ^b	kg CO ₂ ekw. kg ⁻¹
Nasiona Seeds	CO ₂	0,37 ^c	kg CO ₂ ekw. kg ⁻¹

a – Martin-Gorriz i in. (2014), b – Wójcik-Gront i Bloch-Michalik (2016), c – Hryniewicz i in. (2015).

a – Martin-Gorriz et al. (2014), b – Wójcik-Gront and Bloch-Michalik (2016), c – Hryniewicz et al. (2015).

2.3. Statystyczne opracowanie wyników

Uzyskane wyniki poddano ocenie statystycznej z zastosowaniem analizy wariancji dla doświadczeń czynnikowych ortogonalnych i analizy wariancji w układzie split-split-plot (Elandt, 1964; Łubkowski 1968). Weryfikację założonych hipotez oceniono testem *F* – Fishera Snedecora przy poziomie istotności $p = 0,05$ lub $p = 0,01$. W przypadku odrzucenia hipotezy zerowej, zakładającej brak różnic między obiektami, a więc nieistotny wpływ badanego czynnika, przeprowadzono testy wielokrotne pomiędzy poszczególnymi obiektami, stosując test *t* Duncana, umożliwiający tworzenie tzw. grup jednorodnych dla średnich o wartościach zbliżonych, które oznaczono w pracy tą samą literą (*a*) (Stanisz, 1998). W celu zbadania związków przyczynowo-skutkowych między zmiennymi, analizy wa-

riancji uzupełniono analizami regresji: liniowej, kwadratowej i wielokrotnej z wyborem najlepszego podzbioru zmiennych niezależnych. Do oceny siły związku między zmiennymi zastosowano współczynnik korelacji Pearsona, a do interpretacji jego właściwości wykorzystano skalę 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.

W celu oceny współzależności między plonem i komponentami plonu obliczono współczynniki korelacji prostej. Macierz współczynników korelacji badano za pomocą wielozmiennej analizy czynnikowej opisanej w opracowaniach Morrisona (1976). Większość współczynników korelacji pomiędzy zmiennymi była większa niż 0,3 (Stanisz, 2007), co dało podstawy do wykonania analizy głównych składowych, polegającej na wyznaczeniu zupełnie nowych zmiennych (składowych głównych) będących kombinacją liniową zmiennych obserwowanych (pierwotnych). Dokładna analiza składowych głównych umożliwiła wskazanie tych zmiennych pierwotnych, które mają duży wpływ na wygląd poszczególnych składowych głównych, czyli tworzących grupę jednorodną. Kilka pierwszych składowych głównych zawiera zdecydowaną większość informacji o badanym zjawisku na podstawie zmiennych wejściowych, co pozwala na redukcję liczby składowych głównych przy jak najmniejszej utracie informacji wejściowych. Na podstawie kryterium Kaisera oraz testu ospiska Cattella wyodrębniono dwa pierwsze czynniki, których wartości własne są większe od jedności (Kaiser, 1960). Uzyskane składowe (czynniki) zinterpretowano na podstawie ich ładunków czynnikowych. Wpływ poszczególnych zmiennych pierwotnych na daną składową główną oceniono na podstawie wektora własnego, który zawiera współczynniki kombinacji liniowej wyznaczającej składową. Analizę podsumowano w formie graficznej, na wykresach, na których przedstawiono całościowo informację dotyczącą relacji pomiędzy składowymi, zmiennymi pierwotnymi i przypadkami.

Przeprowadzono analizę współczynników ścieżek, aby szczegółowo zinterpretować związki przyczynowo-skutkowe, a wyniki przedstawiono w formie diagramów. Częstkowe współczynniki regresji dla zmiennych standaryzowanych (współczynników ścieżek) obliczono według metody opisanej w pracy Wrighta (1934). Ponadto dokonano analizy wkładu indywidualnego i udziału poszczególnych składowych plonu w zwiększeniu plonowania owsa pomiędzy poziomami nawadniania, formy owsa oraz nawożenia azotem, którą oparto na metodzie zaproponowanej przez Rudnickiego (2000).

Obliczono także podstawowe miary statystyczne położenia i zmienności: średnią, wartość minimalną i maksymalną, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności.

Wszystkie analizy statystyczne wykonano z użyciem programu MS Excel oraz Statistica 13.0 (StatSoft, Polska, Kraków).

W ocenie wpływu czynników meteorologicznych na wystąpienie i czas trwania poszczególnych faz rozwojowych uwzględniono lata 2010–2019 w wariacie niedeszczowanym i dla obiektów nawożonych. Zależność plonu ziarna oraz elementów składowych plonu od warunków pogodowych zestawiono dla lat 2013–2019. Wpływ formy owsa, deszczowania i nawożenia na badane cechy określono na podstawie syntez pięcioletnich. W wyliczeniach zależności między plonem ziarna a jego składowymi oraz syntezie z lat badań wykluczono rok 2015 z uwagi na awarię deszczowni.

3. WARUNKI PROWADZENIA DOŚWIADCZEŃ

3.1. Warunki glebowe

Pole doświadczalne położone jest w obrębie Równiny Poznańskiej, która w kierunku północnym przechodzi w Równinę Szamotulską oraz Pagórki Poznańskie (Krygowski, 1961). Wierzchnia warstwa gleby zbudowana jest z glin zwałowych zlodowacenia bałtyckiego, które charakteryzują się spiaszczeniem sięgającym do głębokości 90 cm. Uziarnienie wierzchnich poziomów w zakresie 14–15% części spławialnych, w tym 3–4% ilu koloidalnego i zalegającej gliny lekkiej zawierającej 27–32% części spławialnych, zalicza gleby pola doświadczalnego do piasków gliniastych lekkich. Według obowiązującej systematyki (Marcinek i Komisarek, 2011) gleby zakwalifikowano do rzędu: gleb płowoziemnych (P), typu: gleb płowych (PW), podtypu: gleb płowych typowych (PWt), rodzaju: glin zwałowych, gatunku: piasku gliniastego lekkiego płytko zalegającego na glinie lekkiej. Zgodnie z międzynarodową klasyfikacją według FAO/WRB (2007) glebę zaliczono do *Haplic Luvisols* jako typową glebę płową utworzoną z lekkich piasków gliniastych, osadzonych w płytkiej warstwie na lekkiej glinie. Odczyn gleby jest lekko kwaśny, pH 6,5 (w 1 M KCl), zawartość węgla organicznego wynosi 0,48%, a zawartość próchnicy mieści się w granicach od 0,8% do 1,1%. Glebę pola doświadczalnego cechuje wysoka zawartość fosforu (8,6 mg·100g gleby⁻¹) i magnezu (5,3 mg·100 g gleby⁻¹), średnia potasu (12,3 mg·100 g gleby⁻¹). W ocenie bonitacyjnej gleba pola doświadczalnego jest zaliczana do klas IVa (gleby orne średniej jakości), a według przydatności rolniczej kompleksu 4 (żytni bardzo dobry) i 5 (żytni dobry). Niski poziom wód gruntowych i budowa podłoża sprawiają, że na glebach tych mogą występować okresowe niedobory wody w okresie wegetacji roślin.

3.2. Warunki agrotechniczne

Owies uprawiano na stanowisku po życie ozimym, wysiewając we wszystkich latach 400 kielkujących ziaren na 1 m², z uwzględnieniem masy 1000 nasion i zdolności kiełkowania.

Nawożenie mineralne stosowano wiosną w postaci nawozu fosforowo-potasowego Lubofos (Luvena SA) dostarczającego $60 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ i $100 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$. Nawożenia azotem w formie saletry amonowej (34% N) używano zgodnie ze schematem doświadczenia. Przed siewem ziarno owsa zaprawiano preparatem Certicor 050 FS. W celu redukcji zachwaszczenia stosowano preparat Mustang Forte 195 SE w dawce $0,8 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$. Nie stosowano ochrony fungicydowej, natomiast do zwalczania szkodników wykorzystano Karate Zeon 050 CS w dawce $0,1 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ lub Fastac Active 050 ME w dawce $0,2 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Zabiegi uprawowe wykonywano zgodnie z zasadami dobrej praktyki w uprawie zbóż. Zbiór wykonywano jednoetapowo kombajnem poletkowym Wintersteiger z automatyczną wagą.

3.3. Warunki pogodowe

Rozkład temperatury i opadów w latach 2010–2019 zamieszczono w tabelach 3 i 4. Masy powietrza polarno-morskiego i polarno-kontynentalnego kształtują klimat Wielkopolski, który charakteryzuje się zmiennością i różnorodnością typów pogody. W omawianym okresie średnia temperatura roczna wahała się od $8,6^\circ\text{C}$ do $10,6^\circ\text{C}$, a w okresie wegetacyjnym dla kwietnia od 8°C do $12,9^\circ\text{C}$, maja od $11,9^\circ\text{C}$ do $16,9^\circ\text{C}$, czerwca od $15,7^\circ\text{C}$ do $22,0^\circ\text{C}$ i lipca od $17,5^\circ\text{C}$ do $23,0^\circ\text{C}$. Roczne sumy opadów wahały się od $360,1 \text{ mm}$ do $774,8 \text{ mm}$, a dla wspomnianych wyżej miesięcy odpowiednio: $4,1$ – $57,2 \text{ mm}$, $17,4$ – $134,6 \text{ mm}$, od $7,2$ – $124,4 \text{ mm}$ i od $46,6$ – $214,6 \text{ mm}$. Ogólnie roczne sumy opadów były wyższe od średniej z wielolecia ($521,2 \text{ mm}$) z wyjątkiem lat 2015, 2018 i 2019, w których sumy opadów stanowiły odpowiednio 89%, 69% i 79% średniej sumy opadów. W dziesięcioleciu prowadzenia badań zaznaczył się wzrost średniej temperatury dobowej o $0,6^\circ\text{C}$ w porównaniu do wielolecia w tym regionie. Zależności te potwierdza przedstawione równanie prostej regresji na rysunku 1, obrazującej przebieg średniej temperatury dobowej powietrza, wskazujące trend corocznego zwiększania temperatury o $0,13^\circ\text{C}$ oraz brak podobnych zmian w sumie opadów. Analiza częstotliwości występowania miesięcy cieplejszych od ich wartości średnich z wielolecia wykazała, że dla stycznia, lutego, maja, czerwca i października wystąpiło pięć takich lat, dla kwietnia sześć, dla lipca cztery, dla sierpnia siedem, a marzec, wrzesień, listopad i grudzień okazały się miesiącami cieplejszymi w większości lat badań. Na podstawie klasyfikacji temperatur powietrza według Łyczko i in. (2002) lata: 2010, 2012, 2013, 2016 i 2017 można wyróżnić jako normalne, natomiast lata 2011, 2014, 2015, 2018 i 2019 jako ciepłe. Posługując się charakterystyką wilgotnościową roku według Kaczorowskiej (1962), lata przedmiotowego dziesięciolecia można podzielić na: bardzo wilgotne – 2010, 2012, 2016 i 2017 rok, przeciętne – 2011, 2013 i 2014 rok oraz suche – 2015, 2018 i 2019 rok. Charakterystyka ta nie uwzględnia jednak nierównomierności rozkładu opadów. Z kolei korzystając

z klasyfikacji miesięcy według Tomaszewskiej (1994), można zaobserwować, że okresy normalne były najczęściej występującymi od marca do lipca w poszczególnych latach (sześciokrotnie), natomiast okresy skrajnie suche pojawiły się jednorazowo w kwietniu i czerwcu, okresy bardzo suche dwukrotnie w marcu, maju i czerwcu oraz jednorazowo w kwietniu i lipcu, natomiast okresy suszy dwukrotnie w kwietniu i lipcu oraz jednorazowo w marcu, maju i czerwcu. W tym ujęciu wielolecie prowadzonych badań prezentuje się korzystnie pod względem warunków uwilgotnienia.

W okresie wegetacji wiosenno-letniej (od kwietnia do lipca) warunki pogodowe określane temperaturą i opadami charakteryzowały się dużą zmiennością, o czym świadczą wyliczone współczynniki zmienności (CV) (tab. 5, rys. 2). W okresie prowadzenia badań największym wahaniom podlegała temperatura powietrza w kwietniu (CV = 19,6%) i opady w lipcu (CV = 63%), natomiast najmniejszym – temperatura powietrza w lipcu i opady w czerwcu (współczynniki zmienności wyniosły odpowiednio 8,3% i 36,7%). Wartości współczynnika Sielanianowa potwierdzają zróżnicowanie warunków pogodowych w poszczególnych latach i miesiącach od kwietnia do lipca. Na podstawie kryterium Skowery i Puły (2004) można określić kwiecień, miesiąc siewu owsa – w latach 2011 i 2019 jako skrajnie suchy, suchy w latach: 2012, 2013, 2015 i 2018, dość suchy w 2010 roku, optymalny – w 2016 roku, natomiast dość wilgotny w 2014 i 2017 roku. Czerwiec, miesiąc kłoszenia owsa, w 2019 roku można określić jako skrajnie suchy, w 2010 i 2018 roku jako bardzo suchy, w 2014 roku suchy, w 2011 roku dość suchy, optymalny w 2016 i 2017 roku, dość wilgotny w 2015 roku, wilgotny w 2013 roku, natomiast bardzo wilgotny w 2012 roku. Warunki wilgotnościowe w okresie dojrzewania w lipcu były: bardzo suche w 2019 roku, suche w 2013 i 2014 roku, dość suche w 2015 i 2018 roku, optymalne w 2010 roku, bardzo wilgotne w 2012 i 2016 roku oraz skrajnie wilgotne w 2011 i 2017 roku. Zatem najmniej korzystny dla wzrostu i rozwoju owsa przebieg wegetacji wiosenno-letniej w okresie od siewu do dojrzewania, odznaczający się wysokimi temperaturami przy jednocześnie niewystarczającej ilości opadów, zanotowano w latach 2010, 2013 i 2018.

Aby kompleksowo scharakteryzować warunki pogodowe w okresie wegetacji owsa, posłużono się wskaźnikiem uwilgotnienia atmosfery. Wartości tego wskaźnika dla poszczególnych miesięcy okresu badawczego (2010–2019) były zróżnicowane. Analiza warunków wilgotnościowych według tego kryterium pozwala na stwierdzenie, iż w kwietniu występowały długotrwałe posuchy, a w czerwcu – posuchy. Posługując się wskaźnikiem uwilgotnienia atmosfery, lata 2015 i 2019 można określić jako posuszne, a 2018 rok jako długotrwałe posuszny (tab. 6).

Tabela 3. Średnie temperatury miesięczne powietrza w latach 2010–2019 według Stacji Doświadczalnej w Złotnikach
Table 3. Average monthly air temperatures in 2010–2019 according to the Experimental Station in Złotniki

Miesiąc Month	Lata – Years										Średnia Average	
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	*	**
I	-6,5	0,6	2,2	-2,4	-1,4	1,8	-1,9	-2,2	1,8	-0,3	-0,8	-1,2
II	-0,5	-1,7	-1,4	-0,3	3,5	1,0	3,4	0,4	-2,6	3,0	0,5	-0,2
III	4,2	4,5	5,6	-2,3	6,7	5,2	3,7	6,2	0,6	6,1	4,0	3,5
IV	10,5	12,7	9	8,0	10,6	8,3	8,6	7,3	12,9	10,5	9,8	8,9
V	12,0	15,3	15,1	14,4	13,3	12,9	15,4	13,7	16,9	11,9	14,1	14,3
VI	19,2	18,4	15,8	17,3	15,9	15,7	18,3	17,4	18,5	22,0	17,9	17,5
VII	23,0	17,5	19	19,6	21,4	19,1	18,8	18,0	20,2	18,9	19,5	19,3
VIII	19,6	18,9	18,3	18,7	17,3	22,3	17,5	18,9	21,3	20,6	19,3	18,6
IX	13,4	15,0	14,1	12,4	15,2	14,5	16,5	13,3	15,8	14,2	14,4	14,0
X	6,9	9,1	8,3	10,3	10,8	7,7	8,0	10,6	10,9	10,4	9,3	9,1
XI	4,9	3,7	5,2	4,9	5,7	5,9	2,9	5,1	5,1	6,2	5,0	3,9
XII	-4,0	3,3	-1,5	2,6	1,6	5,5	1,7	2,6	2,6	3,3	1,8	0,3
Średnia Average	8,6	9,8	9,1	8,6	10,1	10,0	9,4	9,3	10,3	10,6	9,6	9,0

*Średnia miesięczna; **średnia wieloletnia 1951–2018.

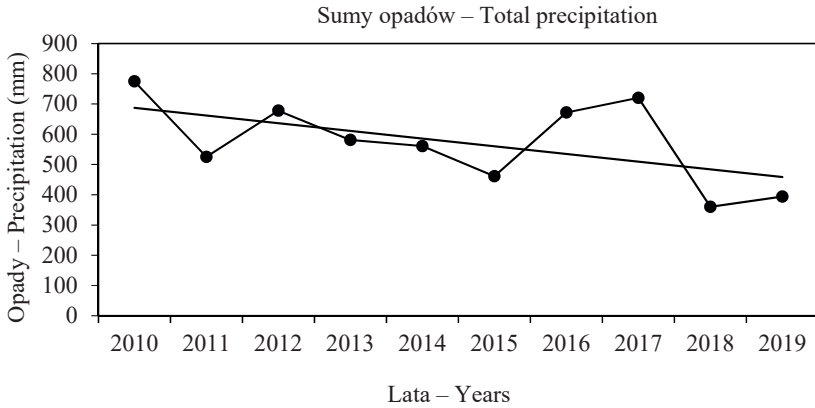
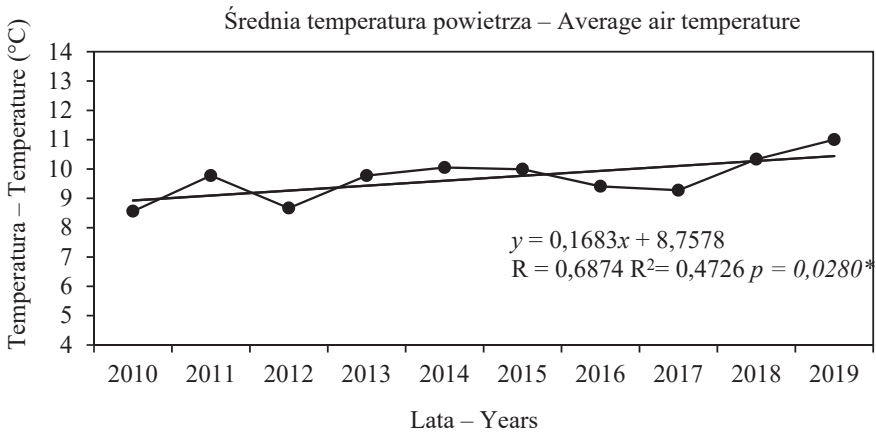
*Monthly average; **multi-year average 1951–2018.

Tabela 4. Miesięczne sumy opadów w latach 2010–2019 według Stacji Doświadczalnej w Złotnikach
Table 4. Monthly sums of precipitation in 2010–2019, according to the Experimental Station in Złotniki

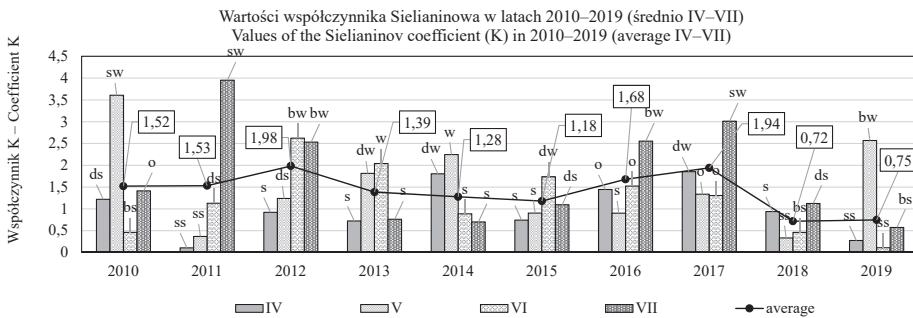
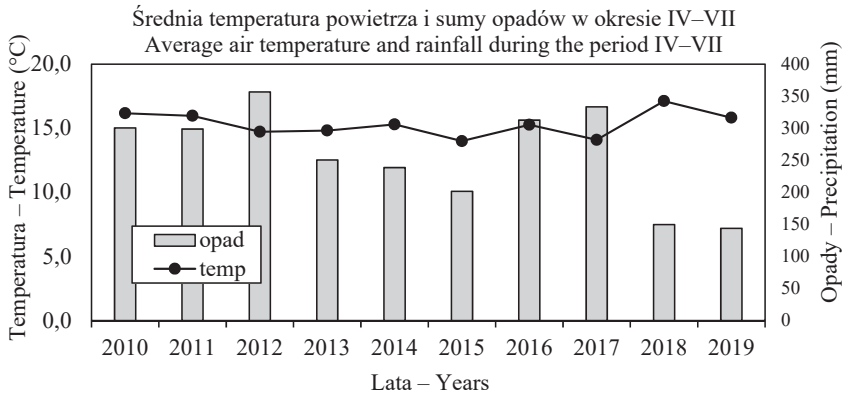
Miesiąc Month	Lata – Years										Średnia Average	
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	*	**
I	34,4	22,1	86,6	43,6	40,3	38,2	31,6	19,7	44,6	23,8	38,5	31,6
II	22,8	36,0	52,0	41,3	12,6	11,8	36,8	18,4	5,0	13,6	25,0	27,4
III	33,8	15,2	11,8	33,8	60,0	46,2	49,0	45,4	22,6	35,8	35,4	32,0
IV	38,5	4,1	25,0	17,4	57,2	18,4	37,4	40,6	36,2	8,6	28,3	31,3
V	134,6	17,5	58,0	81,0	92,4	36,2	43,0	56,8	17,4	94,4	63,1	50,0
VI	26,6	62,4	124,4	106,0	42,4	82,0	83,6	68,2	25,6	7,2	62,9	59,4
VII	100,9	214,8	149,4	46,2	46,6	65,0	148,8	168,0	70,5	33,8	104,4	79,5
VIII	132,4	38,0	56,4	44,2	89,8	25,2	40,6	82,0	11,6	28,6	54,9	55,0
IX	68,5	28,6	30,4	74,8	45,8	23,6	5,6	45,6	44,2	52,6	42,0	44,6
X	7,2	21,8	32,8	16,4	13,4	25,8	105,0	91,8	24,8	32,4	37,1	35,9
XI	115,0	3,2	28,6	47,4	17,4	55,4	47,8	50,0	11,4	63,2	44,0	35,6
XII	60,1	61,6	22,9	28,8	43,0	33,6	42,6	33,8	46,2	20,8	39,3	39,0
Suma Sum	774,8	525,3	678,3	580,9	560,9	461,4	671,8	720,3	360,1	414,8	574,9	521,2

*Średnia miesięczna; **średnia wieloletnia 1951–2018.

*Monthly average; **multi-year average 1951–2018.



Rys. 1. Przebieg warunków pogodowych oraz linii trendu w latach 2010–2019
 Fig. 1. The course of weather conditions and trend lines in 2010–2019



Rys. 2. Charakterystyka warunków pogodowych w okresie od kwietnia do lipca; interpretacja współczynnika K na stronie 14.
Fig. 2. Characteristics of weather conditions in the period from April to July; interpretation of the K – coefficient on page 14.

Tabela 5. Przebieg warunków pogodowych w okresie od kwietnia do lipca (średnio 2010–2019)

Table 5. The course of weather conditions in the period from April to July (2010–2019 on average)

Czynnik meteorologiczny Meteorological factor	Miesiąc Month	Średnia Average	Minimum	Maksimum Maximum	SD	CV (%)
Średnia temperatura powietrza (°C) Average air temperature (°C)	IV	9,8	7,3	12,9	1,9	19,6
	V	14,1	11,9	16,9	1,6	11,5
	VI	17,9	15,7	22,0	1,9	10,7
	VII	19,5	17,5	23,0	1,6	8,3
Suma opadów (mm) Total precipitation (mm)	IV	28,3	4,1	57,2	17,0	60,1
	V	63,1	17,4	94,4	29,5	46,7
	VI	62,8	4,1	124,4	23,1	36,7
	VII	104,4	33,8	214,8	65,8	63,0

SD – odchylenie standardowe, CV – współczynnik zmienności.

SD – standard deviation, CV – coefficient of variation.

Tabela 6. Wartości wskaźnika uwilgotnienia atmosfery w latach 2010–2019 (interpretacja wskaźnika uwilgotnienia atmosfery na stronie 14)

Table 6. Values of the atmospheric humidity index in 2010–2019 (interpretation of the atmospheric moisture index on page 14)

Lata Years	Miesiące – Months					
	III	IV	V	VI	VII	średnia average
2010	1,11	0,56	3,34	0,25	0,70	1,19
2011	0,37	0,04	0,16	0,53	3,37	0,89
2012	0,30	0,38	0,55	1,70	1,81	0,95
2013	0,99	0,34	1,10	1,37	0,47	0,85
2014	1,37	0,97	1,34	0,52	0,40	0,92
2015	1,14	0,28	0,44	1,02	0,60	0,70
2016	2,31	0,65	0,48	0,87	1,79	1,22
2017	1,09	0,86	0,72	0,63	2,05	1,07
2018	0,89	0,50	0,15	0,16	0,59	0,46
2019	0,64	0,10	1,45	0,04	0,31	0,51
Średnia Average	1,02	0,47	0,97	0,71	1,21	

4. WYNIKI BADAŃ

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

W dziesięcioletnim okresie badań nie odnotowano istotnego zróżnicowania poszczególnych terminów faz rozwojowych w zależności od formy owsa, stąd w analizie wpływu warunków meteorologicznych na wzrost i plonowanie owsa wykorzystano dane z wariantu niedeszczowanego i nawożonego dawką $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Daty wystąpienia kolejnych faz rozwojowych podano dla owsa niezależnie od jego formy.

W latach prowadzenia badań (2010–2019) termin siewu owsa przypadał pomiędzy 23 marca a 24 kwietnia, w zależności od przebiegu warunków pogodowych (tab. 7). Liczba dni wegetacji od siewu do dojrzałości pełnej wynosiła średnio 116 dni, jednak w latach wahała się w szerokim zakresie od najkrótszej w 2013 (95 dni) do najdłuższej w 2015 roku (137 dni). Wcześniejszy siew, 23 marca w 2015 roku, wydłużył tempo wzrostu i rozwoju roślin, natomiast późniejszy termin, 24 kwietnia w 2013 roku, przeciwnie – powodował skrócenie okresu wegetacji. Zróżnicowane warunki pogodowe w latach także modyfikowały długość okresu wegetacji owsa nagiego i oplewionego. Średnie temperatury powietrza powyżej 17°C , przy jednoczesnym niedoborze opadów w okresie od siewu do dojrzałości pełnej sprzyjały skróceniu długości okresu wegetacji w latach 2010, 2013 i 2018 roku. Z przeprowadzonych obserwacji wynika, że najdłuższą fazą rozwojową owsa był okres od strzelania w źdźbło do grubienia pochwy liściowej liścia flagowego (tab. 8). Liczba dni w tym okresie wahała się od 6 dni w 2013 roku do 28 dni w 2010 roku, średnia temperatura była w tym okresie najniższa ($14,7^{\circ}\text{C}$), a suma opadów najwyższa (133,3 mm). Współczynnik zmienności dla tego okresu wyniósł 57,6%, natomiast wartość odchylenia standardowego – 6,6. Wysoką wartość współczynnika zmienności odnotowano także w okresach: od dojrzałości woskowej do dojrzałości pełnej, od kwitnienia do rozwoju ziarniaków, a także w okresie od siewu do wschodów, odpowiednio 63,3%, 48,7% i 48,5%, co związane było ze zmianami w rozkładzie temperatur i opadów w poszczególnych okresach wegetacji. Temperatura w okresie od siewu do osiągnięcia pełnej dojrzałości wynosi-

ła średnio 16,2°C, przy czym najniższą odnotowano w 2015 roku (14,9°C), kiedy w okresie od siewu do wschodów wystąpiły niższe temperatury niż w pozostałych latach (tab. 9). Najniższą sumą opadów charakteryzował się okres wegetacji w 2018 roku (190,5 mm), kiedy to największy niedobór wody wystąpił w okresie kwitnienia i rozwoju ziarniaków. Sezon wegetacyjny 2019 roku także można zaliczyć do suchego, w którym sumy opadów wyniosły 268,8 mm, a największe niedobory opadów odnotowano w okresie od siewu do wschodów (9,6 mm) oraz od kłoszenia do kwitnienia (7,2 mm) owsa. W analizowanych latach największe opady zanotowano dla sezonu wegetacyjnego 2017 roku (565,3 mm), kiedy to od rozwoju ziarniaków do osiągnięcia dojrzałości woskowej suma opadów wyniosła 125,6 mm, znacznie przewyższając ilości opadów zarejestrowanych w tym okresie dla pozostałych sezonów wegetacyjnych (tab. 10).

Czas trwania poszczególnych faz rozwojowych był słabo skorelowany z temperaturą, i w większości ujemnie, natomiast silnie dodatnio z sumą opadów atmosferycznych (tab. 11–12), które w porównaniu z temperaturą wykazały znacznie większe wartości odchylenia standardowego i współczynnika zmienności. Największą zmiennością temperatury charakteryzowały się fazy o krótkich okresach czasowych: od siewu do wschodów (24,3%) i od wschodów do krzewienia (15,3%). Różnica między najwyższą a najniższą temperaturą w tym okresie wyniosła odpowiednio 7,7°C i 5,1°C. Temperatura w okresie od siewu do dojrzałości pełnej była najbardziej stabilna, współczynnik zmienności wyniósł 5,5%, a różnice temperatur 2,7°C. Współczynnik korelacji wyliczony dla poszczególnych faz rozwojowych wykazał tendencję do ich skracania wraz ze wzrostem temperatury, z wyjątkiem fazy od rozwoju ziarniaków do osiągnięcia dojrzałości woskowej.

Czas trwania większości faz rozwojowych był dodatnio skorelowany z sumą opadów, z wyjątkiem okresu od dojrzałości woskowej do dojrzałości pełnej, co dowodzi, że przy wzroście sumy opadów następuje wydłużanie się faz rozwojowych. Opady charakteryzowały się największą zmiennością w okresie od strzelania w źdźbło do grubienia pochwy liściowej liścia flagowego (108,2%). Do określenia ilościowych zależności pomiędzy opadami a długością faz rozwojowych posłużono się regresją liniową, w której wyliczone współczynniki regresji wskazują, że wzrost sumy opadów o 1 mm wydłużał okres wegetacji od strzelania w źdźbło do grubienia pochwy liściowej liścia flagowego o 4,4 dnia ($y = 4,4345x - 2,5933$, $r^2 = 0,5026$, $r = 0,7089$, $p = 0,0217$), a okres od grubienia pochwy liściowej liścia flagowego do kłoszenia o 2,4 dnia ($y = 2,3875x - 1,9681$, $r^2 = 0,5127$, $r = 0,7160$, $p = 0,0199$).

Wyliczone współczynniki korelacji prostej pomiędzy plonem owsa w warunkach kontrolnych, nieduszczowanych, a wartościami współczynnika Sielianiowa i wskaźnikiem uwilgotnienia atmosfery wykazały, że we wszystkich wariantach nawożenia azotem najsilniejszy związek z plonem ziarna miały warunki wilgotnościowo-termiczne wyrażone wartościami tych wskaźników w kwietniu (tab. 6). Dla maja i czerwca uzyskano przeciętny związek plonowania owsa nagiego i oplewionego zarówno z omawianymi wskaźnikami, jak i opadami atmosferycznymi. Z kolei dla lipca związek ten był nikły i ujemny (tab. 13).

Związek między warunkami wilgotnościowo-termicznymi wyrażonymi temperaturą, wskaźnikiem Sielianiowa i uwilgotnienia atmosfery a plonem ziarna potwierdzają także stosunkowo wysokie wartości współczynnika determinacji wynoszące odpowiednio 65,0%, 45,0% i 41,0%. Zależności te miały charakter prostoliniowy, a ich trend przedstawiono na rysunkach 3–5. Uwzględniając plony ziarna owsa nagiego i oplewionego uzyskane w dziesięcioleciu w wariancie kontrolnym – niedeszczowanym, przy dawce azotu $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, udowodniono, że przeciętne wzrosty temperatury powietrza o 1°C w fazie od grubienia pochwy liściowej liścia flagowego do kłoszenia owsa powodują niżkę jego plonu o $1,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (rys. 3). Z kolei wzrost wartości wskaźników Sielianiowa i uwilgotnienia atmosfery o 1 w okresie od wschodów do krzewienia owsa powodują wzrost jego plonu odpowiednio o $0,43$ i $0,21 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (rys. 4–5).

Długość trwania poszczególnych faz rozwojowych oraz niekorzystne warunki pogodowe w okresie wegetacji wpływały w różnym stopniu na plon i jego komponenty. Wykazano prawie pewną, potwierdzoną statystycznie dodatnią korelację liczby wiech na metr kwadratowy z długością okresu od krzewienia do strzelania w źdźbło (tab. 14). Uzyskane wyniki wskazują, iż plon ziarna owsa nagiego i oplewionego był dodatnio skorelowany z długością większości faz rozwojowych z wyjątkiem okresów: od siewu do wschodów, od grubienia pochwy liściowej liścia flagowego do kłoszenia, rozwoju ziarniaków do dojrzałości woskowej i od dojrzałości woskowej do pełnej. Ponadto liczba dni od siewu do dojrzałości pełnej była wysoce dodatnio skorelowana z liczbą ziaren z rośliny, podobnie jak plon ziarna.

Analiza korelacji plonu i komponentów plonowania z temperaturą wykazała, że prawie pewny ujemny wpływ na liczbę wiech na metr kwadratowy i masę tysiąca ziaren miała temperatura w fazach: od krzewienia do strzelania w źdźbło i od dojrzałości woskowej do dojrzałości pełnej. Należy ponadto zauważyć, że dla wszystkich faz wyliczono ujemne korelacje plonu ze średnią temperaturą powietrza. Dla całego okresu wegetacji zaznaczył się bardzo wysoki, ujemny związek temperatury z liczbą wiech na jednostce powierzchni.

Ilość opadów w poszczególnych fazach rozwojowych także wpłynęła na kształtowanie się plonu i komponenty plonowania. Analiza korelacji plonu z opadami wykazała prawie pewny dodatni ich wpływ w okresach: kłoszenie – kwitnienie, rozwój ziarniaków – dojrzałość woskowa, a także w trakcie całego okresu wegetacji. Spośród komponentów plonowania prawie pewny istotny statystycznie związek dla obsady wiech wystąpił z sumą opadów w okresie wschody – krzewienie i rozwój ziarniaków – dojrzałość woskowa, kiedy to wzrost opadów oddziaływał korzystnie na liczbę wiech na jednostce powierzchni. Podobnie prawie pewny związek, ale ujemny, stwierdzono pomiędzy sumą opadów fazy krzewienie – strzelanie w źdźbło, a masą tysiąca ziaren. Należy zauważyć, że dla całego okresu wegetacji owsa zaznaczył się bardzo wysoki dodatni związek ilości opadów z liczbą ziaren z rośliny i masą tysięcy ziaren.

Wyniki analizy współczynników korelacji plonu wskazują na silniejszy związek plonu ziarna z opadami niż z temperaturą. Analiza regresji plonu w zależności od sumy opadów

w poszczególnych okresach rozwoju roślin owsa nagiego i oplewionego charakteryzujących się silniejszym związkiem plonu z opadami pozwoliła wyliczyć wartości teoretyczne optymalnych opadów dla uzyskania maksymalnego plonu (tab. 15). Obliczona wartość dla czasokresów krzewienie – strzelanie w źdźbło i rozwój ziarniaków – dojrzałość woskowa wynosiła odpowiednio 51,5 oraz 124,5 mm. Rachunek regresji wyrażony wielomianem pierwszego stopnia potwierdził ścisłą zależność przyrostu plonu ziarna pod wpływem opadów atmosferycznych dla całego okresu wegetacji – od siewu do osiągnięcia dojrzałości pełnej.

Tabela 7. Daty faz rozwojowych owsa

Table 7. Dates of oat development phases

Faza rozwojowa Development phase	Lata – Years									
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Siew – Sowing	12.04	08.04	11.04	24.04	31.03	23.03	31.03	29.03	6.04	29.03
Wschody – Emergence BBCH 09–10	18.04	16.04	25.04	2.05	18.04	15.04	11.04	25.04	27.04	24.04
Krzewienie – Tillering BBCH 22-23	26.04	09.05	11.05	20.05	29.04	26.04	5.05	12.05	4.05	13.05
Strzelanie w źdźbło – Shooting BBCH 30-31	14.05	18.05	17.05	27.05	19.05	22.05	20.05	25.05	14.05	24.05
Grubienie pochwy liściowej liścia flagowego Thickening of the flag leaf sheath BBCH 39-41	11.06	01.06	28.05	02.06	02.06	01.06	31.05	1.06	21.05	30.05
Kłoszenie – Earing BBCH 58-59	21.06	03.06	20.06	24.06	19.06	08.06	10.06	16.06	5.06	15.06
Kwitnienie – Flowering BBCH 69-71	03.07	20.06	13.07	05.07	28.06	29.06	22.06	7.07	10.06	05.07
Dojrzałość mleczna – Milk maturity BBCH 73-75	20.07	11.07	22.07	09.07	02.07	07.07	5.07	20.07	19.06	18.07
Dojrzałość woskowa – Wax maturity BBCH 83-85	27.07	22.07	25.07	20.07	12.07	23.07	18.07	28.07	1.07	28.07
Dojrzałość pełna – Full maturity BBCH 89-92	30.07	01.08	29.07	28.07	25.07	07.08	9.08	01.08	16.07	02.08
Termin zbioru Harvest date	31.07	04.08	02.08	02.08	01.08	14.08	10.08	04.08	25.07	05.08
Okres wegetacji (liczba dni) Vegetation period (number of days)	109	115	109	95	116	137	131	125	101	126

Tabela 8. Charakterystyki statystyczne długości faz rozwojowych owsa
Table 8. Statistical characteristics of the length of oat development phases

Okres rozwojowy Development period	Minimum	Maksimum Maximum	SD	CV (%)
Siew – wschody Sowing – emergence	6,0	27,0	7,9	48,5
Wschody – krzewienie Emergence – tillering	7,0	24,0	5,9	38,6
Krzewienie – strzelanie w źdźbło Tillering – shooting	6,0	26,0	6,3	46,8
Strzelanie w źdźbło – grubienie pochwy liściowej liścia flagowego Shooting – thickening of the flag leaf sheath	6,0	28,0	6,6	57,6
Grubienie pochwy liściowej liścia flagowego – kłoszenie Thickening of the flag leaf sheath – earing	2,0	23,0	6,5	47,7
Kłoszenie – kwitnienie Earing-flowering	5,0	23,0	6,1	40,4
Kwitnienie – rozwój ziarniaków Flowering – kernel development	4,0	21,0	5,4	48,7
Rozwój ziarniaków – dojrzałość woskowa Kernel development – wax maturity	3,0	16,0	3,5	35,1
Dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna Wax maturity – full maturity	3,0	22,0	6,3	63,3
Siew – dojrzałość pełna Sowing – full maturity	95,0	137,0	13,4	11,5

SD – odchylenie standardowe, CV – współczynnik zmienności.

SD – standard deviation, CV – coefficient of variation.

Tabela 9. Średnia temperatura w okresach rozwojowych owsa (°C)
Table 9. Average temperature in the oat development periods (°C)

Okres rozwojowy Development period	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Siew – wschody Sowing – emergence	10,3	10,9	11,3	13,8	8,5	6,1	8,1	7,6	12,9	9,7
Wschody – krzewienie Emergence-tillering	12,4	12,7	15,0	14,1	11,5	10,2	9,9	10,1	14,4	11,5
Krzewienie – strzelanie w źdźbło Tillering – shooting	11,6	14,1	12,7	17,7	12,2	12,2	13,3	16,3	15,5	13,3
Strzelanie w źdźbło – grubienie pochwy liściowej liścia flagowego Shooting – thickening of the flag leaf sheath	14,7	17,2	15,0	19,0	15,6	15,0	19,2	16,5	17,8	15,7
Grubienie pochwy liściowej liścia flagowego – kłoszenie Thickening of the flag leaf sheath – earing	18,7	20,3	15,9	18,4	16,5	16,7	18,7	17,0	19,8	19,5

Tabela 9. cd.
Table 9. cont.

Kłoszenie – kwitnienie Earing – flowering	21,6	18,9	19,1	17,5	15,2	15,7	16,4	17,4	20,1	20,5
Kwitnienie – rozwój ziarniaków Flowering – kernel development	24,3	17,5	17,9	17,5	17,8	17,7	18,1	17,2	18,8	17,2
Rozwój ziarniaków – dojrzałość woskowa Kernel development – wax maturity	23,0	17,6	17,9	18,4	21,1	19,2	17,8	18,7	18,0	20,0
Dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna Wax maturity – full maturity	20,6	17,6	19,9	17,7	21,7	21,0	18,6	19,5	18,8	22,0
Siew – dojrzałość pełna Sowing – full maturity	17,6	16,3	16,1	17,1	15,6	14,9	15,6	15,6	17,3	16,5

Tabela 10. Suma opadów w okresach rozwojowych owsa (mm)
Table 10. Total precipitation in oat development periods (mm)

Okres rozwojowy Development period	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Siew – wschody Sowing – emergence	11,0	3,5	16,4	14,2	69,4	47,8	32,4	51,8	36,2	9,6
Wschody – krzewienie Emergence – tillering	11,0	3,2	54,4	16,8	41,8	8	44	30,8	23	16,4
Krzewienie – strzelanie w źdźbło Tillering – shooting	77,5	14,8	13,6	12,2	40,6	40,4	36	35,2	17,4	83,2
Strzelanie w źdźbło – grubienie pochwy liściowej liścia flagowego Shooting – thickening of the flag leaf sheath	133,3	14,9	14,4	29,6	65,4	3,4	7	70,2	6,4	35
Grubienie pochwy liściowej liścia flagowego – kłoszenie Thickening of the flag leaf sheath – earing	9,6	8	78,4	41,6	26	32,4	16,6	43,4	10,2	41,2
Kłoszenie – kwitnienie Earing – flowering	19,7	24,2	110,6	35,3	27,8	82	59,4	75,2	10,2	7,2
Kwitnienie – rozwój ziarniaków Flowering – kernel development	28,8	87,4	120	19,1	35,2	33,6	48,4	34,9	3,2	21,8
Rozwój ziarniaków – dojrzałość woskowa Kernel development – wax maturity	82,2	90,6	29,4	52,1	24,2	65	125,6	125,6	13,4	29,2
Dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna Wax maturity – full maturity	72,1	124,2	29,4	57,6	27,8	41,6	43,6	98,2	70,5	25,2
Siew – dojrzałość pełna Sowing – full maturity	445,2	370,8	466,6	278,5	358,2	354,2	413	565,3	190,5	268,8

Tabela 11. Charakterystyki statystyczne długości poszczególnych okresów rozwojowych owsa w zależności od temperatury powietrza (°C)

Table 11. Statistical characteristics of the length of individual oat development periods depending on the air temperature (°C)

Okres rozwojowy Development period	Minimum	Maksimum Maximum	SD	CV (%)	R
Siew – wschody Sowing – emergence	6,1	13,8	2,4	24,3	-0,4619
Wschody – krzewienie Emergence – tillering	9,9	15,0	1,9	15,3	-0,2338
Krzewienie – strzelanie w źdźbło Tillering – shooting	11,6	17,7	2,0	14,4	-0,5759
Strzelanie w źdźbło – grubienie pochwy liściowej liścia flagowego Shooting – thickening of the flag leaf sheath	14,7	19,2	1,7	10,0	-0,2206
Grubienie pochwy liściowej liścia flagowego – kłoszenie Thickening of the flag leaf sheath – earing	15,9	20,3	1,5	8,4	-0,4467
Kłoszenie – kwitnienie Earing – flowering	15,2	21,6	2,1	11,8	-0,0233
Kwitnienie – rozwój ziarniaków Flowering – kernel development	17,2	24,3	2,1	11,6	-0,1853
Rozwój ziarniaków – dojrzałość woskowa Kernel development – wax maturity	17,6	23,0	1,7	9,1	0,3241
Dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna Wax maturity – full maturity	17,6	22,0	1,6	8,0	-0,1922
Siew – dojrzałość pełna Sowing – full maturity	14,9	17,6	0,9	5,5	-0,8021

SD – odchylenie standardowe, CV – współczynnik zmienności, R – współczynnik korelacji.

SD – standard deviation, CV – coefficient of variation, R – correlation coefficient.

Tabela 12. Charakterystyki statystyczne długości poszczególnych okresów rozwojowych owsa w zależności od opadów atmosferycznych (mm)

Table 12. Statistical characteristics of the length of individual oat development periods depending on precipitation (mm)

Okres rozwojowy Development period	Minimum	Maksimum Maximum	SD	CV (%)	R
Siew – wschody Sowing – emergence	3,5	69,4	21,8	74,8	0,5277
Wschody – krzewienie Emergence – tillering	3,2	54,4	17,1	68,8	0,1020
Krzewienie – strzelanie w źdźbło Tillering – shooting	12,2	83,2	25,5	68,7	0,4403
Strzelanie w źdźbło – grubienie pochwy liściowej liścia flagowego Shooting – thickening of the flag leaf sheath	3,4	133,3	41,1	108,2	0,7089*
Grubienie pochwy liściowej liścia flagowego – kłoszenie Thickening of the flag leaf sheath – earing	8,0	78,4	21,8	70,9	0,7160

Tabela 12. cd.
Table 12. cont.

Kłoszenie – kwitnienie Earing – flowering	7,2	110,6	34,8	77,0	0,6387
Kwitnienie – rozwój ziarniaków Flowering – kernel development	3,2	120,0	34,9	80,7	0,2867
Rozwój ziarniaków – dojrzałość woskowa Kernel development – wax maturity	13,4	125,6	41,3	64,7	0,7236*
Dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna Wax maturity – full maturity	25,2	124,2	32,7	55,4	-0,1548
Siew – dojrzałość pełna Sowing – full maturity	190,5	565,3	108,6	29,3	0,3414

SD – odchylenie standardowe, CV – współczynnik zmienności, R – współczynnik korelacji.

*Różnice istotne statystycznie na poziomie istotności $p < 0,01$.

SD – standard deviation, CV – coefficient of variation, R – correlation coefficient.

*Statistically significant differences at the significance level $p < 0.01$.

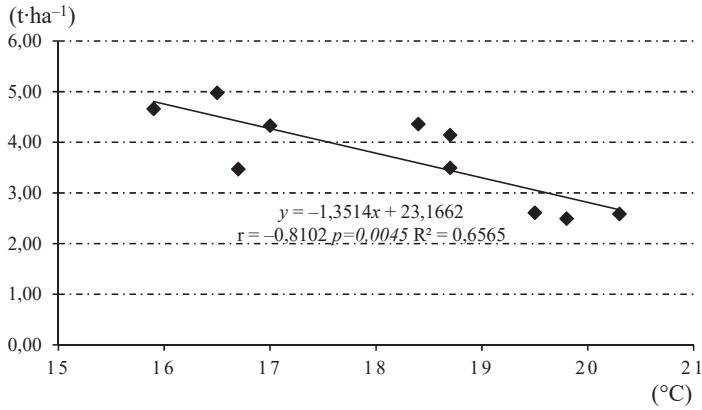
Tabela 13. Współczynniki korelacji pomiędzy plonowaniem owsa a wartościami współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa, wskaźnikami uwilgotnienia atmosfery oraz opadami

Table 13. Coefficients of correlation between oats yielding and the values of the Sielianinow hydrothermal coefficient, atmospheric humidity index and precipitation

Czynnik – Factor	Miesiące – Months			
	IV	V	VI	VII
Nawożenie azotem (kg·ha ⁻¹) Fertilized by nitrogen (kg·ha ⁻¹)				
Plon / Współczynnik Sielianinowa – Yield / Sielianinow hydrothermal coefficient				
0	0,672*	0,418	0,491	-0,117
50	0,672*	0,415	0,493	-0,112
100	0,668*	0,409	0,499	-0,107
150	0,664*	0,405	0,504	-0,106
Plon / Wskaźnik uwilgotnienia atmosfery – Yield / Atmospheric humidity index				
0	0,645*	0,347	0,532	-0,166
50	0,645*	0,345	0,533	-0,161
100	0,641*	0,338	0,539	-0,155
150	0,637*	0,333	0,544	-0,153
Plon / Opady – Yield / Precipitation				
0	0,579	0,506	0,464	-0,078
50	0,580	0,504	0,465	-0,073
100	0,575	0,498	0,471	-0,069
150	0,571	0,494	0,476	-0,068

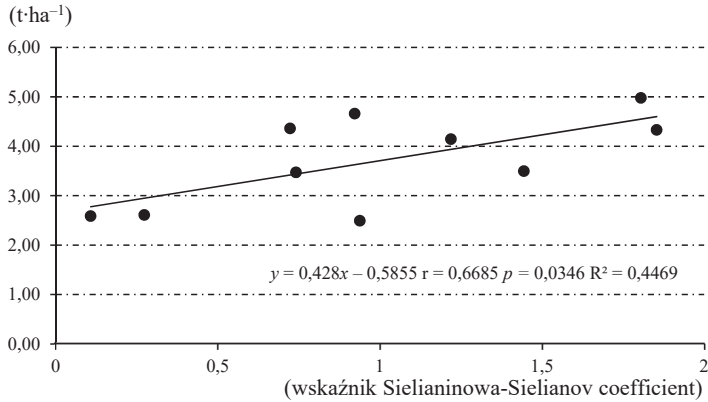
*Różnice istotne statystycznie na poziomie istotności $p < 0,01$.

*Statistically significant differences at the significance level $p < 0.01$.



Rys. 3. Plon ziarna owsa wraz z linią trendu w wariantcie niedoszczowanym przy dawce azotu 100 kg·ha⁻¹ w zależności od temperatury w okresie od grubienia pochwy liściowej liścia flagowego do kłoszenia

Fig. 3. Oat grain yield with the trend line in the non-irrigation variant at a nitrogen dose of 100 kg·ha⁻¹ depending on the temperature in the period from the thickening of the flag leaf sheath to earing



Rys. 4. Plon ziarna owsa wraz z linią trendu w wariantcie niedoszczowanym przy dawce azotu 100 kg·ha⁻¹ w zależności od wskaźnika Sielianinowa w okresie od wschodów do krzewienia

Fig. 4. Oat grain yield with the trend line in the non-irrigated variant at a nitrogen dose of 100 kg·ha⁻¹ depending on the Sielianinov coefficient in the period from emergence to tillering

Tabela 14. Współczynniki korelacji plonu ziarna i komponentów plonowania z długością, temperaturą i opadami w poszczególnych okresach rozwoju roślin
 Table 14. Coefficients of correlation of grain yield and yield components with length, temperature and precipitations in particular periods of plant development

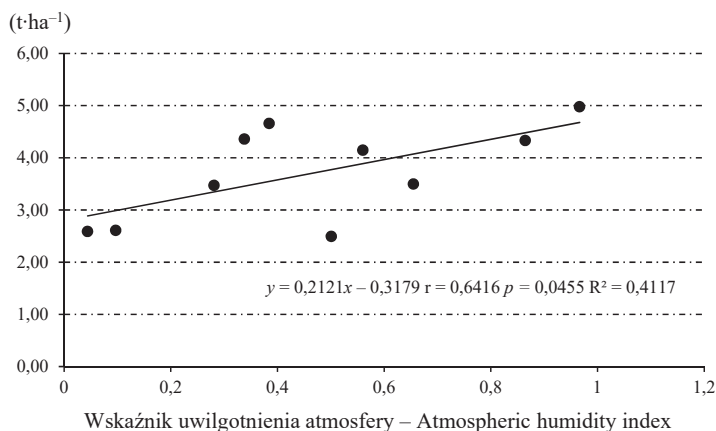
Cechy Character	Siew - wschody Sowing - emergence	Wschody - krzewienie Emergence - tillering	Krzewienie - strzelanie w źdźbło Tillering - shooting	Strzelanie w źdźbło - grubienie pochwy liściowej liścia flago- wego Shooting of the flag leaf sheath	Grubienie pochwy liściowej liścia flago- wego - kłoszenie Thickening of the flag leaf sheath - earing	Kłoszenie - kwitnienie Earing - flowering	Kwitnienie - rozwój ziarniaków Flowering - kernels development	Rozwój ziarniaków - dojrzalność woskowa Kernels deve- lopment-wax maturity	Dojrzalność woskowa - dojrzalność pełna Wax maturity - full maturity	Siew - dojrzalność pełna Sowing-full maturity
Plon Yield	-0,0452	0,6104	0,8020	0,3846	-0,3763	0,5863	0,7136	-0,4382	-0,1305	0,6981
Liczba wiech na 1m ² Number of panicles per 1 m ²	-0,5742	0,6805	0,9728*	0,8194	-0,8125	0,1627	0,5483	0,1134	0,4193	-0,2842
Liczba ziaren z rośliny Number of grains per plant	0,3052	-0,0666	0,2983	-0,0270	0,0559	0,3158	0,1552	-0,6220	-0,3268	0,6401
MTZ	-0,4228	-0,2340	0,3530	0,5106	-0,4764	-0,5017	-0,3553	0,2261	0,5009	0,0751
korelacja z długością okresów - correlation with length of periods										
Plon - Yield	-0,9218	-0,8851	0,2298	0,1732	-0,9498	-0,8540	-0,5678	-0,1563	-0,2253	-0,9419
Liczba wiech na 1m ² Number of panicles per 1 m ²	-0,7774	-0,8014	-0,0478	0,6281	-0,6723	-0,9971*	-0,1342	-0,5377	-0,5389	-0,1668
Liczba ziaren z rośliny Number of grains per plant	-0,4613	-0,3639	0,8173	0,0987	-0,9023	-0,5261	-0,3143	-0,2642	-0,4009	-0,8787
MTZ	-0,0135	0,0066	0,5776	0,8054	-0,3926	-0,6001	0,5124	-0,9208	-0,9697*	-0,4826
korelacja z sumą opadów - correlation with precipitations										
Plon -Yield	0,5892	0,6475	-0,0898	0,6258	0,4614	0,9672*	0,8311	0,9599*	0,4554	0,9925*
Liczba wiech na 1m ² Number of panicles per 1 m ²	0,5068	0,9515*	-0,2999	0,1084	-0,0322	0,9018	0,9126	0,9601*	0,2324	0,3480
Liczba ziaren z rośliny Number of grains per plant	0,9120	0,3205	-0,4745	0,7129	0,3370	0,7916	0,2715	0,6305	0,9244	0,7779
MTZ	0,8756	0,6658	-0,9594*	-0,1237	-0,5342	0,5787	0,1583	0,4665	0,7196	0,8085

MTZ - masa ziarna ziaren.

*Różnice istotne statystycznie na poziomie istotności $p < 0,01$.

MTZ - thousand kernels weight.

**Statistically significant differences at the significance level $p < 0,01$.



Rys. 5. Plon ziarna owsa wraz z linią trendu w wariancie niedoszczowanym przy dawce azotu 100 kg·ha⁻¹ w zależności od wskaźnika uwilgotnienia atmosfery w okresie od wschodów do krzewienia

Fig. 5. Oat grain yield with the trend line in the non-irrigated variant at the nitrogen dose of 100 kg·ha⁻¹ depending on the atmospheric humidity index in the period from emergence to tillering

Tabela 15. Równania regresji dla plonu ziarna owsa nawożonego azotem w dawce 100 kg N·ha⁻¹ w zależności od opadów w poszczególnych fazach rozwoju

Table 15. Regression equations for the oat grain yield fertilised by nitrogen at a dose of 100 kg N·ha⁻¹ depending on precipitation in particular phases of development

Okres rozwojowy Development period	Równanie regresji Regression equation
Siew – wschody Sowing – emergence	$y = 0,0019x^2 - 0,0722x + 2,8874$ $R^2 = 0,485$
Wschody – krzewienie Emergence – tillering	$y = -0,0039x^2 + 0,3104x - 2,2221$ $R^2 = 0,5072$
Krzewienie – strzelanie w źdźbło Tillering – shooting	$y = -0,0026x^2 + 0,2678x - 2,2165$ $R^2 = 0,9207$
Strzelanie w źdźbło – grubienie pochwy liściowej liścia flagowego Shooting – Thickening of the flag leaf sheath	$y = 0,0011x^2 - 0,0573x + 2,9754$ $R^2 = 0,5788$
Grubienie pochwy liściowej liścia flagowego – kłoszenie Thickening of the flag leaf sheath – earing	$y = -0,0052x^2 + 0,3193x - 0,7305$ $R^2 = 0,314$
Kłoszenie – kwitnienie Earing – flowering	$y = 0,0004x^2 + 0,0018x + 1,9452$ $R^2 = 0,5513$
Kwitnienie – rozwój ziarniaków Flowering – kernel development	$y = -0,001x^2 + 0,1085x + 1,1427$ $R^2 = 0,7384$
Rozwój ziarniaków – dojrzałość woskowa Kernel development – wax maturity	$y = -0,0002x^2 + 0,0498x + 1,0217$ $R^2 = 0,9325$
Dojrzałość woskowa – dojrzałość pełna Wax maturity – full maturity	$y = 0,0008x^2 - 0,0808x + 4,3957$ $R^2 = 0,3769$
Siew – dojrzałość pełna Sowing – full maturity	$y = 0,0077x + 0,2591$ $R^2 = 0,985$

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

4.2.1. Krzewienie produkcyjne i wysokość roślin

Owies wykształcał średnio jeden pęd produkcyjny, a krzewienie nie było różnicowane badanymi czynnikami. Wysokość roślin owsa kształtowała się średnio na poziomie 70 cm. Udowodniono, że zastosowanie każdej z badanych dawek azotu zwiększyło w porównaniu z obiektem nienawożonym wysokość roślin, a przy dawce 150 kg·ha⁻¹ różnica ta była największa i wyniosła 11,3 cm (tab. 16–17).

Tabela 16. Analiza wariancji dla składowych plonu ziarna owsa w zależności od badanych czynników w latach 2015–2019
Table 16. Analysis of variance for components of the oat grain yield depending on the examined factors in 2015–2019

Źródło zmienności Source of variability	Empiryczny poziom istotności p (wartość – p) Empirical significance level p (p – value)	
	krzewienie produkcyjne productive tillering	wysokość roślin (cm) plant height (cm)
Rok – Year	0,0000	0,0000
Wariant wodny – Water variant	0,0552	0,0573
Forma – Form	0,5482	0,1025
Nawożenie – Fertilization	0,0936	0,0013
R × W	0,7554	0,0002
R × F	0,5755	0,0340
W × F	0,7369	0,0635
R × N	0,1623	0,0000
W × N	0,6848	0,7741
F × N	0,7985	0,6232
R × W × F	0,0205	0,0000
R × W × N	0,0056	0,0000
R × F × N	0,0012	0,0000
W × F × N	0,7896	0,4557
R × W × F × N	0,0452	0,0000

R – rok; W – wariant wodny; F – forma; N – nawożenie.

*Różnice istotne statystycznie na poziomie istotności $p < 0,01$.

R – year, W – water variant; F – form; N – fertilization.

*Statistically significant differences at the significance level $p < 0.01$.

Tabela 17. Krzewienie produkcyjne i wysokość roślin owsa w zależności od wariantu wodnego, formy owsa i nawożenia azotem w latach 2015–2019

Table 17. Productive tillering and height of oat plants depending on the water variant, oat form and nitrogen fertilization in 2015–2019

Czynnik Factor	Poziom Level	Krzewienie produktywne Productive tillering	Wysokość roślin (cm) Plant height(cm)
Wariant wodny Water variant	niedeszczowany non-irrigated	1,10	70,2
	deszczowany – irrigated	1,14	74,0
Forma Form	oplewiona – hulled	1,13	73,8
	nieoplewiona – naked	1,12	70,5
Nawożenie azotem (kg·ha ⁻¹) Nitrogen fertilization	0	1,10	65,8 ^a
	50	1,11	72,9 ^a
	100	1,18	72,7 ^a
	150	1,13	77,1 ^a

a, b – jednorodne grupy, brak grupy – brak różnic istotnych.

a, b – homogenous group, lack of group – no statistically significant differences.

4.2.2. Plon ziarna

Plon ziarna owsa zależał od wariantu wodnego, formy owsa, nawożenia azotem oraz współdziałania badanych czynników (tab. 18). Średnio dla analizowanego okresu badań nawadnianie zwiększyło plon ziarna owsa o 0,89 t·ha⁻¹, tj. o 23,06% (tab. 19). Deszczowanie powodowało większy przyrost plonu u morfotypu oplewionego o 1,1 t·ha⁻¹ w porównaniu do jego formy nieoplewionej (o 0,66 t·ha⁻¹). We wszystkich latach badań forma owsa oplewiona (odmiana ‘Bingo’) charakteryzowała się wyższym poziomem plonowania o 36,6% w porównaniu do odmiany nieoplewionej (‘Nagus’).

W obu wariantach wodnych zwiększanie nawożenia azotem sprzyjało wzrostowi plonu ziarna owsa. Deszczowanie zwiększało istotnie plon ziarna na każdej ze stosowanych dawek azotu i przyrost ten wynosił od 0,25 t·ha⁻¹ u owsa uprawianego bez nawożenia azotem do 1,28 t·ha⁻¹ na obiektach nawożonych dawką 100 kg N·ha⁻¹. Zauważyć można, że zwiększanie nawożenia azotem do 100 kg N·ha⁻¹ powodowało istotną poprawę efektu nawadniania. Dalsze zwiększenie dawki azotu nie skutkowało większym przyrostem plonu, wręcz przeciwnie – odnotowano tendencję do spadku plonu przy dawce 150 kg N·ha⁻¹ o 0,19 t·ha⁻¹ w porównaniu do dawki 100 kg N·ha⁻¹ (tab. 20). Z wyliczonych równań regresji wynika, że w wariantcie deszczowanym maksymalny plon ziarna wynoszący 4,85 t·ha⁻¹ uzyskano przy dawce 147 kg N·ha⁻¹, a dalsze zwiększanie dawki azotu powodowało niżkę plonu (rys. 6). Z kolei w warunkach bez deszczowania rachunek regresji wykazał prostoliniowy wzrost plonów ziarna, przy czym podkreślić należy, że ta zależność wykazana została dla nawożenia azotem w granicach stosowanych dawek, czyli 0–150 kg N·ha⁻¹. Wy-

liczony współczynnik regresji informuje, że w warunkach uprawy owsa bez nawadniania zwiększenie dawki azotu o 1 kg N·ha⁻¹ powodowało przyrost plonu ziarna o 5,8 kg·ha⁻¹.

Nawożenie azotem warunkowało wielkość plonu ziarna zarówno w ujęciu wpływu pojedynczego czynnika, jak i w interakcji z formą owsa (tab. 21). Stwierdzono średnio istotny wzrost plonu ziarna owsa wraz ze zwiększaniem dawki azotu od 0 do 100 kg N·ha⁻¹. Dalsze zwiększenie dawki azotu podtrzymywało tendencję przyrostu plonu, ale różnica względem plonu uzyskanego z obiektów nawożonych dawkami 100 i 150 kg N·ha⁻¹ nie została potwierdzona statystycznie. Taka zależność plonu ziarna od nawożenia azotem zaznaczyła się u owsa oplewionego, przy czym zwiększanie dawki azotu powyżej 100 kg N·ha⁻¹ prowadziło do tendencji obniżenia poziomu plonowania. Z kolei w uprawie owsa nieoplewionego istotny przyrost plonu następował do dawki 150 kg N·ha⁻¹.

Zależność plonowania od nawożenia azotem dla porównywanych form owsa przedstawiono na rysunku 7. Wyliczony rachunek regresji wskazuje, że przy uprawie owsa oplewionego zależność plonu od nawożenia azotem ma charakter krzywoliniowy, natomiast u jego formy nieoplewionej prostoliniowy. Maksimum funkcji uzyskane w zależności krzywoliniowej wskazuje, że najwyższego plonu ziarna u owsa oplewionego oczekiwać można po zastosowaniu dawki 129,0 kg N·ha⁻¹. Współczynnik regresji dla zależności prostoliniowej informuje, że zwiększenie nawożenia o 1 kg N·ha⁻¹ w granicach zastosowanych dawek powoduje przyrost plonu ziarna owsa nieoplewionego o 3,7 kg·ha⁻¹.

Tabela 18. Analiza wariancji dla plonu ziarna w zależności od badanych czynników
Table 18. Analysis of variance for the grain yield depending on the examined factors

Źródło zmienności Source of variability	Empiryczny poziom istotności <i>p</i> (wartość – <i>p</i>) Empirical significance level <i>p</i> (<i>p</i> – value)
Rok – Year	0,0000*
Wariant wodny Water variant	0,0000*
Forma – Form	0,0000*
Nawożenie – Fertilization	0,0000*
R × W	0,0000*
R × F	0,0006*
W × F	0,0000*
R × N	0,0000*
W × N	0,0000*
F × N	0,0000*
R × W × F	0,0002*
R × W × N	0,8546

Tabela 18. cd.

Table 18. cont.

R × F × N	0,0151
W × F × N	0,0000*
R × W × F × N	0,0151

R – rok; W – wariant wodny; F – forma; N – nawożenie.

*Różnice istotne statystycznie na poziomie istotności $p < 0,01$.

R – year; W – water variant; F – form; N – fertilization.

*Statistically significant differences at the significance level $p < 0.01$.Tabela 19. Wpływ wariantu wodnego i formy owsa na plon ziarna w latach 2015–2019 ($t \cdot ha^{-1}$)Table 19. Influence of the water variant and oat form on the grain yield in 2015–2019 ($t \cdot ha^{-1}$)

Forma Form	Wariant wodny Water variant		Średnia Average
	niedeszczowany – non-irrigated	deszczowany – irrigated	
Oplewiona Hulled	3,62 ^b	4,73 ^a	4,18 ^A
Nieoplewiona Naked	2,32 ^d	2,98 ^c	2,65 ^B
Średnia Average	2,97 ^b	3,86 ^A	

a, b – jednorodne grupy; A, B – jednorodne grupy dla średniej.

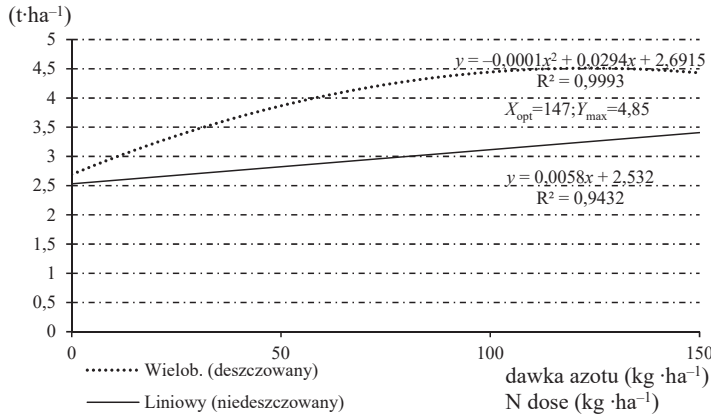
a, b – homogenous groups; A, B – homogenous groups for average.

Tabela 20. Wpływ wariantu wodnego i nawożenia azotem na plon ziarna owsa w latach 2015–2019 ($t \cdot ha^{-1}$)Table 20. Influence of the water variant and nitrogen fertilization on the oat grain yield in 2015–2019 ($t \cdot ha^{-1}$)

Wariant wodny Water variant	Nawożenie azotem Nitrogen fertilization ($kg \cdot ha^{-1}$)				Średnia Average
	0	50	100	150	
Niedeszczowany – Non-irrigated	2,45 ^g	2,91 ^e	3,19 ^d	3,33 ^c	2,97 ^B
Deszczowany – Irrigated	2,70 ^f	3,84 ^b	4,47 ^a	4,42 ^a	3,86 ^A
Średnia – Average	2,58 ^c	3,38 ^b	3,83 ^A	3,88 ^A	

a, b – jednorodne grupy, A, B – jednorodne grupy dla średniej.

a, b – homogenous groups, A, B – homogenous groups for average.

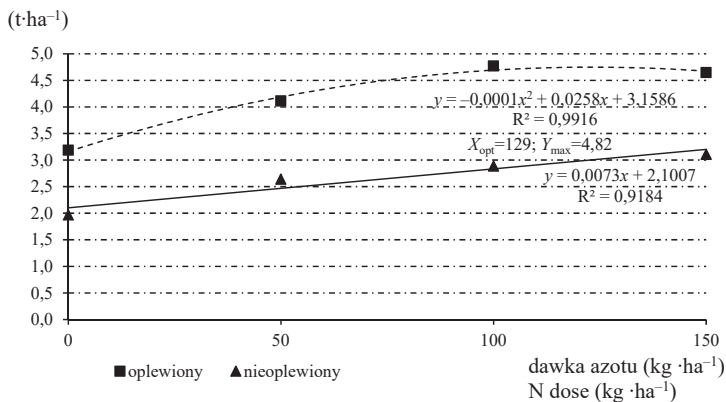


Rys. 6. Wpływ deszczowania i nawożenia azotem na plon ziarna owsa (t·ha⁻¹)
 Fig. 6. Influence of irrigation and nitrogen fertilization on the oat grain yield (t·ha⁻¹)

Tabela 21. Wpływ formy i nawożenia azotem na plon ziarna owsa w latach 2015–2019 (t·ha⁻¹)
 Table 21. Influence of the form and nitrogen fertilization on the oat grain yield in 2015–2019 (t·ha⁻¹)

Forma Form	Nawożenie azotem Nitrogen fertilization (kg·ha ⁻¹)				Średnia Average
	0	50	100	150	
oplewiona – hulled	3,18 ^c	4,11 ^b	4,77 ^a	4,65 ^a	4,18 ^A
nieoplewiona – naked	1,97 ^f	2,64 ^e	2,89 ^d	3,11 ^c	2,65 ^B
Średnia – Average	2,58 ^c	3,38 ^b	3,83 ^A	3,88 ^A	

a, b – jednorodne grupy; A, B – jednorodne grupy dla średniej.
 a, b – homogenous groups; A, B – homogenous groups for average.



Rys. 7. Wpływ odmiany i nawożenia azotem na plon ziarna owsa (t·ha⁻¹)
 Fig. 7. Influence of cultivar and nitrogen fertilization on the oat grain yield (t·ha⁻¹)

4.2.3. Plon słomy

Analiza statystyczna wykazała, że wielkość plonu słomy zależała od wariantu wodnego, odmiany i nawożenia azotem, a ponadto od współdziałania tych czynników (tab. 22). W ocenie reakcji dwóch form owsa na uprawę w zróżnicowanych warunkach wodnych uzyskano istotnie większy plon słomy u owsa oplewionego uprawianego w warunkach deszczowania ($4,24 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), który przewyższał uzyskany u odmiany nieoplewionej w tych samych warunkach o 29%. Odmiana owsa oplewionego osiągnęła większy plon słomy o $0,81 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ w porównaniu do jej formy nieoplewionej. Deszczowanie spowodowało zwiększenie plonu słomy średnio o $0,41 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (11,3%) (tab. 23). Plon ten zwiększał się również wraz ze wzrostem dawek azotu do $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, jednak statystycznie potwierdzony przyrost stwierdzono do dawki $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Przy najwyższym poziomie nawożenia azotem plon słomy był większy o $1,26 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (32,6%) w porównaniu do obiektu bez nawożenia. W miarę zwiększania dawek azotu stwierdzono większe przyrosty plonu słomy w warunkach deszczowania niż w nienawadnianych warunkach wilgotnościowych gleby. W obu wariantach wodnych plon słomy przyrastał istotnie do dawki azotu $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Wzrost plonu słomy przy dawce optymalnej w porównaniu z obiektem bez azotu wyniósł $0,47 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (14,3%) i $1,74 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (42%) odpowiednio w naturalnych warunkach wilgotnościowych i deszczowania (tab. 24).

W odniesieniu do plonu słomy stwierdzono większą reakcję nieoplewionej odmiany owsa na zwiększenie dawki nawożenia azotem niż odmiany oplewionej. Wzrost dawki do $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ zwiększał plon słomy o $1,31 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (36,5%) i $1,22 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (29,5%) w porównaniu do obiektu kontrolnego odpowiednio u formy nieoplewionej i oplewionej (tab. 25).

Podobnie jak dla plonu słomy, kształtowały się zależności współdziałania warunków wilgotnościowych gleby i form owsa we wpływie na indeks plonu ziarna, który wyrażono udziałem ziarna w wytworzonej suchej masie nadziemnej rośliny. Deszczowanie u dwóch ocenianych form owsa poprawiało istotnie wielkość indeksu plonu ziarna, co wskazuje na silniejszy wpływ tych czynników na wielkość plonu ziarna niż plonu słomy (tab. 26). Nawożenie azotem nie różnicowało istotnie ocenianego parametru. Indeks plonu ziarna owsa uprawianego bez nawożenia azotem wynosił 0,50, natomiast na obiektach nawożonych dawkami od 50 do $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ wahał się od 0,49 do 0,50 (tab. 27).

Tabela 22. Analiza wariancji dla plonu słomy i indeksu plonu ziarna owsa w zależności od badanych czynników
Table 22. Analysis of variance for the straw yield and the oat grain yield index depending on the examined factors

Źródło zmienności Source of variability	Empiryczny poziom istotności p (p – wartość) Empirical significance level p (p – value)	
	Plon słomy – Straw yield	Indeks plonu ziarna – Harvest Index
Rok – Year	0,0000*	0,0000*
Wariant wodny – Water variant	0,0000*	0,0000*
Forma – Form	0,0000*	0,0000*

Tabela 22. cd.
Table 22. cont.

Nawożenie – Fertilization	0,0000*	0,8312
R × W	0,0000*	0,0000*
R × F	0,0008*	0,0059*
W × F	0,0000*	0,0018*
R × N	0,0000*	0,0000*
W × N	0,0000*	0,3514
F × N	0,0129	0,1588
R × W × F	0,0001*	0,0041*
R × W × N	0,0706	0,1300
R × F × N	0,0076*	0,5484
W × F × N	0,0522	0,9005
R × W × F × N	0,0007*	0,6645

R – rok; W – wariant wodny; F – forma; N – nawożenie.

*Różnice istotne statystycznie na poziomie istotności $p < 0,01$.

R – year; W – water variant; F – form; N – fertilization.

*Statistically significant differences at the significance level $p < 0.01$.

Tabela 23. Wpływ wariantu wodnego i formy owsa na plon słomy w latach 2015–2019 ($t \cdot ha^{-1}$)

Table 23. Influence of water variant and oat form on the straw yield in 2015–2019 ($t \cdot ha^{-1}$)

Forma Form	Wariant wodny Water variant		Średnia Average
	niedeszczowany – non-irrigated	deszczowany – irrigated	
Oplewiona – Hulled	3,40 ^b	4,24 ^a	3,82 ^A
Nieoplewiona – Naked	3,02 ^c	3,01 ^c	3,01 ^B
Średnia – Average	3,21 ^B	3,62 ^A	

a, b – jednorodne grupy, A, B – jednorodne grupy dla średniej.

a, b – homogenous groups, A, B – homogenous groups for average.

Tabela 24. Wpływ wariantu wodnego i nawożenia azotem na plon słomy owsa w latach 2015–2019 ($t \cdot ha^{-1}$)

Table 24. Influence of water variant and nitrogen fertilization on the oat straw yield in 2015–2019 ($t \cdot ha^{-1}$)

Wariant wodny Water variant	Nawożenie azotem Nitrogen fertilization ($kg \cdot ha^{-1}$)				Średnia Average
	0	50	100	150	
Niedeszczowany – Non-irrigated	2,82 ^d	3,21 ^c	3,29 ^c	3,50 ^{bc}	3,21 ^B
Deszczowany – Irrigated	2,40 ^e	3,71 ^b	4,14 ^a	4,24 ^a	3,62 ^A
Średnia – Average	2,61 ^C	3,46 ^B	3,72 ^A	3,87 ^A	

a, b – jednorodne grupy, A, B – jednorodne grupy dla średniej.

a, b – homogenous groups, A, B – homogenous groups for average.

Tabela 25. Wpływ odmiany i nawożenia azotem na plon słomy owsa w latach 2015–2019 (t·ha⁻¹)
 Table 25. Influence of cultivar and nitrogen fertilization on the oat straw yield in 2015–2019 (t·ha⁻¹)

Forma Form	Nawożenie azotem Nitrogen fertilization (kg·ha ⁻¹)				Średnia Average
	0	50	100	150	
Oplewiona – Hulled	2,92 ^d	4,06 ^a	4,16 ^a	4,14 ^a	3,82 ^a
Nieoplewiona – Naked	2,30 ^e	2,86 ^d	3,28 ^c	3,61 ^b	3,01 ^b
Średnia – Average	2,61 ^c	3,46 ^b	3,72 ^a	3,87 ^a	

a, b – jednorodne grupy, A, B – jednorodne grupy dla średniej.

a, b – homogenous groups, A, B – homogenous groups for average.

Tabela 26. Wpływ wariantu wodnego i odmiany na indeks plonu ziarna owsa w latach 2015–2019
 Table 26. Influence of water variant and cultivar on the oat grain harvest index in 2015–2019

Forma Form	Wariant wodny Water variant		Średnia Average
	niedeszczowany – non-irrigated	deszczowany – irrigated	
Oplewiona – Hulled	0,51 ^b	0,53 ^a	0,52 ^a
Nieoplewiona – Naked	0,44 ^c	0,50 ^b	0,47 ^b
Średnia – Average	0,47 ^b	0,52 ^a	

a, b – jednorodne grupy, A, B – jednorodne grupy dla średniej.

a, b – homogenous groups, A, B – homogenous groups for average.

Tabela 27. Wpływ wariantu wodnego i nawożenia azotem na indeks plonu ziarna owsa w latach 2015–2019
 Table 27. Influence of water variant and nitrogen fertilization on the oat harvest index in 2015–2019

Wariant wodny Water variant	Nawożenie azotem Nitrogen fertilization (kg·ha ⁻¹)				Średnia Average
	0	50	100	150	
Niedeszczowany – Non-irrigated	0,47 ^b	0,47 ^b	0,48 ^b	0,47 ^b	0,47 ^b
Deszczowany – Irrigated	0,53 ^a	0,52 ^a	0,52 ^a	0,51 ^a	0,52 ^a
Średnia – Average	0,50 ^a	0,49 ^a	0,50 ^a	0,49 ^a	

a, b – jednorodne grupy, A, B – jednorodne grupy dla średniej.

a, b – homogenous groups, A, B – homogenous groups for average.

4.2.4. Komponenty plonowania

Analiza komponentów plonowania owsa w latach badań wykazała, że zarówno masa tysiąca ziaren, jak i liczba wiech na jednostce powierzchni były istotnie modyfikowane badanymi czynnikami agrotechnicznymi, działającymi także zależnie od siebie. Ponadto w kształtowaniu liczby ziaren z rośliny wykazano współdziałanie deszczowania z nawożeniem azotem (tab. 28). We wszystkich latach deszczowanie zwiększało masę tysiąca zia-

ren owsa. Średnio masa tysiąca ziaren pod wpływem nawadniania wzrosła o 1,9 g (5,6%) (tab. 29). U formy oplewionej owsa odnotowano większą masę tysiąca ziaren o 16,8 g w porównaniu do formy nagiej. Forma oplewiona owsa w warunkach nawadniania osiągnęła najwyższą masę tysiąca ziaren, a reakcja na nawadnianie u tej formy była większa niż u formy nagiej, o czym świadczy przyrost masy tysiąca ziaren pod wpływem deszczowania wynoszący odpowiednio 2,4 g i 1,4 g (tab. 29).

Średnio dla lat badań zwiększanie nawożenia do dawki $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ powodowało istotny wzrost masy tysiąca ziaren. W wariacie niedeszczowanym nie stwierdzono różnic w masie tysiąca ziaren owsa nawożonego dawkami od 50 do $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, natomiast w wariacie deszczowanym największą masę tysiąca uzyskano po wniesieniu $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tab. 30). Zależność masy tysiąca ziaren od wariantu wodnego i nawożenia azotem przedstawiono graficznie na rysunku 8. Z rachunku regresji wynika, iż przy uprawie owsa zależność masy tysiąca ziaren od nawożenia azotem w zakresie stosowanych dawek miała przebieg prostoliniowy. Różnica między wariantami wodnymi wyrażała się większym nachyleniem krzywej (większym przyrostem jednostkowym) dla owsa deszczowanego.

Odnotowany istotny wpływ nawożenia azotem na masę tysiąca ziaren wskazuje na wzrost wartości tej cechy wraz ze zwiększaniem dawki azotu, przy czym nie uzyskano istotnego zróżnicowania pomiędzy dawką 50 a $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ u owsa oplewionego. Reakcja formy owsa nieoplewionej na nawożenie azotem była zdecydowanie większa, a wraz ze wzrostem dawki do maksymalnej spośród badanych uzyskano przyrost masy tysiąca ziaren o 13% (tab. 31).

Na podstawie równania regresji stwierdzić można, że zwiększenie nawożenia o $1 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ w ramach badanego zakresu powodowało u owsa nieoplewionego wzrost masy tysiąca ziaren o około 0,02 g, natomiast u formy oplewionej oczekiwać można wzrostu wartości omawianej cechy wraz ze zwiększaniem nawożenia do dawki $107,0 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (rys. 9).

Średnio dla całego okresu badań liczba wiech na jednostce powierzchni wykształcona u formy oplewionej owsa wynosiła $385 \text{ szt}\cdot\text{m}^{-2}$ i była większa o $61 \text{ szt}\cdot\text{m}^{-2}$ od formy nieoplewionej (tab. 32). Średnio liczba wiech pod wpływem deszczowania wzrosła o $51 \text{ szt}\cdot\text{m}^{-2}$, a przyrost liczby wykształconych wiech u formy oplewionej i nieoplewionej wyniósł odpowiednio $86,4$ i $16,5 \text{ szt}\cdot\text{m}^{-2}$.

Wzrastające nawożenie azotem w zakresie stosowanych dawek przyczyniało się do zwiększania liczby wiech na jednostce powierzchni, przy czym dla wariantu nawadnianego potwierdzony statystycznie wzrost następował do dawki $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, natomiast w warunkach nienawadnianych różnice w liczbie wiech wykształconych u owsa nawożonego dawkami od 50 do $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ były niewielkie (tab. 33). Zwiększenie liczby wykształconych wiech na jednostce powierzchni pod wpływem zwiększonych dawek azotu było znaczne u formy nieoplewionej owsa i zostało potwierdzone statystycznie (tab. 34). Wykazano zatem, że forma owsa nieoplewiona silniej reagowała na nawożenie azotem, a na podstawie równania regresji stwierdzić można, iż zwiększenie nawożenia o $1 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ w zakresie badanych dawek powodowało wzrost liczby wykształconych wiech o około

1 szt·m⁻². U formy oplewionej współczynnik dopasowania modelu regresji okazał się niezadowolający (rys. 10).

Liczba ziaren z rośliny okazała się cechą niezależną od współdziałania odmiany i wariantu wodnego oraz odmiany i nawożenia. Dla poszczególnych obiektów jej wartości wahały się w małym zakresie, średnio 36–43 sztuk. Udowodniono, że nieoplewiona forma owsa wykształcała o 5,4 sztuki więcej ziaren na roślinie niż forma oplewiona. Zwiększanie nawożenia do dawki 100 kg N·ha⁻¹ powodowało wzrost liczby ziaren na roślinie (tab. 35). Tendencję do wzrostu liczby ziaren z rośliny pod wpływem deszczowania stwierdzono w kombinacjach 0 i 100 kg N·ha⁻¹. Nawożenie azotem w zakresie stosowanych dawek w odmienny sposób wpływało na liczbę ziaren w obu wariantach nawadniania. Przy deszczowaniu owsa wielkość tej cechy wzrastała do dawki 100 kg N·ha⁻¹, a najwyższe nawożenie powodowało tendencję do zmniejszenia liczby ziaren. Przy uprawie owsa w warunkach nienawadnianych nie udowodniono różnic w liczbie ziaren w przedziałach dawek 100 i 150 oraz 0 i 50 kg N·ha⁻¹ (tab. 36). Przebieg krzywej regresji wskazuje, że optymalny poziom nawożenia owsa deszczowanego dla tej cechy wynosi 145,3 kg N·ha⁻¹, natomiast u owsa niedeszczowanego zależności te kształtują się w sposób liniowy (rys. 11).

Tabela 28. Analiza wariancji dla komponentów plonu ziarna owsa w zależności od badanych czynników
Table 28. Analysis of variance for oat grain yield components depending on the examined factors

Źródło zmienności Source of variability	Empiryczny poziom istotności <i>p</i> (wartość – <i>p</i>) Empirical significance level <i>p</i> (<i>p</i> – value)		
	masa tysiąca ziaren thousand kernels weigh	liczba wiech na 1 m ² number of panicles per 1 m ²	liczba ziaren z rośliny number of grains per plant
Rok – Year	0,0000*	0,0000*	0,0000*
Wariant wodny – Water variant	0,0000*	0,0000*	0,4156
Forma – Form	0,0000*	0,0000*	0,0000*
Nawożenie – Fertilization	0,0000*	0,0000*	0,0000*
R × W	0,0000*	0,0000*	0,0000*
R × F	0,0000*	0,0000*	0,0000*
W × F	0,0000*	0,0000*	0,1158
R × N	0,0000*	0,0000*	0,0002*
W × N	0,0247	0,0000*	0,0280
F × N	0,0000*	0,0000*	0,2198
R × W × F	0,0000*	0,0000*	0,0163
R × W × N	0,0000*	0,0000*	0,0000*
R × F × N	0,0000*	0,0057*	0,0000*
W × F × N	0,1746	0,1736	0,0000*
R × W × F × N	0,0000*	0,0625	0,0000*

R – rok; W – wariant wodny; F – forma; N – nawożenie.

*Różnice istotne statystycznie na poziomie istotności *p* < 0,01.

R – year; W – water variant; F – form; N – fertilization.

*Statistically significant differences at the significance level *p* < 0.01.

Tabela 29. Wpływ wariantu wodnego i formy owsa na masę tysiąca ziaren w latach 2015–2019 (g)
Table 29. Influence of water variant and oat form on the thousand kernels weight in 2015–2019 (g)

Forma Form	Wariant wodny Water variant		Średnia Average
	niedeszczowany – non-irrigated	deszczowany – irrigated	
Oplewiona – Hulled	40,1 ^b	42,5 ^a	41,3 ^a
Nieoplewiona – Naked	23,8 ^d	25,2 ^c	24,5 ^b
Średnia – Average	32,0 ^b	33,9 ^a	

a, b – jednorodne grupy, A, B – jednorodne grupy dla średniej.
a, b – homogenous groups, A, B – homogenous groups for average.

Tabela 30. Wpływ wariantu wodnego i nawożenia azotem na masę tysiąca ziaren owsa w latach 2015–2019 (g)
Table 30. Influence of water variant and nitrogen fertilization on the oats thousand kernels weight in 2015–2019 (g)

Wariant wodny Water variant	Nawożenie azotem Nitrogen fertilization (kg·ha ⁻¹)				Średnia Average
	0	50	100	150	
Niedeszczowany – Non-irrigated	30,8 ^f	32,0 ^d	32,5 ^d	32,6 ^d	32,0 ^b
Deszczowany – Irrigated	32,5 ^e	33,6 ^c	34,5 ^b	34,9 ^a	33,9 ^a
Średnia – Average	31,7 ^d	32,8 ^c	33,5 ^b	33,8 ^a	

a, b – jednorodne grupy, A, B – jednorodne grupy dla średniej.
a, b – homogenous groups, A, B – homogenous groups for average.

Tabela 31. Wpływ formy owsa i nawożenia azotem na masę tysiąca ziaren w latach 2015–2019 (g)
Table 31. Influence of oat form and nitrogen fertilization on the thousand kernels weight in 2015–2019 (g)

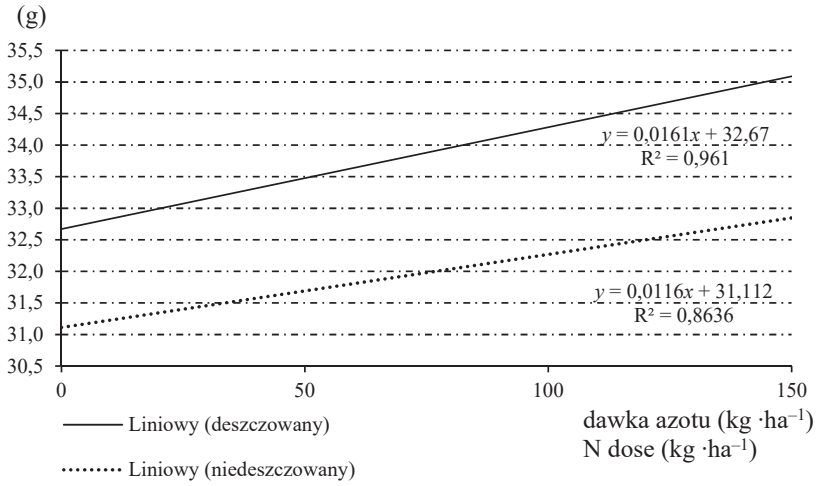
Forma Form	Nawożenie azotem Nitrogen fertilization (kg·ha ⁻¹)				Średnia Average
	0	50	100	150	
Oplewiona – Hulled	40,6 ^b	41,6 ^a	41,6 ^a	41,4 ^a	41,3 ^a
Nieoplewiona – Naked	22,7 ^f	24,0 ^e	25,4 ^d	26,1 ^c	24,5 ^b
Średnia – Average	31,7 ^d	32,8 ^c	33,5 ^b	33,8 ^a	

a, b – jednorodne grupy, A, B – jednorodne grupy dla średniej.
a, b – homogenous groups, A, B – homogenous groups for average.

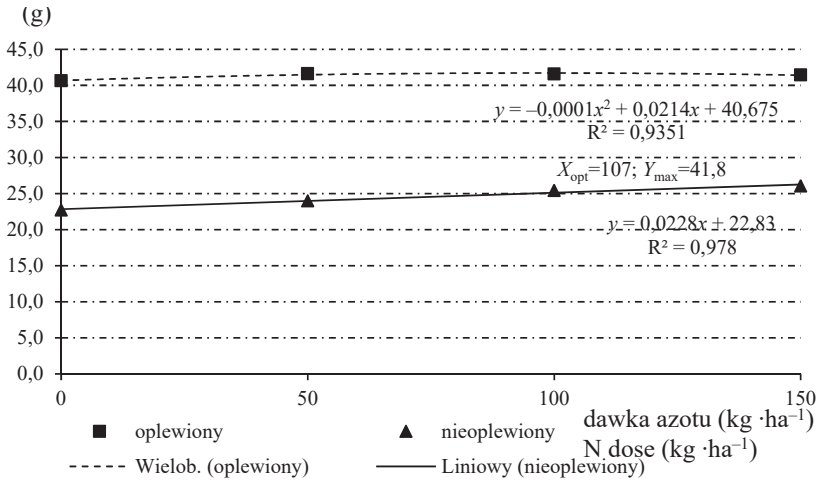
Tabela 32. Wpływ wariantu wodnego i formy owsa na liczbę wiech w latach 2015–2019 (szt·m⁻²)
Table 32. Influence of water variant and oat form on the number of panicles in 2015–2019 (pcs·m⁻²)

Forma Form	Wariant wodny Water variant		Średnia Average
	niedeszczowany – non-irrigated	deszczowany – irrigated	
Oplewiona – Hulled	342,2 ^b	428,6 ^a	385 ^a
Nieoplewiona – Naked	315,3 ^c	331,8 ^b	324 ^b
Średnia – Average	329 ^b	380 ^a	

a, b – jednorodne grupy, A, B – jednorodne grupy dla średniej.
a, b – homogenous groups, A, B – homogenous groups for average.



Rys. 8. Masa tysiąca ziaren owsa w zależności od wariantu wodnego i nawożenia azotem
Fig. 8. Oats thousand kernels weight depending on the water variant and nitrogen fertilization



Rys. 9. Masa tysiąca ziaren owsa w zależności od formy owsa i nawożenia azotem (g)
Fig. 9. Oats thousand kernels weight depending on the form of oats and nitrogen fertilization (g)

Tabela 33. Wpływ wariantu wodnego i nawożenia azotem na liczbę wiech owsa w latach 2015–2019 (szt. \cdot m⁻²)
 Table 33. Influence of water variant and nitrogen fertilization on the number of panicles in 2015–2019 (pcs. \cdot m⁻²)

Wariant wodny Water variant	Nawożenie azotem Nitrogen fertilization (kg \cdot ha ⁻¹)				Średnia Average
	0	50	100	150	
Niedeszczowany – Non-irrigated	316 ^d	333 ^{cd}	323 ^{cd}	343 ^c	329 ^B
Deszczowany – Irrigated	334 ^{cd}	371 ^b	381 ^b	435 ^a	380 ^A
Średnia – Average	325 ^C	352 ^B	352 ^B	389 ^A	

a, b – jednorodne grupy, A, B – jednorodne grupy dla średniej.
 a, b – homogenous groups, A, B – homogenous groups for average.

Tabela 34. Wpływ formy owsa i nawożenia azotem na liczbę wiech w latach 2015–2019 (szt. \cdot m⁻²)
 Table 34. Influence of oat form and nitrogen fertilization on the number of panicles in 2015–2019 (pcs. \cdot m⁻²)

Forma Form	Nawożenie azotem Nitrogen fertilization (kg \cdot ha ⁻¹)				Średnia Average
	0	50	100	150	
Oplewiona – Hulled	361 ^B	399 ^a	368 ^b	413 ^a	385 ^A
Nieoplewiona – Naked	289 ^d	305 ^d	335 ^c	365 ^b	324 ^B
Średnia – Average	325 ^C	352 ^B	352 ^B	389 ^A	

a, b – jednorodne grupy, A, B – jednorodne grupy dla średniej.
 a, b – homogenous groups, A, B – homogenous groups for average.

Tabela 35. Wpływ wariantu wodnego, formy owsa i nawożenia azotem na liczbę ziaren z rośliny w latach 2015–2019 (szt.)
 Table 35. Influence of water variant, oat form and nitrogen fertilization on the number of grains per plant in 2015–2019 (pcs.)

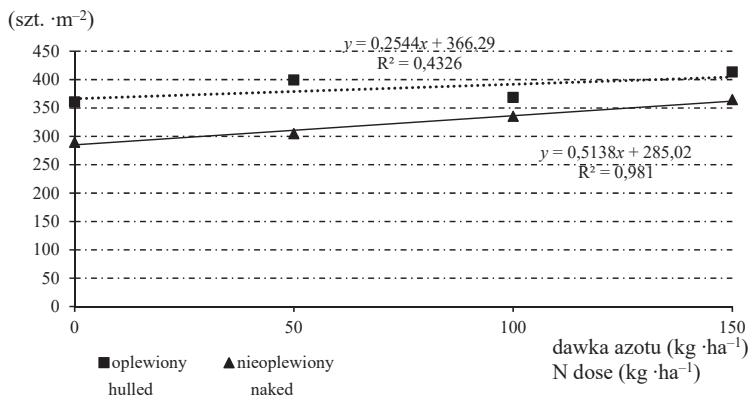
Czynnik Factor	Poziom Level	Liczba ziaren z rośliny (szt.) number of grains per plant (pcs.)
Wariant wodny – Water variant	niedeszczowany – non-irrigated	39,4 ^a
	deszczowany – irrigated	39,8 ^a
Forma – Form	oplewiona – hulled	36,9 ^b
	nieoplewiona – naked	42,3 ^a
Nawożenie azotem (kg \cdot ha ⁻¹) Nitrogen fertilization	0	35,6 ^c
	50	38,2 ^b
	100	42,5 ^a
	150	42,1 ^a

a, b – jednorodne grupy.
 a, b – homogenous groups.

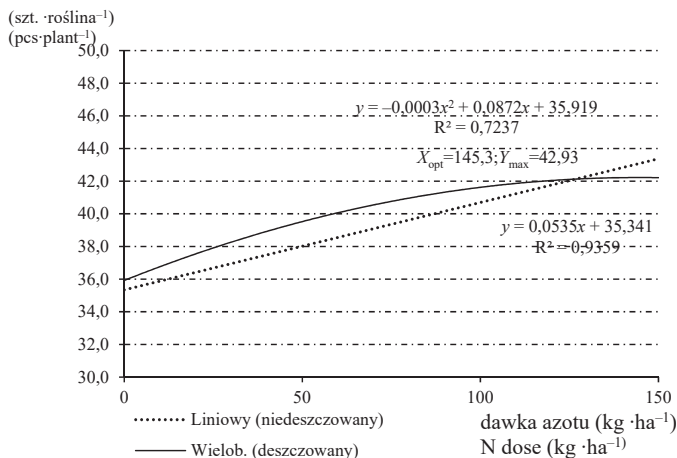
Tabela 36. Wpływ wariantu wodnego i nawożenia azotem na liczbę ziaren z rośliny owsa w latach 2015–2019 (szt.)
 Table 36. Influence of water variant and nitrogen fertilization on the number of grains from the oat plant in 2015–2019 (pcs.)

Wariant wodny Water variant	Nawożenie azotem Nitrogen fertilization (kg·ha ⁻¹)				Średnia Average
	0	50	100	150	
Niedoszczowany – Non-irrigated	34,5 ^c	38,9 ^b	41,4 ^a	42,6 ^a	39,4 ^A
Deszczowany – Irrigated	36,6 ^{bc}	37,5 ^b	43,7 ^a	41,5 ^a	39,8 ^A
Średnia – Average	35,6 ^c	38,2 ^b	42,5 ^A	42,1 ^A	

a, b – jednorodne grupy, A, B – jednorodne grupy dla średniej.
 a, b – homogenous groups, A, B- homogenous groups for average.



Rys. 10. Liczba wiech owsa na jednostce powierzchni w zależności od formy owsa i nawożenia azotem w latach 2015–2019 (szt.·m⁻²)
 Fig. 10. Number of oat panicles per area unit depending on the oat form and nitrogen fertilization in 2015–2019 (pcs.·m⁻²)



Rys. 11. Liczba ziaren z rośliny owsa w zależności od wariantu wodnego i nawożenia azotem w latach 2015–2019 (szt.·roślinina⁻¹)
 Fig. 11. Number of grains from the oat plant depending on the water variant and nitrogen fertilization in 2015–2019 (pcs.·plant⁻¹)

4.2.5. Zmienność plonowania owsa

Plon ziarna owsa oraz komponenty plonowania w różnym stopniu modyfikowane były warunkami pogodowymi, czynnikami agrotechnicznymi, a także czynnikiem genetycznym, co przedstawiono w tabelach 37 i 38. Dla obu ocenianych morfotypów owsa najmniejsze plony ziarna, poniżej $1,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ uzyskano na obiektach bez nawadniania i nawożenia azotem, natomiast największe w warunkach deszczowania, po nawożeniu azotem dawką $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ i $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ odpowiednio dla owsa oplewionego i nieoplewionego. W okresie wieloletnim zaobserwowano dużą zmienność plonu o czym świadczą wartości odchylenia standardowego oraz wyliczone współczynniki zmienności. Większą zmienność plonu ziarna odnotowano w warunkach opadu naturalnego, po nawożeniu dawką $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (CV = 49,2%) i $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (CV = 39,0%) odpowiednio u owsa nieoplewionego i oplewionego. Można zaobserwować, że wyższe dawki nawożenia azotem zwiększały zmienność plonu w warunkach nienawadnianych, co wynikało z dużego wzrostu plonów maksymalnych oraz słabego działania azotu w warunkach niekorzystnych, natomiast deszczowanie stabilizowało wielkość plonu ziarna owsa. Spośród komponentów plonowania najmniej zróżnicowana była masa tysiąca ziaren. Współczynniki zmienności dla tej cechy w warunkach deszczowania, przy nawożeniu dawką azotu 100 i $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ wynosiły 3,7% i 4,1% odpowiednio dla owsa oplewionego i nieoplewionego. Współczynniki zmienności w odniesieniu do plonu i komponentów plonowania były w dużym stopniu uzależnione od morfotypów owsa. Na podstawie zgromadzonych obserwacji stwierdzić można, iż u owsa nieoplewionego odnotowano na ogół wyższe współczynniki zmienności w porównaniu do jego formy oplewionej. Dotyczy to szczególnie plonu ziarna w warunkach nawadniania, ale również wszystkich pozostałych komponentów plonowania po nawożeniu dawką azotu $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ w obu wariantach wodnych.

Tabela 37. Zmienność cech owsa odmiany oplewionej
Table 37. Variability of oat traits of the hulled variety

Cecha Feature	Obiekt – Object	Nawożenie azotem N fertilization ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Minimum	Maksimum Maximum	SD	CV (%)
Plon ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) Yield ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	niedeszczowany non-irrigated	0	1,7	4,2	0,72	23,5
		50	1,8	5,5	1,27	35,0
		100	1,8	5,5	1,43	37,4
		150	2,0	5,9	1,55	39,0
	deszczowany irrigated	0	2,4	4,0	0,49	14,8
		50	3,5	5,4	0,52	11,3
		100	4,4	7,0	0,72	12,6
		150	4,5	6,6	0,68	12,7

Tabela 37. cd.
Table 37. cont.

Liczba wiech na 1m ² Number of panicles per 1 m ²	niedoszczowany non-irrigated	0	233,2	424,8	57,11	17,0
		50	283,2	479,1	65,05	17,6
		100	245,7	437,3	57,75	18,3
		150	208,3	408,2	56,41	16,3
	deszczowany irrigated	0	266,6	495,6	73,20	19,0
		50	304,0	628,9	101,07	23,6
		100	329,0	574,8	80,77	19,2
		150	337,4	758,0	135,19	28,1
Liczba ziaren z rośliny (szt.) Number of grains per plant (pc.)	niedoszczowany non-irrigated	0	19,1	49,6	10,12	30,6
		50	23,3	49,3	9,23	26,1
		100	23,2	58,6	10,66	28,3
		150	24,1	59,3	10,63	27,5
	deszczowany irrigated	0	20,0	44,9	8,21	25,8
		50	22,2	46,9	6,72	19,7
		100	33,3	54,9	5,78	13,5
		150	23,1	57,3	9,84	23,7
Masa tysiąca ziaren (g) Thousand kernels weight (g)	niedoszczowany non-irrigated	0	32,5	44,6	3,46	8,8
		50	34,3	45,1	3,84	9,4
		100	32,4	43,8	3,72	9,3
		150	32,4	46,0	4,32	10,8
	deszczowany irrigated	0	37,2	44,5	2,66	6,4
		50	39,8	46,4	2,17	5,1
		100	40,7	45,9	1,57	3,7
		150	36,1	46,3	3,47	8,1

SD – odchylenie standardowe; CV – współczynnik zmienności.
SD – standard deviation; CV – coefficient of variation.

Tabela 38. Zmienność cech owsa odmiany nieoplewionej
Table 38. Variability of oat traits of the naked variety

Cecha Feature	Obiekt Object	Nawożenie azotem N fertilization (kg-ha ⁻¹)	Minimum	Maksimum Maximum	SD	CV (%)
Plon Yield (t-ha ⁻¹)	niedoszczowany non-irrigated	0	1,0	2,7	0,57	31,3
		50	1,1	3,5	0,76	34,5
		100	1,1	4,6	1,25	49,2
		150	1,1	4,9	1,30	48,1
	deszczowany irrigated	0	1,3	2,9	0,45	21,6
		50	2,2	4,1	0,52	17,0
		100	2,3	4,4	0,75	23,1
		150	2,2	5,0	0,93	26,3

Tabela 38. cd.
Table 38. cont.

Liczba wiech na 1m ² Number of panicles per 1 m ²	niedoszczowany non-irrigated	0	237,4	370,6	38,94	13,2
		50	199,9	370,7	51,46	17,4
		100	204,1	509,7	93,45	28,3
		150	216,6	466,5	75,13	22,1
	deszczowany irrigated	0	216,5	358,2	41,59	14,6
		50	237,4	387,3	41,70	13,3
		100	199,9	449,8	74,65	21,9
		150	216,6	499,8	87,48	22,4
Liczba ziaren z rośliny (szt.) Number of grains per plant (pc.)	niedoszczowany non-irrigated	0	19,4	45,1	8,35	23,2
		50	25,3	56,1	8,85	20,8
		100	30,4	73,3	13,59	30,2
		150	28,7	64,7	10,45	22,4
	deszczowany irrigated	0	27,2	55,7	8,79	21,2
		50	27,6	49,9	6,74	16,5
		100	32,3	58,7	8,54	19,2
		150	30,7	49,6	5,13	12,3
Masa tysiąca ziaren (g) Thousand kernels weight (g)	niedoszczowany non-irrigated	0	17,1	25,0	2,82	12,7
		50	18,6	25,7	2,74	11,8
		100	18,7	27,7	3,13	12,6
		150	18,2	28,6	3,80	15,2
	deszczowany irrigated	0	21,3	24,7	1,12	4,8
		50	22,4	26,5	1,34	5,5
		100	24,1	28,9	1,53	5,9
		150	25,3	29,5	1,10	4,1

SD – odchylenie standardowe; CV – współczynnik zmienności.
SD – standard deviation; CV – coefficient of variation.

4.2.6. Współzależności plonu oraz cech kształtujących plonowanie owsa

Analizując macierz współczynników korelacji plonu i jego komponentów, u obu form owsa w wariancie kontrolnym (niedoszczowanym) można zauważyć największą współzależność plonu z masą ziarna z wiechy w każdej z badanych dawek nawożenia azotem (współczynniki korelacji powyżej 0,7), z wyjątkiem dawki 150 kg N·ha⁻¹ u formy nieoplewionej (tab. 39). Istotną korelację wykazano również pomiędzy plonem owsa a liczbą wiech na jednostce powierzchni i liczbą ziarna z rośliny u obu form owsa w zakresie dawek 50–100 kg N·ha⁻¹. U formy nieoplewionej powyższe zależności wystąpiły także przy

dawce 150 kg N·ha⁻¹. Wysokość roślin była także cechą warunkującą plon obu form owsa, silniejszą korelację z plonem wykazano dla formy nieoplewionej we wszystkich wariantach nawożenia azotem. Pozostałe składowe w różnym stopniu wpływały na wielkość plonu badanych form owsa, szczególnie przy braku nawożenia azotem u formy oplewionej zaznaczyła się ujemna korelacja plonu z liczbą wiech z jednostki powierzchni, a u formy nieoplewionej słaba korelacja z liczbą ziaren z rośliny i masą tysiąca ziaren. Na uwagę zasługuje ujemna korelacja pomiędzy liczbą wiech z jednostki powierzchni i masą ziarna z rośliny owsa formy oplewionej przy braku nawożenia azotem. Można zatem stwierdzić, że zmniejszona obsada wiech na poszczególnych obiektach doświadczenia rekompensowana była zwiększoną masą ziarna z wiechy. U formy nieoplewionej wykryto dodatnie korelacje pomiędzy liczbą wiech na jednostce powierzchni i liczbą ziaren z rośliny oraz wysokością roślin we wszystkich wariantach nawożenia azotem.

Tabela 39. Macierz współczynników korelacji prostej dla badanych cech obu form owsa w wariantach wodnych przy zróżnicowanych dawkach azotu w latach 2015–2019

Table 39. Matrix of simple correlation coefficients for the tested characters of both oat forms in water variants at different nitrogen doses in 2015–2019

Poziom nawożenia (kg·ha ⁻¹) Fertilization level (kg·ha ⁻¹)	Zmienna Variable	PZ	LW	LZ	MZW	MTZ	WR
	forma oplewiona – wariant deszczowany hulled form – irrigated variant						
0	PZ	1,000					
	LW	0,434	1,000				
	LZ	-0,157	-0,619	1,000			
	MZW	0,051	-0,562	0,340	1,000		
	MTZ	-0,722*	-0,759*	0,712*	0,242	1,000	
	WR	0,309	-0,521*	0,693*	0,525*	0,373	1,000
50	PZ	1,000					
	LW	-0,127	1,000				
	LZ	0,522*	-0,625	1,000			
	MZW	0,666*	-0,585	0,848	1,000		
	MTZ	0,140	-0,625	0,779	0,534	1,000	
	WR	0,571*	-0,254	0,764*	0,662*	0,719*	1,000
100	PZ	1,000					
	LW	-0,381	1,000				
	LZ	-0,006	-0,357	1,000			
	MZW	0,336	-0,203	0,255	1,000		
	MTZ	0,044	-0,611*	0,505*	-0,020	1,000	
	WR	0,697*	-0,496	-0,038	0,216	0,192	1,000
150	PZ	1,000					
	LW	-0,700*	1,000				
	LZ	0,287	-0,741*	1,000			
	MZW	0,571*	-0,759*	0,719*	1,000		
	MTZ	-0,884*	0,678*	-0,192	-0,385	1,000	
	WR	0,680*	-0,540*	0,475	0,399	-0,652*	1,000

Tabela 39. cd.
Table 39. cont.

forma oplewiona – wariant niedeszczowany hulled form – non-irrigated variant							
0	PZ	1,000					
	LW	-0,412	1,000				
	LZ	0,581*	-0,818*	1,000			
	MZW	0,795*	-0,453	0,483	1,000		
	MTZ	0,773*	-0,532*	0,590*	0,733*	1,000	
	WR	0,653*	-0,724*	0,932*	0,500*	0,527*	1,000
50	PZ	1,000					
	LW	0,648*	1,000				
	LZ	0,729*	0,061	1,000			
	MZW	0,830*	0,536	0,582	1,000		
	MTZ	0,488	0,239	0,189	0,563	1,000	
	WR	0,698*	0,096	0,911*	0,614*	0,211	1,000
100	PZ	1,000					
	LW	0,595*	1,000				
	LZ	0,541*	0,074	1,000			
	MZW	0,718*	0,371	0,678	1,000		
	MTZ	0,356	0,080	0,456	0,426	1,000	
	WR	0,496	0,219	0,593*	0,529*	-0,256	1,000
150	PZ	1,000					
	LW	0,055	1,000				
	LZ	0,793*	0,284	1,000			
	MZW	0,889*	0,096	0,759	1,000		
	MTZ	0,595*	0,534*	0,704*	0,618*	1,000	
	WR	0,573*	-0,280	0,367	0,449	-0,209	1,000
forma nieoplewiona – wariant deszczowany naked form – irrigated variant							
0	PZ	1,000					
	LW	-0,667*	1,000				
	LZ	-0,565*	0,518*	1,000			
	MZW	-0,137	0,277	0,103	1,000		
	MTZ	-0,079	0,238	0,625*	0,409	1,000	
	WR	0,296	0,035	0,000	0,786*	0,540*	1,000
50	PZ	1,000					
	LW	-0,177	1,000				
	LZ	0,280	-0,186	1,000			
	MZW	0,191	-0,343	-0,225	1,000		
	MTZ	0,646*	0,298	0,294	-0,265	1,000	
	WR	0,731*	-0,287	0,500*	0,288	0,532*	1,000
100	PZ	1,000					
	LW	-0,015	1,000				
	LZ	0,712*	-0,043	1,000			
	MZW	0,431	0,107	0,251	1,000		
	MTZ	0,300	0,782*	0,043	0,226	1,000	
	WR	0,671*	-0,191	0,800*	0,181	-0,174	1,000

Tabela 39. cd.
Table 39. cont.

150	PZ	1,000					
	LW	-0,114	1,000				
	LZ	0,214	0,371	1,000			
	MZW	0,417	-0,039	0,358	1,000		
	MTZ	-0,181	0,167	-0,301	0,170	1,000	
	WR	0,473	-0,696*	0,087	0,120	-0,568*	1,000
forma nieoplewiona – wariant niedoszczowany naked form – non-irrigated variant							
0	PZ	1,000					
	LW	0,619*	1,000				
	LZ	0,439	0,577	1,000			
	MZW	0,829*	0,384	0,147	1,000		
	MTZ	0,296	0,470	0,885*	0,019	1,000	
	WR	0,890*	0,599*	0,432	0,858*	0,308	1,000
50	PZ	1,000					
	LW	0,782*	1,000				
	LZ	0,564*	0,617*	1,000			
	MZW	0,707*	0,770*	0,721*	1,000		
	MTZ	0,445	0,609*	0,836*	0,573*	1,000	
	WR	0,686*	0,662*	0,604*	0,713*	0,353	1,000
100	PZ	1,000					
	LW	0,842*	1,000				
	LZ	0,675*	0,813*	1,000			
	MZW	0,816*	0,587*	0,420	1,000		
	MTZ	0,427	0,481	0,271	0,564*	1,000	
	WR	0,725*	0,763*	0,880*	0,414	0,018	1,000
150	PZ	1,000					
	LW	0,587*	1,000				
	LZ	0,625*	0,619*	1,000			
	MZW	0,437	0,134	0,269	1,000		
	MTZ	0,614*	0,111	0,544*	0,699*	1,000	
	WR	0,731*	0,722*	0,658*	0,129	0,206	1,000

PZ – plon ziarna (t·ha⁻¹), LW – liczba wiech (szt·m⁻²), LZ – liczba ziaren (szt·roślina⁻¹), MZW – masa ziarna (szt·wiecha⁻¹), MTZ – masa tysiąca ziaren (g), WR – wysokość roślin (cm).

*Współczynniki korelacji istotne statystycznie na poziomie istotności $p < 0,05$.

PZ – grain yield (t·ha⁻¹), LW – number of panicles (pcs·m⁻²), LZ – number of kernels (pcs·plant⁻¹), MZW – grain weight (pcs·panicle⁻¹), MTZ – thousand kernels weight (g), WR – plant height (cm).

*Correlation coefficients statistically significant at the significance level $p < 0.05$.

Zaprezentowane w tabeli 39 współczynniki korelacji dla większości analizowanych cech osiągnęły wartości wyższe niż 0,3, co potwierdza zasadność zastosowania analizy składowych głównych. W tabeli 40 przedstawiono wartości własne składowych głównych wraz z ich wariancjami, wskazującymi na hierarchię głównych składowych w wyjaśnianiu zasobów informacyjnych zmiennych wejściowych. Na podstawie kryterium wartości własnej Kaisera (Kaiser, 1960) oraz testu ospiska Cattella, w celu dalszych analiz wyod-

rębniono dwie składowe, o wartościach własnych większych od jedności, które utworzyły zmienne Z_1 i Z_2 . Rozpatrując stosowane dawki azotu (0, 50, 100 i 150 kg N·ha⁻¹), pierwsza główna składowa przenosi odpowiednio ponad 69%, 60%, 52% i 56% u formy oplewionej oraz ponad 60%, 70%, 66% i 57% u formy nieoplewionej, natomiast druga odpowiednio 17%, 21%, 21% i 27% u formy oplewionej i 26%, 13%, 19% i 24% informacji zawartych w zmiennych wejściowych u formy nieoplewionej. Metoda analizy głównych składowych pozwoliła na zredukowanie sześciu pierwotnych cech do dwóch nowych zmiennych, które przenosiły u formy oplewionej ponad 86%, 81%, 73% i 83% informacji zawartych w zmiennych wejściowych, a u owsa nieoplewionego 86%, 83%, 85% i 81% odpowiednio w uprawie owsa w warunkach wzrastających dawek azotu (tab. 40).

Tabela 40. Wartości własne macierzy korelacji, procent wariacji i skumulowany procent wariacji otrzymanych składowych dla badanych cech obu form owsa w wariacie kontrolnym (niedeszczowanym) przy zróżnicowanych dawkach azotu w latach 2015–2019

Table 40. Eigenvalues of the correlation matrix, percentage of variance and cumulative percentage of variance of the obtained components for the tested characters of both oat forms in the control (non-irrigated) variant at different nitrogen doses in 2015–2019

Poziom nawożenia (kg·ha ⁻¹) Fertilization level (kg·ha ⁻¹)	Składowa Component	Wartości własne Eigenvalues	Procent wariacji Percentage of the variance	Skumulowany procent wariacji Cumulative percent- age of variance
forma oplewiona – hulled form				
0	Z_1	4,18	69,60	69,6
	Z_2	1,02	17,05	86,7
	Z_3	0,38	6,32	93,0
	Z_4	0,26	4,37	97,3
	Z_5	0,12	1,97	99,3
	Z_6	0,04	0,68	100,0
50	Z_1	3,61	60,16	60,2
	Z_2	1,29	21,42	81,6
	Z_3	0,77	12,88	94,5
	Z_4	0,20	3,37	97,8
	Z_5	0,10	1,71	99,5
	Z_6	0,03	0,47	100,0
100	Z_1	3,12	52,05	52,1
	Z_2	1,26	21,01	73,1
	Z_3	1,04	17,37	90,4
	Z_4	0,26	4,40	94,8
	Z_5	0,23	3,75	98,6
	Z_6	0,09	1,43	100,0

Tabela 40. cd.
Table 40. cont.

150	Z ₁	3,41	56,90	56,9
	Z ₂	1,66	27,72	84,6
	Z ₃	0,54	9,06	93,7
	Z ₄	0,23	3,76	97,4
	Z ₅	0,11	1,89	99,3
	Z ₆	0,04	0,67	100,0
forma nieoplewiona – naked form				
0	Z ₁	3,64	60,69	60,7
	Z ₂	1,60	26,64	87,3
	Z ₃	0,46	7,61	94,9
	Z ₄	0,12	2,01	97,0
	Z ₅	0,10	1,62	98,6
	Z ₆	0,09	1,43	100,0
50	Z ₁	4,23	70,46	70,5
	Z ₂	0,84	13,99	84,4
	Z ₃	0,40	6,66	91,1
	Z ₄	0,25	4,14	95,2
	Z ₅	0,20	3,39	98,6
	Z ₆	0,08	1,37	100,0
100	Z ₁	4,00	66,71	66,7
	Z ₂	1,20	19,94	86,6
	Z ₃	0,51	8,43	95,1
	Z ₄	0,18	2,97	98,0
	Z ₅	0,07	1,11	99,1
	Z ₆	0,05	0,85	100,0
150	Z ₁	3,43	57,16	57,2
	Z ₂	1,44	24,02	81,2
	Z ₃	0,46	7,73	88,9
	Z ₄	0,37	6,21	95,1
	Z ₅	0,21	3,52	98,6
	Z ₆	0,08	1,36	100,0

Wektory własne, które reprezentują uzyskane wartości własne przedstawione w tabeli 41, pokazują siłę i kierunek wpływu poszczególnych zmiennych na składowe Z₁ i Z₂ (są to współczynniki głównych składowych).

Tabela 41. Współrzędne wektorów własnych składowych głównych w latach 2015–2019
 Table 41. Coordinates of eigenvectors of principal components in 2015–2019

Poziom nawożenia (kg·ha ⁻¹) Fertilization level (kg·ha ⁻¹)	Cecha Character	Składowa Z ₁ Component Z ₁	Składowa Z ₂ Component Z ₂
forma oplewiona – hulled form			
0	PZ	-0,412	-0,406
	LW	0,385	-0,443
	LZ	-0,434	0,406
	MZW	-0,384	-0,480
	MTZ	-0,405	-0,352
	WR	-0,427	0,346
50	PZ	-0,505	-0,108
	LW	-0,275	-0,609
	LZ	-0,423	0,491
	MZW	-0,474	-0,171
	MTZ	-0,287	-0,362
	WR	-0,428	0,465
100	PZ	0,498	0,028
	LW	0,292	0,182
	LZ	0,457	-0,114
	MZW	0,508	-0,067
	MTZ	0,250	-0,783
	WR	0,371	0,579
150	PZ	0,507	0,187
	LW	0,153	-0,607
	LZ	0,497	-0,040
	MZW	0,498	0,116
	MTZ	0,411	-0,449
	WR	0,235	0,616
forma nieoplewiona – naked form			
0	PZ	-0,474	-0,250
	LW	-0,411	0,132
	LZ	-0,371	0,515
	MZW	-0,386	-0,486
	MTZ	-0,309	0,593
	WR	-0,475	-0,258
50	PZ	-0,406	-0,372
	LW	-0,431	-0,151
	LZ	-0,418	0,431
	MZW	-0,436	-0,107
	MTZ	-0,365	0,679
	WR	-0,389	-0,425
100	PZ	-0,467	-0,067
	LW	-0,467	0,048
	LZ	-0,429	0,327
	MZW	-0,383	-0,405
	MTZ	-0,254	-0,696
	WR	-0,411	0,488

Tabela 41. cd.
Table 41. cont.

150	PZ	-0,486	-0,017
	LW	-0,395	0,426
	LZ	-0,456	0,100
	MZW	-0,287	-0,594
	MTZ	-0,362	-0,555
	WR	-0,433	0,384

PZ – plon ziarna ($t \cdot ha^{-1}$), LW – liczba wiech ($szt \cdot m^{-2}$), LZ – liczba ziaren ($szt \cdot roślina^{-1}$), MZW – masa ziarna ($szt \cdot wiecha^{-1}$), MTZ – masa tysiąca ziaren (g), WR – wysokość roślin (cm).

PZ – grain yield ($t \cdot ha^{-1}$), LW – number of panicles ($pcs \cdot m^{-2}$), LZ – number of kernels ($pcs \cdot plant^{-1}$), MZW – grain weight ($pcs \cdot panicle^{-1}$), MTZ – thousand kernels weight (g), WR – plant height (cm).

W warunkach rosnących dawek azotu w uprawie owsa formy oplewionej w zakresie dawek od 50 do 150 $kg N \cdot ha^{-1}$ pierwsza główna składowa reprezentuje przede wszystkim zmienną: plon ziarna i masę ziarna z wiechy, natomiast u owsa formy nieoplewionej liczbę wiech z jednostki powierzchni i masę ziarna z wiechy przy dawce 50 $kg N \cdot ha^{-1}$, plon ziarna w zakresie od 100 do 150 $kg N \cdot ha^{-1}$. Druga z głównych składowych u formy oplewionej owsa przynosi przede wszystkim informacje zawarte w zmiennej – liczbie wiech z jednostki powierzchni (przy dawce 50 i 150 $kg N \cdot ha^{-1}$), masie tysiąca ziaren (dawka 100 $kg N \cdot ha^{-1}$), natomiast u formy nieoplewionej przynosi informacje zawarte w masie tysiąca ziaren (w zakresie dawki 0–100 $kg N \cdot ha^{-1}$), masy ziarna z wiechy (dawka 150 $kg N \cdot ha^{-1}$) (tab. 42).

Tabela 42. Ładunki czynnikowe zmiennych składowych poddanych analizie w latach 2015–2019

Table 42. Factor loadings of the component variables analyzed in 2015–2019

Poziom nawożenia ($kg \cdot ha^{-1}$) Fertilization level ($kg \cdot ha^{-1}$)	Cecha Character	Składowa Z_1 Component Z_1	Składowa Z_2 Component Z_2
	forma oplewiona – hulled form		
0	PZ	-0,841	-0,411
	LW	0,787	-0,448
	LZ	-0,886	0,410
	MZW	-0,786	-0,486
	MTZ	-0,827	-0,356
	WR	-0,873	0,350
50	PZ	-0,960	-0,122
	LW	-0,522	-0,690
	LZ	-0,804	0,557
	MZW	-0,901	-0,193
	MTZ	-0,545	-0,410
	WR	-0,813	0,527
100	PZ	0,881	0,031
	LW	0,516	0,204
	LZ	0,807	-0,128
	MZW	0,898	-0,075
	MTZ	0,442	-0,879
	WR	0,655	0,650

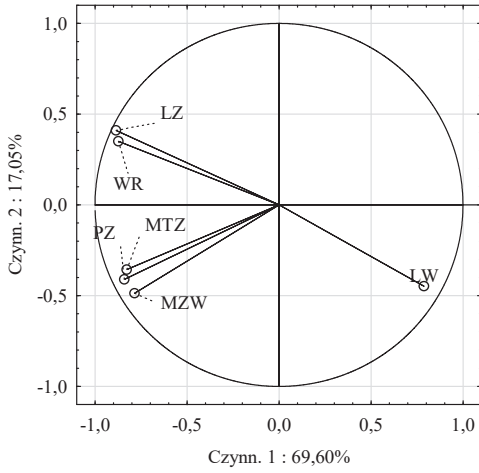
Tabela 42. cd.
Table 42. cont.

150	PZ	0,937	0,241
	LW	0,283	-0,783
	LZ	0,918	-0,051
	MZW	0,920	0,149
	MTZ	0,759	-0,580
	WR	0,435	0,794
forma nieoplewiona – naked form			
0	PZ	-0,904	-0,316
	LW	-0,784	0,167
	LZ	-0,708	0,651
	MZW	-0,736	-0,614
	MTZ	-0,589	0,750
	WR	-0,906	-0,327
50	PZ	-0,835	-0,341
	LW	-0,886	-0,139
	LZ	-0,860	0,394
	MZW	-0,896	-0,098
	MTZ	-0,751	0,622
	WR	-0,800	-0,389
100	PZ	-0,934	-0,073
	LW	-0,934	0,053
	LZ	-0,857	0,358
	MZW	-0,766	-0,443
	MTZ	-0,509	-0,761
	WR	-0,823	0,533
150	PZ	-0,900	-0,020
	LW	-0,731	0,511
	LZ	-0,844	0,120
	MZW	-0,531	-0,713
	MTZ	-0,671	-0,666
	WR	-0,802	0,461

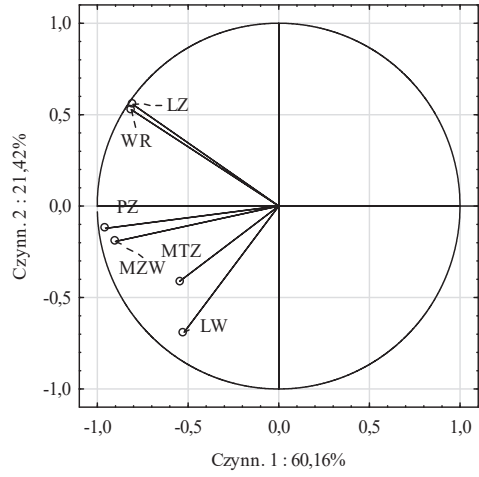
PZ – plon ziarna (t·ha⁻¹), LW – liczba wiech (szt·m⁻²), LZ – liczba ziaren (szt·roślina⁻¹), MZW – masa ziarna (szt·wiecha⁻¹), MTZ – masa tysiąca ziaren (g), WR – wysokość roślin (cm).

PZ – grain yield (t·ha⁻¹), LW – number of panicles (pcs·m⁻²), LZ – number of kernels (pcs·plant⁻¹), MZW – grain weight (pcs·panicle⁻¹), MTZ – thousand kernels weight (g), WR – plant height (cm).

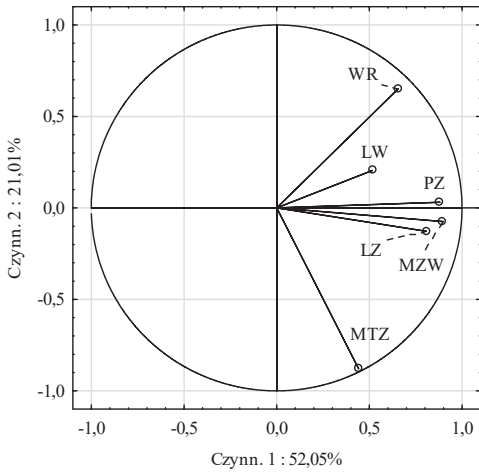
Na rysunku 12 przedstawiono dwie pierwsze składowe, które reprezentują 69,6%, 60,2%, 52,1% i 56,9% oraz 17,1%, 21,4%, 21,0% i 27,7%, co daje łącznie 86,7%, 81,6%, 73,1% i 84,6% odpowiednio dla owsa formy oplewionej przy dawce 0, 50, 100 i 150 kg N·ha⁻¹. U formy owsa nieoplewionej dwie pierwsze składowe reprezentują 60,7%, 70,5%, 66,7% i 57,2% oraz 26,6%, 14,0%, 19,9% i 24,0%, co daje łącznie 87,3%, 84,5%, 86,6% i 81,2% odpowiednio przy dawce 0, 50, 100 i 150 kg N·ha⁻¹. Wektory reprezentujące zmienne pierwotne plonu ziarna dla wszystkich dawek azotu sięgają brzegów koła jednostkowego, a zatem są bardzo dobrze reprezentowane przez dwie pierwsze składowe tworzące układ współrzędnych.



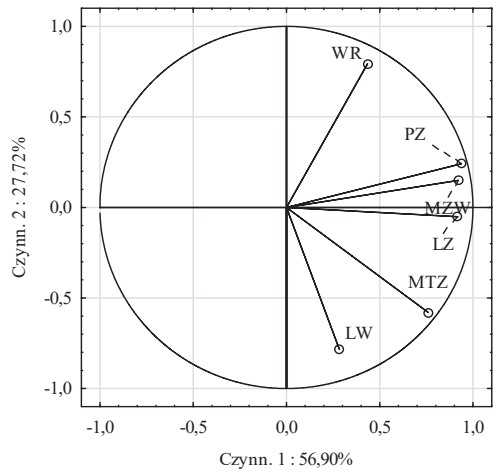
A) 0 kg N·ha⁻¹



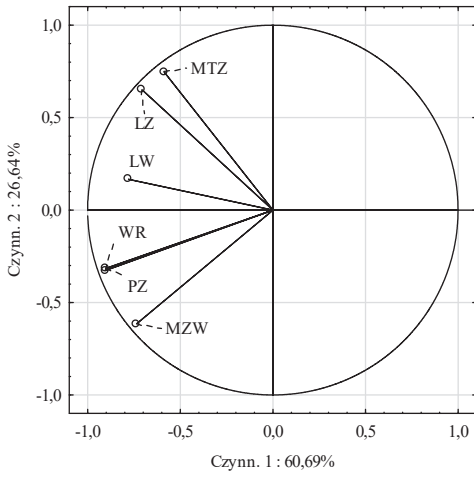
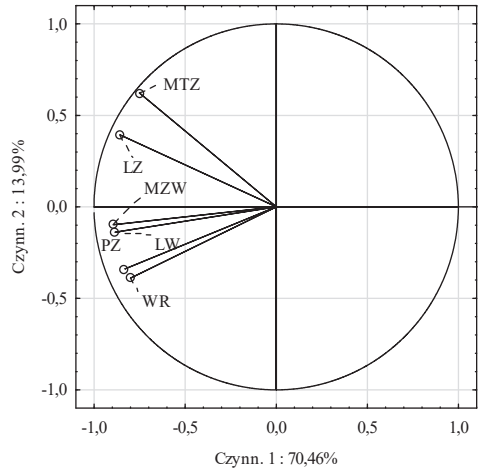
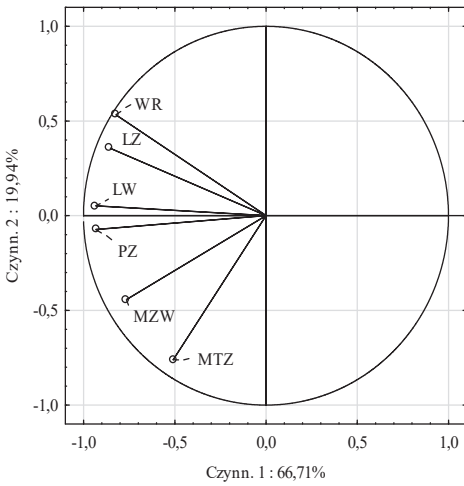
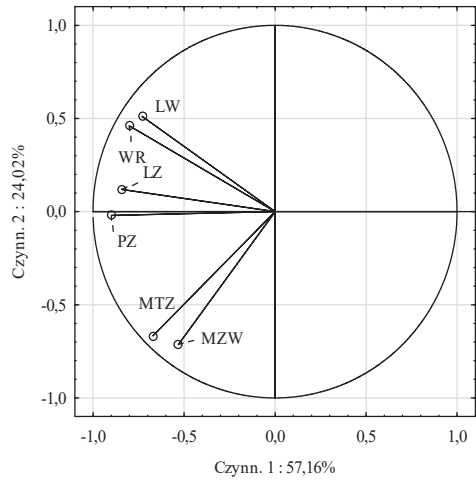
A) 50 kg N·ha⁻¹



A) 100 kg N·ha⁻¹



A) 150 kg N·ha⁻¹

B) 0 kg N·ha⁻¹B) 50 kg N·ha⁻¹B) 100 kg N·ha⁻¹B) 150 kg N·ha⁻¹

Rys. 12. Wykres współrzędnych czynnikowych dla składowych Z_1 i Z_2 dla owsa formy oplewionej (A) i nieoplewionej (B) w wariancie kontrolnym (niedeszczowanym) w zależności od nawożenia azotem w latach 2015–2019; PZ – plon ziarna ($t \cdot ha^{-1}$), LW – liczba wiech ($szt \cdot m^{-2}$), LZ – liczba ziaren ($szt \cdot roślina^{-1}$), MZW – masa ziarna ($szt \cdot wiecha^{-1}$), MTZ – masa tysiąca ziaren (g), WR – wysokość roślin (cm).

Fig. 12. Plot of factor coordinates for the components Z_1 and Z_2 for oats in the hulled form (A) and naked form (B) in the control variant (non-irrigated) depending on nitrogen fertilization in 2015–2019; PZ – grain yield ($t \cdot ha^{-1}$), LW – number of panicles ($pcs \cdot m^{-2}$), LZ – number of kernels ($pcs \cdot plant^{-1}$), MZW – grain weight ($pcs \cdot panicle^{-1}$), MTZ – thousand kernels weight (g), WR – plant height (cm).

Kąt pomiędzy wektorami obrazującymi plon ziarna i masę ziarna z wiechy ($50\text{--}150\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) u formy oplewionej oraz plon ziarna z masą ziarna z wiechy ($50\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), plon ziarna i liczbę wiech z jednostki powierzchni ($100\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) oraz plon ziarna i liczbę ziaren z rośliny ($150\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) u formy nieoplewionej jest niewielki, co oznacza duże skorelowanie tych zmiennych. Ułożenie wektorów liczby ziaren z rośliny i liczby wiech z jednostki powierzchni świadczy o ujemnym skorelowaniu tych cech u owsa formy oplewionej w warunkach bez nawożenia azotem. W tych samych warunkach u formy nieoplewionej nie stwierdzono ujemnej korelacji dla żadnej z badanych cech, odnotowano jedynie słabą korelację masy ziarna z wiechy z masą tysiąca ziaren, o czym świadczy kąt nachylenia do tych zmiennych pierwotnych, który jest bliski kątowemu prostemu.

W celu oszacowania związków zachodzących między plonem ziarna (zmiennej zależnej) a wybranymi badanymi cechami (zmiennymi niezależnymi) w opracowaniu posłużono się analizą współczynników ścieżek. Związek pomiędzy analizowanymi składowymi plonu a plonem ziarna obu form owsa w zależności od stosowanych dawek azotu przyjmował postać funkcji, której równania przedstawiono w tabeli 43. Znormalizowane cząstkowe współczynniki regresji tych równań odpowiadają efektom bezpośrednim zmiennych przyczynowych. Wysokie wartości współczynnika determinacji R^2 przy dawce 100 kg i $150\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ u formy oplewionej i przy $100\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ u owsa formy nieoplewionej świadczą o silnej zależności plonu ziarna od zmiennych niezależnych.

Tabela 43. Równania regresji wielokrotnej oraz współczynniki determinacji R^2 dla badanych cech i plonu ziarna owsa formy oplewionej i nieoplewionej w wariancie kontrolnym (niedeszczowanym) w zależności od nawożenia azotem w latach 2015–2019

Table 43. Multiple regression equations and coefficients of determination R^2 for the tested characters and yield of oat grain in the hulled and naked form in the control variant (non-irrigated) depending on nitrogen fertilization in 2015–2019

Poziomo nawożenia (kg N·ha ⁻¹) Fertilization level (kg N·ha ⁻¹)	Równanie regresji – Regression equation	R ²
forma oplewiona – hulled form		
0	$y = 0,703(WR)^{ns} + 0,436(MTZ)^{ns} + 0,388(MZW)^{ns} - 3,53$	81,2
50	$y = 0,617(LZ)^{**} + 0,519(LW)^{**} + 0,202(MTZ)^* - 6,09$	94,8
100	$y = 0,392(LW)^{ns} + 0,381(WR)^{ns} + 0,330(MTZ)^{ns} - 7,34$	70,3
150	$y = 0,610(MTZ)^* + 0,530(WR)^* + 0,303(MZW)^{ns} - 8,89$	91,2
forma nieoplewiona – naked form		
0	$y = 0,423(MZW)^{ns} + 0,374(WR)^{ns} + 0,165(LZ)^{ns} - 0,659$	84,1
50	$y = 0,571(LW)^{ns} + 0,195(WR)^{ns} - 0,156(MTZ)^{ns} - 0,645$	67,2
100	$y = 0,505(MZW)^{**} + 0,474(LW)^{ns} + 0,347(WR)^{ns} - 2,47$	90,0
150	$y = 0,638(MTZ)^* + 0,590(WR)^* + 0,253(LW)^{ns} - 5,16$	79,1

y – plon ziarna (t·ha⁻¹), LW – liczba wiech (szt·m⁻²), LZ – liczba ziaren (szt·roślina⁻¹), MZW – masa ziarna (szt·wiecha⁻¹), MTZ – masa tysiąca ziaren (g), WR – wysokość roślin (cm), różnice nieistotne; statystycznie (ns) i istotne statystycznie na poziomie istotności $p < 0,01^{**}$, $p < 0,05^*$.

R² – współczynnik determinacji.

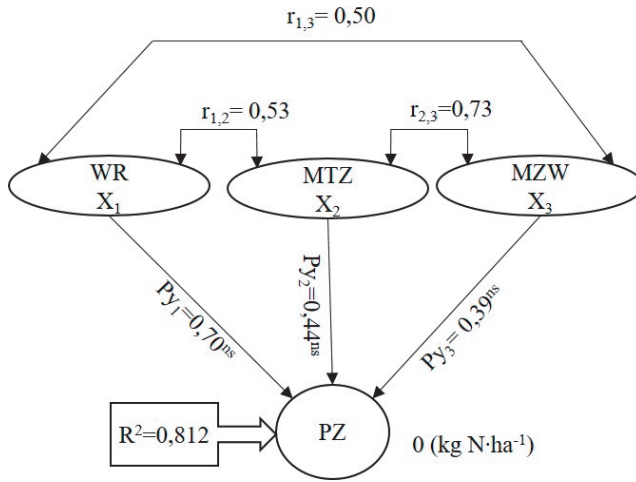
y – grain yield (t·ha⁻¹), LW – number of panicles (pcs·m⁻²), LZ – number of kernels (pcs·plant⁻¹), MZW – grain mass (pcs·panicle⁻¹), MTZ – thousand kernels weight (g), WR – plant height, statistically insignificant differences (ns) and statistically significant at the level of significance $p < 0,01^{**}$, $p < 0,05^*$.

R² – coefficient of determination.

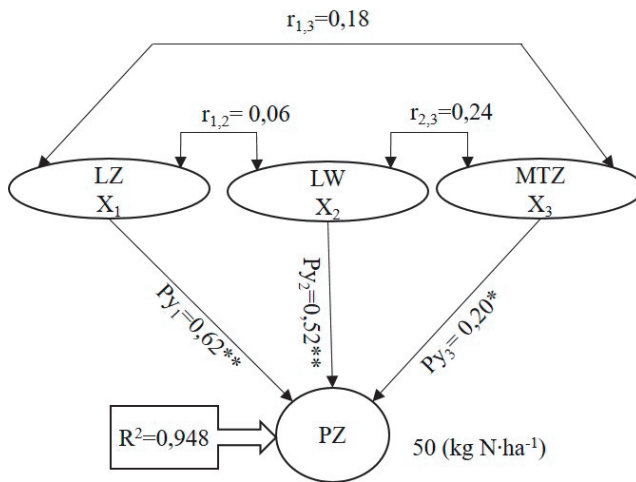
Na rysunku 13 przedstawiono diagramy współczynników ścieżek dla cech warunkujących plon ziarna obu form owsa w wariancie kontrolnym (niedeszczowanym) w zależności od zastosowanej dawki azotu. Strzałki jednostronne występujące na poniższych diagramach są ścieżkami elementarnymi obrazującymi wpływ bezpośredni zmiennych przyczynowych (komponentów plonowania i cech), natomiast strzałki podwójne oznaczają korelacje proste między tymi zmiennymi. Każdej ścieżce elementarnej podporządkowana jest liczba (współczynnik ścieżki).

W wariancie bez azotu współczynnik ścieżki dla zmiennej przyczynowej X_1 (wysokość roślin do zmiennej zależnej Y (PZ – plon ziaren) na diagramie oznaczono jako Py_1 . Analogicznie oznaczono współczynniki ścieżek dla pozostałych składowych plonu, tj. masy tysiąca ziaren (Py_2), masy ziaren z wiechy (Py_3), podobnie w każdym z wariantów nawożenia azotem. Współczynniki korelacji prostej pomiędzy analizowanymi komponentami plonu oznaczono jako $r_{1,2}$, $r_{1,3}$, $r_{2,3}$ (gdzie $r_{1,2}$ oznacza korelację między cechami X_1 i X_2). Badane cechy w różnym stopniu warunkowały plon ziarna owsa obu form. U formy owsa oplewionej w wariancie bez nawożenia azotem nie stwierdzono dodatniego bezpośredniego wpływu cech kształtujących plon na plon ziarna owsa. W tworzeniu plonu ziarna owsa u tej formy najważniejsze znaczenie odegrały liczba ziaren z rośliny, liczba wiech z jednostki powierzchni i masa tysiąca ziaren po zastosowaniu $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (współczynniki ścieżek 0,62, 0,52 i 0,20) oraz masa tysiąca ziaren i wysokość roślin po wniesieniu $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (współczynniki ścieżek 0,61 i 0,53). U formy owsa nieoplewionej zarówno w wariancie bez nawożenia azotem, jak i przy wniesieniu dawki $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ nie zaobserwowano bezpośredniego wpływu cech na plon. Przy zastosowaniu wyższych dawek azotu najważniejsze znaczenie miały masa ziarna z wiechy ($100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) i masa tysiąca ziaren oraz wysokość roślin ($150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) (współczynniki ścieżek wyniosły odpowiednio 0,50, 0,64 i 0,59). Pośrednie związki pomiędzy cechami kształtującymi plon były słabe szczególnie przy braku nawożenia azotem zarówno u formy oplewionej, jak i nieoplewionej. Najsilniejsze związki pośrednie między badanymi cechami zaobserwowano u formy oplewionej w dwóch skrajnych wariantach nawożenia między masą tysiąca ziaren a masą ziarna z wiechy, natomiast u formy nieoplewionej między liczbą wiech a wysokością roślin w zakresie dawek $50\text{--}150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Dokładność oszacowania związku plonu ziarna z komponentami plonowania owsa mierzona wielkością współczynnika determinacji (R^2) wynosiła od 70,3% do 94,8% u formy oplewionej i od 67,2% do 90,0% u formy nagoziarnistej.

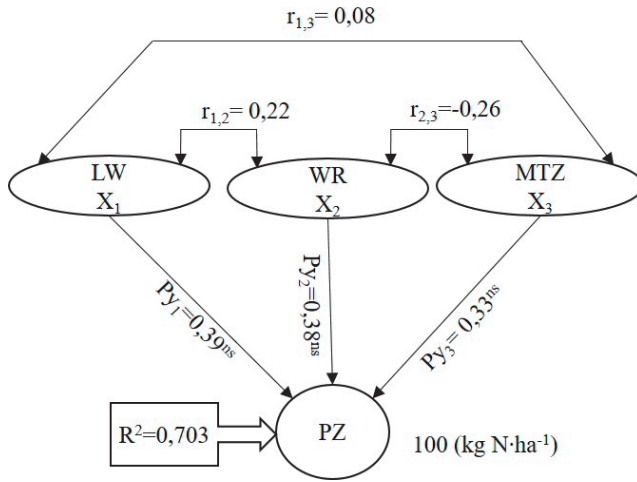
Zaprezentowane analizy z wykorzystaniem korelacji, regresji wielokrotnej i głównych składowych nie stworzyły przejrzystego obrazu zależności pomiędzy plonem i jego komponentami. W celu określenia udziału podstawowych komponentów w kształtowaniu wielkości plonu ziarna posłużono się analizą indywidualnego wpływu komponentów, metodą opracowaną przez Rudnickiego (2000). Indywidualny wkład poszczególnych komponentów plonowania w zmienność wielkości plonu ziarna wyznaczono dla badanych czynników plonotwórczych, którymi były nawadnianie, forma owsa i nawożenie azotem. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń udowodniono wzrost plonu owsa pod



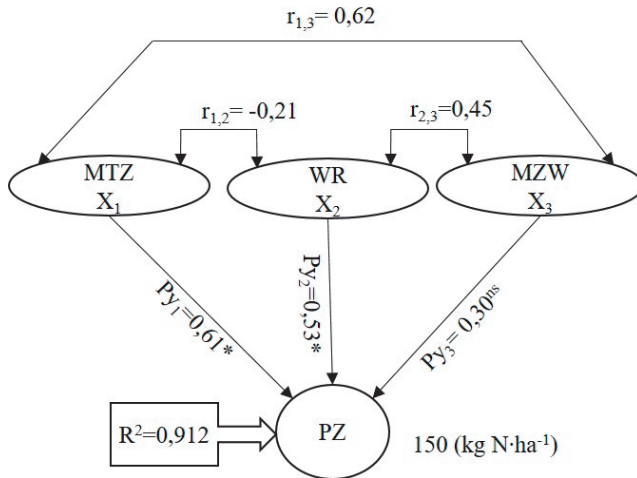
A) 0 kg N·ha⁻¹



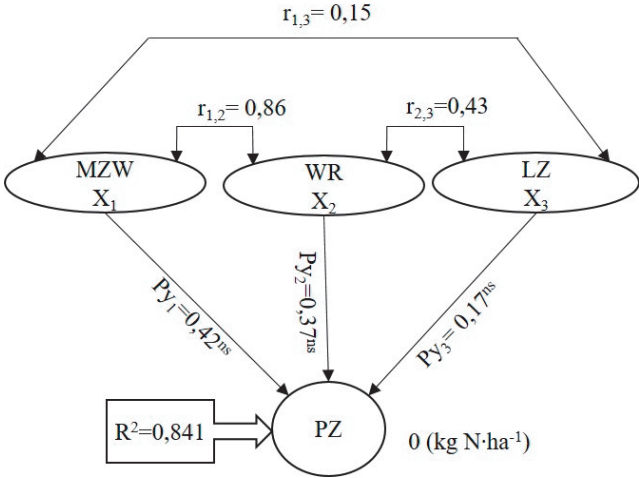
A) 50 kg N·ha⁻¹



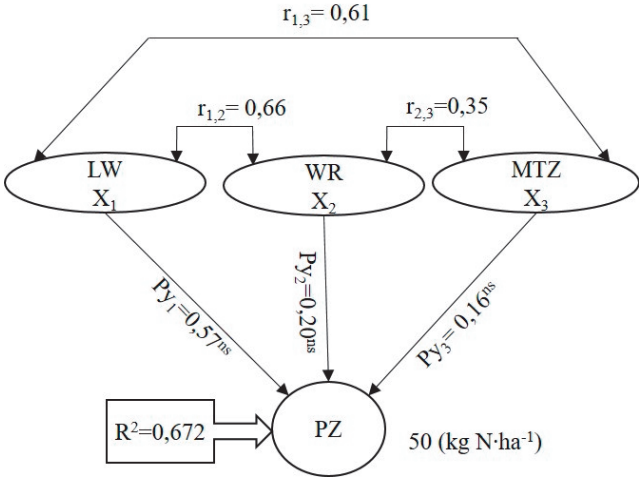
A) 100 kg N·ha⁻¹



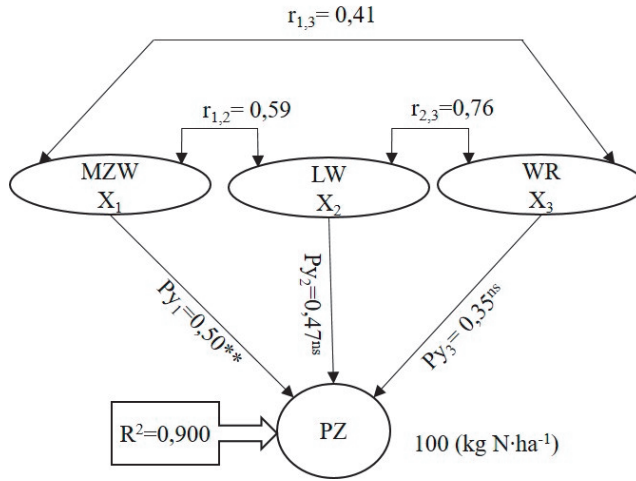
A) 150 kg N·ha⁻¹



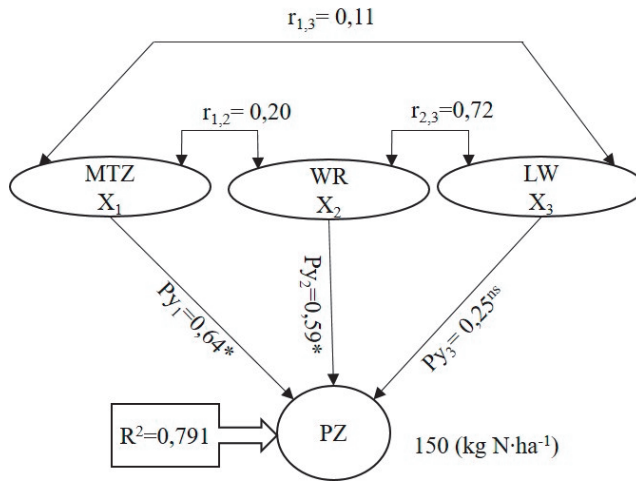
B) 0 kg N·ha⁻¹



B) 50 kg N·ha⁻¹



B) 100 kg N·ha⁻¹



B) 150 kg N·ha⁻¹

Rys. 13. Diagram współczynników ścieżek cech warunkujących plon ziarna owsa formy oplewionej (A) i nieoplewionej (B) w wariancie kontrolnym (niedoszczowanym) w zależności od nawożenia azotem w latach 2015–2019; PZ – plon ziarna (t·ha⁻¹), LW – liczba wiech (szt·m⁻²), LZ – liczba ziaren (szt·roślina⁻¹), MZW – masa ziarna (szt·wiecha⁻¹), MTZ – masa tysiąca ziaren (g), WR – wysokość roślin (cm).

*Współczynniki korelacji istotne statystycznie na poziomie istotności $p < 0,05$; różnice nieistotne statystycznie (ns).

Fig. 13. Diagram of the path coefficients of traits determining the yield of oat grain in hulled (A) and naked (B) form in the control variant (non-irrigated) depending on nitrogen fertilization in 2015–2019; PZ – grain yield (t·ha⁻¹), LW – number of panicles (pcs·m⁻²), LZ – number of kernels (pcs·plant⁻¹), MZW – grain weight (pcs·panicle⁻¹), MTZ – thousand kernels weight (g), WR – plant height (cm).

*Correlation coefficients statistically significant at the significance level $p < 0.05$; statistically insignificant differences (ns).

wpływem deszczowania o $0,99 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ i wynikał on przede wszystkim ze zwiększenia obsady wiech (przyrost o $0,71 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) oraz masy tysiąca ziaren (przyrost o $0,23 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) (tab. 44). Uzyskane wyniki wskazują, że o wzroście plonu owsa pod wpływem nawadniania w 71,8% zadecydowała obsada wiech, w 23,6% masa tysiąca ziaren i w 4,7% liczba ziaren w wiesze. Jak wynika z tabeli 44, forma oplewiona owsa plonowała wyżej o $1,67 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, tj. o 32,2%. Przyrost ten nastąpił na skutek zwiększonej o $0,71 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (13,6%) masy tysiąca ziaren, wzrostu o $0,48 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ liczby wiech i liczby ziaren w wiesze (odpowiednio 9,2% i 9,3%). O większym plonie owsa oplewionego decydowała w 42,4% masa tysiąca ziaren, w 28,6% liczba wiech oraz w 29% liczba ziaren z wiechy. Zwiększenie plonu ziarna owsa związane było z zastosowaniem wzrastających dawek azotu (tab. 45). Plon ziarna owsa zwiększał się o $0,75 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (17,0%) po zastosowaniu dawki $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, o $1,65 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (24,5%) po dawce $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ i $1,86 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (29,5%) po najwyższej ze stosowanych dawek w porównaniu do obiektu kontrolnego bez nawożenia azotem. Wyższy poziom plonowania owsa po zastosowaniu badanych dawek był związany w największym stopniu z obsadą wiech i liczbą ziaren w wiesze. Znaczenie tych elementów było większe po wniesieniu $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($0,82 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ – 13,1%) w porównaniu do dawki $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ i $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($0,33 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ – 7,5% i 6,0%). Większa liczba ziaren w wiesze po nawożeniu azotem spowodowała zwiększenie plonu ziarna o: $0,29 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (6,6%), $1,09 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (14,3%) i $0,77 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (12,2%), odpowiednio po zastosowaniu wzrastających dawek azotu. Analizując wkład i udział dla rosnących dawek azotu w stosunku do obiektu bez nawożenia tym składnikiem, można stwierdzić, iż najmniejszy wkład w przyrost plonów miała masa tysiąca ziaren – o $0,3$, $0,23$ i $0,27 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, tj. 2,9%, 4,2% i 4,3% odpowiednio po nawożeniu dawką 50 , 100 i $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Można zatem podsumować, że o przyroście plonu ziarna na obiektach nawożonych 50 i $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ w największym stopniu decydowała obsada wiech odpowiednio w 43,9% i 44,2%, natomiast po zastosowaniu $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ w 58,2% liczba ziaren w wiesze.

Tabela 44. Wpływ komponentów plonowania na różnice plonów ziarna owsa pomiędzy wariantem niedeszczowanym i deszczowanym oraz formą owsa oplewionego i nagiego w latach 2015–2019

Table 44. Influence of yielding components on the differences in oat grain yields between the non-irrigated and irrigated variants and the hulled and naked oats form in 2015–2019

Elementy plonowania Yield components	Wariant wodny deszczowy – niedeszczowy Water variant irrigated – non-irrigated	Forma oplewiona – nieoplewiona Form hulled – naked
wkład komponentów plonowania w różnicę plonów ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) contribution of yield components to difference in yields ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)		
Obsada wiech – Number of panicles per 1 m^2	0,71	0,48
Liczba ziaren – Number of grains per panicle	0,05	0,48
Masa 1000 ziaren – Thousand kernels weight	0,23	0,71
Suma – Sum	0,99	1,67

Tabela 44. cd.
Table 44. cont.

wkład komponentów plonowania w różnice względne plonów (%) contribution of yield components to relative difference in yields (%)		
Obsada wiech – Number of panicles per 1 m ²	14,60	9,20
Liczba ziaren – Number of grains per panicle	0,95	9,32
Masa 1000 ziaren – Thousand kernels weight	4,79	13,64
Suma – Sum	20,35	32,16
udział komponentów plonowania w różnicowaniu plonów (%) share of yield components in difference in yields (%)		
Obsada wiech – Number of panicles per 1 m ²	71,77	28,61
Liczba ziaren – Number of grains per panicle	4,68	28,98
Masa 1000 ziaren – Thousand kernels weight	23,55	42,41
Suma – Sum	100	100

Tabela 45. Wpływ komponentów plonowania na różnice plonów ziarna owsa pomiędzy wariantami nawożenia 50, 100 i 150 kg N·ha⁻¹ w latach 2015–2019

Table 45. Impact of yielding components on differences in oat grain yields between the fertilization variants 50, 100 and 150 kg N·ha⁻¹ in 2015–2019

Komponenty plonowania Yield components	Dawka azotu (kg·ha ⁻¹) Dose of nitrogen (kg·ha ⁻¹)			Średnia dla dawek 50–150 (kg N·ha ⁻¹) Average for doses 50–150 (kg N·ha ⁻¹)
	50–0	100–0	150–0	
wkład komponentów plonowania w różnicę plonów (t·ha ⁻¹) contribution of yield components to difference in yields (t·ha ⁻¹)				
Obsada wiech – Number of panicles per 1 m ²	0,33	0,33	0,82	0,49
Liczba ziaren w wieście – Number of grains per panicle	0,29	1,09	0,77	0,71
Masa 1000 ziaren – Thousand kernels weight	0,13	0,23	0,27	0,21
Suma – Sum	0,75	1,65	1,86	1,42
wkład komponentów plonowania w różnice względne plonów (%) contribution of yield components to relative difference in yields (%)				
Obsada wiech – Number of panicles per 1 m ²	7,46	6,04	13,06	8,85
Liczba ziaren w wieście – Number of grains per panicle	6,61	14,28	12,15	11,01
Masa 1000 ziaren – Thousand kernels weight	2,92	4,20	4,33	3,82
Suma – Sum	16,99	24,52	29,54	23,68
udział komponentów plonowania w różnicowaniu plonów (%) share of yield components in difference in yields (%)				
Obsada wiech – Number of panicles per 1 m ²	43,90	24,63	44,19	37,57
Liczba ziaren w wieście – Number of grains per panicle	38,94	58,23	41,14	46,10
Masa 1000 ziaren – Thousand kernels weight	17,17	17,13	14,67	16,32
Suma – Sum	100	100	100	–

4.2.7. Plon potencjalnie możliwy do osiągnięcia w optymalnych i utracony w niesprzyjających warunkach pogodowych

Ocena statystyczna wykazała, że wyliczony na podstawie indeksu pogodowego plon ziarna owsa w latach 2015–2019 był kształtowany przez formę owsa i nawożenie azotem w sposób niezależny (tab. 46). Szacunkowy i rzeczywisty plon ziarna owsa oplewionej odmiany ‘Bingo’ rosnącego w optymalnych warunkach pogodowych był większy o 36,0% w porównaniu do nieoplewionej odmiany ‘Nagus’. Na podstawie przeprowadzonych wyliczeń udowodniono, że forma owsa oplewiona reaguje większym o 36,5% spadkiem plonu na skutek niekorzystnych warunków pogodowych niż forma nieoplewiona (tab. 47). Podobnie jak w przypadku plonu rzeczywistego, wzrost dawki azotu powodował zwiększenie potencjalnego plonu w optymalnych warunkach pogodowych, jednak w miarę wzrastania dawek azotu odnotowano większe straty plonu wskutek niekorzystnych warunków atmosferycznych (tab. 47).

Tabela 46. Analiza wariancji dla wyliczonego plonu ziarna owsa w warunkach pogodowych optymalnych i niekorzystnych w zależności od badanych czynników w latach 2015–2019

Table 46. Analysis of variance for calculated oat grain yield under optimal and unfavorable weather conditions depending on the examined factors in 2015–2019

Źródło zmienności Source of variability	Empiryczny poziom istotności p (wartość – p) Empirical significance level p (value – p)	
	plon przewidywany w warunkach pogodowych optymalnych yield expected in optimal weather conditions	plon utracony na skutek niekorzystnych warunków pogodowych yield lost due to unfavorable weather conditions
Rok – Year	0,0000*	0,0000*
Forma – Form	0,0000*	0,0000*
Nawożenie – Fertilization	0,0000*	0,0000*
R × F	0,0000*	0,0000*
R × N	0,0000*	0,0000*
F × N	0,5090	0,5090
R × F × N	0,0068*	0,0068*

R – rok; W – wariant wodny; F – forma; N – nawożenie.

*Różnice istotne statystycznie na poziomie istotności $p < 0,01$.

R – year, W – water variant; F – form; N – fertilization.

*Statistically significant differences at the significance level $p < 0.01$

Tabela 47. Wpływ odmiany i nawożenia azotem na plon ziarna owsa w optymalnych i niekorzystnych warunkach pogodowych w latach 2015–2019 (t·ha⁻¹)Table 47. Influence of cultivar and nitrogen fertilization on oat grain yield under optimal and unfavourable weather conditions in 2015–2019 (t·ha⁻¹)

Czynnik Factor	Poziom Level	Plon przewidywany w warunkach pogodowych optymalnych Yield expected in optimal weather conditions	Plon utracony na skutek niekorzystnych warunków pogodowych Yield lost due to unfavourable weather conditions
Forma Form	oplewiona – hulled	4,4 ^a	0,74 ^a
	nieoplewiona – naked	2,8 ^b	0,47 ^b
Nawożenie azotem (kg·ha ⁻¹) Nitrogen fertilization (kg·ha ⁻¹)	0	2,96 ^d	0,50 ^d
	50	3,51 ^c	0,60 ^c
	100	3,84 ^b	0,65 ^b
	150	4,01 ^a	0,68 ^a

a, b – jednorodne grupy, brak grupy – brak różnic istotnych.

a, b – homogenous groups, lack of groups – no statistically significant differences.

4.2.8. Produktywność wody

Produktywność opadów atmosferycznych wyliczono na podstawie sumy opadów przypadających w okresie od siewu do zbioru. Przyrosty plonów niezbędne do obliczenia jednostkowej produktywności wody określono z różnicy plonów z obiektów deszczowanych i niedeszczowanych (kontrolnych). Produktywność jednostkową deszczowanej wody obliczono, dzieląc zwyżkę plonu uzyskaną pod wpływem deszczowania przez wielkość sezonowej dawki nawodnień (tab. 48). Uzyskane wyniki wskazują na zmienność produktywności opadów, uwarunkowaną zmiennością ogółu czynników pogodowych, w tym wielkością i rozkładem opadów w latach badań. Średnio za lata badań produktywność opadów naturalnych wynosiła 13,12 kg·ha⁻¹ na 1 mm opadu i była wyższa w porównaniu z produktywnością wody z deszczowania. Produktywność ta była zmienna w latach i wahała się od 10,28 kg do 16,60 kg ziarna na 1 mm opadu. Produktywność wody z deszczowania była mniejsza i wynosiła średnio 7,48 kg ziarna/1 mm wody przy wahaniach od 0,17 do 14,11 kg/ha na 1 mm wody. Produktywność wody z deszczowania stanowiła od 1,6% (w 2016 r.) do 132,8% (w 2018 r.) produktywności opadów naturalnych. Niekorzystny układ warunków pogodowych w latach badań (małe opady i nierównomierne ich rozłożenie) uwarunkował wysoką produktywność wody z deszczowania, która stanowiła średnio 50,47% produktywności opadów. Odmiany różnie reagowały na nawadnianie. Produktywność wody była niemal osiem razy większa przy stosowaniu nawożenia azotem

w dawce 100 kg N·ha⁻¹ u odmiany owsa oplewionego, a w przypadku nieoplewionego prawie czterokrotnie większa przy dawce 50 kg N·ha⁻¹. Wyraźnie mniejszy efekt deszczowania uzyskano w przypadku odmiany owsa nieoplewionego (tab. 49). O pozytywnym efekcie stosowania nawadniania, obok wpływu na wielkość plonu, świadczy także prawie o połowę mniejsza zmienność plonu ziarna, liczby ziarn na roślinie i masy tysiąca ziarn, zarówno owsa oplewionego, jak i nagiego, niż w warunkach nienawadnianych (tab. 16–17). Można zatem uznać, że nawadnianie było czynnikiem silnie stabilizującym większość analizowanych cech.

Tabela 48. Produktyność wody z opadów naturalnych i deszczowania owsa (kg·mm⁻¹) w latach 2013–2019
Table 48. Productivity of water from natural precipitation and oat irrigation (kg·mm⁻¹) in 2013–2019

Rok Year	Opad (mm) Precipitation (mm)	Woda z deszczowania (mm) Irrigation (mm)	Produktyność 1 mm wody Productivity of water 1 mm		Wskaźnik produktywności wody z deszczowania Productivity index of irrigation
			opad precipitation	deszczowanie irrigation	
2013	294,8	60	15,66	0,55	3,5
2014	328,4	54	15,32	18,63	121,6
2015	226,8	-	16,60	-	-
2016	353,4	70	10,28	0,17	1,6
2017	415,6	135	10,34	3,04	29,4
2018	161,3	125	10,62	14,11	132,8
2019	172,6	140	12,99	8,36	64,4
Średnia – Average			13,12	7,48	50,5

Tabela 49. Produktyność wody z deszczowania owsa w latach 2013–2019
Table 49. Productivity of water used for oat irrigation in 2013–2019

Nawożenie azotem Nitrogen fertilization (kg·ha ⁻¹)	Forma – Form			
	oplewiona – hulled		nieoplewiona – naked	
	kg·mm ⁻¹	%	kg·mm ⁻¹	%
0	2,36	100	2,66	100
50	9,95	421	9,01	339
100	19,28	815	7,17	270
150	13,98	591	8,49	319
Średnia – Average	11,39		6,83	

4.2.9. Zawartość składników organicznych i popiołu w ziarnie

Na podstawie przeprowadzonych analiz zawartości składników organicznych i popiołu w ziarnie owsa zauważyć można zróżnicowany wpływ deszczowania, formy owsa i nawożenia azotem na koncentrację poszczególnych składników (tab. 50). Analiza statystyczna wykazała, że czynniki te oddziaływały na skład chemiczny ziarna niezależnie od siebie. Deszczowanie istotnie modyfikowało jedynie zawartość tłuszczu surowego w ziarnie, natomiast formy owsa przeciwnie – różniły się zawartością wszystkich składników z wyjątkiem tłuszczu surowego. Nawożenie azotem istotnie wpływało na zawartość białka, włókna i tłuszczu w ziarnie owsa (tab. 50). Uzyskane wyniki wykazały, że deszczowanie zmniejszało zawartość tłuszczu surowego. U formy nieoplewionej owsa odnotowano większą zawartość włókna, bezazotowych związków wyciągowych oraz popiołu w porównaniu do formy nagiej, która z kolei charakteryzowała się większą zawartością białka ogólnego. Wzrost dawki azotu powodował zwiększanie zawartości białka, włókna i tłuszczu surowego w ziarnie owsa (tab. 51).

Tabela 50. Analiza wariancji dla zawartości składników organicznych i popiołu w ziarnie owsa w zależności od wariantu wodnego, odmiany i nawożenia azotem (w % s.m.) w latach 2015–2019

Table 50. Analysis of variance for content of organic components and ash in oat grain depending on the water variant, cultivar and nitrogen fertilization (in % DM) in 2015–2019

Źródło zmienności Source of variability	Empiryczny poziom istotności p (wartość – p) Empirical significance level p (value – p)				
	białko ogólne crude protein	włókno surowe crude fibre	tłuszcz surowy crude lipids	beazotowe związki wyciągowe nitrogen-free extract	popiół ash
Rok – Year	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
Wariant wodny Water variant	0,7529	0,7308	0,0149*	0,8492	0,1177
Forma – Form	0,0000*	0,0466*	0,3808	0,0000*	0,0002*
Nawożenie Fertilization	0,0293*	0,0000*	0,0003*	0,2098	0,6183
R × W	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
R × F	0,0580	0,1610	0,1610	0,0000*	0,0196
W × F	0,9918	0,7568	0,1588	0,6741	0,1527
R × N	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
W × N	0,4001	0,4485	0,4764	0,5145	0,4497
F × N	0,9248	0,5394	0,4439	0,9765	0,9907
R × W × F	0,0000*	0,0001*	0,0001*	0,0362	0,0001*
R × W × N	0,1514	0,5073	0,5073	0,3408	0,7418

Tabela 50. cd.
Table 50. cont.

R × F × N	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0120	0,0000*
W × F × N	0,7536	0,5988	0,4682	0,7633	0,9462
R × W × F × N	0,0552	0,1230	0,1230	0,4000	0,0772

R – rok; W – wariant wodny; F – forma; N – nawożenie.

*Różnice istotne statystycznie na poziomie istotności $p < 0,01$.

R – year; W – water variant; F – form; N – fertilization.

*Statistically significant differences at the significance level $p < 0,01$

Tabela 51. Zawartość składników organicznych i popiołu w ziarnie owsa w zależności od wariantu wodnego, odmiany i nawożenia azotem (w % s.m.) w latach 2015–2019

Table 51. Organic components and ash content in oat grain depending on water variant, cultivar and nitrogen fertilization (% DM) in 2015–2019

Czynnik Factor	Poziom Level	Białko ogólne Crude protein	Włókno surowe Crude fibre	Tłuszcz surowy Crude lipids	Bezazotowe związki wyciągowe Nitrogen-free extract	Popiół Ash
Wariant wodny Water variant	niedeszczowany non-irrigated	13,84 ^a	12,51 ^a	3,01 ^a	66,81 ^a	2,48 ^a
	deszczowany irrigated	13,98 ^a	12,54 ^a	2,82 ^b	66,90 ^a	2,61 ^a
Forma Form	oplewiona hulled	11,97 ^a	12,60 ^a	2,88 ^a	68,60 ^a	2,71 ^a
	nieoplewiona naked	15,85 ^a	12,45 ^b	2,95 ^a	65,11 ^b	2,39 ^b
Nawożenie azotem Nitrogen fertiliza- tion (kg·ha ⁻¹)	0	13,16 ^b	12,97 ^a	2,72 ^c	67,31 ^a	2,60 ^a
	50	13,35 ^b	12,74 ^b	2,78 ^{bc}	67,41 ^a	2,47 ^a
	100	14,27 ^{ab}	12,33 ^c	2,98 ^{ab}	66,58 ^a	2,59 ^a
	150	14,86 ^a	12,07 ^d	3,19 ^a	66,12 ^a	2,52 ^a

a, b – jednorodne grupy.

a, b – homogenous groups.

4.2.10. Plon białka

Plony białka owsa wyrażono jako iloczyn plonu suchej masy z poszczególnych obiektów doświadczalnych oraz koncentracji białka w suchej masie. Analiza statystyczna wykazała, że wielkość plonu białka uzyskanego w ziarnie zależała od wariantu wodnego, formy owsa i nawożenia azotem, a ponadto od interakcji tych czynników, z wyjątkiem współdziałania wariantu wodnego i formy owsa. Z kolei plon białka uzyskany ze słomy był zależny od formy owsa i nawożenia oraz współdziałania tych czynników (tab. 52).

Deszczowanie zwiększało plon białka na każdym z obiektów nawozowych (tab. 53). Przyrost plonu pod wpływem deszczowania zależał jednak od nawożenia azotem, i na kontroli (20%) był podobny do przyrostu po zastosowaniu najwyższej dawki (20,23%). Największy przyrost plonu białka odnotowano przy dawce 50 kg N·ha⁻¹ i wyniósł on 31,79%.

Na wielkość plonu białka u obu form owsa również korzystnie oddziaływało wzrastające nawożenie azotem. Większy przyrost plonu białka po wniesieniu najwyższej z badanych dawek azotu wystąpił u formy nieoplewionej i wyniósł on 254,58 kg·ha⁻¹. O wielkości plonu białka w większym stopniu decydowały zmiany w plonie suchej masy niż zmiany koncentracji białka surowego w suchej masie ziarna ocenianych form owsa. Zebrany plon białka ziarna owsa u formy oplewionej był wyższy o 130,22 kg·ha⁻¹ w stosunku do formy nagiej (tab. 54).

Z rachunku regresji wynika, że zależność plonu białka od nawożenia azotem w obu wariantach wodnych miała charakter prostoliniowy (rys. 14). Wzrost nawożenia azotem o 1 kg N·ha⁻¹, w granicach stosowanych dawek, powodował przyrost plonu białka u owsa niedeszczowanego o 0,74 kg·ha⁻¹, a w warunkach deszczowania o 1,22 kg·ha⁻¹. Na podstawie wartości teoretycznych wyliczonych rachunkiem regresji dla obu form owsa można oczekiwać prostoliniowego wzrostu plonu białka wraz ze zwiększaniem nawożenia azotem (rys. 15). Wyliczone współczynniki regresji wskazują, że zwiększenie nawożenia o 1 kg N·ha⁻¹ powoduje wzrost plonu białka u formy oplewionej o 0,34 kg·ha⁻¹, natomiast u formy nieoplewionej o 1,6 kg·ha⁻¹.

Tabela 52. Analiza wariancji dla plonu białka owsa w zależności od badanych czynników w latach 2015–2019
Table 52. Analysis of variance for oat protein yield depending on the tested factors in 2015–2019

Źródło zmienności Source of variability	Empiryczny poziom istotności p (p – wartość) Empirical significance level p (p – value)	
	plon białka z ziarna (kg·ha ⁻¹) yield of grain protein	plon białka ze słomy (kg·ha ⁻¹) yield of straw protein
Rok – Year	0,0000*	0,0000*
Wariant wodny – Water variant	0,0000*	0,1231
Forma – Form	0,0000*	0,0013*
Nawożenie – Fertilization	0,0000*	0,0000*
R × W	0,0000*	0,0000*
R × F	0,0000*	0,0000*
W × F	0,3636	0,1179
R × N	0,0009*	0,0009*
W × N	0,0245	0,6883
F × N	0,0000*	0,1785
R × W × F	0,0000*	0,0000*
R × W × N	0,0000*	0,0000*

Tabela 52. cd.
Table 52. cont.

R × F × N	0,0000*	0,0000*
W × F × N	0,9388	0,7189
R × W × F × N	0,0000*	0,0000*

R – rok; W – wariant wodny; F – forma; N – nawożenie.

*Różnice istotne statystycznie na poziomie istotności $p < 0,01$.

R – year, W – water variant; F – form; N – fertilization.

*Statistically significant differences at the significance level $p < 0.01$.

Tabela 53. Wpływ wariantu wodnego i nawożenia azotem na plon białka ziarna owsa w latach 2015–2019 ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)
Table 53. Influence of water variant and nitrogen fertilization on protein yield of oats in 2015–2019 ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Wariant wodny Water variant	Nawożenie azotem Nitrogen fertilization ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)				Średnia Average
	0	50	100	150	
Plon białka ziarna – Yield of grain protein					
Niedoszczowany – Non-irrigated	369,41 ^c	350,87 ^c	407,56 ^c	474,40 ^b	400,56 ^b
Deszczowany – Irrigated	412,56 ^c	514,36 ^b	579,72 ^a	594,74 ^a	525,35 ^A
Średnia – Average	390,98 ^D	432,61 ^C	493,64 ^B	534,57 ^A	-
Plon białka słomy – Yield of straw protein					
Niedoszczowany – Non-irrigated	88,30 ^d	127,60 ^{cd}	160,68 ^c	206,39 ^{ab}	145,74 ^A
Deszczowany – Irrigated	125,34 ^{cd}	136,54 ^c	165,68 ^{bc}	219,68 ^a	161,81 ^A
Średnia – Average	106,82 ^c	132,07 ^c	163,18 ^b	213,03 ^a	

a, b – jednorodne grupy, A, B – jednorodne grupy dla średnio.

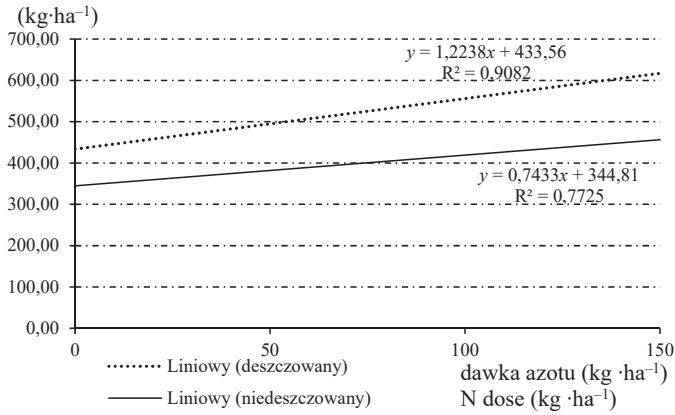
a, b – homogenous groups, A, B – homogenous groups for average.

Tabela 54. Wpływ formy owsa i nawożenia azotem na plon białka w latach 2015–2019 ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)
Table 54. Influence of oat form and nitrogen fertilization on protein yield of oats in 2015–2019 ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

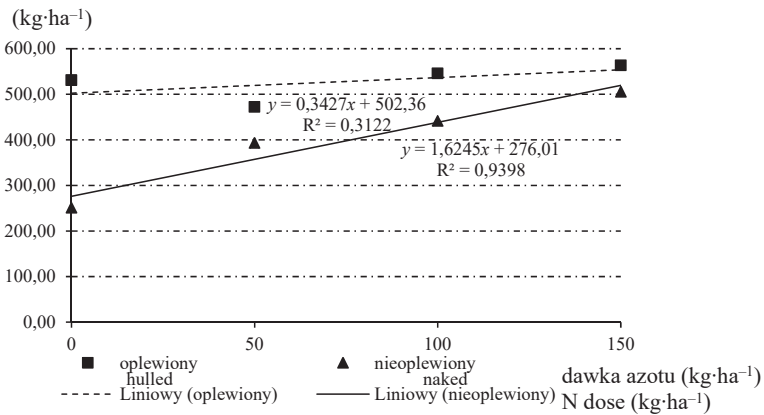
Forma Form	Nawożenie azotem Nitrogen fertilization ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)				Średnio Average
	0	50	100	150	
Plon białka ziarna – Yield of grain protein					
Oplewiona – Hulled	530,90 ^{ab}	472,15 ^{bc}	545,72 ^a	563,49 ^a	528,06 ^A
Nieoplewiona – Naked	251,07 ^e	393,08 ^d	441,57 ^{cd}	505,65 ^{ab}	397,84 ^B
Średnia – Average	390,98 ^D	432,61 ^C	493,64 ^B	534,57 ^A	
Plon białka słomy – Yield of straw protein					
Oplewiona – Hulled	118,50 ^d	162,94 ^{bc}	188,72 ^{ab}	214,44 ^a	171,15 ^A
Nieoplewiona – Naked	95,14 ^d	101,19 ^d	137,64 ^{cd}	211,62 ^a	136,40 ^B
Średnia – Average	106,82 ^c	132,07 ^c	163,18 ^b	213,03 ^a	

a, b – jednorodne grupy, A, B – jednorodne grupy dla średniej.

a, b – homogenous groups, A, B – homogenous groups for average.



Rys. 14. Plon białka owsa w zależności od wariantu wodnego i nawożenia azotem w latach 2015–2019
 Fig. 14. Oat protein yield depending on water variant and nitrogen fertilization in 2015–2019



Rys. 15. Plon białka owsa w zależności od formy owsa i nawożenia azotem w latach 2015–2019
 Fig. 15. Oat protein yield depending on the form of oats and nitrogen fertilization in 2015–2019

4.2.11. Wartość energetyczna plonu ziarna

Plon wyrażony w jednostkach energii (GJ) modyfikowany był przez deszczowanie, formę owsa i nawożenie azotem oraz przez współdziałanie tych czynników (tab. 55). U obu ocenianych form owsa wartość energetyczna plonu zwiększała się pod wpływem deszczowania o 23,2% i 22,1%, odpowiednio u formy oplewionej i nieoplewionej. Wartość energetyczna plonu ziarna owsa oplewionego była o 36% wyższa niż formy nagiej. Wzrost

plonu energii pod wpływem deszczowania wyniósł średnio 22,9% (tab. 56). Przyrost ten wzrastał pod wpływem nawożenia, od 9,5% na obiekcie kontrolnym do 17,7% przy dawce 100 kg N·ha⁻¹. Zwiększanie dawki azotu do najwyższej z uwzględnionych w badaniach, zarówno na obiektach deszczowanych, jak i niedeszczowanych nie powodowało istotnego wzrostu wartości energetycznej plonu owsa (tab. 57). U formy oplewionej owsa zwiększanie dawki do 100 kg N·ha⁻¹ powodowało przyrost wartości energetycznej plonu owsa o 31,8%, natomiast u formy nieoplewionej przyrost ten wyniósł 37,2% przy najwyższej z badanych dawek azotu (tab. 58). Przebieg krzywych regresji wskazuje, że optymalny poziom nawożenia azotem dla uzyskania największej wartości energetycznej owsa w warunkach deszczowanych wyniósł 123,3 kg N·ha⁻¹ (rys. 16), natomiast niezależnie od wariantu wodnego dla formy oplewionej 127,8 kg N·ha⁻¹ (rys. 17). Wyliczone współczynniki regresji wskazują, że zwiększenie nawożenia o 1 kg N·ha⁻¹ powoduje w warunkach niedeszczowanych wzrost wartości energetycznej owsa o 0,08 GJ·ha⁻¹, a formy nieoplewionej niezależnie od wariantu wodnego o 0,10 GJ·ha⁻¹ (rys. 16–17).

Tabela 55. Analiza wariancji dla wartości energetycznej plonu owsa w zależności od badanych czynników w latach 2015–2019
Table 55. Analysis of variance for energy value of oat yield depending on the analyzed factors in 2015–2019

Źródło zmienności Source of variability	Empiryczny poziom istotności <i>p</i> (wartość – <i>p</i>) Empirical significance level <i>p</i> (<i>p</i> – value)
	Wartość energetyczna plonu (GJ·ha ⁻¹) Energy value of yield (GJ·ha ⁻¹)
Rok – Year	0,0000*
Wariant wodny – Water variant	0,0000*
Forma – Form	0,0000*
Nawożenie – Fertilization	0,0000*
R × W	0,0000*
R × F	0,0000*
W × F	0,0000*
R × N	0,0000*
W × N	0,0000*
F × N	0,0003*
R × W × F	0,0000*
R × W × N	0,0000*
R × F × N	0,0000*
W × F × N	0,0000*
R × W × F × N	0,0000*

R – rok; W – wariant wodny; F – forma; N – nawożenie.

*Różnice istotne statystycznie na poziomie istotności $p < 0,01$.

R – year, W – water variant; F – form; N – fertilization.

*Statistically significant differences at the significance level $p < 0.01$.

Tabela 56. Wpływ wariantu wodnego i formy owsa na wartość energetyczną plonu w latach 2015–2019
 Table 56. Influence of water variant and oat form on the energy value of yield in 2015–2019

Forma Form	Wariant wodny Water variant		Średnia Average
	niedeszczowany non-irrigated	deszczowany irrigated	
Oplewiona – Hulled	50,3 ^b	65,5 ^a	57,9 ^A
Nieoplewiona – Naked	32,4 ^d	41,6 ^c	37,0 ^B
Średnia – Average	41,3 ^B	53,6 ^A	

a, b – jednorodne grupy, A, B – jednorodne grupy dla średniej.
 a, b – homogenous groups, A, B – homogenous groups for average.

Tabela 57. Wpływ wariantu wodnego i nawożenia azotem na wartość energetyczną plonu owsa w latach 2015–2019
 Table 57. Influence of water variant and nitrogen fertilization on energy value of oat yield in 2015–2019

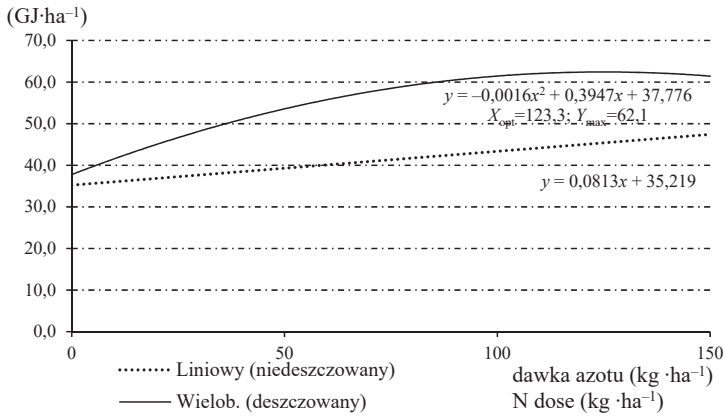
Wariant wodny Water variant	Nawożenie azotem Nitrogen fertilization (kg·ha ⁻¹)				Średnia Average
	0	50	100	150	
Niedeszczowany – Non-irrigated	34,3 ^c	40,2 ^d	44,2 ^c	46,5 ^c	41,3 ^B
Deszczowany – Irrigated	37,9 ^d	53,1 ^b	61,9 ^a	61,3 ^a	53,6 ^A
Średnia – Average	36,1 ^C	46,7 ^B	53,1 ^A	53,9 ^A	

a, b – jednorodne grupy, A, B – jednorodne grupy dla średniej.
 a, b – homogenous groups, A, B – homogenous groups for average.

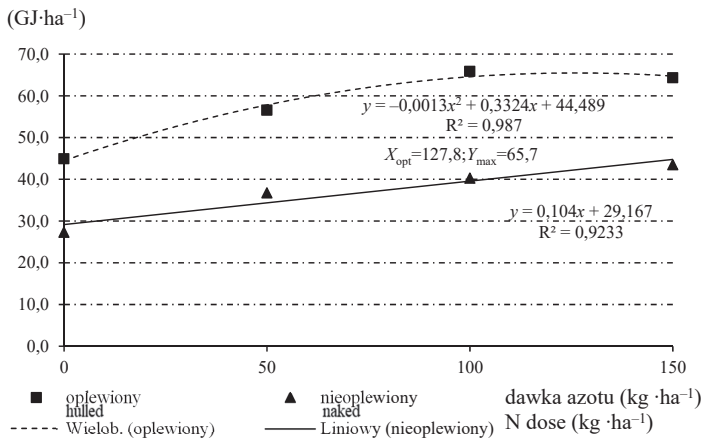
Tabela 58. Wpływ formy owsa i nawożenia azotem na wartość energetyczną plonu owsa w latach 2015–2019
 Table 58. Influence of form of oats and nitrogen fertilization on energy value of oat yield in 2015–2019

Forma Form	Nawożenie azotem Nitrogen fertilization (kg·ha ⁻¹)				Średnia Average
	0	50	100	150	
Oplewiona – Hulled	44,9 ^c	56,6 ^b	65,8 ^a	64,3 ^a	57,9 ^A
Nieoplewiona – Naked	27,3 ^f	36,8 ^e	40,3 ^d	43,5 ^c	37,0 ^B
Średnia – Average	36,1 ^C	46,7 ^B	53,1 ^A	53,9 ^A	

a, b – jednorodne grupy, A, B – jednorodne grupy dla średniej.
 a, b – homogenous groups, A, B – homogenous groups for average.



Rys. 16. Wartość energetyczna plonu owsa w zależności od wariantu wodnego i nawożenia azotem w latach 2015–2019
 Fig. 16. Energy value of oat yield depending on water variant and nitrogen fertilization in 2015–2019



Rys. 17. Wartość energetyczna plonu owsa w zależności od formy owsa i nawożenia azotem w latach 2015–2019
 Fig. 17. Energy value of oat yield depending on form of oats and nitrogen fertilization in 2015–2019

4.2.12. Efektywność nawożenia azotem

Produkcyjną skuteczność zastosowanego nawożenia azotem u owsa wyrażono wskaźnikiem efektywności rolniczej, którego istotą jest ocena przyrostu plonu ziarna na jednostkę zastosowanego azotu w nawozach.

Analizując efektywność rolniczą azotu badanych form owsa, wykazano zmniejszenie jej wartości wraz ze wzrostem dawek azotu dla obu form owsa (tab. 59). U formy oplewionej na dawce $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ efektywność ta wynosiła $18,5 \text{ kg}$ ziarna, a na dawce $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ już tylko $9,8 \text{ kg}$ ziarna. U formy nieoplewionej odnotowano niższą wartość tego wskaźnika odpowiednio dla porównywanych dawek z $13,5 \text{ kg}$ do $7,6 \text{ kg}$ ziarna. Forma oplewiona cechowała się wyższą efektywnością rolniczą azotu w porównaniu do nieoplewionej. W przedziale dawek $100\text{--}150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ produktywność azotu okazała się ujemna u formy oplewionej, a u nieoplewionej zmniejszyła się do $1,5 \text{ kg}$ ziarna.

Kolejne mierniki skuteczności nawożenia, takie jak wskaźnik efektywności fizjologicznej azotu oraz wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez owies, przedstawiono na tle czynnika wodnego oraz form owsa w tabelach 60 i 61. Efektywność fizjologiczna, podobnie jak rolnicza, wzrastała pod wpływem deszczowania dla dawek 50 , 100 i $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, odpowiednio o $29,2\%$, $35,1\%$ i $26,7\%$. Efektywności fizjologiczna oraz rolnicza spadały wraz ze zwiększaniem zastosowanej dawki azotu w obu ocenianych wariantach wodnych oraz formach owsa (tab. 60). Najwyższą efektywność fizjologiczną dla każdej ze stosowanych dawek stwierdzono w wariantcie deszczowanym i wahała się ona od $56,1 \text{ kg}$ dla dawki $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ do $40,5 \text{ kg}$ dla najwyższej z zastosowanych dawek. Przy uprawie owsa w warunkach opadu wartości te zmieniały się odpowiednio od $39,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ do $29,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Należy więc zauważyć, że zarówno rolnicza, jak i fizjologiczna efektywność azotu były mniejsze w warunkach niedeszczowanych. Największą efektywność fizjologiczną azotu wykazywała forma oplewiona owsa przy najniższej dawce i wyniosła ona $55,8 \text{ kg}$ ziarna- kg N^{-1} . Zwiększanie nawożenia azotem z trzeciego do czwartego poziomu ($100\text{--}150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) u formy nieoplewionej owsa podniosło wartość efektywności fizjologicznej azotu ponadtrzykrotnie ($3,17$) w porównaniu do formy oplewionej.

Na podstawie stosunku efektywności rolniczej do efektywności fizjologicznej obliczono stopień wykorzystania azotu z nawozów mineralnych (tab. 61). Użycie azotu z nawozów było większe w warunkach deszczowania niż w warunkach opadu i zmniejszało się w miarę podwyższania poziomu nawożenia w porównaniu do obiektu kontrolnego bez nawożenia. Przy uprawie owsa bez deszczowania wskaźnik wykorzystania azotu dla najmniejszej z zastosowanych dawek wynosił $23,9\%$, a w warunkach deszczowania osiągnął wartość $45,4\%$. Podobnie jak inne mierniki efektywności nawożenia, również i wartość tego wskaźnika zmniejszała się wraz ze zwiększaniem dawki azotu u obu form owsa, z wyjątkiem wniesienia $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ w uprawie owsa oplewionego, po którym nastąpiło największe wykorzystanie azotu (34%).

Tabela 59. Efektywność rolnicza nawożenia azotem owsa (kg ziarna·kg N⁻¹) w latach 2015–2019Table 59. Agricultural efficiency of oats nitrogen fertilization (kg grain·kg N⁻¹) in 2015–2019

Wariant wodny – Water variant	Nawożenie azotem Nitrogen fertilization (kg·ha ⁻¹)				
	0–50	0–100	0–150	50–100	100–150
Niedeszczowany – Non-irrigated	9,2	7,3	5,8	2,7	1,0
Deszczowany – Irrigated	22,8	17,7	11,5	6,4	-
Forma – Form	0–50	0–100	0–150	50–100	100–150
Oplewiona – Hulled	18,5	15,8	9,8	6,6	-
Nieoplewiona – Naked	13,5	9,2	7,6	2,5	1,5

Tabela 60. Efektywność fizjologiczna nawożenia azotem owsa (kg ziarna·kg N⁻¹) w latach 2015–2019Table 60. Physiological efficiency of oats nitrogen fertilization (kg grain·kg N⁻¹) in 2015–2019

Wariant wodny Water variant	Nawożenie azotem Nitrogen fertilization (kg·ha ⁻¹)				
	0–50	0–100	0–150	50–100	100–150
Niedeszczowany – Non-irrigated	39,7	29,8	29,7	20,6	30,8
Deszczowany – Irrigated	56,1	45,9	40,5	31,3	3,3
Forma – Form	0–50	0–100	0–150	50–100	100–150
Oplewiona – Hulled	55,8	43,8	39,2	33,0	7,4
Nieoplewiona – Naked	40,0	31,9	31,0	18,9	26,7

Tabela 61. Wykorzystanie azotu z nawozu (%) w latach 2015–2019

Table 61. Utilization of nitrogen from fertilizer (%) in 2015–2019

Wariant wodny Water variant	Nawożenie azotem Nitrogen fertilization (kg·ha ⁻¹)				
	0–50	0–100	0–150	50–100	100–150
Niedeszczowany – Non-irrigated	23,9	25,2	20,4	13,3	3,6
Deszczowany – Irrigated	45,4	37,6	28,9	14,8	3,9
Forma – Form	0–50	0–100	0–150	50–100	100–150
Oplewiona – Hulled	33,3	34,0	24,4	17,3	1,8
Nieoplewiona – Naked	36,0	28,8	24,9	10,8	5,7

4.2.13. Wartość siewna ziarna

Analiza statystyczna wykazała, że nawadnianie, forma owsa oraz nawożenie azotem modyfikowały wartość siewną ziarna owsa (tab. 62). Niewielki, aczkolwiek statystycznie istotny wzrost energii i zdolności kiełkowania, uzyskano pod wpływem deszczowania i wyniósł on odpowiednio 3,1 i 2,7 punktów procentowych. Ziarno obu form owsa charakteryzowało się podobną energią i zdolnością kiełkowania oraz udziałem ziarna gnijącego i pleśniejącego, natomiast większy udział ziarna nienormalnie kiełkującego i zdrowego niekiełkującego odnotowano u formy oplewionej (tab. 63). Zwiększanie nawożenia azotem do maksymalnej z badanych dawek azotu sprzyjało zwiększaniu energii i zdolności kiełkowania ziarna oraz zmniejszeniu udziału ziarna nienormalnie kiełkującego i zdrowego niekiełkującego.

Tabela 62. Analiza wariancji dla wartości siewnej ziarna owsa w zależności od badanych czynników w latach 2015–2019
Table 62. Analysis of variance for sowing value of oat grain depending on tested factors in 2015–2019

Źródło zmienności Source of variability	Empiryczny poziom istotności p (p – wartość) Empirical significance level p (p – value)				
	energia kiełkowania germination energy	zdolność kiełkowania germination capacity	ziarno gnijące i pleśniejące grain rotting and molding	ziarno nienormalnie kiełkujące grain germina- ting abnormally	ziarno zdrowe niekiełkujące healthy, non-germina- ting grain
Rok – Year	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
Wariant wodny Water variant	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,8862	0,0100
Forma – Form	0,5120	0,1590	0,1590	0,0065*	0,0002*
Nawożenie Fertilization	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
R × W	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
R × F	0,0580	0,1610	0,1610	0,0000*	0,0196
W × F	0,0700	0,0011*	0,0011*	0,0232	0,0376
R × N	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
W × N	0,2154	0,2847	0,2847	0,2193	0,2507
F × N	0,0237	0,1888	0,1880	0,8100	0,0000*
R × W × F	0,0000*	0,0001*	0,0001*	0,0362	0,0001*
R × W × N	0,1514	0,5073	0,5073	0,3408	0,7418
R × F × N	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0120	0,0000*
W × F × N	0,0892	0,1899	0,1899	0,8785	0,0084*
R × W × F × N	0,0587	0,1231	0,1231	0,4070	0,0056*

R – rok; W – wariant wodny; F – forma; N – nawożenie.

*Różnice istotne statystycznie na poziomie istotności $p < 0,01$.

R – year; W – water variant; F – form; N – fertilization.

*Statistically significant differences at the significance level $p < 0.01$.

Tabela 63. Wpływ wariantu wodnego, formy owsa i nawożenia azotem na wartość siewną ziarna w latach 2015–2019
 Table 63. Influence of water variant, oat form and nitrogen fertilization on sowing value of grain in 2015–2019

Czynnik Factor	Poziom Level	Energia kiełkowania Germination energy	Zdolność kiełkowania Germination capacity	Ziarno gnijące i pleśniejące Grain rotting and molding	Ziarno nienormalnie kiełkujące Grain germina- ting abnormally	Ziarno zdrowe niekiełkujące Healthy, non- germinating grain
Wariant wodny	niedeszczowany non-irrigated	86,2 ^b	91,3 ^b	6,0 ^a	2,0 ^a	0,6 ^a
	deszczowany irrigated	89,3 ^a	94,0 ^a	3,6 ^b	2,1 ^a	0,4 ^b
Forma Form	oplewiona hulled	88,0 ^a	92,9 ^a	4,4 ^a	2,3 ^a	0,6 ^a
	nieoplewiona naked	88,9 ^a	92,9 ^a	4,8 ^a	1,9 ^b	0,3 ^b
Nawożenie azotem Nitrogen fertilization (kg·ha ⁻¹)	0	85,8 ^c	91,4 ^c	5,4 ^a	2,7 ^a	0,8 ^a
	50	87,6 ^b	92,8 ^b	4,7 ^{ab}	2,0 ^b	0,5 ^b
	100	88,0 ^b	92,7 ^b	5,0 ^a	1,9 ^b	0,5 ^b
	150	89,6 ^a	93,7 ^a	4,1 ^b	1,7 ^b	0,4 ^b

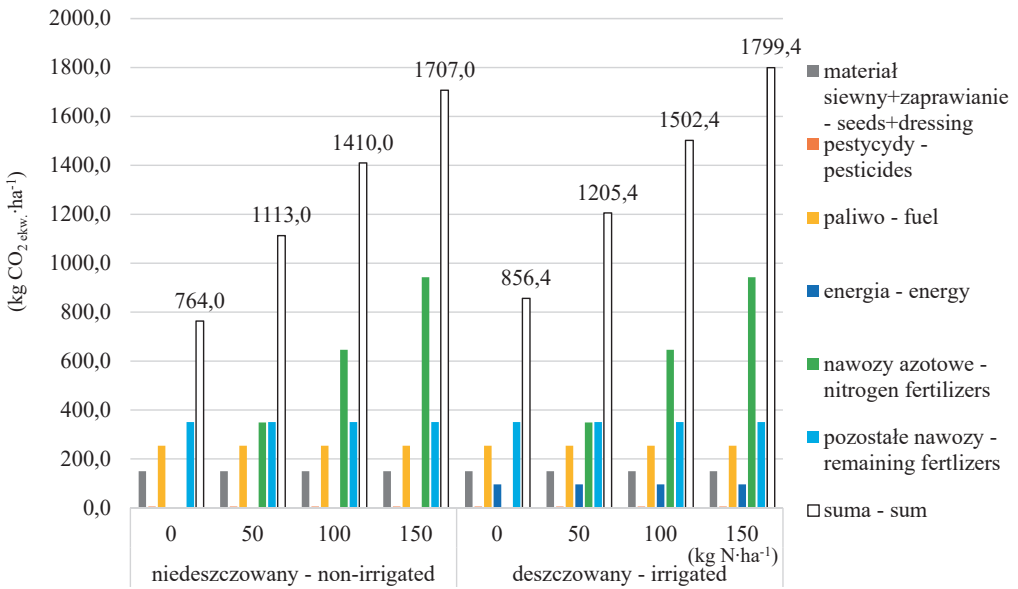
a, b – jednorodnie grupy.

a, b – homogenous groups.

4.3. Emisja gazów cieplarnianych w uprawie owsa

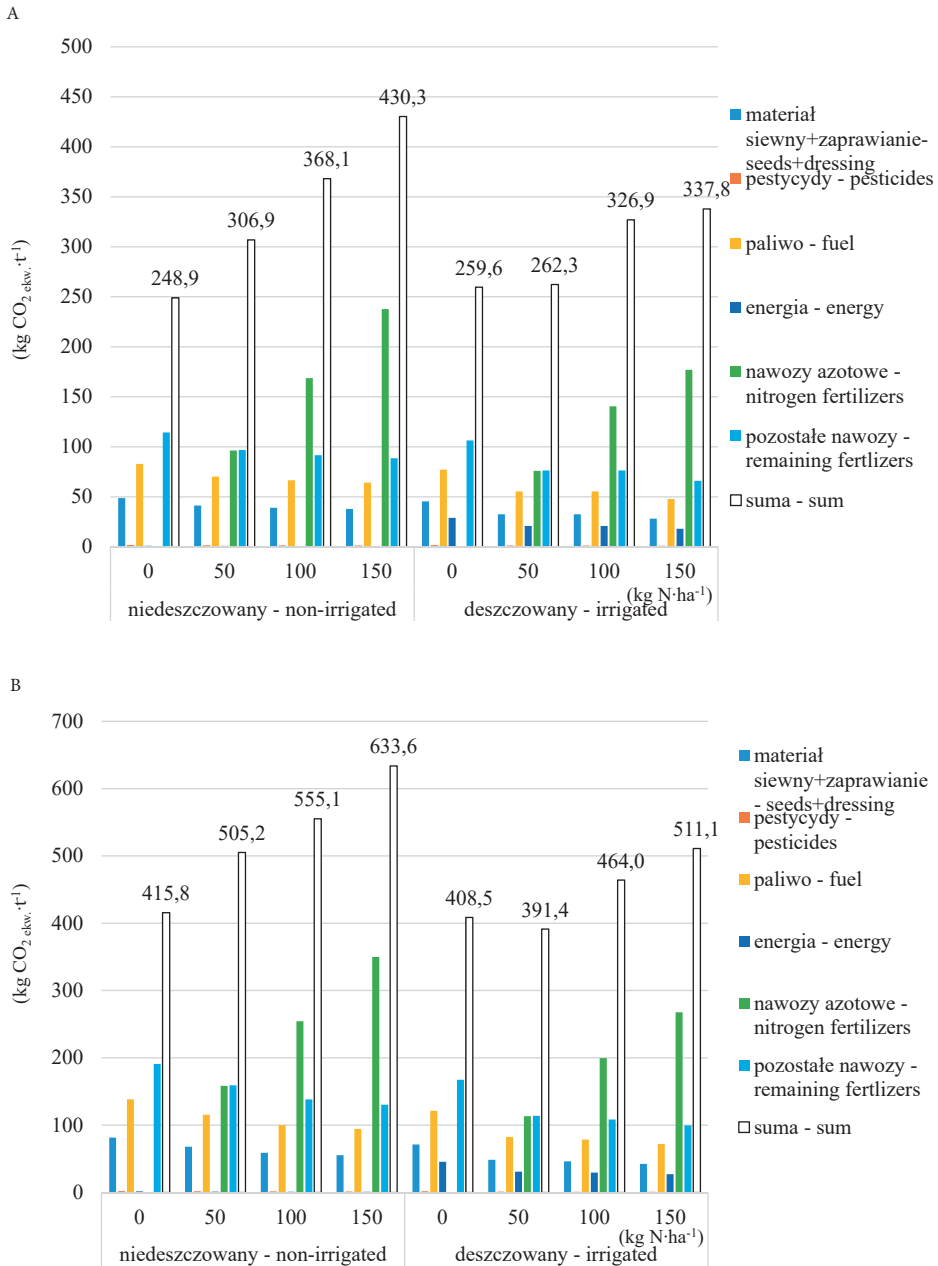
Obliczone średnie wartości emisji CO₂ w uprawie owsa bez nawodnień w odniesieniu do 1 ha powierzchni przy stosowanych dawkach nawożenia azotem: 0, 50, 100 i 150 kg·ha⁻¹ wyniosły odpowiednio 764, 1113, 1410 i 1707 kg CO₂ ekw. (rys. 18). Spośród elementów agrotechniki stosowanych w uprawie owsa nawożenie mineralne azotem miało największy wpływ na wzrost emisji gazów cieplarnianych. Zwiększenie dawki z 0 do 150 kg N·ha⁻¹ generowało największy wzrost emisji wynoszący 55,2 i 52,4%, odpowiednio w wariancie niedeszczowanym i deszczowanym. Ślad węglowy obu form owsa w wariancie deszczowanym zmniejszył się średnio o 11,4% (oplewiony) i 15,9% (nieoplewiony) w porównaniu do warunków bez nawodnienia (rys. 19A–19B). W warunkach deszczowania ślad węglowy owsa oplewionego i nieoplewionego zmniejszył się przy stosowanym zakresie dawek azotu, a największą różnicę stwierdzono przy najwyższej dawce (150 kg N·ha⁻¹), wynoszącą odpowiednio 21,5% i 19,3%. Ślad węglowy owsa oplewionego w uprawie bez dawki azotu zwiększył się o 4,1% w warunkach nawadniania w porównaniu do obiektu bez deszczowania (rys. 19A). W uprawie owsa nagiego wzrost plonu ziarna pod wpływem deszczowania po zastosowaniu 50 kg N·ha⁻¹ przyczynił się do obniżenia śladu węglowego o 22,5% (rys. 19B). Przeprowadzona analiza wykazała,

że dominujące znaczenie w strukturze udziału zabiegów agrotechnicznych w śladzie węglowym miało nawożenie mineralne, w tym głównie nawożenie azotem (rys. 20). Względny udział nawożenia mineralnego przekraczał średnio w obu wariantach deszczowania 43% i 67%, odpowiednio przy braku nawożenia i w warunkach zróżnicowanych dawk azotu. Uprawa i siew ze względu na zużycie paliwa i energii elektrycznej do użytkowania maszyn rolniczych i deszczowania pola były drugim w kolejności komponentem o najwyższym poziomie śladu węglowego. W wariancie deszczowanym ze względu na zużycie energii do pracy deszczowni udział ten był wyższy niż w wariancie bez nawodnień. Pozostałe zabiegi związane z ochroną roślin i zbiorem ziarna miały niewielki wpływ na ślad węglowy. Ich udział wahał się od 0,3% do 0,7%.



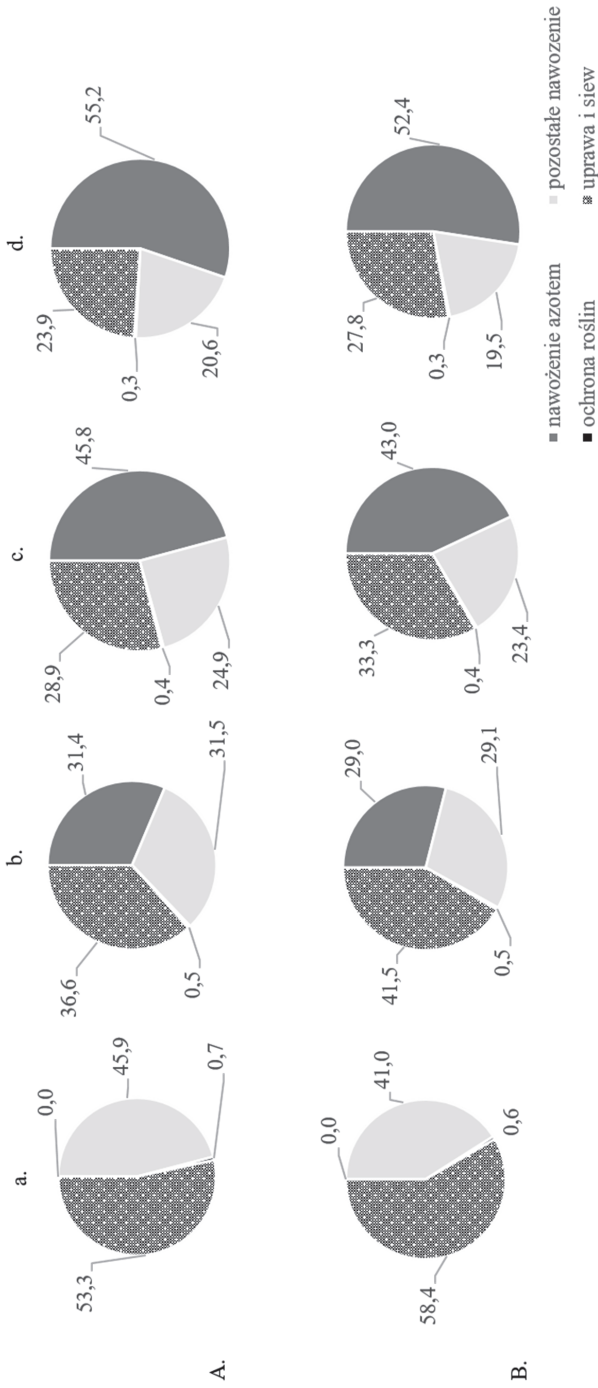
Rys. 18. Emisja gazów cieplarnianych w uprawie w warunkach nawodnienia i zróżnicowanych dawk azotu średnio dla form owsa w latach 2015–2019

Fig. 18. Greenhouse gas emissions in cultivation under irrigation conditions and different nitrogen doses on average for oat forms in 2015–2019



Rys. 19. Ślad węglowy owsa oplewionego (A) i nieoplewionego (B) według zabiegów technologicznych przy zróżnicowanych dawkach azotu i wariantach nawadniania w latach 2015–2019

Fig. 19. Carbon footprint of hulled (A) and naked (B) oats according to technological treatments with different nitrogen doses and irrigation variants in 2015–2019



Rys. 20. Struktura udziału zabiegów technologicznych w śladzie węglowym powstającym przy uprawie owsa w wariancie niedeszczowanym (A) i deszczowanym (B) przy różnicowanych dawkach nawożenia azotem: a. 0, b. 50, c. 100, d. 150 kg-ha⁻¹ w latach 2015–2019.

Fig. 20. Structure of share of technological treatments in the carbon footprint of oats in the non-irrigated (A) and irrigated (B) variants with different nitrogen fertilization doses: a. 0, b. 50, c. 100, d. 150 kg-ha⁻¹ in 2015–2019.

5. Dyskusja

Produktywność roślin zbożowych, w tym owsa, poza warunkami glebowymi i czynnikami agrotechnicznymi w dużej mierze uwarunkowana jest pogodą, a także postępującymi zmianami klimatu, których skutki zależą od regionu oraz systemu uprawy (Olesen i Bindi, 2002). Zmiany w ilości opadów mają wyraźny wpływ na produktywność upraw w suchszych częściach Europy (Trnka i in., 2011), natomiast zmiany temperatur wpływają nie tylko na wzrost i rozwój uprawianego gatunku, ale także na jego specyficzną interakcję z czynnikami biotycznymi i abiotycznymi, zwłaszcza w krytycznych fazach wzrostu (Hakala i in., 2012). W krajobrazie rolniczym wielu krajów europejskich, w tym Polski, od wielu dekad obserwuje się pogorszenie bilansu wodnego, przyczyniającego się do powstania suszy wiosenno-letniej, najczęściej występującej w Wielkopolsce i Kujawach (Kędziora i in., 2014). Faktem jest wzrost temperatury od początku XX w. o ok. 0,9°C (Alcama i in., 2007), a w ostatnim okresie ocieplenie o 0,12°C w ciągu dekady, przy wzroście tempa ocieplania w ostatnich latach (Hausfather i in., 2017). Zmiany w warunkach pogodowych znacznie ograniczają potencjał plonotwórczy dużej części upraw, w tym owsa. Obecnie ograniczeniu skutków niekorzystnych zmian warunków pogodowych mogą sprzyjać działania adaptacyjne, m.in. wprowadzanie do praktyki nowych środków produkcji, nowych odmian roślin uprawnych, rozwiązań agrotechnicznych gwarantujących wykorzystanie potencjału produkcyjnego roślin (Kozyra i in., 2010). Jednym z takich rozwiązań jest nawadnianie pól, które jak dotąd w Polsce odgrywało ważną rolę w łagodzeniu skutków suszy lokalnie na obszarach gleb lekkich w ważnych uprawach ogrodniczych, gdzie okresy suszy prowadzą do znacznych strat w plonach. W latach o skrajnie niskich opadach susza dotyka nawet 40% powierzchni kraju, a średnie zmniejszenie plonów szacuje się na 10–40% w porównaniu do przeciętnego roku (Łabędzki, 2007).

Mimo że owies jest dobrze przystosowany do uprawy na gruntach marginalnych z ubogimi glebami w rejonach o niskich opadach, to nawożenie azotem uznawane jest za czynnik silnie determinujący zarówno plon, jak i jego jakość (Ma i in., 2012a; Zhou i in., 2013). Reakcja roślin owsa na nawożenie azotem jest nadal słabo rozpoznana, częściowo z powodu silnych interakcji genotypowo-środowiskowych (Peterson i in., 2005), przy czym uznaje się, że również w uprawie tego gatunku stanowi to czynnik agrotechnicz-

ny o najsilniejszym działaniu plonotwórczym (Borówczak i in., 1996). Dobór roślin do uprawy na glebach lekkich jest ograniczony, spośród zbóż najczęściej wybiera się owies, a do najczęstszych metod intensyfikacji produkcji gleb lekkich należą nawadnianie i nawożenie mineralne. Nowe odmiany uprawiane na polach nawadnianych gwarantują na glebach nawet bardzo ubogich wysokie plony bardzo wartościowej paszy, przekraczające 200% uzyskiwanych z pól z tradycyjną agrotechniką (Jankowiak 1989; Kaczmarczyk i in., 1996). Z uwagi na odmienny genotyp forma nagoziarnista owsa może mieć inne wymagania co do niektórych czynników agrotechnicznych niż forma oplewiona (Witkowicz i Pisulewska, 2010). Poszerzanie stanu wiedzy i znalezienie rozwiązań agrotechnicznych wykorzystujących potencjał roślin zarówno w korzystnych, jak i trudnych warunkach wilgotnościowych w uprawie owsa jest niezmiernie ważne, szczególnie ze względu na to, że wśród zbóż owies jest gatunkiem wykazującym największą zmienność w składzie ziarna wywołaną zmiennymi warunkami siedliskowymi (Redaelli i in., 2009).

Czynniki wpływające na plonowanie zbóż można podzielić na dwie główne grupy: 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, uzależniona jest m.in. od wyboru odmiany, gospodarowania glebą, stosowania nawozów oraz pełnej ochrony uwzględniającej zwalczanie chwastów, szkodników i patogenów. Warunki pogodowe nie mogą być kontrolowane, jedynie nawadnianie umożliwia poprawę zaopatrzenia roślin w wodę.

Owies wśród zbóż wyróżnia się niewielkimi wymaganiami. Ma tolerancję na niskie temperatury, stąd siewy w Polsce przeprowadza się wcześniej, gdy ziemia rozmarznie i obeschnie. Temperatura niezbędna do kiełkowania ziarna to 2–3°C, jej optimum w okresie krzewienia wynosi 13–18°C, przy czym gatunek ten krzewi się już w temperaturze 3°C (Mazurek, 1993). Wyniki badań sugerują, że optymalna temperatura do uprawy owsa nie powinna być zbyt wysoka, jednak pewne odmiany mogą plonować lepiej przy wyższej temperaturze, co wynika głównie z ich mechanizmu adaptacyjnego (Mela i in. 1996; Saastamoinen, 1998). W badaniach Hellewell i in. (1996) stwierdzono wyższe plony u odmian owsa w temperaturze 15°C dzień/15°C noc niż w temperaturach wyższych 31°C dzień/ 15°C noc. Bardzo wysokie temperatury (powyżej 28°C) w okresie kwitnienia (od tygodnia przed do dwóch tygodni po kłoszeniu) zmniejszyły plon owsa w doświadczeniach Hakala i in. (2020). Z wycień autorów wynika, że każdy dzień z tak wysokimi temperaturami skutkowało obniżeniem plonu ziarna o 56 kg·ha⁻¹. Wysoka temperatura w okresie krzewienia i formowania ziaren wpływa niekorzystnie na plonowanie owsa, poprzez zmniejszenie zarówno liczby, jak i rozmiaru ziaren (Gąsiorowski 1995; Hellewell i in., 1996; Peltonen-Sainio i in., 2011; 2016). Według Olesen i in. (2012) krytyczna temperatura powietrza dla siewu i suma temperatur efektywnych w okresie kwitnienia i dojrzałości zależą od lokalizacji i aktualnej pogody, przy czym dla owsa jest ona najniższa spośród zbóż i wzrasta wraz ze wzrostem szerokości geograficznej. Najsilniejsza reakcja owsa na wzrost średniej rocznej temperatury dotyczy okresu od kwitnienia do dojrzało-

ści. Wysoka temperatura w okresie krzewienia i formowania ziarna wpływa niekorzystnie na wielkość plonu. W dziesięcioletnim okresie badań zaznaczył się wzrost średniej temperatury dobowej o $0,6^{\circ}\text{C}$ w porównaniu do wielolecia, a analiza regresji wskazuje na trend corocznego zwiększania temperatury o $0,13^{\circ}\text{C}$. Siebert i Ewert (2012) na podstawie przebiegu warunków pogodowych z lat 1959–2009 na obszarze Niemiec podobnie zaobserwowali wzrost temperatury w okresie wegetacji owsa (marzec–sierpień) o $0,31^{\circ}\text{C}$ na dekadę, podczas gdy średnia roczna temperatura wzrosła o $0,28^{\circ}\text{C}$ na dekadę. W badaniach własnych współczynniki korelacji wyliczone dla poszczególnych faz rozwojowych owsa wykazały tendencje do skracania czasu ich trwania wraz ze wzrostem temperatury, z wyjątkiem fazy od rozwoju ziarniaków do osiągnięcia dojrzałości woskowej. Podobnie w warunkach pogodowych Niemiec pomiędzy latami 1959 a 2009 czas trwania faz od siewu do dojrzałości woskowej, od wschodów do kłoszenia i od wschodów do dojrzałości woskowej zmniejszył się odpowiednio o 14,2 (11,3%), 7,9 (12,2%) i 13,9 dnia (12,7%), natomiast długość fazy od dojrzałości woskowej do zbioru zwiększyła się z 9,4 dnia w 1959 r. do 14,2 dnia w 2009 r. (Siebert i Ewert, 2012). Podobnie Zhang i in. (2019) w warunkach Chin w latach 1961–2015 zaobserwowali, że na skutek ocieplania skracał się czas trwania rozwoju wegetatywnego owsa o $1,2 \pm 1,9$ dnia w ciągu dekady, a okresu generatywnego o $1,6 \pm 1,5$ dnia, przy skróconym okresie wegetacyjnym o $2,8 \pm 3,4$ dnia na dekadę. Starsze doniesienia podobnie wskazują, że wzrost temperatury skraca okres między kłoszeniem a dojrzałością woskową odmian owsa badanych w różnych szerokościach geograficznych (Bleken i Skjelvåg, 1986), przy czym zwiększenie temperatury z 9°C do 24°C skracało czas trwania fazy od kłoszenia do dojrzałości o ponad 50% (Buras, 1982). Zdaniem Bleken i Skjelvåg (1986) wzrost temperatury powoduje przyspieszenie tempa rozwoju owsa głównie w okresach między siewem a krzewieniem oraz kłoszeniem i dojrzałością woskową, a tym samym skraca czas trwania tych okresów. Obserwowane ocieplenie klimatu w Europie przyspieszyło rozwój wielu gatunków roślin uprawnych (Menzel i in., 2006) i na podstawie szeregu badań prognozuje się, że w warunkach obserwowanych zmian klimatycznych zboża będą przyspieszały kwitnienie i dojrzewanie (Semenov, 2009; Rötter i in., 2011). Na podstawie wieloletnich danych prognozuje się, że wskutek niekorzystnego układu warunków pogodowych wynikających z ocieplenia klimatu możliwa strata plonu u owsa może wynieść $0,26 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Szwejkowski i in., 2008). Zdaniem Kołodzieja i Kuliga (2005) wzrost temperatury powietrza w fazie od wyrzucania wiech do dojrzałości woskowej spowodował obniżenie plonu ziarna i wzrost masy tysiąca ziaren. Dziesięcioletnie badania własne uwiarygadniają uzyskane wyniki. Wzrost temperatury powietrza o 1°C w fazie od grubienia pochwy liściowej liścia flagowego do kłoszenia owsa powodował zniżkę plonu o $1,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Wielu autorów podkreśla istotny wpływ czynników pogodowych na plonowanie owsa, wskazując, że wysoka temperatura i susza w maju i czerwcu przyczyniają się do jego obniżenia (Tamm, 2003; Hisir i in., 2012; Koziara i in., 2017).

W dziesięcioletnim okresie badań nie udowodniono istotnego zróżnicowania w poszczególnych terminach występowania faz rozwojowych owsa w zależności od jego formy,

co jest spójne z wynikami badań Pszczółkowskiego i Sawickiej (2016). Autorzy tłumaczą ten fakt podobną pulą genetyczną, gdyż odmiany – podobnie jak w badaniach własnych – pochodziły z polskich hodowli roślin. Także Gąsiorowska i in. (2013), obserwując fazy rozwojowe roślin, nie zauważyli różnic w rozwoju pomiędzy badanymi odmianami. Z kolei Klima i Pisulewska (2000) wykazali, że mokre okresy przedsiewne sprzyjają szybkim i pełnym wschodom owsa oplewionego, natomiast u owsa nieoplewionego nie zauważono słabszych wschodów przy niedoborach wody w tym okresie. Przyczyn autorzy doszukują się w delikatniejszej strukturze ziarniaka owsa nieoplewionego, który w warunkach polowych jest podatny na mikrouszkodzenia ziarna (Gąsiorowska i in., 2013; Piech i in., 2001). Liczba dni od siewu do dojrzałości pełnej w trzyletnich badaniach Pszczółkowskiego i Sawickiej (2016) wyniosła 109 dni zarówno dla odmiany 'Bingo', jak i 'Nagus', natomiast w badaniach własnych trwała 116 dni, przy czym odnotowano większe zróżnicowanie w długości tego okresu. Najkrótszy stwierdzono w suchym 2013 roku (95 dni), a najdłuższy w bardziej suchym 2015 roku (137 dni). W badaniach Gąsiorowskiej i in. (2013) najkrótszy okres wegetacji trwający 108 dni uzyskano w roku najmniej sprzyjającym uprawie owsa. Zmiany w rozkładzie temperatur i opadów w okresie wegetacji owsa w badanym dziesięcioleciu wpływały na duże zróżnicowanie czasu trwania faz rozwojowych. Największą zmiennością wśród faz rozwojowych charakteryzowała się faza dojrzałości woskowej, która trwała przeciętnie 22 dni, przy współczynniku zmienności na poziomie 63,3%. Podobnie podczas dwunastoletnich obserwacji Kołodzieja i Kuliga (2007) faza ta trwała 18,1 dnia, a współczynnik wyniósł 35,9%. W badaniach własnych czas poszczególnych faz rozwojowych był dodatkowo skorelowany z sumą opadów z wyjątkiem okresu od dojrzałości woskowej do pełnej, natomiast ujemnie z temperaturą powietrza, z wyłączeniem okresu od rozwoju ziarniaków do dojrzałości woskowej. Również Saastamoinen (1998) oraz Kołodziej i Kulig (2007) wskazują na dodatnią korelację długości trwania faz rozwojowych z opadami a ujemną z temperaturą.

Wzrost i rozwój owsa są ściśle związane z dobrym zaopatrzeniem w wodę (Ralcewicz i Knapowski, 2006; Sułek, 2010; Noworolnik, 2010; Łapiński i in., 2013). Owies wyróżnia się na tle innych zbóż jarych dużym zapotrzebowaniem na wodę, zwłaszcza w okresie od fazy strzelania w źdźbło do fazy kłoszenia. Według Gąsiorowskiego (1995) na wytworzenie 1 kg suchej masy owies zużywa około 500 litrów wody, podczas gdy pszenica jara i jęczmień potrzebują około 350–400 litrów. Według Ostrowskiego i in. (2008) potrzeby wodne owsa mieszczą się w przedziale 290–340 mm, natomiast na podstawie badań prowadzonych w ostatnich 40 latach przez COBORU opady optymalne dla owsa określono w zakresie 200–250 mm, a niższa plonu przy opadach mniejszych i wyższych od optymalnych szacowana jest dla owsa odpowiednio na 12–2% i 3–14%. Z kolei według Chmury i in. (2009) potrzeby te dla owsa wahają się w podobnym przedziale 250–300 mm. Średnio w analizowanym dziesięcioleciu i okresach wegetacji owsa suma opadów wyniosła 258,6 mm, mieszcząc się w powyższym zakresie. Warunki pogodowe oprócz wpływu bezpośredniego (grad, susza) mają decydujący wpływ na wielkość plonu ziarna i jego ce-

chy użytkowe między innymi poprzez modyfikację terminu i długości występowania faz rozwojowych (Kołodziej i Kulig, 2007; Gąsiorowska i in., 2013; Hakala i in., 2020).

Długość poszczególnych faz rozwojowych w dziesięcioleciu wykazywała stosunkowo niski stopień korelacji z plonem ziarna owsa. Taki sam trend zauważyli Kołodziej i Kulig (2007), przy czym przeciwnie niż w badaniach własnych w pracy tych autorów wykazano, że plon ziarna był istotnie skorelowany z długością całego okresu wegetacji (0,38*). Z kolei Skowera i Kołodziej (2003) nie stwierdzili statystycznie istotnej zależności pomiędzy wielkością plonu ziarna owsa a długością trwania faz rozwojowych. W badaniach własnych najsilniej z długością trwania fazy krzewienie – strzelanie w źdźbło była związana liczba wiech na 1 m², natomiast podobnie jak w badaniach Kołodzieja i Kuliga (2007) masa 1000 ziaren była ujemnie skorelowana z długością okresu od wschodów do krzewienia roślin.

Wyniki wieloletnich badań własnych, w których wykazano, że w okresie od wschodów do krzewienia wzrost wartości wskaźnika Sielianinova powodował wzrost plonu owsa o 0,43 t·ha⁻¹, potwierdzają pogląd o związku między ilością opadów a obsadą roślin i kłosów oraz wielkością plonu (Cyrkler-Degulis i Bulińska-Radowska, 2007; Dubis i Budzyński, 2003; Martin i in., 2001; Panek, 1989). Podobnie Rudnicki i Wasilewski (1993) wskazują na silną korelację plonu owsa z opadami i temperaturą w kwietniu wyrażonymi wskaźnikiem Sielianinova. W badaniach własnych najmniejszy związek plonu z opadami wykazano dla lipca, co jest spójne z wynikami Rudnickiego i Wasilewskiego (1993), którzy stwierdzili, że plony owsa pozostawały w silniejszym związku z opadami w maju i czerwcu, podczas gdy innych zbóż z opadami w czerwcu i lipcu. Także Weber i in. (2003) wiąże lepsze plonowanie owsa z wysokimi opadami w marcu i kwietniu, natomiast według Michalskiego i in. (1999) na plon wpływają przede wszystkim opady w czerwcu. Z kolei nowsze doniesienia Hakala i in. (2020) wskazują na trend przeciwny, który jednak może wynikać z niższych temperatur w tym okresie, ze względu na ogólnie chłodniejszy klimat Finlandii, na terenie której prowadzono wieloletnie obserwacje. Zdaniem Cyrkler-Degulis i Bulińskiej-Radowskiej (2007) w przypadku uprawy na glebach żtytnich lekkich wysoki współczynnik transpiracji owsa szczególnie wyraźnie uzależnia jego plonowanie od sumy opadów w okresie wiosenno-letnim. Noworolnik (2009) zauważył ujemny wpływ suszy głebowej, zwłaszcza długotrwałej, na plon ziarna owsa i główne jego składowe. Z kolei według Grabińskiego (2016) duża ilość opadów na polach o dużej pojemności wodnej może być czynnikiem wpływającym istotnie negatywnie na plonowanie zbóż. Zdaniem autora nawet w przypadku najbardziej wymagającego owsa korelacja ilości opadów z plonem ziarna w okresie strzelanie w źdźbło – wiechowanie, a więc w czasie dużego zapotrzebowania na wodę, ze względu na intensywny wzrost, była wyraźnie ujemna. Dodatni związek plonowania z opadami określony dla owsa stwierdzono dopiero dla okresu wiechowanie – dojrzałość woskowa. W badaniach własnych podobną ujemną korelację plonu z opadami zaobserwowano jedynie w fazie krzewienie – strzelanie w źdźbło. Według Rudnickiego i Wasilewskiego (1993) szczyt plonowania owsa przypadał przy sumie opadów 136 mm (czerwiec–lipiec) i 305 mm (kwiecień–lipiec). Natomiast w badaniach własnych dla okre-

sów krzewienie – strzelanie w źdźbło (kwiecień–maj) i rozwój ziarniaków – dojrzałość woskowa (lipiec) wyniósł odpowiednio 51,5 mm i 124,5 mm. Podawane sumy opadów optymalnych mogą znacznie się różnić ze względu na inny zakres miesięcy i inne warunki realizacji badań (Mazurek, 1986), a przede wszystkim odmienne warunki termiczne.

Wyniki uzyskane w doświadczeniu własnym wskazują największy związek plonu z opadami i prawie pewny dodatni ich wpływ w okresach: kłoszenie – kwitnienie, rozwój ziarniaków – dojrzałość woskowa, a także w trakcie całego okresu wegetacji. Zależność tę potwierdzili inni autorzy (Tobiasz-Salach i in., 2011; Kozera i in., 2006), wskazując, że przebieg pogody podczas wzrostu odpowiada w 50% za zmienność plonów, obsady wiech i masy tysiąca ziaren (Witkowicz i in., 2007). Także w badaniach własnych odnotowano prawie pewny, istotny statystycznie związek pomiędzy obsadą wiech a sumą opadów w okresach wschody – krzewienie oraz rozwój ziarniaków – dojrzałość woskowa. Zatem wzrost opadów oddziaływał korzystnie na liczbę wiech na jednostce powierzchni. Podobnie prawie pewny, jednak ujemny związek stwierdzono pomiędzy sumą opadów w czasie krzewienie – strzelanie w źdźbło a masą tysiąca ziaren. Również w badaniach Koca i Szymczyka (2002) udowodniono związek pomiędzy sumą opadów w okresie od wschodów do krzewienia a obsadą kłosów pszenżyta jarego, kiedy to wzrost opadów korzystnie oddziaływał na liczbę kłosów na jednostce powierzchni.

Stresy abiotyczne w znacznym stopniu mogą ograniczać rozwój i plonowanie roślin. Wraz ze wzrostem globalnych temperatur szczególnie widoczny jest efekt stresu suszy, który stał się głównym czynnikiem środowiskowym ograniczającym wzrost, rozwój i plonowanie roślin (Gao i in., 2018; Qi i in., 2018, Rizza i in., 2004; Milad i in., 2011). Aktualne szacunki wskazują, że stres suszy dotyka 25% gruntów rolnych na świecie (Steiner i in., 2017). Względna zniżka potencjalnych maksymalnych plonów (tj. plonów w idealnych warunkach) związana z niedoborem wody może osiągnąć 40% (Saeidi i Abdoli, 2015). Zjawisko suszy glebowej jest szeroko podejmowane w literaturze i dobrze rozpoznane na podstawie monitoringu danych pogodowych, z których wynika, że zmienia się głównie charakter opadów atmosferycznych, z opadów ciągłych na konwekcyjne, co związane jest ze wzrostem temperatury (Sillmann i Roeckner, 2008; Trenberth i in., 2003). W Polsce wykorzystuje się 26% zasobów wody słodkiej (wg FAO kraj zagrożony suszą wykorzystuje ponad 20% zasobów wody słodkiej), co plasuje nas na 5. miejscu pod względem zagrożenia niedoborem wody, zaraz po Macedonii, Niemczech, Hiszpanii i Bułgarii (FAO, 2003). W literaturze stawia się pytanie o to, jakie fenotypy zbóż będą zapewniały stabilne i wysokie plony na obszarach zagrożonych suszą (Rybka i Nita, 2014). Zdaniem Chmury i in. (2009) w Polsce co 5–6 lat występują lata suche, co 10–11 lata bardzo suche, przy czym co roku notuje się okresowe, trwające kilka tygodni niedobory opadów, które stanowią zagrożenie dla produkcji rolnej, szczególnie na glebach lekkich zajmujących ponad połowę powierzchni użytków rolnych w Polsce. Z analizy Radzkiej i in. (2009) przeprowadzonej w latach 2002–2008 wynika, że najwyższe niedobory wody dla zbóż obserwowano w czerwcu, w którym opady atmosferyczne nie pokrywały potrzeb wodnych owsa.

W analizowanym dziesięcioleciu badań własnych sześciokrotnie w czerwcu wystąpił opad poniżej 81 mm, wymagany dla owsa według Dzieżyca (1993). Natomiast według Skowery i Puły (2004) pięciokrotnie sklasyfikowano ten miesiąc jako skrajnie suchy, bardzo suchy bądź suchy. Rozkład opadów jest szczególnie ważny w okresach krytycznych dla roślin uprawnych, w których występuje największe zapotrzebowanie na wodę. Dla owsa niedobór opadów w tym okresie skutkuje słabym wykształceniem wiechy, zmniejszeniem liczby ziaren w wieszce i możliwością wykształcenia wiech nie w pełni zaziarnionych (Chmura i in., 2009). Ocena wpływu warunków pogodowych na wzrost i rozwój owsa nie jest jednoznaczna, gdyż składa się na to wiele czynników. W literaturze zarówno krajowej, jak i zagranicznej autorzy posługują się licznymi wskaźnikami opisu suszy i metodami ujmującymi jednocześnie temperaturę powietrza i opady atmosferyczne czy inne elementy meteorologiczne, takie jak: wilgotność powietrza, wiatr czy parowanie. Zdaniem Tokarczyk (2008) analiza tylko jednego elementu pogody, np. opadu odzwierciedla tylko suszę atmosferyczną, a dopiero wprowadzenie drugiego czynnika daje pełniejszy obraz warunków meteorologicznych i wilgotnościowych obszaru, jednak ich zastosowanie zależy głównie od celu dociekań oraz dostępności danych (Doroszewski i Górski, 1995). Radzka i in. (2009) wykazali, iż spośród wybranych metod oceny, tj. ciąg dni bezopadowych, wskaźnik Sielianinowa oraz wskaźnik uwilgotnienia atmosfery, największe skorelowanie plonu uzyskano ze wskaźnikiem uwilgotnienia atmosfery, i w przypadku owsa wskaźnik ten najlepiej opisuje zależność między opadami a plonem (Radzka i in., 2005).

Pośród licznych metod oceny zależności plonu owsa od temperatury i opadów w niniejszej pracy posłużono się wskaźnikiem względnego opadu (RPI), wskaźnikiem Sielianinowa oraz wskaźnikiem uwilgotnienia atmosfery. Na podstawie przeprowadzonej analizy opadów w poszczególnych latach, według kryterium Kaczorowskiej (1962) odnotowano, iż w przeważającej liczbie lat wystąpiły warunki korzystne. Jednak ta ocena nie uwzględnia rozkładu opadów. Stąd przyjmując założenia Tomaszewskiej (1994), oceniono opady dla poszczególnych miesięcy. Pozwoliło to wyróżnić kwiecień i czerwiec z największym niedoborem opadów, co wyraziło się przewagą okresów skrajnie suchych, bardzo suchych oraz suchych. W ocenie warunków pogodowych posłużono się także wskaźnikiem Sielianinowa, uwzględniającym zarówno temperaturę, jak i opady, co ujawniło ich zróżnicowanie w poszczególnych miesiącach. Uzyskane dane potwierdzają wystąpienie niekorzystnych warunków wilgotnościowo-termicznych w kwietniu, czerwcu oraz w mniejszym stopniu w lipcu. Poszukiwanie związku między plonem ziarna a wartościami współczynnika Sielianinowa, wyliczone dla wariantów nawożenia azotem, wykazało, że najsilniejszy związek udowodniono dla kwietnia. O podobnej zależności plonu od wartości współczynnika Sielianinowa donoszą również Radzka i in. (2009), oceniając wpływ posuch na plonowanie pszenicy jarej w środkowowschodniej Polsce.

Opis warunków pogodowych w okresie wegetacji owsa, oprócz temperatury i opadów uzupełniono o wilgotność względną powietrza, wyrażoną wskaźnikiem uwilgotnienia atmosfery. Uzyskane wartości tego wskaźnika dla analizowanego okresu badań, podobnie

jak w przypadku wskaźnika Sielianinowa wskazują, że największe długotrwałe posuchy występowały w kwietniu a posuchy w czerwcu, natomiast najsilniejszego związku plonu ziarna owsa z tym wskaźnikiem można się spodziewać w kwietniu. Podobnie w odniesieniu do pszenicy jarej Radzka i in. (2009) wykazali, że plon był istotnie ujemnie skorelowany z wartościami wskaźnika uwilgotnienia atmosfery w kwietniu.

Również przeprowadzona w badaniach własnych analiza związku plonu owsa z sumą opadów poszczególnych miesięcy okresu wegetacji, potwierdziła silny dodatni związek z warunkami pogodowymi w kwietniu i wynik ten jest zbliżony z badaniami Liu i in. (2011), którzy udowodnili taką zależność dla różnych odmian owsa w warunkach Chin. Z kolei Skowera (2020) wykazał istotne statystycznie związki określające wpływ opadów atmosferycznych kwietnia, maja i lipca na plonowanie owsa w piętrach wysokościowych Karpat, z których najsilniejszy okazał się wpływ sumy opadów w maju. Analiza wariancji dla 123 linii owsa w okresie 2009–2011 wykazała, że wzrost i rozwój owsa, a także jakość i wielkość plonu są silnie zróżnicowane w latach (Kordulańska i Bulińska-Radomska, 2014). Uogólniając, można stwierdzić, że w badaniach własnych w większości faz rozwojowych owsa korelacja plonu z opadami była dodatnia, natomiast korelacja z temperaturą – ujemna.

Wpływ warunków pogodowych na plon modyfikowany był czynnikami doświadczeń, a zwłaszcza deszczowaniem i formą owsa. Na podstawie współczynnika zmienności plonowania owsa można stwierdzić, iż zastosowanie nawadniania uzupełniającego niedobór opadów okazało się czynnikiem zwiększającym oraz stabilizującym plon ziarna owsa. Podobne wyniki uzyskali Koziara i in. (2017), Drastig i in. (2016), Kukul i Irmak (2020), Makannikova i in. (2019), Jensen i in. (2004) w badaniach nad owsem, Daryanto i in. (2016) nad kukurydzą i pszenicą, Źarski i in. (2011) nad jęczmieniem jarym, Koziara (1996) oraz Koziara i in. (2006) nad pszenżytem jarym. Owies jest gatunkiem wrażliwym na wielkość i rozkład opadów w sezonie wegetacyjnym (Valentine i Cowan, 2004; Witkowicz i in., 2007; Pisulewska i in., 2010), stąd u tego gatunku nawadnianie może być kluczowym elementem podnoszącym plonowanie w warunkach niedoboru wody.

Podjęta w badaniach własnych analiza zmienności plonowania form owsa wykazała najwyższe wahania plonu w warunkach opadu naturalnego, po nawożeniu dawką 100 kg N·ha⁻¹ i 150 kg N·ha⁻¹ odpowiednio owsa nieoplewionego i oplewionego. Bardziej stabilnie w latach plonowała odmiana owsa oplewionego niż nagoziarnistego, a spośród analizowanych cech ziarna najmniej zmienną w latach okazała się masa 1000 ziaren, co jest spójne z wynikami uzyskanymi przez Pszczółkowskiego i Sawicką (2016) oraz Śmiałowski i Węgrzyna (2006).

Wprowadzenie nawadniania roślin uprawnych, obok podnoszenia wydajności produkcji roślinnej i zapewnienia stabilnych plonów dobrej jakości, jest sposobem zapobiegania skutkom niekorzystnego rozkładu opadów lub posuchy atmosferycznej. Ponadto w literaturze podkreśla się potrzebę rozwoju nawodnień, także w kontekście wzrostu nowoczesności i konkurencyjności rolnictwa w obliczu przewidywanych zmian klimatycznych (Daryanto i in., 2016; Rzekanowski i in., 2011). Liczni autorzy podejmowali te-

matykę stosowania nawodnień w warunkach doświadczeń polowych, a uzyskane efekty zależały od wielu czynników w tym: wielkości niedoboru wody i warunków glebowych (Shao i in., 2009; Żarski, 2009), doboru gatunków i wrażliwości odmian oraz poziomu nawożenia i agrotechniki (Debaeke i Aboudrare, 2004; Sojka i in., 1981; Guy i in., 1995; Zwart i in., 2010). Mimo że deszczowanie nie jest jeszcze zabiegiem powszechnie stosowanym w praktyce, pojawiają się sugestie o celowości stosowania go zwłaszcza w systemie ekologicznym jako czynnika stabilizującego dostępność wody w glebie dla roślin w całym okresie wegetacji (Trawczyński, 2011). Wiele badań dotyczących gatunków zarówno rolniczych, jak i ogrodniczych wskazuje, że nawadnianie zapewnia prawidłowy rytm wzrostu i rozwoju roślin oraz intensyfikuje procesy fizjologiczne, co w efekcie przekłada się na wzrost plonu i jego stabilizację w latach, a także korzystnie wpływa na jakość plonu (Lipiński, 2012; Rolbiecki i in., 2000; Żarski i in., 2013). Badania monitorujące zjawisko suszy z uwzględnieniem klimatycznego bilansu wodnego wskazują, że po 2000 r. występują coraz mniejsze wartości tego wskaźnika, szczególnie wiosną i wczesnym latem (Górski, 2006), czego następstwem są okresy ze znacznym deficytem wody dla roślin, który zbiega się z największym jej zapotrzebowaniem szczególnie przez zboża jare (Wójcik i in., 2019; Grzebisz, 2012). Skutki suszy na glebach lekkich i bardzo lekkich, zajmujących w Polsce ponad połowę powierzchni gruntów rolnych (ok. 60%) (Łopatka, 2017), ze względu na małą pojemność wodną pojawiają się 10–15 dni wcześniej niż na glebach ciężkich (Kozłowski i in., 2010). Zdaniem Żarskiego (2009) produkcja zbóż bez nawadniania na tego typu glebach jest praktycznie bezcelowa (średnie plony rzędu $1,50 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), a w latach suchych i bardzo suchych, w okresach wzmożonego zapotrzebowania na wodę, plony ziarna nie przekraczają norm wysiewu. Autor zwraca uwagę, że deszczowanie wywołuje bardzo duże efekty produkcyjne, dużo większe od uzyskiwanych na glebach wyższych klas bonitacyjnych i lepszych kompleksów przydatności rolniczej.

W miarę poprawy warunków siedliskowych wzrasta produktywność wody, stąd rozsądna intensyfikacja produkcji roślinnej przez zabiegi plonotwórcze, w tym agrotechniczne, przyczynia się do znaczącego zmniejszenia zużycia wody na wyprodukowanie jednostki plonu (Nyc i Pokładek, 2009). Produktywność wody jest uwarunkowana jej dostępnością, a także nawożeniem mineralnym (Zwart i in., 2010). Nawożenie wraz z nawadnianiem może stanowić jedną z metod intensyfikacji produkcji na glebach lekkich, na których często uprawiany jest owies, roślina o dużych potrzebach wodnych (Kaczmarczyk i in., 1996).

Analizowana w badaniach własnych produktywność 1 mm wody pochodzącej z opadu naturalnego charakteryzowała się wyższą wartością aniżeli produktywność wody z deszczowania i nie odbiegała zasadniczo od danych przytaczanych w literaturze (Chmura i in., 2009; Koziara, 1996; Rolbiecki i in., 2002). Produktywność jednostkowa deszczowanej wody zależy od ilości i rozkładu opadów w okresie wegetacji (Rakowski, 2003). W badaniach własnych największa była w roku suchym, gdy stosowano wyższe dawki sezonowe, a najmniejsza w roku bardzo wilgotnym, gdy stosowano małe dawki sezonowe, co jest spójne z wnioskami Gruszki (2004) wysuniętymi na podstawie prowadzonych ob-

serwacji w warunkach praktyki produkcyjnej wybranych roślin rolniczych. Jednostkowa efektywność produkcyjna deszczowania owsa w badaniach własnych wynosiła średnio 7,5 kg ziarna na 1 mm rozdeszczowanej wody, podobnie jak w badaniach Jankowiaka (1989), w których wyniosła ona 7,6 kg ziarna na 1 mm i zdaniem autora w dużym stopniu zależała od nawożenia mineralnego, co wskazuje na celowość nawożenia owsa na luźnych glebach piaszczystych. W badaniach własnych wyraźnie mniejszy efekt deszczowania używano owsa nagiego. Produktywność wody u tej formy owsa była najwyższa przy dawce 50 kg N·ha⁻¹, a u formy oplewionej przy dawce 100 kg N·ha⁻¹. Karczmarczyk i in. (1996) także zaobserwowali wyższą produktywność wody deszczowanej u formy oplewionej owsa oraz na obiektach z wysokimi dawkami NPK.

Wyniki badań własnych uwiarygadniają pogląd, iż deszczowanie zwiększa plony zbóż średnio o 20%, przy czym może być ono zmienne i ściśle uzależnione od pogody. Zastosowane deszczowanie owsa powodowało bowiem wzrost plonu ziarna średnio o 0,89 t·ha⁻¹, tj. 23,06%. Żarski (1992) podaje, że plon ziarna zbóż jarych w warunkach deszczowania wzrósł o 127%, natomiast Borówczak i in. (1996) wskazują na wzrost do 100% u pszenicy i pszenżyta. Z kolei Koszański i in. (1994) dowodzą, że zbiory pszenicy jarej z obiektów deszczowanych w latach posusznych wzrosły o 251%, a pszenżyta jarego aż o 331%. Koziara i in. (2005) podkreślają, iż efekty deszczowania są w znacznym stopniu zależne od roku badań, a w poszczególnych latach rozkład opadów jest ważniejszy niż ich suma w okresie wegetacji owsa. Autorzy ci uzyskali przyrost plonów pod wpływem deszczowania od 0,18 t·ha⁻¹ (5,1%) do 1,77 t·ha⁻¹ (115,7%). W dwuletnich badaniach nad owsem Panasiewicz i in. (2017a) uzyskali przyrost plonu o 1,45 t·ha⁻¹ (51,8%). Z kolei Panasiewicz i Koziara (2009) w uprawie pszenicy ozimej zaobserwowali stabilizujący wpływ deszczowania na plon, którego przyrost wyniósł średnio 11,7%. Podobne reakcje na nawadnianie pszenicy ozimej wykazali także Borówczak i in. (1999) oraz Małecka (2003). W badaniach Żarskiego (1992) na glebie kompleksu żytniego bardzo słabego przy utrzymaniu poprzez nawadnianie optymalnej wilgotności gleby w całym okresie wegetacji plon ziarna owsa wzrastał aż 2,5-krotnie (do 38,9 dt) w stosunku do nienawadnianego obiektu kontrolnego.

Przyrost plonu jest efektem korzystnych zmian komponentów plonowania, przy czym badania wskazują zróżnicowaną reakcję poszczególnych składowych na nawadnianie, co może także charakteryzować możliwości poszczególnych genotypów pod względem wykorzystywania wody w różnych warunkach uprawowych i pogodowych. Opinie prezentowane w pracach dotyczące zależności plonu zbóż od elementów struktury nie są jednoznaczne, przy czym wielu autorów podkreśla, że ważnymi elementami plonowania owsa są obsada wiech na 1 m², masa ziarna z wiechy i liczba ziarniaków z wiechy (Leszczyńska i Noworolnik, 2010; Tobiasz-Salach i in., 2011; Podolska i in., 2006). Na podstawie analiz doświadczeń własnych można stwierdzić, że o wzroście plonu owsa pod wpływem nawadniania decydowała przede wszystkim obsada wiech (71,8%), masa tysiąca ziaren (23,6%) i liczba ziaren w wieszce (4,7%). Także Panasiewicz i in. (2017a) w badaniach nad owsem wykazali, że nawadnianie modyfikowało masę tysiąca ziarniaków (o 7,2%) oraz liczbę

wiech na jednostce powierzchni (o 21,2%). Włodek i in. (2012) również zaobserwowali wpływ nawadniania na masę tysiąca ziaren owsa. Z kolei Witkowicz i in. (2007) wykazali, że przebieg pogody odpowiada w 50% za zmienność plonów, obsadę wiech na jednostce powierzchni i masę 1000 ziaren.

Nawadnianie, poza poprawą plonowania, może modyfikować skład chemiczny roślin. Informacje zamieszczane w pracach naukowych wskazują na obniżanie zawartości białka i tłuszczu w ziarnie pod wpływem nawadniania (Koziaara i in., 2005; Panasiewicz i in., 2017a; Żarski, 2009). W wieloletnich badaniach własnych deszczowanie istotnie zmniejszyło jedynie zawartość tłuszczu surowego w ziarnie. Z kolei Ul-Allah i in. (2014) nie zaobserwowali żadnych zmian w składzie ziarna owsa pod wpływem deszczowania. Zdaniem Żarskiego (2009) poprawa zaopatrzenia roślin w wodę w wyniku deszczowania w większości doświadczeń przyczyniała się do zwiększenia dorodności ziarna, przy jednoczesnym zmniejszeniu w nim procentowej zawartości białka i glutenu, a niższa koncentracja białka zdaniem autora była rekompensowana zwiększeniem plonu. Doniesienia literaturowe wskazują, że zawartość białka w ziarnie wykazuje dużą zmienność w latach badań (Burešová i in., 2010; Gąsiorowska i in., 2011b; Oleksy i in., 2008) oraz zależy od odmiany (Mut i in., 2018; Buraczyńska, 2010), a także nawożenia azotem (Noworolnik, 2011; Ralcewicz i Knapowski, 2006).

Przeprowadzone w badaniach własnych analizy wykazały 24-procentowy wzrost plonu białka pod wpływem deszczowania, co jest spójne z wynikami Nasseri i in. (2009). Większe różnice w plonie białka pod wpływem nawadniania, wynoszące 47,8%, odnotowali Panasiewicz i in. (2017b). Należy jednak zaznaczyć, że plon białka był przede wszystkim determinowany plonem ziarna, na co również zwracają uwagę Pecio i Bichoński (2010) w badaniach nad owsem oraz Alazmani (2015) w badaniach nad jęczmieniem. W badaniach Jahanzad i in. (2013) natomiast wzrastające dawki nawadniania obniżały plon białka sorga, przy czym najwyższe wartości uzyskano przy najmniejszym zagęszczeniu roślin.

W badaniach własnych wykazano zwiększenie energii i zdolności kiełkowania oraz obniżenie udziału ziaren gnijących i pleśniejących pod wpływem deszczowania. Panasiewicz i in. (2017a), przeciwnie, zaobserwowali zwiększenie udziału ziaren owsa gnijących w obiektach nawadnianych, natomiast energia i zdolność kiełkowania były nieznacznie obniżone. Doniesienia Faligowskiej i Szukały (2012) także sugerują, że deszczowanie osłabia wigor nasion łubinu (o 30,5%), jego energię kiełkowania (o 7,9%) oraz zdolność kiełkowania (o 5,6%) w porównaniu z obiektem niedeszczowanym. Borówczak i in. (2003) nie zaobserwowali, by deszczowanie różnicowało wartość siewną ziarna pszenicy ozimej i nasion grochu. Z kolei Koziaara (1996) uzyskał wzrost zdolności kiełkowania pszenżyta jarego pod wpływem deszczowania, przy czym podobnie jak Jaskulski (2002) zauważył, że oceniane parametry wartości siewnej ziarna w większym stopniu zmieniały się pod wpływem warunków pogodowych niż badanych czynników.

Genotyp wraz z warunkami pogodowymi to czynniki wywierające duży wpływ na plon i jakość owsa (Buerstmayr i in., 2007). Zróżnicowane plonowanie może być związa-

ne ze strukturami genetycznymi i zdolnościami adaptacyjnymi odmian do różnych środowisk (Mut i in., 2018), stąd szczególnie wartościowe staje się rozpoznanie reakcji formy owsa na warunki siedliskowe pod względem plonowania. Z wielu opracowań wynika, że forma nagoziarnista owsa plonuje wyraźnie niżej od tradycyjnej oplewionej (Cyrkler-Degulis i Bulińska-Radomska, 2007; Feledyn-Szewczyk i Jończyk, 2016; Gąsiorowska i in., 2011a; Szumiło i Rachoń, 2006; Pisulewska i in., 2010; Świdarska-Ostapiak i Stankowski, 2002; Witkowicz i in., 2009; Sulewska i in., 2010; Szempliński, 2003; Piech i in., 2003; Pisulewska i Witkowicz, 2000; Szmigiel i Oleksy, 2005; Tobiasz-Salach i in., 2017). Dane COBORU (2009) informują, że odmiany nagoziarniste plonują zazwyczaj o 30–35 % słabiej w porównaniu z odmianami oplewionymi. Wieloletnie wyniki badań własnych wskazują, że różnica w plonowaniu badanych form wyniosła 36,6%. Odmiany owsa 'Bingo' i 'Nagus' użyte w badaniach własnych, w doświadczeniu Pszczółkowskiej i Sawickiej (2016) plonowały na poziomie odpowiednio 8,04 t·ha⁻¹ i 4,72 t·ha⁻¹. Zatem różnica wyniosła 41,3%, podobnie jak w badaniach Feledyn-Szewczyk i Jończyk (2016), w których różnica w plonowaniu tych odmian wyniosła 42%. Należy dodać, że w badaniach Pszczółkowskiej i Sawickiej (2016), spośród ośmiu porównywanych odmian oplewionych, odmiana 'Bingo' okazała się najbardziej plenna. Z kolei w trzyletnim okresie badań Cyrkler-Degulis i Bulińskiej-Radomskiej (2007) owies nagi plonował na poziomie 50% plonu współczesnych odmian oplewionych. Starsze wyniki wskazują na różnicę w plonowaniu wynoszącą nawet 74% (Moudry i in., 2003). Niższe plonowanie form nagoziarnistych w stosunku do oplewionych zaobserwowali także Brunava i in. (2014), którzy wykazali, że u form oplewionych plony wahały się od 4,31 t·ha⁻¹ do 5,30 t·ha⁻¹, natomiast u form bezłuskowych wynosiły od 3,20 t·ha⁻¹ do 3,69 t·ha⁻¹. Niższe plony odmian nieoplewionych w porównaniu z oplewionymi wynikają z braku łuski (Sułek i Noworolnik, 2013). Wiele odmian tego gatunku charakteryzuje się wysoką zawartością łuski, wynoszącą powyżej 26%, o wartości pokarmowej zbliżonej do wartości słomy, dlatego zasadne jest obniżanie jej udziału w celu zwiększenia strawności ziarna owsa. Jednak trudno jest na drodze hodowli uzyskać odmiany bardzo plenne o niskiej zawartości łuski, ponieważ jej zawartość jest ujemnie skorelowana z plonem (Nita, 2003). W badaniach własnych stwierdzono większą reakcję na nawadnianie owsa oplewionego niż nagiego, a zwyżka plonu wyniosła odpowiednio 1,11 t·ha⁻¹ i 0,66 t·ha⁻¹. Z kolei na podstawie indeksu pogodowego różnica między plonem prognozowanym w optymalnych warunkach pogodowych a plonem rzeczywistym wskazuje, że forma oplewiona owsa reaguje większym o 36,5% spadkiem plonu na skutek niekorzystnych warunków pogodowych, w porównaniu do formy nieoplewionej. Może to wyjaśniać pogląd, iż w warunkach suszy owies nagoziarnisty ustępuje plonem ziarna odmianom oplewionym. Istnieje hipoteza, że cienkie plewki górne i dolne nagiego owsa stanowią mniejszą barierę dla odwodnienia niż bardziej zdrewniałe łuski w owsie oplewionym (Nita, 2003). Mało jest w literaturze doniesień o genotypach owsa tolerancyjnych na niedobór wody. Nowsze wyniki doświadczeń wazonowych badaczy chińskich potwierdzają, że owies nagi wykazał większą regulację osmotyczną, wyższe stężenie kwasu

abscysynowego w liściach i większą tolerancję oraz mniej uszkodzeń błony komórkowej w warunkach suszy (Wang i in., 2017). Zieliński i in. (2009) wskazują, że naga forma może być lepiej przystosowana do suszy, przynajmniej na początku okresu wegetacji, bo wilgoć z gleby, nawet w niewielkich ilościach, ma łatwiejszy dostęp do ziarniaka i nie napotyka dodatkowej bariery, takiej jak łuska. Autorzy ci w badaniach laboratoryjnych, w warunkach stresu suszy trwającego pięć dni, przy temperaturze 10°C i 15°C wykazali znacznie wyższą dynamikę kiełkowania nasion owsa nagiego odmiany 'Akt' w porównaniu do oplewionego 'Bajka', co może dowodzić większej odporności tej formy owsa na niedobór wody w podłożu na początku fazy kiełkowania. Owies nagi w porównaniu z bobem wykazał większą konkurencyjność podczas niedoboru opadów w uprawie współrzędnej (Klimek-Kopyra i in., 2015). Z kolei Witkowicz i in. (2009), przeciwnie, stwierdzili, że formy nagoziarniste owsa plonowały wyraźnie niżej od tradycyjnych szczególnie w przypadku wystąpienia niedoborów opadów w całym sezonie wegetacyjnym lub w przypadku niedoboru opadu w kwietniu i maju.

Badacze wiążą mniejszy potencjał plonotwórczy owsa nagoziarnistego z cechami wiechy (mniejszą liczbą kłosek i ziarniaków), mniejszą masą 1000 ziaren oraz większym zapotrzebowaniem na nawożenie azotem (Moudry i in., 2003; Kozłowska-Ptaszyńska i Pawłowska, 1997; Weber i in., 2003). W badaniach własnych owies nagi charakteryzował się niższą masą tysiąca ziaren, liczbą wiech na jednostce powierzchni oraz liczbą ziaren z wiechy w porównaniu z owsem oplewionym, co jest powszechnie obserwowane. Podobnie Cyrkler-Degulis i Bulińska-Radomska (2007) oraz Panasiewicz i in. (2017b) zauważyli, że forma naga owsa osiągała niższe wartości masy tysiąca ziaren odpowiednio o 38,3% i 35,4% w stosunku do oplewionej, natomiast w badaniach własnych różnica ta wyniosła 40,7%. Także badania Sykut-Domańskiej (2012) dowiodły niższych wartości masy tysiąca ziaren i masy hektolitra u form nagich w porównaniu do oplewionych. Tobiasz-Salach i in. (2011) zaobserwowali, że forma naga charakteryzowała się znacznie mniejszą masą tysiąca ziaren, mniejszą liczbą ziaren w wieszce niż forma oplewiona. Zdaniem Gurmani i in. (2006) i Zute i in. (2015) na masę tysiąca ziaren wpływają czynniki genetyczne, wypełnienie bielma materiałami zapasowymi i wielkość ziarna, natomiast w mniejszym stopniu warunki środowiska, choć ekstremalne warunki wzrostu (susza, wysoka temperatura, wyleganie) wpływają ujemnie na wielkość ziaren owsa (Bleidere i in., 2012). Wiele doniesień wskazuje, że różnice w plonach są najbardziej związane z różnicami w masie tysiąca ziaren, a nie z obsadą wiech czy liczbą ziaren z wiechy. Dostarcza to dowodów na twierdzenie, że główną przyczyną różnic w plonach odmian owsa nagiego i oplewionego jest obecność łuski, która dodaje masy (Hackett, 2018). Sulewska i in. (2010) przyjmują, że gdy różnice między plonami sięgają do 30%, można uznać, że plon odmiany nagoziarnistej jest porównywalny z plonem form oplewionych. Autorzy ci, podobnie jak Leszczyńska (2002) oraz Nita i Orłowska-Job (1996), podkreślają, że zarejestrowane przez COBORU odmiany nagoziarniste nie są całkowicie nieoplewione, każda z nich wytwarza część ziaren oplewionych (od 0,1% do 4,2%).

W badaniach własnych rośliny owsa średnio w wieloletniu osiągały wysokość powyżej 70 cm, co według podziału Maciorowskiego i in. (2006) klasyfikuje je do odmian półkarlowych, które według hodowców są najbardziej pożądane (Nita, 2003). Dane literaturowe wskazują, że brak optymalnych warunków stymuluje krzewienie nieprodukcyjne obniżające plonowanie roślin (Berry i in., 2003; Mäkelä i in., 2004; Maciorowski i in., 2006). W badaniach własnych rośliny owsa charakteryzowały się niską krzewistością.

Ziarno owsa stanowi ważne źródło białka o wysokiej wartości odżywczej. W obtuszczonej ziarnie ilość białka ogółem waha się w granicach 10–23% i jest go więcej o 10–20% w porównaniu z innymi zbożami (Zarzecka i in., 2015). Skład chemiczny ziarna owsa nagoziarnistego odmian rosnących na różnych kontynentach jest zróżnicowany: odmiany kanadyjskie i z USA zawierają więcej białka (powyżej 14%) i mniej tłuszczu (poniżej 6%), podczas gdy odmiany europejskie i australijskie są uboższe w białko (11–13%), ale znacznie bogatsze w tłuszcz (7–10%) (Nita, 2003). Białko to podstawowy parametr określający jakość ziaren owsa (Mut i in., 2018) i decydujący o wartości pokarmowej. Zdaniem wielu autorów ziarno owsa nagiego zawiera więcej białka (o 20–40%) i tłuszczu (o 8%) oraz niższą zawartość włókna (o 2%), a także wyższą wartość energetyczną w porównaniu do owsa oplewionego (Brand i in., 2003; Givens i in., 2004; Biel i in., 2009; Cermak i Modry, 1998; Bartnikowska i in., 2000). W badaniach własnych zawartość białka w ziarnie owsa nieoplewionego wyniosła 15,85% suchej masy, co jest spójne z doniesieniami innych autorów, którzy wykazali, że u formy nagoziarnistej zawartość białka wyniosła 13–17% (Nita, 1999), 13,1–14,7% (Podolska i in., 2008), 16,7% (Kordulasińska i Bulińska-Radomska, 2014), 14,4% (Panasiewicz i in., 2017b), 15,1% (Panasiewicz i in., 2017b). Givens i in. (2004) donoszą o zawartości białka w ziarnie owsa oplewionego i nieoplewionego wynoszącej odpowiednio 120 g/kg s.m. i 93 g/kg s.m., zatem o różnicy sięgającej 22,5%. Wieloletnie badania własne wskazują, że forma naga charakteryzowała się o 24,5% wyższą zawartością białka w porównaniu do formy oplewionej. Starsze doniesienia Petkov i in. (1999) wskazują, że owies nagoziarnisty zawiera o 39% więcej białka ogólnego w stosunku do owsa oplewionego przy jednocześnie najkorzystniejszym składzie aminokwasowym spośród zbóż. Zawartość niemal każdego z aminokwasów egzogennych jest wyższa w białku owsa nagiego niż w białku pszenicy, a nawet jęczmienia (Fabiańska i in., 2003).

W porównaniu z innymi zbożami owies wyróżnia się wysoką zawartością tłuszczu (Frey i Holland, 1999). Ponadto zawartość tłuszczu w ziarnie owsa nagiego może być nawet dwukrotnie większa niż w ziarnie owsa oplewionego (Biel i in., 2009). W badaniach własnych zawartość tłuszczu była stosunkowo niska (zaledwie około 3%) i porównywalna u obu form owsa. Podobnie Pizlo i in. (1999) stwierdzili, że badanych rodów owsa nie charakteryzowała wysoka zawartość tłuszczu, bowiem było go średnio 3,5% w suchej masie oplewionych ziarniaków, co według autorów mieści się w dolnym zakresie wartości podawanych w literaturze. Według Nity (1999) u odmian nagoziarnistych zawartość tłuszczu zwykle wynosi 7,5–8,5%. Niskie wyniki badań własnych mogą świadczyć o zróżnicowanym wpływie warunków pogodowych szczególnie suszy i wyższych temperatur na zawar-

tość tego składnika w ziarnie owsa. W badaniach Doehlert i in. (2001) zawartość tłuszczu w ziarnie była ujemnie skorelowana z wysokimi temperaturami wiosną, a pozytywnie z wyższymi temperaturami latem. Inni badacze donoszą, że niższe temperatury w okresie wypełniania ziarna zwiększają akumulację tłuszczu (Beringer, 1971; Saastamoinen i in., 1989). W badaniach Pisulewskiej i in. (1999) zawartość tłuszczu w odmianie nagoziarnistej była o 60% wyższa w porównaniu z odmianą oplewioną. Natomiast w badaniach Panasiewicz i in. (2017a) różnica ta wyniosła 37,8%. Myszka i Boros (2013) stwierdzili najwyższy poziom lipidów w rodzie nagoziarnistym, jednakże na drugim miejscu uplasował się ród oplewiony, który po obłuszczeniu istotnie przewyższał ilością lipidów nagą odmianę wzorcową 'Nagus'. Wyniki badań Biel i in. (2014) wykazały, że usuwanie łusek z ziaren owsa istotnie zwiększało zawartość tłuszczu, co potwierdzili inni autorzy (Brand i in., 2003; Sykut-Domańska i in., 2013).

Owies jest bogatym źródłem składników mineralnych, bogatszym niż tradycyjne zboża chlebowe, pszenica i żyto (Myszka i Boros, 2013). W badaniach własnych średnia zawartość składników mineralnych wynosiła 2,55%, przy czym stwierdzono istotne różnice pomiędzy formami pod względem tej cechy. Odmiana oplewiona zawierała większe ilości składników mineralnych niż nieoplewiona. Bartnikowska i in. (2000) podają, że ilość popiołu w owsie pozbawionym plewki mieści się w bardzo szerokim zakresie, od 2,0 do 3,4%. W badaniach Lutowskiej i in. (2008) oraz Myszk i Boros (2013) zawartość popiołu w ziarnie owsa bez łuski była na poziomie 2%. Panasiewicz i in. (2017a) wykazali, że owies nagoziarnisty zawierał średnio 2,62% popiołu, natomiast oplewiony 3,27%. Zatem różnica w zawartości popiołu w ziarnie owsa nagiego w porównaniu do oplewionego sięgała 19,9%, natomiast w badaniach własnych wynosiła 11,9%.

Odmiana nieoplewiona zawierała istotnie mniej włókna surowego w stosunku do odmiany oplewionej, co jest spójne z wynikami innych autorów (Gąsiorowska i in., 2011a; Petkov i in., 1999; Panasiewicz i in., 2017b; Śniady i Wołoszyn, 1999; Grausgruber i in., 2004). Prażak i Romanowicz (2014) podają, że owies nagi w porównaniu z oplewionym ma nie tylko mniej włókna, ale też jego skład jest znacznie korzystniejszy. Zdaniem autorów zawartość ligniny jest mniejsza o 80% i zbliżona do poziomu tego składnika w pszenicy.

Wysoka zawartość błonnika, która obniża dostępną energię z ziarna owsa, ogranicza jego zastosowanie jako paszy dla zwierząt, zwłaszcza dla świń i drobiu (Morris, 1990). Genetyczne usunięcie plew z ziarna owsa (owies nagi) znacznie poprawiło jego skład chemiczny i wartość odżywczą (Brand i in., 2003). Nagie ziarno owsa ma niższą zawartość błonnika i wyższą wartość energetyczną w porównaniu z obłuszczonym ziarnem owsa (Biel i in., 2009; Kirkkari, 2008). Także Petkov i in. (1999) podają, że większa zawartość energii przy jednocześnie mniejszej zawartości włókna surowego w ziarnie nieoplewionym owsa wskazują na możliwości szerszego jego wykorzystania w żywieniu zwierząt. Wieloletnie wyniki doświadczeń własnych uwiarygadniają powyższe opinie, gdyż podobnie wskazują na mniejszą zawartość włókna surowego w ziarnie owsa nagiego niż oplewionego. Formy owsa różniły się także pod względem uzyskiwanego plonu energii. Tak

samo jak w przypadku plonu białka większy plon energii odnotowano u odmiany oplewionej i był on o $20,9 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ większy niż u formy nagiej.

W badaniach Biel i in. (2014) owies różnił się znacznie pod względem zawartości włókna surowego, a w przypadku nagiego owsa zawartość była porównywalna z pszenicą, kukurydzą i jęczmieniem. Owies zawiera 26% łusek (Todorov, 1988), co jest jednym z głównych powodów wyższej zawartości włókna, stąd owies nagoziarnisty zawiera go mniej. Zdaniem Biel i in. (2014) łuskanie ziaren owsa zwiększa wartość odżywczą i koncentrację energii metabolicznej (9–10%) dla drobiu i świń, co wynika głównie z wyraźnego zmniejszenia zawartości włókna w łuskanym ziarnie (Peltonen-Sainio i in., 2004). Brand i in. (2003) oraz Givens i in. (2004) także donoszą o znacznie wyższej zawartości energii strawnej dla świń w owsie nagoziarnistym niż w owsie oplewionym.

Obok deszczowania i doboru odmian, jednym z najważniejszych czynników plonotwórczych w uprawie zbóż jest nawożenie azotem (Bednarek i in., 2013). Nawożenie jest jednym z kluczowych czynników wpływających na kształtowanie się plonu ziarna oraz jego jakości, przy czym powinno być dostosowane do warunków klimatyczno-glebowych i wymagań odmiany (Monjezi-Zadeh i in., 2018; Dumlupinar i in., 2019). Spośród wszystkich składników pokarmowych, azot jest makroskładnikiem najbardziej potrzebnym do uprawy owsa, a dostarczanie go w większych ilościach jest podstawowym zabiegiem w produkcji, niezbędnym dla wzrostu i poprawy wydajności owsa (Ma i in., 2010; Song i in., 2019). Dla opracowania pełnej technologii uprawy roślin, w tym owsa, niezbędne jest określenie dawki optymalnej azotu. Pomimo wielu informacji na temat wpływu nawożenia azotem na plonowanie owsa, często wyniki są niejednoznaczne. Starsze doniesienia wskazują na szeroki zakres optymalnej dawki od 30 do $120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Brinkman i Rho, 1984; Lafond i in., 2013; Pecio i Bichoński, 2010). Brinkman i Rho (1984) donosili o silnym wyleganiu owsa oraz spadku wydajności ziarna po przekroczeniu $84 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Liczne doniesienia wskazują, że owies reaguje zwiększając plon do dawki $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Lafond i in., 2013; Szafranski, 1995; May i in., 2004; Holzapfel, 2014; Silva i in., 2016). Mohr i in. (2007) na podstawie trzyletnich badań prowadzonych w dwóch lokalizacjach stwierdzili, że dawka $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ jest wystarczająca, aby uzyskać optymalny poziom plonowania owsa. Nowsze prace May i in. (2020) wskazują, że zwiększenie dawki azotu z 15 do $140 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ znacznie zwiększyło plon ziarna owsa. W badaniach McCabe i Burke (2021) odnotowano największy przyrost plonu przy zwiększeniu dawek z 40 do $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($0,7\text{--}1,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) oraz z 130 do $160 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($0,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Niejednoznaczność wyników można tłumaczyć faktem, iż na plon owsa, podobnie jak innych zbóż, istotny wpływ mają warunki pogodowe panujące w okresie wegetacji (Pisulewska i in., 2009; Zając i in., 1999; Żarski, 1992), szczególnie rozkład opadów i temperatury (Zając i in., 2010; Witkowicz i in., 2009). Prezentowane w pracy rezultaty badań wskazują na współdziałanie deszczowania z nawożeniem azotem w odniesieniu do większości ocenianych cech. Wielu autorów wskazuje na wzrost efektywności intensywnego nawożenia mineralnego zbóż pod wpływem deszczowania (Rakowski, 2003; Koziara, 1998; Nowak, 1996; Biskupski i in.,

1976) i zdaniem autorów plony pszenicy i pszenżyta były największe w obiektach nawożonych dawką 150 kg NPK·ha⁻¹ oraz nawadnianych. Stosowanie wyłącznie nawożenia powodowało wzrost plonów pszenżyta tylko do dawki 120 kg NPK·ha⁻¹. Dalsze zwiększanie dawek tego składnika w warunkach niskiego uwilgotnienia nie wpływało pozytywnie na wielkość uzyskiwanych plonów. Największe plony pszenicy uzyskano z obiektów nawożonych najwyższą dawką NPK i niezależnie od warunków występujących w okresie wegetacyjnym, średni plon ziarna pszenicy pod wpływem najwyższej dawki NPK zwiększył się o 88,5% (2,89 t·ha⁻¹), a pszenżyta o 66,5% (2,77 t·ha⁻¹) (Rakowski, 2003). Rezultaty przeprowadzonych badań własnych wskazują, że zwiększanie nawożenia azotem do 100 kg·ha⁻¹ powodowało istotną poprawę efektu nawadniania, natomiast dalsze zwiększenie dawki nie powodowało większego przyrostu plonu, wręcz przeciwnie – odnotowano tendencję do spadku plonu przy dawce 150 kg N·ha⁻¹ o 0,19 t·ha⁻¹ w porównaniu do dawki 100 kg N·ha⁻¹. Wykorzystując funkcję wielomianową, wyliczono optymalne poziomy nawożenia dla obu wariantów wodnych. W wariancie deszczowanym maksymalny plon ziarna wynoszący 4,85 t·ha⁻¹ uzyskano przy dawce 147 kg N·ha⁻¹, a w warunkach bez deszczowania rachunek regresji wykazał prostoliniowy wzrost plonów ziarna. Rezultaty te mogą sugerować mniejsze potrzeby nawozowe w warunkach deszczowania. Wyniki wieloletnich badań własnych mogą stanowić potwierdzenie tezy Rakowskiego (2003) na temat gwarancji uzyskiwania wyrównanych i wysokich plonów zbóż na glebach lekkich i ubogich, pod warunkiem stosowania wysokich dawek NPK i zapewnienia dobrych warunków wodnych. W badaniach własnych wskutek współdziałania nawożenia i deszczowania plon ziarna owsa wzrósł o 44,6% (1,97 t·ha⁻¹). Kaczmarczyk i in. (1996) informowali o wzroście o 47% (1,99 t·ha⁻¹). W piśmiennictwie brak jednoznacznego wskazania co do potrzeb nawozowych dla form owsa. Walens (2003) wykazała, że odmiana nieoplewiona 'Akt' reaguje istotną zwyżką plonu do dawki 60 kg N·ha⁻¹, natomiast zwiększenie nawożenia z 60 kg do 120 kg nie miało istotnego wpływu na wielkość plonu. Allwood i in. (2021) zaobserwowali zróżnicowaną reakcję odmian owsa na wzrastające dawki azotu. Tylko w jednym z badanych terminów siewu wyznaczono optymalny poziom nawożenia, w pozostałych terminach odmiany reagowały ciągłym wzrostem plonu przy najwyższych poziomach nawożenia. Wyliczony optymalny poziom nawożenia azotem dla jednej z odmian owsa ('Mascani') był wysoki i wyniósł 207 kg N·ha⁻¹, natomiast najniższy, wynoszący 160 kg N·ha⁻¹, stwierdzono dla odmiany 'Gerald'. Dla pozostałych badanych odmian ('Balado' i 'Tardis') optimum było zbliżone i wyniosło 170 kg N·ha⁻¹. Przeprowadzone badania własne mogą stanowić zalecenie stosowania nawożenia azotem u odmiany oplewionej do dawki 100 kg N·ha⁻¹, natomiast nieoplewionej do 150 kg N·ha⁻¹, ze względu na przyrosty plonu.

W literaturze istotny wpływ nawożenia na plon ziarna owsa tłumaczy się wysoką adaptacją elementów plonotwórczych do warunków środowiskowych, zwłaszcza w korzystnym rozkładzie opadów (Jelic i in., 2013; Dumlupinar i in., 2019). Podobnie w badaniach własnych uzyskana zmienność plonowania na skutek nawożenia azotem przede wszystkim

wynikała ze zróżnicowania wartości komponentów plonowania. Wzrost nawożenia azotem sprzyjał zwiększaniu masy tysiąca ziaren oraz liczby wiech na jednostce powierzchni. Optymalny poziom nawożenia dla masy tysiąca ziaren u formy oplewionej wynosił $107 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, natomiast dla formy nieoplewionej najwyższa z dawek powodowała przyrost masy tysiąca ziaren o 13%. Wykazano, że reakcja tej formy owsa na nawożenie azotem była większa niż formy oplewionej, na co wskazuje także zwiększenie liczby wykształconych wiech na jednostce powierzchni pod wpływem zwiększonych dawek azotu i jest to wynik odmienny od wcześniej przytoczonych. Peltonen-Sainio (1997) oraz Piech i in. (2001) nie zaobserwowali zróżnicowanych wymagań owsa nagiego i oplewionego odnośnie nawożenia azotem. Uzyskana w wieloletnich badaniach własnych wartość masy tysiąca ziaren średnio na poziomie $33,8 \text{ g}$ była zbliżona do zawartej w pracy Tomple'a i Hwana (2018). Autorzy w jednym z trzech lat badań odnotowali największą masę tysiąca ziaren przy najwyższej spośród badanych dawek nawożenia ($90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$). Z kolei Allwood i in. (2021), mimo iż nie wykazali istotnej korelacji plonu ziarna z masą tysiąca ziaren, to w przypadku jednej z badanych odmian stwierdzili istotny wzrost masy tysiąca ziaren pod wpływem wzrastających dawek azotu. W literaturze spotyka się także doniesienia, w których masa 1000 ziaren owsa nie ulega zmianom pod wpływem wyższych dawek azotu (Đekić i in., 2014; Szatanik-Kloc i in., 2019) bądź zmniejsza się (Rajčić i in., 2020). Jednak zdaniem wielu autorów masa 1000 ziaren jest cechą charakterystyczną dla odmiany i znacznie większe różnice obserwuje się między genotypami niż między zabiegami lub czynnikami środowiskowymi (Allwood i in., 2021; Đekić i in., 2014; Jelic i in., 2013). Allwood i in. (2021) podkreślają, że masa tysiąca ziaren jest często używanym wskaźnikiem jakości ziarna, ponieważ jest związana ona z jego celnością, co odzwierciedla wysoką wartość ziarna dobrze wypełnionego. Zdaniem Marshall i in. (2013) formowanie się dużej liczby ziaren może powodować konkurencję i niepełne ich wypełnienie, zmniejszając końcową wielkość ziarna. Wyniki Allwood i in. (2021) sugerują, że nawet gdy komponenty plonu ziarna odmian owsa dostosowują się do zmian poziomu nawożenia azotem, to rzeczywisty plon ziarna pozostaje bez zmian. Świdarska-Ostapiak i Stankowski (2002) odnotowany wzrost plonu pod wpływem nawożenia azotem tłumaczyli zwiększeniem liczby wiech na 1 m^2 , przy czym masa 1000 ziaren zmniejszała się pod wpływem wymienionego czynnika.

W zakresie stosowanych dawek wzrastające nawożenie azotem przyczyniało się do zwiększania liczby wiech na jednostce powierzchni, co jest spójne z wynikami badań Panasiewicz i in. (2017b), Maral i in. (2013), Browne i in. (2006), Leitch i Hayes (1989) oraz Laverick (1997). W badaniach Panasiewicz i in. (2017a) i Maral i in. (2013) zwiększenie dawki azotu do maksymalnej powodowało wzrost liczby wiech odpowiednio o $88 \text{ szt}\cdot\text{m}^{-2}$ i $143 \text{ szt}\cdot\text{m}^{-2}$, natomiast w badaniach własnych różnica ta wyniosła $64 \text{ szt}\cdot\text{m}^{-2}$. Noworolnik (2010) w doświadczeniu wazonowym przy wyższym poziomie nawożenia odnotował także wzrost liczby wiech na jednostce powierzchni, który zdaniem autora powodował zwiększenie plonu ziarna owsa. Podobnie w badaniach własnych liczba ziaren z wiechy zwiększała się w miarę wzrastających dawek azotu, przy czym nie udowodniono różnic

istotnych między dawką 100 i 150 kg N·ha⁻¹. Liczba ziaren z wiechy jest iloczynem liczby kłosek i zapłodnionych kwiatów w kłosie, który w przypadku owsa składa się z 2 do 4 kwiatów i w dużej mierze zależy od odmiany owsa (Mahadevana i in., 2016). W badaniach własnych liczba ziaren z wiechy wyniosła od 35,6 do 42,1 w kolejności wzrastających dawek azotu. Wyższe wartości tej cechy (od 47,5 do 62,2) uzyskali Panasiewicz i in. (2017a), a podobne wyniki Koziara i in. (2005) oraz Maral i in. (2013).

Analizując wyniki badań własnych, można stwierdzić bardzo wysoką pozytywną współzależność masy tysiąca ziaren z plonem owsa, co znajduje nieliczne potwierdzenie w literaturze. Mut i in. (2018) zaobserwowali wysoką istotną dodatnią korelację tej cechy z plonem ziarna owsa ($r = 0,25^{**}$), podczas gdy inne doniesienia wskazują na małą (Krishna i in., 2014; Terzic i in., 2018), średnią (Đekić i in., 2014; Jelic i in., 2013) bądź słabą (Dumlupinar i in., 2012; Kaziu i in., 2019) korelację. Zróżnicowanie wyników może być uzasadnione zmiennymi warunkami siedliskowymi. W dobrych warunkach siedliskowych rośliny reagują zagęszczeniem wiech na 1 m², a na słabszych glebach liczby ziaren w wieszce, natomiast w rejonie górskim wszystkie komponenty plonowania mogą decydować o plonie ziarna (Zajac i in., 1999). Owies ze względu na kwiatostan typu wiechy i możliwość regulacji liczby ziaren podczas wypełniania ziarna przez procesy aborcji zawiązków ziarna i formowania kłosek na osi III rzędu uznawany jest za wyjątkowy gatunek wśród roślin zbożowych (Browne i in., 2006). McCabe i Burke (2021) udowodnili, że za wzrost plonów odpowiadało zwiększenie liczby wiech na jednostce powierzchni w reakcji na dawkę azotu. Zdaniem autorów w warunkach chłodnych i wilgotnych o plonowaniu decyduje poziom wypełnienia ziarna kłosek formowanych na osi wiechy II rzędu. Autorzy zaobserwowali, że w warunkach stresu związanego z brakiem wody redukcja bocznych ziarniaków w obrębie kłoska owsa odgrywa kluczową rolę w utrzymaniu poziomu plonowania, zapewniając podstawowe wypełnienie ziarna w każdym kłosku na osi I rzędu. Kiedy liczba płodnych kwiatków jest określana w antezie, alokacja asymilatów ma priorytet dla ziaren podstawowych (osi I rzędu), aby zapewnić przeżycie co najmniej jednego kwiatka. W badaniach własnych stwierdzono zależność plonu od liczby wiech na jednostce powierzchni w zakresie dawek 0–100 kg N·ha⁻¹, jak również wysokości roślin dla dawki 150 kg N·ha⁻¹.

W analizie wyników badań posłużono się współczynnikami ścieżek, które pozwalają na szczegółową interpretację związków przyczynowo-skutkowych, dzieląc współczynnik korelacji na jego komponenty. W rolnictwie analiza ta wykorzystywana jest przez hodowców w celu identyfikacji cech przydatnych jako kryteria w selekcji, aby poprawić plonowanie (Dewey i Lu, 1959; Milligan i in., 1990). Technika ta jest przydatna do określenia bezpośredniego wpływu jednej zmiennej na drugą, a także rozdziela współczynnik korelacji na jego składowe (Rodriguez i in., 2001). Benin i in. (2003) podkreślają, że w hodowli bardzo ważne jest znalezienie powiązania między cechami agronomicznymi owsa, aby zwiększyć wykorzystanie selekcji pośredniej w celu poprawy wydajności ziarna. Autorzy ci wskazują, że bezpośredni i pośredni wpływ masy wiechy owsa, liczby wiech na roślini-

nie oraz średnia masa ziarna mogą pomóc w zidentyfikowaniu roślin o dużej produktywności ziarna i stanowić materiał do wykorzystania na drodze selekcji. W badaniach Lorencetti i in. (2006) i Moradi i in. (2005) wykazali, że liczba wiech na roślinie okazała się najbardziej skorelowaną cechą z plonem owsa. W badaniach własnych podobnie istotną korelację wykazano pomiędzy plonem owsa a liczbą wiech na jednostce powierzchni i liczbą ziarna z rośliny u obu form owsa w zakresie dawek 50–100 kg N·ha⁻¹, a u formy nieoplewionej także przy dawce 150 kg N·ha⁻¹. Mut i in. (2018) wskazują, że masa tysiąca ziaren jest ważnym komponentem plonu u owsa i odmiany o wyższej masie tysiąca ziaren są generalnie zaliczane do odmian o lepszej jakości ziaren. W badaniach własnych masa tysiąca ziaren była w największym stopniu skorelowana z plonem ziarna owsa nagoziarnistego w wariacie kontrolnym przy dawce 50 kg N·ha⁻¹ ($r = 0,65$). W badaniach Koziary i in. (2017) przy zastosowanej dawce 100 kg N·ha⁻¹ u odmiany owsa 'Bingo' w wariacie niedeszczowanym odnotowano istotną korelację plonu z masą tysiąca ziaren. Podobnie Griffiths (2010) odnotował dodatnią korelację plonu, zarówno z liczbą ziaren na jednostce powierzchni, jak i masą tysiąca ziaren, która w jednym z lat badań miała najsilniejszy wpływ na plon. Także Ękić i in. (2014) w pszenżycie ozimym udowodnili istotne dodatnie korelacje plonu ziarna i masy 1000 ziaren we wszystkich trzech latach badań (odpowiednio 0,71*, 0,52* i 0,54*). W badaniach Jelica i in. (2013) masa tysiąca ziaren była istotnie dodatnio skorelowana z plonem ziarna owsa w pierwszym i drugim roku badań, co zdaniem autorów sugeruje, że plon i jego jakość zależne są zarówno od czynników genetycznych, jak i środowiskowych, co jest spójne z wynikami Doehlert i in. (2001), Tamm (2003) i Dumlupinar i in. (2011). Zając i in. (1999) wykazali wysoki udział w tworzeniu plonu masy 1000 ziarn (33,9%) i liczby wiech (42,6%) w rejonie górskim. Zdaniem Sawickiego (1984) zwiększona krzewistość produkcyjna wpływa ujemnie na liczbę ziaren w wiesze, zatem niska krzewistość roślin, średnio na poziomie 1 sztuki w badaniach własnych może tłumaczyć zaobserwowany związek plonu z liczbą wiech na jednostce powierzchni oraz liczbą ziaren z rośliny.

W piśmiennictwie spotyka się niejednoznaczny pogląd dotyczący wpływu nawożenia azotem na zawartość białka w ziarnie owsa. Zarówno w starszych, jak i nowszych doniesieniach literaturowych (Eppendorfer, 1978; Saastamoinen, 1998; Panasiewicz i in., 2017a) dominuje przekonanie o zwiększaniu się zawartości białka w ziarnie pod wpływem wzrastających dawek azotu. Nowsze doniesienia Monjezi-Zadeh i in. (2018) wskazują na zróżnicowane zawartości białka od 10,38% do 11,72%. Panasiewicz i in. (2017a), także w doświadczeniu z różnymi dawkami azotu, potwierdzili, że wraz ze wzrostem dawki azotu wzrasta zawartość białka. Najniższą zawartość białka uzyskali dla wariantu bez nawożenia (11,3%), natomiast najwyższą w ziarnie owsa nawożonego 150 kg N·ha⁻¹ (14,5%). O podobnym wpływie nawożenia azotem na zawartość białka w ziarnie pszenżyta donoszą również Spychaj-Fabisiak i in. (2005), Kara i Uysal (2009), Knapowski i in. (2009) i Leestingi i in. (2010), a w pszenicy jarej López-Bellido i in. (2001). Istnieją także doniesienia, według których przy wroście nawożenia azotem stwierdzono obniżenie zawartości

białka w ziarnie owsa z 12,14% do 9,97% (Rajičić i in., 2020). Uzyskane wyniki własne uwiarygadniają dotychczasowe poglądy na temat zmian jakości ziarna w zależności od nawożenia azotem i wskazują, że nawożenie w zakresie badanych dawek (0–150 kg N·ha⁻¹) zwiększało zawartość białka w ziarnie owsa z 13,16% do 14,86%.

Prezentowane w pracy wyniki dotyczące wpływu nawożenia azotem na plon białka wskazują na korzystne oddziaływanie tego czynnika. Odnotowano wzrost plonu białka wraz ze wzrostem dawki do 150 kg N·ha⁻¹, przy czym w warunkach deszczowania istotny wzrost nastąpił do dawki 100 kg N·ha⁻¹. Podobnie w badaniach nad owsem wykazano wzrost plonu białka do dawki 100 kg N·ha⁻¹ (Panasiewicz i in., 2017b), a w badaniach nad pszenicą do dawki 90 kg N·ha⁻¹ (Nasseri i in., 2009). Na podstawie badań własnych, deszczowanie, z wyjątkiem wariantu bez nawożenia azotem, powodowało istotny wzrost plonu białka, przy czym największy przyrost pod wpływem tego czynnika stwierdzono dla wariantu z dawką 100 kg N·ha⁻¹, wynoszący 172,16 kg·ha⁻¹. Podobnie Pecio i Bichoński (2010) odnotowali wzrost plonu białka owsa pod wpływem nawożenia i zwrócili uwagę na zależność tego czynnika od lokalizacji oraz lat badań. Z kolei Podolska i in. (2009) nie udowodnili zmian w plonie białka pod wpływem wzrostu dawki azotu, jedynie zaobserwowali trend rosnący.

Przeprowadzona ocena wpływu nawożenia azotem na wielkość plonu energii wykazała, iż nawożenie do dawki 100 kg N·ha⁻¹ istotnie w porównaniu z kontrolą zwiększało plon energii owsa o 32%. Dalsze zwiększanie dawki azotu do 150 kg N·ha⁻¹ nie zmieniało istotnie wartości energetycznej owsa, a w przypadku wariantu deszczowanego nawet ją obniżało. Podobne wyniki uzyskali Panasiewicz i in. (2017a), a przyrost plonu energii owsa wyniósł 44,9%. Także Koziara (1997), oceniając plon energii pszenżyta w zależności od deszczowania i nawożenia azotem, wykazał istotny wzrost tej cechy, z tym że przy uprawie w warunkach opadu naturalnego wzrost ten następował do dawki 50 kg N·ha⁻¹, a w warunkach nawadniania do 150 kg N·ha⁻¹. Małecka (2003) wykazała, że optymalny poziom nawożenia azotem dla uzyskania największego plonu energii pszenicy ozimej wynosił w warunkach deszczowania 147,5 kg N·ha⁻¹, natomiast w badaniach własnych dla owsa nawadnianego wyniósł 123,3 kg N·ha⁻¹.

W ocenie wartości siewnej ziarna stwierdzono istotne znaczenie nawożenia azotem, którego zwiększanie do dawki 150 kg N·ha⁻¹ sprzyjało poprawie energii i zdolności kiełkowania. W badaniach Panasiewicz i in. (2017b) także zwiększanie nawożenia azotem do dawki 150 kg·ha⁻¹ podwyższało energię i zdolność kiełkowania owsa. Z kolei w badaniach nad pszenżytem Koziara (1996) wykazał, że zwiększanie nawożenia azotem do dawki 100 kg·ha⁻¹ podwyższało zdolność kiełkowania ziarna, natomiast dalsze zwiększanie dawki pogarszało tę zdolność. Należy zaznaczyć, że źródła literaturowe bardzo rzadko prezentują wyniki dotyczące wartości siewnej ziarna zbóż, w tym owsa.

Wielu autorów zwraca uwagę na konieczność opracowywania precyzyjnych zaleceń uprawowych, aby zapewnić takie dopasowanie technologii, aby uwzględniało ekonomiczną opłacalność i mniejszy wpływ na środowisko (Mantai i in., 2021; Parry i in., 2011;

Prando i in., 2013). W tym kontekście określenie efektywności nawożenia azotem owsa za pomocą wskaźników efektywności rolniczej, fizjologicznej oraz wykorzystania azotu (Novoa i Loomis, 1981) staje się ważnym elementem opracowania, w odpowiedzi na poszukiwanie bardziej zrównoważonych procesów gospodarowania azotem w uprawie tego gatunku. Zwiększenie efektywności nawożenia azotem zależy od różnych czynników, a liczni autorzy, poszukując przyczyn i oceniając zmienność efektywności rolniczej, często przypisywali ją przedplonowi, zastosowanej odmianie oraz warunkom meteorologicznym (Benin i in., 2012; Prando i in., 2013; Silva i in., 2015). Zarówno literatura polska, jak i zagraniczna podaje, że rolnicza efektywność azotu wyrażona przyrostem plonu na jednostkę zastosowanego azotu w nawozach, w miarę wzrostu dawki azotu maleje (Arenhardt i in., 2017; Ciepela i in., 2009; Hussain i in., 1996; Małecka, 2003; Panasiewicz, 2013; Velasco i in., 2012; Wróbel, 1993). W badaniach własnych zarówno w naturalnych warunkach wilgotnościowych, jak i przy nawadnianiu, także odnotowano niższą efektywność rolniczą azotu wraz ze wzrostem dawki tego składnika, co może wynikać z ograniczonej zdolności roślin owsa do przetworzenia pobranego azotu na plon użytkowy przy wyższych dawkach azotu (Fageria i in., 2008). Potwierdzają to także wyniki oceny efektywności fizjologicznej nawożenia azotem, wskazujące na ograniczenie plonu na jednostkę pobranego przez rośliny 1 kg azotu z nawozu. Deszczowanie spowodowało poprawę efektów jednostkowych azotu na wszystkich poziomach nawożenia. Średnio za lata badań deszczowanie, w porównaniu do obiektu bez deszczowania, zwiększyło jednostkową produktywność nawożenia azotem o 57,1%. Wskaźnik wykorzystania azotu z nawozów obliczony na podstawie wskaźnika efektywności rolniczej i fizjologicznej, w warunkach naturalnych bez deszczowania owsa wyniósł 23,9% i 13,3%, odpowiednio dla najniższej i najwyższej dawki azotu, podczas gdy w warunkach deszczowania wartości te wyniosły odpowiednio 45,4% i 14,8%. Średnio w badaniach potwierdzono wyższe wartości efektywności fizjologicznej od rolniczej, co może świadczyć o dużej zdolności owsa do przetworzenia pobranego azotu na plon użytkowy. Wskaźnikiem pozwalającym na szerszą analizę i interpretację zjawisk oddziałujących na wykorzystanie azotu z nawozów przez rośliny uprawne jest współczynnik wykorzystania azotu z nawozów, tj. stopień odzyskania azotu z nawozów. Wartość tego wskaźnika w zbożach, w tym w owsie, waha się od 30% do 50% (Tabak i in., 2020), a przy niższych dawkach azotu i bardzo dobrym gospodarowaniu składnikami pokarmowymi może sięgać 50–80% (Chuan i in., 2016). Niska wartość współczynnika wykorzystania azotu z nawozów pociąga za sobą efekty ekonomiczne i ekologiczne. Straty składników odżywczych, które nie są pobierane przez rośliny lub mikroorganizmy glebowe, związane są z utlenianiem, denitryfikacją oraz wymywaniem (Szmigiel i in., 2016; Shah i Wu, 2019). W przeprowadzonych badaniach stopień wykorzystania azotu z nawozów wyniósł 13,3–45,4%; wykorzystanie to było większe w warunkach deszczowania niż w warunkach naturalnego uwilgotnienia oraz przy mniejszych dawkach azotu. Gospodarowanie składnikami nawozowymi stanowi podstawowy czynnik produkcji, jednocześnie także główny składnik biogenny istotnie oddziałujący na jakość wody, gleby i powietrza (Zegar i in.,

2009), a związany z tym poziom nawożenia mineralnego stanowi jedną z najczęściej stosowanych miar intensywności produkcji rolniczej (Kopiński, 2011). W ocenie skutków zmian klimatu intensywna produkcja rolnicza, ze względu na wysokie poziomy emisji gazów cieplarnianych, jest jednym z czynników stanowiących zagrożenie rozwoju ekonomicznego i stanu środowiska (Bieńkowski i in., 2015). Według danych KOBiZE (2017) rolnictwo w Polsce odpowiada za ok. 8,3% krajowej emisji gazów cieplarnianych, przy czym powoduje 78% emisji podtlenku azotu (N_2O), 30% emisji metanu (CH_4) oraz 0,25% emisji dwutlenku węgla (CO_2). W odpowiedzi na prognozy postępujących globalnych zmian klimatycznych w wielu opracowaniach zarówno polskich, jak i zagranicznych podkreśla się potrzebę ciągłego monitorowania emisji gazów cieplarnianych przy użyciu metody śladu węglowego, by wspierać zarządzanie środowiskiem w produkcji rolniczej i tym samym spowolnić tempo wzrostu koncentracji tych gazów (Bieńkowski i in., 2015; Dong i in., 2013; ECE, 2007; Jaiswal i Agrawal, 2020; Jarosz i Faber, 2014; Jiang i in., 2019; Koniczny i in., 2013; Żyłowski i in., 2018). Obliczone na podstawie wieloletnich danych wartości śladu węglowego w uprawie owsa w odniesieniu do 1 ha powierzchni wyniosły średnio 1248,5 kg CO_2 ekw. Zasób literatury naukowej dotyczącej śladu węglowego owsa jest znikomy, co utrudnia skonfrontowanie uzyskanych obliczeń własnych. Ponadto istniejące dane są rozbieżne, co może wynikać z niekomplementarności zastosowanych metod do oceny emisji gazów, na co zwrócili uwagę Bieńkowski i in. (2015). W badaniach powyższych autorów oceniających emisję gazów cieplarnianych metodą śladu węglowego w intensywnej produkcji rolniczej na przykładzie rzepaku ozimego uzyskano wysokie wartości wynoszące 2441,7 kg CO_2 ekw., z kolei w badaniach Borzęckiej-Walker i in. (2011) uzyskano jeszcze wyższy poziom emisji gazów dla tego gatunku wynoszący około 4,5 t CO_2 ekw. ha^{-1} . W analizowanych gospodarstwach podobnie wysokie wartości w uprawie kukurydzy przedstawili Żyłowski i in. (2018), a emisje wahały się od 1178 kg CO_2 ekw. do 4636 kg CO_2 ekw. Również Zhang i in. (2017) szacowali emisje na poziomie 4052 kg CO_2 ekw. Ślad węglowy w uprawie owsa na terenie UE średnio wynosi 5500 kg CO_2 ekw., wahając się od 3300 kg CO_2 ekw. w Niemczech do 6800 kg CO_2 ekw. w Rumunii. Niskie wartości osiągnięte w Niemczech wynikają z wysokich plonów owsa, natomiast wysoki poziom w Rumunii wynika z osiągnięcia niskich plonów (Heusala i in., 2020). W badaniach własnych największy udział w emisjach gazów cieplarnianych w uprawie owsa związany był z nawożeniem azotem. Zwiększenie dawki azotu do 150 kg ha^{-1} generowało największy wzrost emisji wynoszący w porównaniu z nienawożonym obiektem kontrolnym w warunkach bez deszczowania 55,2%. Uzyskany wynik jest zgodny z literaturą przedmiotu. Wielu autorów wykazuje ścisłą zależność między ilością stosowanych nawozów azotowych a emisją gazów, która waha się od 370 kg CO_2 ekw. (bez nawożenia) do 4569 kg CO_2 ekw. w monokulturze (Ma i in., 2012b), lub 3041 kg CO_2 ekw. w badaniach Holka i in. (2017). Wyniki badań własnych wskazują, że emisja gazów cieplarnianych w uprawie owsa deszczowanego wyniosła średnio 1340,9 kg CO_2 ekw. ha^{-1} i była o 6,9% wyższa niż w uprawie w warunkach bez nawodnienia, co wiązało się ze zwiększonym zużyciem energii. Jednak

średni plon ziarna owsa w warunkach deszczowania wyniósł $4,73 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (oplewiony) i $2,98 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (nieoplewiony), a więc był odpowiednio o 23,5% i 17,1% wyższy niż w warunkach bez deszczowania ($3,62 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ – oplewiony i $2,32 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ – nieoplewiony), stąd ślad węglowy był niższy o 12,4% (oplewiony) i 15,9% (nieoplewiony). Z kolei w badaniach Zhang i in. (2018) w uprawie kukurydzy uzyskano 37-procentowe zmniejszenie śladu węglowego pod wpływem deszczowania, przy czym wartości śladu węglowego wyniosły $5330 \text{ kg CO}_2 \text{ ekw}\cdot\text{ha}^{-1}$ i były o 75% wyższe niż uzyskane w badaniach własnych. W obliczeniach własnych względny udział nawożenia w strukturze udziału zabiegów technologicznych w śladzie węglowym wahał się od 63% do 76% w warunkach niedeszczowanych i od 41% do 72% w warunkach nawadniania odpowiednio przy dawce $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ i $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Wyższe wartości sięgające 78% uzyskali Bieńkowski i in. (2015), natomiast w badaniach Iriarte i in. (2010) wpływ nawożenia był jeszcze wyższy i przekraczał 80%. Emisje rolnicze są najsilniej związane ze stosowaniem i produkcją nawozów azotowych (Jarosz i Faber, 2014), stąd jedną z metod ich ograniczenia staje się poszukiwanie optymalnych dawek nawożenia azotem oraz stosowanie asortymentu nawozów obciążonych mniejszym śladem węglowym przy ich produkcji.

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Warunki pogodowe w okresie wegetacji modyfikowały wzrost, rozwój i długość faz rozwojowych owsa. Największą zmienność wykazano w okresie od dojrzałości woskowej do pełnej (63,3%), natomiast najmniejszą w czasie od rozwoju ziarniaków do dojrzałości woskowej (35,1%) oraz w okresie od wschodów do krzewienia (38,6%).
2. Zmienność poszczególnych okresów rozwojowych owsa była silniej modyfikowana opadami niż temperaturą powietrza. Wyraźny związek z opadami zaznaczył się dla całego okresu wegetacji oraz dla długości trwania okresów: kłoszenie – kwitnienie, rozwój ziarniaków – dojrzałość woskowa. Przy wzroście sumy opadów o 1 mm, okres od strzelania w źdźbło do grubienia pochwy liściowej liścia flagowego wydłużył się o 4,4 dnia, a okres od grubienia pochwy liściowej liścia flagowego do kłoszenia o 2,4 dnia.
3. Optymalne opady dla wielkości plonu ziarna owsa w okresie od krzewienia do strzelania w źdźbło oraz od rozwoju ziarniaków do dojrzałości woskowej wynosiły odpowiednio 51,5 mm i 124,5 mm.
4. Forma oplewiona owsa ('Bingo') plonowała wyżej średnio o około 36,6% niż forma nagoziarnista ('Nagus'). Ponadto forma nagoziarnista charakteryzowała się większą zmiennością plonu ziarna i jego komponentów w porównaniu do formy oplewionej. Forma oplewiona owsa reagowała większym spadkiem plonu na skutek niekorzystnych warunków pogodowych.
5. Plon owsa wzrósł pod wpływem deszczowania o 23,1%. Przyrost ten wynikał z poprawy komponentów plonowania. Nawadnianie owsa zwiększyło masę tysiąca ziaren o 5,6% i liczbę wiech na jednostce powierzchni o 13,4%, ale nie wpłynęło na liczbę ziaren w wieszce.
6. Deszczowanie było czynnikiem stabilizującym plonowanie owsa. U obu form owsa deszczowanie zmniejszyło o połowę współczynniki zmienności plonu, a u formy nieoplewionej zniżyła wartości współczynników zmienności dotyczyła także wszystkich składowych plonu.
7. Nawadnianie zwiększało plon ziarna owsa na każdej ze stosowanych dawek azotu a przyrost ten wahał się od 0,25 t·ha⁻¹ u owsa uprawianego bez nawożenia azotem do

- 1,28 t·ha⁻¹ na obiektach nawożonych dawką 100 kg N·ha⁻¹. W warunkach deszczowania przyrost plonu ziarna owsa w wyniku intensyfikacji nawożenia azotem następował do dawki 147 kg N·ha⁻¹ i mieścił się w badanym zakresie. O wzroście plonu owsa pod wpływem nawadniania decydowała głównie obsada wiech (71,8%).
8. Produktywność wody u odmiany oplewionej była niemal 8 razy większa niż na obiekcie kontrolnym po zastosowaniu 100 kg N·ha⁻¹, a w przypadku odmiany nieoplewionej prawie 4-krotnie większa przy dawce 50 kg N·ha⁻¹. Wyraźnie mniejszy efekt deszczowania uzyskano w przypadku odmiany nieoplewionej.
 9. U formy nieoplewionej wzrost plonu oraz jego wartości energetycznej wraz ze zwiększeniem nawożenia azotem był prostoliniowy, natomiast u formy tradycyjnej można oczekiwać wzrostu plonu wraz ze zwiększeniem nawożenia azotem do dawki 129 kg N·ha⁻¹, a dla uzyskania największej wartości energetycznej ziarna do dawki 127,8 kg N·ha⁻¹. O większym plonie owsa oplewionego decydowała w 42,4% masa tysiąca ziaren, w 28,6% liczba wiech i w 29% liczba ziaren z wiechy.
 10. Wzrost plonu ziarna pod wpływem deszczowania w zakresie stosowanych dawek azotu obniżał ślad węglowy w uprawie obu form owsa, a największą zniżkę wynoszącą 22,5% odnotowano przy stosowaniu dawki azotu 50 kg·ha⁻¹ u owsa nagiego.
 11. Efektywność rolnicza i fizjologiczna oraz wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez owies zmniejszały się wraz ze wzrostem dawki azotu, natomiast wartości emisji CO₂ wyraźnie wzrastały i przy dawce 150 kg N·ha⁻¹ generowały największy wzrost emisji wynoszący w porównaniu z obiektem kontrolnym 55,2%. Zwiększenie efektywności nawożenia poprzez dopasowanie do uprawianej formy owsa daje możliwość redukcji emisji gazów cieplarnianych.

LITERATURA

- Alazmani, A. (2015). Evaluation of yield and yield components of barley varieties to nitrogen. *Int. J. Agricult.and Crop Sci.*, 8(1), 52–54.
- Alcamo, J., Moreno, J.M., Novaky, B., Bindi, M., Corobov, ..., Shvidenko, A. (red.) (2007). *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge (UK): Cambridge University Press, 541–580.
- Allwood, J.W., Martinez-Martin, P., Xu, Y., Cowan, A., Pont, S., Griffiths, I., Howarth, C. (2021). Assessing the impact of nitrogen supplementation in oats across multiple growth locations and years with targeted phenotyping and high-resolution metabolite profiling approaches. *Food Chem.*, 355, 129585.
- Andruszczak, S., Palys, E., Kwiecińska-Poppe, E., Kraska, P. (2010). Wpływ poziomu agrotechniki na plonowanie nagoziarnistej i oplewionej formy owsa. *Progr. Plant Protect./Post. Ochr. Rośl.*, 50(1), 409–413.
- Aparicio-Garcia, N., Martinez-Villaluenga, C., Frias, J., Penas, E. (2021). Sprouted oat as a potential gluten-free ingredient with enhanced nutritional and bioactive properties. *Food Chem.*, 338, 127972.
- Arenhardt, E.G., da Silva, J.A.G., Arenhardt, L. G., da Silva, D.R., Gzergorczyk, M.E., Ceolin, G.P., de Oliveira, A.C. (2017). Technical and agronomic efficiency of oat cultivars as a function of nitrogen availability. *Cientifica*, 45(3), 257–270.
- Arseniuk, E., Oleksiak, T. (2009). Postęp w hodowli głównych roślin uprawnych w Polsce i możliwości jego wykorzystania do 2020 roku. *Studia i raporty IUNG-PIB*, 14, 293–305.
- Bartnikowska E., Lange E., Rakowska M. (2000). Ziarno owsa – niedoceniane źródło składników odżywczych i biologicznie czynnych. Część I–II. Polisacharydy i włókno pokarmowe, składniki mineralne, witaminy. *Biul. IHAR* 215, 223–235.
- Bednarek, W., Tkaczyk, P., Dresler, S., Jawor, E. (2013). Plonowanie owsa w zależności od niektórych właściwości gleby i nawożenia azotem. *Acta Agrophys.*, 20(1), 29–38.
- Benin, G., Bornhofen, E., Beche, E., Pagliosa, E.S., Silva, C.L., Pinnow, C. (2012). Agronomic performance of wheat cultivars in response to nitrogen fertilization levels. *Acta Sci. Agron.*, 34, 275–283.
- Benin, G., Carvalho, F. I. F. de., Oliveira, A. C. de., Marchioro, V. S., Lorencetti, C., ..., Cargnin, A., Simioni, D. (2003). Correlation estimates and path analysis as selection criteria for grain yield in oat. *R. Bras. Agrociencia*, 9(1), 09–16.
- Beringer, H. (1971). Influence of temperature and seed ripening on the in-vivo incorporation of ¹⁴CO₂ into the lipids of oat grains (*Avena sativa* L.). *Plant Physiol.*, 48, 433–436.

- Berry, P.M., Spink, J.H., Foulkes, M.J., Wade, A. (2003). Quantifying the contributions and losses of dry matter from non-surviving shoots in four cultivars of winter wheat. *Field Crops Res.*, 80, 111–121.
- Biel, W., Bobko, K., Maciorowski, R. (2009). Chemical composition and nutritive value of husked and naked oats grain. *J. Cereal Sci.*, 49, 413–418.
- Biel, W., Jacyno, E., Kawęcka, M. (2014). Chemical composition of hulled, dehulled and naked oat grains. *S. Afr. J. Anim. Sci.*, 44(2), 189–197.
- Bieńkowski, J., Jankowiak, J., Holka, M., Dąbrowicz, R. (2015). Potrzeby wyznaczania śladu węglowego produkcji rolniczej i perspektywy jego zastosowań. Poznań: Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Poznaniu, 83.
- Biskupski, A., Bogdanowiczowa, M., Dzieżyc, J. (1976). Wpływ nawadniania i nawożenia mineralnego na plon i jakość ziarna odmian pszenicy jarych i ozimych na glebach lekkich. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 181, 269–287.
- Bleiderer, M., Vicupa, Z., Zute, S. (2012). Food grain quality traits in oat under organic and conventional growth conditions. *Safe Food. Proceedings of 16th International Eco-Conference*. Novi Sad, Serbia, 26.–29.09.2012, 353–360.
- Bleken, M.A., Skjelvåg A.O. (1986). The phenological development of oat (*Avena sativa* L.) cultivars as affected by temperature and photoperiod. *Acta Agric. Scand.*, 36, 353–365.
- Borówczak, F., Maciejewski, T., Grześ, S., Szukała, J. (1996). Efekty deszczowania i nawożenia azotem niektórych roślin uprawnych w warunkach Wielkopolski w latach 1989–1992. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 438, 103–110.
- Borówczak, F., Grześ, S., Koziara, W. (1999). Efekty różnych systemów uprawy pszenicy ozimej w zależności od deszczowania. *Pam. Puław*. 118, 27–34.
- Borówczak, F., Grześ, S., Rębarz, K. (2003). Wpływ deszczowania i systemu uprawy na plony, elementy plonowania i jakość materiałów siewnych pszenicy ozimej, jęczmienia jarego i grochu. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 48(3), 38–42.
- Borzęcka-Walker, M., Faber, A., Pudelko, R., Kozyra, J., Syp, A., Borek, R. (2011). Life cycle assessment (LCA) of crops for energy production. *J. Food, Agric. Environ.*, 9, 698–700.
- Brand, T.S., Cruywagen, C.W., Brandt, D.A., Viljoen, M., Burger, W.W. (2003). Variation in the chemical composition, physical characteristics and energy values of cereal grains produced in the Western Cape area of South Africa. *S. Afr. J. Anim. Sci.*, 33, 117–126.
- Brinkman, M.A., Rho, Y.D. (1984). Response of three oat cultivars to N fertilizer. *Crop Sci.*, 24, 973–977.
- Browne, R.A., White, E. M., Burke, J. I. (2006). Responses of developmental yield formation processes in oats to variety, nitrogen, seed rate and plant growth regulator and their relationship to quality. *J. Agric. Sci.*, 141, 533–545.
- Brunava, L., Alsina, I., Zute, S., Sterna, V., Vicupe, Z. (2014). Some chemical, yield and quality properties of domestic oat cultivars. *Foodbalt*. Dostęp online: http://llufb.llu.lv/conference/foodbalt/2014/FoodBalt_Proceedings_2014-72-76.pdf.
- Buerstmayr, H., Krenn, N., Stephan, U., Grausgruber, H., Zechner, E. (2007). Agronomic performance and quality of oat (*Avena sativa* L.) genotypes of worldwide origin produced under central European growing conditions. *Field Crops Res.*, 101, 341–351.
- Buraczyńska, D. (2010). Porównanie plonowania i zawartości białka mieszanek owsa oplewionego i łubinu wąskolistnego. *Zywn. Nauka Technol. Jakość*, 17(3), 160–173.
- Buras, T. (1982). Translocation of assimilates and maturation in wheat and oats at different temperatures. In: *Proc. Agric. Res. Council of Norway-Professional Comm. of Norwegian Cereal Breeding Programme, Sanner Turisthotell, Gran*. 19 Feb. *Agric. Res. Council of Norway* (p. 2–12).
- Burešová, I., Sedláčková, I., Faměra, O., Lipavský, J. (2010). Effect of growing conditions on starch and protein content in triticale grain and amylose content in starch. *Plant Soil Environ.*, 56(3), 99–104.

- Cermak, B., Moudry, J. (1998). Comparison of grain yield and nutritive value of naked and husked oats. *Acta Acad. Agric. Tech. Olst. Agric.*, 66, 89–98.
- Chang, H.C., Huang, C.N., Yeh, D.M., Wang, S.J., Peng, C.H., Wang, C.J. (2013). Oat prevents obesity and abdominal fat distribution, and improves liver function in humans. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 68, 18–23.
- Chmura, K., Chylińska, E., Dmowski, Z., Nowak, L. (2009). Rola czynnika wodnego w kształtowaniu plonu wybranych roślin polowych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 9, 33–34.
- Chu, Y.F. (2014). *Oats Nutrition and Technology*. Oxford, UK: Wiley Blackwell.
- 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, 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.*, LXIV(2), 67–77.
- COBORU (2009). Lista opisowa odmian. Rośliny rolnicze cz. 1. Słupia Wielka: Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych, 44–50.
- COBORU (2021). Lista opisowa odmian roślin rolniczych 2021. Słupia Wielka: Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych.
- Cyrkler-Degulis, M., Bulińska-Radomska, Z. (2007). Value of old and modern oats cultivars for organic farming. *J. Res. Appl. Agric. Eng. (Pol.)*, 3, 27–31.
- Daryanto, S., Wang, L., Jacinthe, P. A. (2016). Global Synthesis of Drought Effects on Maize and Wheat Production. *PLoS ONE*, 11(5): e0156362. doi: 10.1371/journal.pone.0156362.
- Debaeke, P., Aboudrare, A. (2004). Adaptation of crop management to water-limited environments. *Eur. J. Agron.*, 21(4), 433–446.
- Đekić, V., Milovanović, M., Popović, V., Milivojević, J., Staletić, M., Jelić, M., Perišić, V. (2014). Effects of fertilization on yield and grain quality in winter triticale. *Rom. Agric. Res.*, 31, 175–183.
- Dewey, D.R., Lu, K.H. (1959). A correlation and path coefficient analysis of components of crested wheat grass and seed production. *Agron. J.*, 1, 515–518.
- Djukic, N.H., Knežević, D.S. (2014). Molecular characterization and genetic diversity analysis β -glucan content variability in grain of oat (*Avena sativa* L.). *Genetika*, 46, 529–536.
- DLG-Futterwerttabellen für Schweine (1984). Frankfurt: DLG-Verlag, Universität Hohenheim.
- Doehlert, D.C., McMullen, M.S., Hammond, J.J. (2001). Genotypic and environmental effects on grain yield and quality of oat grown in North Dakota. *Crop Sci.*, 41(4), 1066–1072.
- 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.
- Dorszewski, A., Górski, T. (1995). Prosty wskaźnik ewapotranspiracji potencjalnej. *Rocz. AR Pozn., CCLXXI, Melior. Inż. Środ.*, 16, 3–8.
- Drastig, K., Libra, J., Kraatz, S., Koch, H. (2016). Relationship between irrigation water demand and yield of selected crops in Germany between 1902 and 2010: a modeling study. *Environ. Earth Sci.*, 75(22), 1–14.
- Dubis, B., Budzyński, W. (2003). Reakcja owsa nagoziarnistego i oplewionego na termin i gęstość siewu. *Biul. IHAR*, 229, 139–146.
- Dumlupinar, Z., Güngör, H., Dokuyucu, T., Herek S., Tekin A., Akkaya, A. (2019). Agronomical screening of OGLE1040/TAM O-301 oat genetic mapping population. *Sains Malaysiana*, 48(5), 975–981.
- Dumlupinar, Z., Kara, R., Dokuyucu, T., Akkaya, A. (2012). Correlation and path analysis of grain yield and yield components of some Turkish oat genotypes. *Pak. J. Bot.*, 44(1), 321–325.
- Dumlupinar, Z., Maral, H., Kara, R., Dokuyucu, T., Akkaya, A. (2011). Evaluation of Turkish oat landraces bases on grain yield, yield components and some quality traits. *Turkish J. Field Crop.*, 16, 190–196.

- Dziężyć, J. (1973). Ocena reakcji odmian pszenicy, ziemniaków, buraków i kapusty na nawadnianie i wysokie nawożenie w warunkach gleb lekkich. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 140, 87–99.
- Dziężyć, J. (1993). Czynniki plonotwórcze – plonowanie roślin, Pr. zbior. Warszawa: PWN, s. 434.
- ECE (2007). *Strategies and policies for air pollution abatement.*, New York and Geneva: United Nations.
- Elandt, R. (1964) *Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczalnictwa rolniczego.* Warszawa: PWRiL.
- Eppendorfer, W.H. (1978). Effects of nitrogen, phosphorus and potassium on amino acid composition and on relationships between nitrogen and amino acids in wheat and oat grain. *J. Sci. Food Agric.*, 29(12), 995–1001.
- Fabiańska, M., Kosieradzka, I., Bekta, M. (2003). Owies nagi w żywieniu trzody chlewnej i drobiu. *Biul. IHAR*, 229, 317–328.
- 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.
- Faligowska, A., Szukała, J. (2012). Wpływ deszczowania i systemów uprawy roli na wigor i wartość siewną nasion łubinu żółtego. *Nauka Przyr. Tech.*, 6(2), 26.
- FAO (2003). *Food and Agriculture Organization. Review of World Water Resources by Country.* Rome: Water Reports, FAO, 23.
- FAO (2020). FAOSTAT database. Agricultural crops: oat:area harvested/yield. <http://faostat.fao.org/> [dostęp 20.12.2021].
- Feledyn-Szewczyk, B., Jończyk, K. (2016). Assessment of the suitability of oat varieties (*Avena sativa* L.) for cultivation in organic system. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 61(3), 82–87.
- Fotyma, E. (1990). Określenie potrzeb nawozowych roślin w stosunku do azotu na przykładzie jęczmienia jarego. *Fragm. Agron.*, 7(4), 4–78.
- Fotyma, M., Igras, J., Kopiński, J. (2009). Produkcyjne i środowiskowe uwarunkowania gospodarki nawozowej w Polsce. *Puławy: Studia i Raporty IUNG-PIB*, 14.
- Frey, K.J., Holland, J.B. (1999). Nine cycles of recurrent selection for increased groat-oil content in oat. *Crop Sci.*, 39, 1636–1641.
- Gao, W., Zhang, Y., Feng, Z., Bai, Q., He, J., Wang, Y. (2018). Effects of melatonin on antioxidant capacity in naked oat seedlings under drought stress. *Molecules*, 23(7), 1580.
- Gąsiorowska, B., Cybulska, A., Makarewicz, A. (2011a). Wpływ gęstości siewu na zawartość wybranych składników pokarmowych w ziarnie owsa siewnego. *Fragm. Agron.*, 28(4), 16–23.
- Gąsiorowska, B., Cybulska, A., Makarewicz, A. (2011b). Zawartość fosforu, potasu i wapnia w ziarnie wybranych odmian owsa siewnego. *Medycyna Ogólna i Nauka o Zdrowiu*, 17(1), 17–22.
- Gąsiorowska, B., Płaza, A., Makarewicz, A., Cybulska, A. (2013). Wpływ warunków termiczno-opadowych na rozwój i plon owsa uprawianego w rejonie środkowo-wschodniej Polski. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 2, I, 53–63.
- Gąsiorowski, H. (red.). (1995). *Owies: chemia i technologia.* Warszawa: PWRiL.
- Givens, D.I., Davies, T.W., Laverick, R.M. (2004). Effect of variety, nitrogen fertiliser and various agronomic factors on the nutritive value of husked and naked oats grain. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 113, 169–181.
- Gorash, A., Armonienė, R., Mitchell Fetch, J., Liatukas, Ž., Danytė, V. (2017). Aspects in oat breeding: nutrition quality, nakedness and disease resistance, challenges and perspectives. *Ann. Appl. Biol.*, 171(3), 281–302.
- Górski, T. (2006). Zmiany warunków agroklimatycznych i długość okresu wegetacji roślin w ostatnim stuleciu. W: M. Gutry-Korycka, A.L. Starkel, L. Ryszkowski (red.), *Długookresowe przemiany krajobrazu Polski w wyniku zmian klimatu i użytkowania ziemi* (s. 65–77). Poznań: Komitet Narodowy IGBP – Global Change.

- Górski, T., Demidowicz, G., Deputat, T., Doroszewski, A., Górka, K., Marcinkowska, I., Spozpać, W. (1996). Metoda bieżącej oceny plonów pszenicy ozimej, żyta ziemniaka, buraka cukrowego i rzepaku na podstawie indeksów pogodowych. Sprawozdanie PBZ 73-02 „Metodyka bieżącej i długoterminowej prognozowania wielkości produkcji głównych ziemiopłodów w Polsce”. Puławy: IUNG.
- Grabiński, J. (2016). Plonowanie zbóż w zależności od warunków pogodowych i regionalnych. Studia i Raporty IUNG-PIB, 50(4), 9–22.
- Grausgruber, H., Scheiblaue, J., Schönlechner, R., Ruckebauer, P., Berghofer, E. (2004). Variability in chemical composition and biologically active constituents of cereals. Wiedeń: BOUK – University of Natural Resources and Applied Life Sciences, 23–26.
- Griffiths, I.M. (2010). Dissecting the yield components of winter oats (*Avena sativa* L.). A study of physiology and genetics of UK winter oats lines. Rozprawa doktorska, Aberystwyth University.
- Gruszka, J. (2004). Efektywność produkcyjna rozdeszczowanej wody w wybranych gospodarstwach rolnych. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 4, 73–85.
- Grzebisz, W. (2012). Technologie nawożenia roślin uprawnych – fizjologia plonowania. T. 2. Zboża i kukurydza. Poznań: PWRiL, 45–71.
- Gurmani, Z.A., Zia-ul-Hassan, M., Iran, M., Jamali, A.R., Bashir, M. (2006). Cost benefits analysis of wheat, barley and oat crops for grain production. J. Agric. Res., 44(4), 335–341.
- GUS (2020). Powszechny spis rolny. Raport z wyników. Warszawa: Zakład Wydawnictw Statystycznych.
- Guy, S.O., Tablas-Romero, H., Heikkinen, M.K., (1995). Agronomic responses of winter wheat cultivars to management systems. J. Prod. Agric., 8, 529–535.
- Hackett, R. (2018). A comparison of husked and naked oats under Irish conditions. Ir. J. Agric. Food Res., 57, 1–8.
- Hakala, K., Jauhiainen, L., Himanen, S.J., Rötter, R., Salo, T., Kahiluoto, H. (2012). Sensitivity of barley varieties to weather in Finland. J. Agr. Sci., 150:145–160.
- Hakala, K., Jauhiainen, L., Rajala, A.A., Jalli, M., Kujala, M., Laine, A. (2020). Different responses to weather events may change the cultivation balance of spring barley and oats in the future. Field Crops Res., 259, 107956.
- Hansen, H.B., Møller, B., Andersen, S. B., Jørgensen, J.R., Hansen, A. (2004). Grain characteristic, chemical composition, and functional properties of rye (*Secale cereale* L.) as influenced by genotype and harvest year. J. Agric. Food Chem., 52, 2282–2291.
- Hausfather, Z., Cowtan, K., Clarke, D.C., Jacobs, P., Richardson, M., Rohde, R. (2017). Assessing recent warming using instrumentally homogeneous sea surface temperature records. Sci. Adv., 3(1), e1601207.
- Hellewell, K.B., Stuthman, D.D., Markhart, A.H. III, Erwin, J.E. (1996). Day and night temperature effects during grain filling in oat. Crop Sci., 36, 624–628.
- Hensel, W. (1980). Polska starożytna. Wrocław: Wyd. Ossolineum,.
- Heusala, H., Sinkko, T., Sözer, N., Hytönen, E., Mogensen, L., Knudsen, M.T. (2020). Carbon footprint and land use of oat and faba bean protein concentrates using a life cycle assessment approach. J. Clean. Prod., 242, 118376.
- Hisir, Y., Kara, R., Dokuyucu, T. (2012). Evaluation of oat (*Avena sativa* L.) genotypes for grain yield and physiological traits. Zeminbyste Agricul., 99, 1, 55–60.
- Ho, H.V.T. (2015). The effect of oat and barley β -glucan on LDL-C and emerging clinical lipid targets for cardiovascular disease. Praca doktorska. Toronto, Canada: University of Toronto.
- Hoffmann, L., Schiemann, R. (1980). Von der Kalorie zum Joule: Neue Größenbeziehungen bei Messungen des Energieumsatzes und bei der Berechnung von Kennzahlen der energetischen Futterbewertung. Archives of Animal Nutrition, 30(10–12), 733–742.
- Holka, M., Bieńkowski, J. F., Jankowiak, J., Dąbrowicz, R. (2017). Life cycle assessment of grain maize in intensive, conventional crop production system. Rom. Agric. Res., 61, 301–310.

- Holzapfel, C.B. (2014). Field-scale evaluation of foliar applied fungicide options for various crops. Canada: Indian Head Agricultural Research Foundation, www.iharf.ca/full-reports.
- 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.
- Hughes, D.J., West, J.S., Atkins, S.D., Gladders, P., Jeger, M.J., Fitt, B.D.L. (2011). Effects of disease control by fungicides on greenhouse gas emissions by UK arable crop production. Pest Manag. Sci., 67(9), 1082–1092, <http://dx.doi.org/10.1002/ps.2151>.
- 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, 175–184.
- IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories (2006). W: S Eggleston, L. Buenda, K. Miwa, T. Negara, K. Tanabe (red.), Prepared by national greenhouse gas inventories programme. Japan: Eggleston Published, IGES.
- Iriarte, A., Rieradevall, J., Gabarrell, X. (2010). Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. J. Clean. Prod., 18, 336–345.
- ISTA International Seed Testing Association (2011). International rules for seed testing Seed Science and Technology, Basserdorf, Switzerland.
- FAO/WRB – IUSS Working Group WRB (2007). World Reference Base for Soil Resources, World Soil Resources Reports, 103. Rome: FAO.
- Jahanzad, E., Jorat, M., Moghadam, H., Sadeghpour, A., Chaichi, M.R., Dashtaki, M. (2013). Response of a new and a commonly grown forage sorghum cultivar to limited irrigation and planting density. Agric. Water Manag., 117, 62–69.
- Jaiswal, B., Agrawal, M. (2020). Carbon footprints of agriculture sector. In: Carbon Footprints, Springer, Singapore, s. 81–99.
- Jankowiak, J. (1989). Efekty nawadniania owsa na luźnej glebie piaszczystej. Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln., 377, 249–258.
- Jarosz, Z., Faber, A. (2014). Ograniczenia emisji rolniczych poprzez stosowanie optymalnych dawek nawożenia azotem. Studia i Raporty IUNG-PIB, 39(13): 29–42.
- Jaskulski, D. (2002), Masa tysiąca ziaren i zdolność kiełkowania ziarna pszenżyta jarego odmiany Migo z plantacji nasiennych w regionie kujawsko-pomorskim. Folia Univ. Agric. Stetin. Agricultura, 228(91), 23–28.
- Jelic, M., Dugalić, G., Milivojević, J., Đekić, V. (2013). Effect of liming and fertilization on yield and quality of oat (*Avena sativa* L.) on an acid luvisol soil. Rom. Agric. Res., 30, 249–258.
- Jensen, C.R., Joernsgaard, B., Andersen, M.N., Christiansen, J.L., Mogensen, V.O., Friis, P., Petersen, C.T. (2004). The effect of lupins as compared with peas and oats on the yield of the subsequent winter barley crop. Eur. J. Agron., 20(4), 405–418.
- Jiang, Z., Zhong, Y., Yang, J., Wu, Y., Li, H., Zheng, L. (2019). Effect of nitrogen fertilizer rates on carbon footprint and ecosystem service of carbon sequestration in rice production. Sci. Total Environ., 670, 210–217.
- Joyce, S.A., Kamil, A., Fleige, L., Gahan, C.G.M. (2019). The Cholesterol-Lowering Effect of Oats and Oat Beta Glucan: Modes of Action and Potential Role of Bile Acids and the Microbiome. Front. Nutr., 6, 171. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00171>.
- Kaczorowska, Z. (1962). Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. Przegląd Geograficzny IG PAN, 33, 112.
- Kaiser, H.F. (1960). The application of electronic computers to factor analysis. Educ. Psychol. Meas., 20, 141–151.
- Kara, B., Uysal, N. (2009). Influence on grain yield and grain protein content of late-season nitrogen application in triticale. J. Anim. Vet. Adv., 8, 579–586.
- Karczmarczyk, S., Koszański, Z., Friedrich, S., Kowalski, W. (1996). Porównanie reakcji dwóch odmian owsa na deszczowanie i nawożenie mineralne. Cz. I. Wzrost, rozwój i plonowanie. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 438, 219–226.

- Kawka, A., Achremowicz, B. (2014). Owies – roślina XXI wieku. Wykorzystanie żywieniowe i przemysłowe. *Nauka Przynr. Tech.*, 8, 32–41.
- Kaziu, I., Kashta, F., Celami, A. (2019). Estimation of grain yield, grain components and correlations between them in some oat cultivars. *Albanian J. Agric. Sci.*, 18(1), 13–19.
- Kędziora, A., Kępińska-Kasprzak, M., Kowalczak, P., Kundzewicz, Z.W., Miler, A.T., Pierzgałski, E., Tokarczyk, T. (2014). Zagrożenia związane z niedoborem wody. *Nauka*, 1, 149–172.
- Kirkkari, A.M. (2008). Comparative economic analysis for production of naked vs. conventional oat. *Acta Agric. Scand. - B – Soil and Plant Science*, 58(4), 305–313.
- Kirkkari, A.-M., Peltonen-Sainio, P., Rita, H. (2001) Reducing grain damage in naked oat through gentle harvesting. *Agric. Food Sci. Finland*, 10, 223–229.
- Klima, K., Pisulewska, E. (2000). Kształtowanie się komponentów struktury plonu ziarna owsa uprawianego w warunkach górskich w siewie czystym i mieszankach. *Rocz. AR Poznań, ser. Rolnictwo*, 58, 39–47.
- Klimek-Kopyra, A., Kulig, B., Oleksy, A., Zajac, T. (2015). Agronomic performance of naked oat (*Avena nuda* L.) and faba bean intercropping. *Chil. J. Agric. Res.*, 75(2), 168–173.
- Knapowski, T., Ralcewicz, M., Barczak, B., Kozera, W. (2009). The effect of fertilization with nitrogen and zinc on the bread-making quality of spring triticale cultivated in the Noteć Valley. *Pol. J. Environ. Stud.*, 18, 227–233.
- KOBiZE (Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami) (2017). Poland's National Inventory Report 2017. Greenhouse Gas Inventory for 1988–2015. Warszawa: The National Centre for Emissions Management.
- Koc, J., Szymczyk, S. (2002). Wpływ nawożenia azotem i wilgotności gleby na kształtowanie się elementów struktury plonu pszenżyta jarego. *Fragm. Agron.* 2(74), 118–127.
- Kokoszko, M., Jagusiak, K., Rzeźnicka, Z. (2014). Oats in Ancient Greek and Byzantine Medical Treatises, V Century BC–XI century AD.: Some Observations on the Popularity of Oats as a Foodstuff and a Medication. *Byzantinoslavica*, 72(1), 37–64.
- Kołodziej, J., Kulig, B. (2005). Wpływ pogody na kształtowanie się plonu i wybranych cech owsa. *Biul. IHAR*, 235, 269–280.
- Kołodziej, J., Kulig, B. (2007). Wpływ terminu i długości występowania faz rozwojowych na kształtowanie się plonu ziarna i wybranych cech owsa. *Acta Agrophys.*, 9(2), 389–398.
- 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.
- Kopiński, J. (2011). Tendencje zmian intensywności produkcji rolniczej w Polsce w aspekcie potencjalnych oddziaływań środowiskowych. *Problems of World Agriculture/Problemy Rolnictwa Światowego*, 11(1), 95–104.
- Kopiński, J., Nieróbca, A., Ochal, P. (2013). Ocena wpływu warunków pogodowych i zakwaszenia gleb w Polsce na kształtowanie produktywności roślinnej. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 13, 2(43), 53–63.
- Kordulasińska, I., Bulińska-Radomska, Z. (2014). Ocena cech morfologicznych, użytkowych i składu chemicznego obiektów owsa zgromadzonych w Krajowym Centrum Roślinnych Zasobów Genowych w Radzikowie. *Polish Journal of Agronomy*, 16, 3–12.
- Koszański, Z., Podsiadło, C., Roy, M., Zbieć, I. (1994). Reakcja zbóż jarych na deszczowanie. *Mat. konf. Instytutu Techniki Rolniczej*. Szczecin: Akademia Rolnicza, 145–148.
- Kozera, W., Majcherczak, E., Barczak, B., Nowak, K. (2006). Plon ziarna owsa w zależności od nawożenia mikroelementami. *Biul. IHAR*, 239, 111–115.
- Koziara, W. (1996). Wzrost, rozwój oraz plonowanie pszenżyta jarego i ozimego w zależności od czynników meteorologicznych i agrotechnicznych. *Rocz. AR, Rozprawy Naukowe*, 269.
- Koziara, W. (1998). Plon i wartość siewna pszenżyta jarego w zależności od deszczowania, sposobu uprawy i nawożenia azotem. *Zesz. Nauk. AR w Szczecinie, Rolnictwo*, 187, 65–69.

- Koziara, W. (2004). Reakcja trzech odmian owsa na deszczowanie i nawożenie azotem. *Biul. IHAR*, 231, 397–403.
- Koziara, W., Panasiewicz, K., Sulewska, H. (2005). Yielding and chemical composition of oats grain depending on irrigation and nitrogen fertilization. *Scientific Papers of Agricultural University of Poznań, series Agriculture.*, 5, 13–23.
- Koziara, W., Panasiewicz, K., Sulewska, H. (2006). Efekty nawożenia azotem pszenżyta jarego w warunkach pól niedeszczowanych i deszczowanych. *Folia Univ. Agric. Stetin. Agricultura*, 247(100), 89–95.
- Koziara, W., Panasiewicz, K., Sulewska, H., Sobieszczański, R. (2017). The consequences of abandoning nitrogen fertilisation in the cultivation of three forms of oat, depending on the water conditions. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 62(3), 190–195.
- Kozłowska-Ptaszyńska, Z., Pawłowska, J. (1997). Reakcja nowych odmian owsa na nawożenie azotem. *Pam. Puławski*, 109, 7–18.
- Kozyra, J., Nieróbca, A., Mizak, K., Pudelko, R., Borzęcka-Walker, M., Faber, A., Doroszewski, A. (2010). Zmiana klimatu – nowe wyzwania dla rolnictwa. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 19, 133–144.
- Kozmiński, C., Michalska, B., Leśny, B. (2010). Niekorzystne zjawiska atmosferyczne w Polsce. Straty w rolnictwie. Klimatyczne zagrożenia rolnictwa w Polsce. *Rozprawy i Studia Uni. Szczec.* 847(773), 9–55.
- Krasowicz, S., Kuś, J. (2010). Kierunki zmian w produkcji rolniczej w Polsce do roku 2020 – próba prognozy. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 3, 6–18.
- Krishna, A., Ahmed, S., Pandey, H.C., Kumar, V. (2014). Correlation, path and diversity analysis of oat (*Avena sativa* L.) genotypes for grain and fodder yield. *J. Plant Sci. Res.*, 2, 1–9.
- Krygowski, B. (1961). *Geografia fizyczna Niziny Wielkopolskiej. Cz. I. Geomorfologia*. Poznań: PWN.
- Kundzewicz, Z.W., Kozyra, J. (2011). Ograniczanie wpływu zagrożeń klimatycznych w odniesieniu do rolnictwa i obszarów wiejskich. *Pol. J. Agron.*, 7, 68–81.
- Kukul, M.S., Irmak, S. (2020). Impact of irrigation on interannual variability in United States agricultural productivity. *Agric. Water Manag.*, 234, 1, 106141.
- Lafond, G.P., May, W.E., Holzapfel, C.B. (2013). Row spacing and nitrogen fertilizer effect on no-till oat production. *Agronomy J.*, 105, 1–10. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0221>.
- Lancashire, P.D., Bleiholder, H., Van Den Boom, T., Langeluddeke, P., Stauss, R., Weber, E., Witzemberger, A. (1991). A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Ann. Appl. Biol.*, 119, 561–601.
- Laverick, R.M. (1997). *Winter Oats Agronomy Review*. Cambridge and London, UK: Semundo Limited and the Home Grown Cereals Authority.
- Legget, J.M. (1992). Classification and specation in *Avena*. W: Segoe, S. (red.): *Oat science and technology*. American Society of Agronomy. Agronomy Monograph, Madison, WI, USA, 33, 29–52.
- Leischman, M.R., Westoby, M. (1994). The role of seed size in seedling establishment in dry soil conditions – experimental evidence from semi-arid species. *J. Ecol.*, 82, 249–258.
- Leitch, M., Hayes, J.D. (1989). Effects of chlormequat application on stem characteristics, yield and panicle conformation of winter oats. *J. Agric. Sci., Cambridge*, 113, 17–26.
- Lestingi, A., Bovera, F., De Giorgio, D., Ventrella, D., Tateo, A. (2010). Effects of tillage and nitrogen fertilization on triticale grain yield, chemical composition and nutritive value. *J. Sci. Food Agric.*, 90, 2440–2446.
- Leszczyńska, D. (2002). Uprawa owsa nieoplewionego – stan obecny i przyszłość. *Pam. Puławski*, 130, 463–469.
- Leszczyńska, D., Noworolnik, K. (2010). Wpływ nawożenia azotem i gęstości siewu na plonowanie owsa nagoziarnistego. *Żywn. Nauka Technol. Jakość.*, 3(70), 197–204.

- Lipiński, J. (2012). Efekty produkcyjne i ekonomiczne nawadniania truskawek uprawianych na glebach lekkich. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*, 4, 180–183.
- Liu, D., Wan, F., Guo, R., Li, F., Cao, H., Sun, G. (2011). GIS-based modeling of potential yield distributions for different oat varieties in China. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(3–4), 869–876.
- Lorencetti, C., de Carvalho, F.I.F., de Oliveira A.C., Valério, I.P., Hartwig, I., Benin G., Schmidt, D.A.M. (2006). Applicability of phenotypic and canonic correlations and path coefficients in the selection of oat genotypes. *Sci. Agric.*, 63(1), 11–19.
- López-Bellido, L., López-Bellido, R.J., Castillo, J.E., López-Bellido F.J. (2001). Effects of long-term tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on bread-making quality of hard red spring wheat. *Field Crops Res.*, 72(3), 197–210.
- Lutowska, M., Tyranowska, M., Kiryluk, J., Makowska, A. (2008). Cechy ziarna owsa jako surowca do produkcji otręb owsianych. *Przeł. Zboż. Młyn.*, 1, 19–21.
- Łabędzki, L. (2007). Irrigation in Poland-current status after reforms in agriculture and future development. *J. Water Land Dev.*, 3–16.
- Łapiński, B., Nita, Z., Szolkowska, A., Wiczorek, P. (2013). A hybrid of cultivated oat with the wild species *Avena macrostachya* as a source of new variation for yield quality improvement in naked oats. *Biul. IHAR*, 270, 43–54.
- Łopatka, A. (2017). Europejski monitoring użytkowania gruntów i baza danych LUCAS. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 51(5), 73–89.
- Łubkowski, Z. (1968). *Metodyka doświadczalnictwa rolniczego*. Warszawa: PWRiL.
- Łuszczak, K. (2009). Nakłady na nawadnianie plantacji roślin towarowych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 6, 303–315.
- Łyczko, W., Pływaczyk, L., Klaus, R. (2002). Oddziaływanie budowy piętrzącej na wody gruntowe w terenie przyległym. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. Melioracje i Inżynieria Środowiska*, 23, 267–278.
- Ma, B. L., Biswas, D. K., Zhou, Q. P., Ren, C. Z. (2012a). Comparisons among cultivars of wheat, hulled and hullness oats: effects of N fertilization on growth and yield. *Can. J. Plant. Sci.*, 92, 1213–1222.
- Ma, B. L., Liang, B. C., Biswas, D. K., Morrison, M. J., McLaughlin, N. B. (2012b). The carbon footprint of maize production as affected by nitrogen fertilizer and maize-legume rotations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 94, 15–31, doi: <https://doi.org/10.1007/s10705-012-9522-0>.
- Ma, B.L., Wu, T.Y., Tremblay, N., Deen, W., McLaughlin, N.B. Morrison, M.J. Stewart, G. (2010). Rate and timing effects of fertilizer nitrogen application to corn on ammonia volatilization in cool and humid regions. *Agron. J.*, 102, 134–144.
- Maciorowski, R., Nita, Z., Werwińska, K., Stankowski, S. (2006). Plonowanie nowych krótkosłomych form owsa nagoziarnistego. *Biul. IHAR*, 239, 123–135.
- Mahadevana, M., Calderini, D.F., Zwera, P.K., Sadrasa, V.O. (2016). The critical period for yield determination in oat (*Avena sativa* L.). *Field Crops Res.*, 199, 109–116.
- Makannikova, M.V., Lapshakova, L.A., Belmach, N.V. (2019). Cultivation of agricultural crops with irrigation in Amur region. *Bulg. J. Agric. Sci.*, 25(2), 337–44.
- Mäkela, P., Muurinen, S., Peltonen-Sainio, P. (2004). Alterations in growth and canopy architecture among dwarf, semidwarf and tall oat lines grown under northern conditions. *Agric. Food Sci.*, 13(1–2), 170–185.
- Małecka, I. (2003). Studia nad plonowaniem pszenicy ozimej w zależności od warunków pogodowych i niektórych czynników agrotechnicznych. *Rocz. AR Poznań*, 335, 121.
- 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. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 25, 529–537.

- Maral, H., Dumlupinar, Z., Dokuyucu, T., Akkaya, A. (2013). Response of six oat (*Avena sativa* L.) cultivars to nitrogen fertilization for agronomical traits. *Turk. J. Field Crops*, 18(2), 254–259.
- 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, <http://dx.doi.org/10.1017/S002185960999058X>.
- Marcinek, J., Komisarek, J. (2011). Systematyka gleb Polski. *Roczniki Gleboznawcze*, 62(3).
- Marshall, A., Cowan, S., Edwards, S., Griffiths, I., Howarth, C., Langdon, T., White, E. (2013). Crops that feed the world 9. Oats- a cereal crop for human and livestock feed with industrial applications. *Food Security*, 5(1), 13–33, <https://doi.org/10.1007/s12571-012-0232-x>.
- Martin, R. J., Jamieson, P. D., Gillespie, R. N., Maley, S. (2001). Effect of timing and intensity of drought on the yield of oats (*Avena sativa* L.). W: B. Rowe, D. Donaghy, N. Mendham (red.), *Science and Technology: Delivering Results for Agriculture? Proc. Austr. Agron. Conf. 2001*, Hobart, January 2001. The Regional Publishing Institute Ltd, Gosford, Australia, <http://www.regional.org.au/au/asa/2001/1/b/martin.html>.
- Martin-Gorritz, 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.
- May, W.E., Brandt, S., Hutt-Taylor, K. (2020). Response of oat grain yield and quality to nitrogen fertilizer and fungicides. *Agronomy J.*, 112(2), 1021–1034.
- May, W.E., Mohr, R.M., Lafond, G. P., Johnston, A.M., Craig Stevenson, F. (2004). Effect of nitrogen, seeding date and cultivar on oat quality and yield in the eastern Canadian prairies. *Can. J. Plant Sci.*, 84, 1025–1036, <https://doi.org/10.4141/P04-044>.
- Mazurek, J. (1986). Ocena produktywności wody i azotu w uprawie rodzimych odmian pszenicy jarej. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.*, 284, 521–530.
- Mazurek, J. (1993). *Biologia i agrotechnika owsa*. Puławy: IUNG.
- McCabe, C.P., Burke, J.I. (2021). Oat (*Avena sativa*) yield and grain fill responses to varying agronomic and weather factors. *J. Agric. Sci.*, 1–16.
- Mela, T., Carter, T., Hakala, K., Kaukoranta, T., Laurila, H., Niemi, K., Saarikko, R., Tiilikkala, K., Hannukkala, A. (1996). The effects of climatic 136 change on crop production: results of a five-year research project. W: J. Roos (red.), *The Finnish Research Programme on Climate Change. Final Report SA-PUB-4/96* (s. 324–336). Helsinki: Academy of Finland.
- Menon, R., Gonzalez, T., Ferruzzi, M., Jackson, E., Winderl, D., Watson, J. (2016). Chapter one – oats – from farm to fork. *Adv. Food Nutr. Res.*, 77, 1–55.
- Menzel, A., Sparks, T. H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., . . . , Zus, A. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Food Additives & Contaminants: Part A* 15412006. *Global Change Biol.*, 12(10), 1969–1976.
- Michalski, T., Idziak, R., Menzel, L. (1999). Wpływ warunków pogodowych na plonowanie owsa. *Żywn. Nauka Technol. Jakość*, 1, 46–52.
- Milad, S.I., Wahba, L.E., Barakat, M.N. (2011). Identification of RAPD and ISSR markers associated with flag leaf senescence under water -stressed conditions in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Aust. J. Crop Sci.*, 5(3), 337–343.
- Milligan, S.B., Gravois, K.A., Bischoff, K.P., Martin, F.A. (1990). Crop effects on genetic relationships among sugarcane traits. *Crop Sci.*, 30, 927–931.
- Mohr, R.M., Grant, C.A., May, W.E., Stevenson, F.C. (2007). The influence of nitrogen, phosphorus and potash fertilizer application on oat yield and quality. *Can. J. Soil Sci.*, 87, 459–468.
- Molga, M. (1986). *Meteorologia rolnicza*. Warszawa: PWRiL.
- Monjezi-Zadeh, M., Roshanfekar, H., Hassibi, P., Sorkhi, B. (2018). Evaluation effect of macro and micro nutritional elements on quantitative and qualitative characteristics of oat crop (*Avena sativa* L.). *J. Plant. Nutr. Soil Sci.*, 4(1), 33–46.

- Moradi, M., Rezai, A., Arzani, A. (2005). Path analysis for yield and related traits in oats. *J. Sci. Technol. Agric. Nat. Res.*, 9(1), 173–180.
- Morris, J.R. (1990). Oats: naked. W: P.A. Thacker, R.N Kirkwood (red.), *Non-traditional Feed Sources for Use in Swine Production* (s. 275–284). Butterworth, London, UK: CRC Press.
- Morrison, D.F. (1976). *Multivariate statistical methods*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill.
- Moudry, J., Sterba, Z., Barta, J. (2003). Comparison of yield and panicle productivity between hulled (*Avena sativa* L.) and naked (*Avena nuda* L.) oats. *Biul. IHAR*, 229, 61–64.
- Mut, Z., Akay, H. (2010). Effect of seed size and drought stress on germination and seedling growth of naked oat (*Avena sativa* L.). *Bulgarian J. Agric. Sci.*, 16(4), 459–467.
- Mut, Z., Akay, H., Erbaş Köse, Ö.D. (2018). Grain yield, quality traits and grain yield stability of local oat cultivars. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 18(1), 269–281.
- Myszka, K., Boros, D. (2013). Poszukiwanie genotypów owsa o poprawionej wartości odżywczej oraz wysokich właściwościach bioaktywnych. *Biul. IHAR*, 268, 101–112.
- Nasseri, A., Ali Fallahi, H., Siadat, A., Eslami-Gumush Tappeh, K. (2009). Protein and N-use efficiency of rainfed wheat responses to supplemental irrigation and nitrogen fertilization. *Arch. Agron. Soil Sci.*, 55(3), 315–325.
- Nieróbca, A., Doroszewski, A., Kozyra, J., Mizak, K., Borzęcka-Walker, M., Wróblewska, E., Zaliwski, A. (2012). Opracowanie stochastycznego modelu prognoz plonów pszenżyta ozimego. Sprawozdanie z realizacji tematu statutowego. Puławy: IUNG-PIB.
- Nita, Z.T. (1999). Stan aktualny i nowe kierunki hodowli owsa w Polsce. *Żywność*, 1(18), 186–192.
- Nita, Z.T. (2003). Współczesne osiągnięcia i perspektywy hodowli owsa w Polsce. *Biul. Inst. Hod. Aklim. Rośl.*, 229, 13–20.
- Nita, Z., Orłowska-Job, W. (1996). Hodowla owsa nagoziarnistego w ZDHAR w Strzelcach. *Biul. Inst. Hod. Aklim. Rośl.*, 197, 141–146.
- Novoa, R., Loomis, R. S. (1981). Nitrogen and plant production. *Plant and Soil*, 58, 177–204.
- Nowak, L. (1996). Efekty deszczowania pszenżyta ozimego w rejonie Dolnego Śląska. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 438, 117–123.
- Nowiński, M. (1970). *Dzieje uprawy i roślin uprawnych*. Wyd. I. Warszawa: PWRiL.
- Noworolnik, K., Terelak, H. (2006). Wpływ agrochemicznych właściwości gleb na plon ziarna i białka jęczmienia jarego i owsa oraz ich mieszanki. *Roczniki Gleboznawcze*, 57(3–4), 72–79.
- Noworolnik, K. (2008). Wpływ wybranych herbicydów i fungicydów na strukturę plonu i zawartość białka w ziarnie owsa. *Progress in Plant Protection/Postępy Ochrony Roślin*, 48(4), 1535–1538.
- Noworolnik, K. (2009). Plonowanie i jakość ziarna owsa w zależności od wilgotności podłoża i dawki azotu. *Mat. Konf. Nauk. pt. „Owies – hodowla, uprawa i wykorzystanie”*, 19–20 listopada. Kraków: Uniwersytet Rolniczy.
- Noworolnik, K. (2010). Plonowanie i jakość ziarna owsa w zależności od wilgotności podłoża i dawki azotu. *Żywn. Nauka Technol. Jakość*, 3(70), 190–196.
- Noworolnik, K. (2011). Wpływ terminu siewu i terminu zbioru na plonowanie i zawartość białka w ziarnie owsa. *Pol. J. Agron.*, 6, 34–37.
- Nwachukwu, I.D., Devassy, J.G., Aluko, R.E., Jones, P.J.H. (2015). Cholesterol-lowering properties of oat β -glucan and the promotion of cardiovascular health: did Health Canada make the right call? *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 40, 535–542.
- Nyc, K., Pokładek, R. (2009). Eksploatacja systemów melioracyjnych podstawą racjonalnej gospodarki wodnej w środowisku przyrodniczo-rolniczym. *Monografie. Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*, 70.
- Oleksy, A., Szmigiel, A., Kołodziejczyk, M. (2008). Wpływ intensywności uprawy na zawartość i plon białka odmian pszenicy ozimej. *Acta Sci. Pol., Agric.*, 7(1), 47–56.
- Olesen, J.E., Bindi, M. (2002). Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *Eur. J. Agron.*, 16, 239–262.

- Olesen, J.E., Børgesen, C.D., Elsgaard, L., Palosuo, T., Rötter, R. P., ..., van der Fels-Klerx, H.J. (2012). Changes in time of sowing, flowering and maturity of cereals in Europe under climate change. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 29, 10, 1527–1542. <https://doi.org/10.1080/19440049.2012.712060>.
- Ostrowski, J., Łabędzki, L., Kowalik, W., Kanecka-Geszke, E., Kasperska-Wołowicz, W., Smarzyńska, K., Tusiński, E. (2008). Atlas niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych w Polsce. Falenty-Warszawa: Wyd. IMUZ.
- Panasiewicz, K. (2013). Wpływ czynników pogodowych i agrotechnicznych na wzrost i plonowanie pszenżyta jarego. *Rozprawy Naukowe. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu*, 453.
- Panasiewicz, K., Koziara, W., Faligowska, A. (2017a). Response of three oat forms to sprinkling irrigation and nitrogen fertilization. *Turk. J. Field Crop.*, 22(1), 81–88.
- Panasiewicz, K., Koziara, W., Sulewska, H., Chrzanowski, R. (2017b). Chemical composition and nutritive value of different oat forms as influence by sprinkling irrigation and nitrogen fertilization. *Rom. Agric. Res.*, 34, 157–164.
- Panasiewicz, K., Koziara, W. (2009). Effects of nitrogen fertilization desistance in winter wheat depending on water conditions. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 54(4), 41–45.
- Panek, K. (1989). Potrzeby wodne roślin zbożowych. W: Dzieżyc J. (red.), *Potrzeby wodne roślin uprawnych. Praca zbiorowa* (s. 50–85). Warszawa: PWN.
- Parry, M.A., Reynolds, M., Salvucci, M.E., Raines, C., Andralojc, P.J., Zhu, X.G., Furbank, R.T. (2011). Raising yield potential of wheat. II. Increasing photosynthetic capacity and efficiency. *J. Exp. Bot.*, 62, 453–467.
- Pecio, A., Bichoński, A. (2010). Nitrogen fertilization and fungicide application as elements of oat production. *Pol. J. Environ. Stud.*, 19, 1297–1305.
- Peltonen-Sainio, P. (1994) Yield component differences between naked and conventional oat. *Agronomy J.*, 86, 510–513.
- Peltonen-Sainio, P. (1997). Groat yield and plant stand structure of naked and hulled oat under different nitrogen fertilizer and seeding rates. *Agronomy J.*, 89(1), 140–147.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Hakala, K. (2011). Crop responses to temperature and precipitation according to long-term multi-location trials at high-latitude conditions. *J. Agric. Sci. (Cambr.)*, 149, 49–62. <https://doi.org/10.1017/S0021859610000791>.
- Peltonen-Sainio, P., Kontturi, M., Rajala, A., Kirkkari, A.M. (2004). Impact dehulling oat grain to improve quality of on-farm produced feed 1. Hullability and associated changes in nutritive value and energy content. *Agric. Food Sci.* 13, 18–28.
- Peltonen-Sainio, P., Venäläinen, A., Mäkelä, H. M., Pirinen, P., Laapas, M., ..., Virkajärvi, P. (2016). Harmfulness of weather events and the adaptive capacity of farmers at high latitudes of Europe. *Clim. Res.*, 67, 221–240, <https://doi.org/10.3354/cr01378>.
- Peterson, D.M., Wesenberg, D.M., Burrup, D.E., Erickson, C.A. (2005). Relationships among agronomic traits and grain composition in oat genotypes grown in different environments. *Crop Sci.*, 45, 1249–1255.
- Petkov, K., Piech, M., Łukaszewski, Z., Kowieska, A. (1999). Porównanie składu chemicznego i wartości pokarmowej owsa nieoplewionego i oplewionego. *Żywn. Nauka Technol. Jakość*, 6(1), 253–259.
- Piech, M., Maciorowski, R., Petkov, K. (2003). Plon ziarna i składników pokarmowych nieoplewionych i oplewionych odmian owsa oraz jęczmienia jarego w siewie czystym i w mieszance. *Biul. IHAR*, 229, 157–165.
- Piech, M., Nita, Z., Maciorowski, R. (2001). Reakcja owsa nieoplewionego i oplewionego na nawożenie azotem. *Biul. IHAR*, 217, 111–119.
- Pisulewska, E. (2005). Owies. W: J. Chotkowski (red.), *Rynki i technologie produkcji roślin uprawnych* (s. 182–196). Warszawa: Wyd. Wieś Jutra.
- Pisulewska, E., Lepiarczyk, A., Gambuś, F., Witkowicz, R. (2009). Plonowanie oraz skład mineralny brązowo i żółtoplewkowych form owsa. *Fragm. Agron.*, 26(1), 84–92.

- Pisulewska, E., Witkowicz, R. (2000). Plon i wartość pokarmowa ziarna owsa nagoziarnistego odmiany Akt. Biuletyn Regionalny ZDR AR w Krakowie, 320, 15–17.
- Pisulewska, E., Witkowicz, R., Borowiec, F. (1999). Wpływ sposobu uprawy na plon oraz zawartość i skład kwasów tłuszczowych ziarna owsa nagoziarnistego. *Żywn. Nauka Technol. Jakość (Suppl.)*, 6, 240–245.
- Pisulewska, E., Witkowicz, R., Kidacka, A. (2010). Plon, komponenty składowe plonu oraz celność ziarna wybranych odmian owsa siewnego. *Żywn. Nauka Technol. Jakość*, 3(17), 117–126.
- Pizło, H., Bobrecka-Jamro, D., Tobiasz-Salach, R. (1999). Skład chemiczny nowych rodów owsa uprawianego w warunkach Beskidu Niskiego. *Żywn. Nauka Technol. Jakość (Suppl.)*, 142–146.
- PN-68/R-74017 (1969). Ziarno zbóż i nasiona strączkowe jadalne. Oznaczenie masy tysiąca ziarn. Warszawa: PKN.
- Podolska, G., Maj, L., Nita, Z. (2006). Wielkość plonu i komponentów plonu u nagoziarnistej formy owsa karłowego w zależności od gęstości siewu i dawki nawożenia azotem. *Biul. IHAR*, 239, 49–59.
- Podolska, G., Nita, Z., Maj, L. (2008). Wielkość plonu i skład chemiczny ziarna nagoziarnistej formy owsa karłowego w zależności od gęstości siewu i dawki nawożenia azotem. *Fragm. Agron.*, 25(1), 338–346.
- Podolska, G., Nita, Z., Mikos, M., (2009). Yielding and chemical composition of grain in dwarf naked oat (STH 5630) depending on sowing rate and nitrogen fertilization. *Fragm. Agron.*, 26(1), 100–107.
- Pogna, N.E., Gazza, L., Corona V., Zanier, R., Niglio, A., Mei, E., Palumbo, M., Boggini, G. (2002) Puroindolines and kernel hardness in wheat species. W: P.K.W. Wrigley (red.), *Wheat Quality Elucidation* (s. 155–169). USA: AACC Inc. The Bushuk Legacy.
- Prando, A.M., Zucarelli, C., Fronza, V., Oliveira, F.A., Júnior, A.O. (2013). Características produtivas do trigo em fun-ção de fontes e doses de nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43, 34–41.
- Prażak, R., Romanowicz, A. (2014). Wykorzystanie postępu biologicznego w uprawie owsa w Polsce. *Pol. J. Agron.*, 17, 30–37.
- Przedpelska, W. (1971). Zagadnienie susz atmosferycznych w Polsce i metody ich określania. *Prace PIHM*, 103, 3–24.
- Pszczółkowski, P., Sawicka, B. (2016). Zmienność form i odmian owsa w Polsce. *Pol. J. Agron.*, 27, 106–117.
- Qi, J.S., Song, C.P., Wang, B.S., Zhou, J.M., Kangasjärvi, J., Zhu, J.K., Gong, Z.Z. (2018). ROS signaling and stomatal movement in plant responses to drought stress and pathogen attack. *J. Integr. Plant Biol.*, 1–53.
- Radzka, E., Starczewski, J., Koc, G. (2005). Wpływ posuch na plonowanie owsa w środkowowschodniej Polsce. *Acta Agrophys.*, 6(2), 497–503.
- Radzka, E., Koc, G., Bombik, A. (2009). Wpływ posuch na plonowanie pszenicy jarej w środkowowschodniej Polsce. *Acta Agrophys.*, 13(2), 445–454.
- Radzka, E., Jankowska, J., Koc, G., Rak, J. (2010). Wpływ posuch na plonowanie ziemniaka w środkowowschodniej Polsce. *Fragm. Agron.*, 27(4), 111–118.
- Rajičić, V., Popović, V., Perišić, V., Biberdžić, M., Jovović, Z., Gudžić, N., Terzić, D. (2020). Impact of nitrogen and phosphorus on grain yield in winter triticale grown on degraded Vertisol. *Agronomy*, 10(6), 757.
- Rakowski, D. (2003). Wpływ deszczowania i nawożenia mineralnego na plonowanie wybranych odmian pszenicy jarej i pszenżyta jarego uprawianych na glebie lekkiej. Cz. I. Plony ziarna. *Acta Sc. Pol., Agric.*, 2(2), 19–31.
- Ralcewicz, M., Knapowski, T. (2006). Ocena oddziaływania wybranych czynników agrotechnicznych na wielkość plonu ziarna i skład aminokwasowi białka owsa. *Biul. IHAR*, 193–204.
- Redaelli, R., Sgrulletta, D., Scalfati, G., De Stefanis, E., Cacciatori, P. (2009). Naked oats for improving human nutrition: genetic and agronomic variability of grain bioactive components. *Crop Sci.*, 49(4), 1431–1437.

- Rhymer, C. (2002) Effects of nitrogen fertilization, genotype and environment on the quality of oats (*Avena sativa* L.) grown in Manitoba. Rozprawa naukowa, Manitoba, Canada: University of Manitoba.
- Rizza, F., Badeck, F.W., Cattivelli, L., Lidestri, O., Di Fonzo, N., Stanca, A.M. (2004). Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. *Crop Sci.*, 44(6), 2127–2137, <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2004.2127>.
- Rodriguez, D.J., Angulo-Sanchez, J.L., Rodriguez-Garcia, R. (2001). Correlation and path coefficient analyses of the agronomic trait of a native population of guayule plants. *Ind. Crops Prod.*, 14, 93–103.
- Rolbiecki, S., Rolbiecki, R., Rzekanowski, C. (2002). Efektywność nawadniania kropłowego i deszczownianego w uprawie wybranych roślin warzywnych na glebie bardzo lekkiej. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 2(2), 87–94.
- Rolbiecki, S., Żarski, J., Grabarczyk, S. (2000). Yield-irrigation relationships for field vegetable crops grown in central Poland. *Acta Hort.*, 537, 867–870.
- Rondanelli, M., Opizzi, A., Monteferraio, F. (2009) The biological activity of β -glucans. *Minerva Medica*, 100, 237–245.
- 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, 205–214.
- Rudnicki, F. (2000). Wyznaczanie wpływu poszczególnych elementów plonowania na różnice plonów między obiektami doświadczalnymi. *Fragm. Agron.*, 17(3), 53–65.
- Rudnicki, F., Wasilewski, P. (1993). Zależność plonów zbóż jarych i ich mieszanek od warunków hydrotermicznych w okresie wegetacji. *Szczec. Roczn. Nauk. Nauki Przyrodnicze i Rolnicze*, 8, 1(4), 7–21.
- Rybka, K., Nita, Z. (2014). Nowoczesne fenotypy zbóż do uprawy na obszarach zagrożonych suszą. *Biul. IHAR*, 273, 55–72.
- Rzekanowski, C., Żarski, J., Rolbiecki, S. (2011). Potrzeby, efekty i perspektywy nawadniania roślin na obszarach szczególnie deficytowych w wodę. *Postępy Nauk Rolniczych*, 1, 51–63.
- Saastamoinen, M. (1998). Effects of environmental factors on grain yield and quality of oats (*Avena sativa* L.) cultivated in Finland. *Acta Agric. Scand. B-Plant Soil Sciences*, 48(3), 129–137, doi: 10.1080/09064719809362490.
- Saastamoinen, M., Kumpulainen, J., Nummela, S. (1989). Genetic and environmental variation in oil content and fatty acid composition of oats. *Cereal Chem.*, 66, 296–300.
- Saeidi, M., Abdoli, M. (2015). Effect of drought stress during grain filling on yield and its components, gas exchange variables, and some physiological traits of wheat cultivars. *J. Agric. Sci. Technol.*, 17(4), 885–898.
- Sawicki, J. (1984). Struktura plonu u odmian i rodów owsa oraz udział jej komponentów w kształtowaniu plonu ziarna. *Acta Agr. et Silv. ser. Agr.*, XXIII, 59–77.
- Schuster, J., Benincà, G., Vitorazzi, R., Bosco, S.M.D. (2015) Effects of oats on lipid profile, insulin resistance and weight loss. *Nutr. Hosp.*, 32, 2111–2116.
- Semenov, M.A. (2009). Impacts of climate change on wheat in England and Wales. *J. R. Soc. Interface.*, 6, 343–350.
- Shah, F., Wu, W. (2019). Soil and crop management strategies to ensure higher crop productivity within sustainable environments. *Sustainability*, 11, 1485.
- Shao, L., Zhang, X., Chen, S., Sun, H., Wang, Z. (2009). Effects of irrigation frequency under limited irrigation on root water uptake, yield and water use efficiency of winter wheat. *Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*, 58(4), 393–405.
- Shebini El, S.M., Moaty, M.I., Tapozada, S.T., Ahmed, N.H., Mohamed, M.S., Hanna, L.M. (2014). Effect of whole wheat (*Triticum aestivum*) and oat (*Avena sativa*) supplements on body weight,

- insulin resistance and circulating omentin in obese women exhibiting metabolic syndrome criteria. *World J. Medical Sci.*, 11, 373–381.
- Siebert, S., Ewert, F. (2012). Spatio-temporal patterns of phenological development in Germany in relation to temperature and day length. *Agric. For. Meteorol.* 152, 44–57.
- Sillmann, J., Roeckner, E. (2008). Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change. *Clim. Change*, 86, 83–104.
- Silva, da, J.A., Arenhardt, E.G., Krüger, C.A., Lucchese, O.A., Metz, M., Marolli, A. (2015) A expressão dos componentes de produtividade do trigo pela classe tecno-lógica e aproveitamento do nitrogênio. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient.*, 19, 27–33.
- Silva, da, J.A., Goi Neto, C.J., Fernandes, S.B., Mantai, R.D., Scremin, O.B., Pretto, R. (2016). Nitrogen efficiency in oat on grain yield with stability. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient.*, 20(12), 1095–1100.
- Skowera, B. (2020). Influence of meteorological elements on the crops of cultivated plants in altitudinal zones of the Polish West Carpathians Mts. *Acta Agrophys.*, 2000(34), 169–180.
- Skowera, B., Kołodziej, J., (2003). Wpływ czynników termiczno-opadowych na plonowanie owsa w Kotlinie Orawsko-Nowotarskiej. *Biul. IHAR*, 229, 185–192.
- Skowera, B., Puła, J. (2004). Skrajne warunki pluwiotermiczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971–2000. *Acta Agrophys.*, 3(1), 171–177.
- Smałowski, T., Węgrzyn, S. (2006). Analiza zmienności i współzależności cech użytkowych owsa (*Avena sativa* L.). *Biul. IHAR*, 240, 161–166.
- Smulikowska, S., Rutkowski, A. (2005). Zalecenia żywieniowe i wartość pokarmowa pasz. Normy Żywienia Drobiu. Wydanie IV zmienione i uzupełnione. Jabłonna: Wyd. IFiZZ PAN.
- Sojka, R.E., Stolzy, L.H., Fischer, R.A. (1981). Seasonal drought response of selected wheat cultivars. *Agron. J.*, 73, 838–845.
- Song, X., Zhou, G., Ma, B. L., Wu, W., Ahmad, I., Zhu, G., Jiao, X. (2019). Nitrogen application improved photosynthetic productivity, chlorophyll fluorescence, yield and yield components of two oat genotypes under saline conditions. *Agron.*, 9(3), 115.
- Spychaj-Fabisiak, E., Łożek, O., Knapowski, T., Ralcewicz, M. (2005). Ocena oddziaływanie terminu siewu i nawożenia azotem na wysokość plonu i zawartość białka ogólnego w ziarnie pszenżyta. *Fragm. Agron.*, 22(1), 550–562.
- Stanisz, A. (1998). Przystępny kurs statystyki w oparciu o program Statistica PL na przykładach z medycyny. Kraków: Wyd. Statsoft.
- Stanisz, A. (2007). Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. T. 3. Analizy wielowymiarowe. Kraków: Wyd. StatSoft
- Steiner, F., Zuffo, A.M., Zoz, T., Zoz, A., Zoz, J. (2017). Drought tolerance of wheat and black oat crops at early stages of seedling growth. *Revista de Ciências Agrárias*, 40(3), 576–586.
- Sulewska, H., Szymańska, G., Panasiewicz, K., Koziara, W., Szołkowska, A. (2010). Wielocechowa ocena odmian owsa hodowli Danko. *Nauka Przyr. Technol.*, 4(3), 37.
- Sułek, A. (2010). Porównanie produktywności i architektury łanu owsa brunatnoplewkowej odmiany „Gniady” w zależności od doboru kompleksu glebowego. *Żywn. Nauka Technol. Jakość*, 3(70), 205–215.
- Sułek, A., Noworolnik, K. (2013). Uprawa owsa na cele paszowe i spożywcze. Instrukcja upowszechnieniowa nr 192. Puławy: IUNG-PIB.
- Sykut-Domańska, E. (2012). Characteristics of selected physical traits of grain in naked and common oat (*Avena sativa* L.). *Acta Agrophys.*, 19(4), 845–856.
- Sykut-Domańska, E., Rzedzicki, Z. Nita, Z. (2013). Chemical composition variability of naked and husked oat grain (*Avena sativa* L.). *Cereal Res. Comm.*, 41, 327–337.
- Szafrański, W. (1995). Wpływ poziomu i sposobu nawożenia azotowego na plonowanie wybranych odmian jęczmienia jarego i owsa w zróżnicowanych warunkach siedliskowych Pogorza. Cz. II. Komponenty struktury plonu oraz jakość ziarna. *Zesz. Nauk. AR Kraków. Roln.*, 300(32), 113–124.

- Szatanik-Kloc, A., Ambrożewicz-Nita, A., Franus, W., Józefaciuk, G. (2019). Early effect of clinoptilolite on yield and quality of oat (*Avena sativa* L.). *Int. Agrophys.*, 33, 107–112, <https://doi.org/10.31545/intagr/104411>.
- Szempliński, W. (2003). Plonowanie nagich i oplewionych form owsa i jęczmienia jarego w siewie czystym i mieszanym. *Biul. IHAR*, 229, 147–156.
- Szmigiel, A., Kołodziejczyk, M., Oleksy, A., Kulig, B. (2016). Efficiency of nitrogen fertilization in spring wheat. *Int. J. Plant Prod.*, 10, 447–456.
- Szmigiel, A., Oleksy, A. (2005). Yielding of naked and husked forms of spring barley and oat cultivated in mixtures and in pure stands on a soil of very good wheat complex. *Biul. IHAR*, 236, 173.
- Szumiło, G., Rachoń, L. (2006). Oddziaływanie fal elektromagnetycznych na plonowanie oraz jakość nagoziarnistych i oplewionych odmian jęczmienia jarego i owsa. *Acta Agrophys.*, 8(2), 501–508.
- Szejkowski, Z., Dragańska, E., Suchecki, S. (2008). Prognoza wpływu spodziewanego globalnego ocieplenia w roku 2050 na plonowanie roślin uprawnych w Polsce północno-wschodniej. *Acta Agrophys.*, 12(3), 791–800.
- Śmiałowski, T., Wegrzyn, S. (2006). Analiza zmienności i współzależności cech użytkowych owsa (*Avena sativa* L.). *Biul. IHAR*, 240, 161–166.
- Śniady, R., Wołoszyn, B. (1999). Plonowanie czeskich i polskich odmian owsa nagiego. *Żywn. Nauka Technol. Jakość*, 1(18), 161–165.
- Świdarska-Ostapiak, M., Stankowski, S. (2002). Wpływ nawożenia azotem i siarką na plonowanie i komponenty plonu owsa nieoplewionego i oplewionego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 2(484), 711–717.
- Tabak, M., Lepiarczyk, A., Filipek-Mazur, B., Lisowska, A. (2020). Efficiency of nitrogen fertilization of winter wheat depending on sulfur fertilization. *Agronomy*, 10(9), 1304.
- Tamm, I. (2003). Genetic and environmental variation of grain yield of oat varieties. *Agron. Res.*, 1, 93–97.
- Terzić, D., Đekić, V., Jevtić, S., Popović, V., Jevtić, A., Mijajlović, J., Jevtić, A. (2018). Effect of long-term fertilization on grain yield and yield components in winter triticale. *J. Anim. Plant Sci.*, 28(3), 830–836.
- Tobiasz-Salach, R., Bobrecka-Jamro, D., Pyrek-Bajcar, E., Buczek, J. (2017). Response of hulled and naked oat to foliar fertilization. *Acta Sci. Pol. Agric.*, 15(2), 77–88.
- Tobiasz-Salach, R., Jankowska, D., Bobrecka-Jamro, D., Szpunar-Krok, E. (2011). Yield and chemical composition on the grain of new dwarf breeding lines of oat (*Avena sativa* L.). *Acta Sci. Pol. Agric.*, 10(4), 161–171.
- Todorov, N.A. (1988). Feeds and feedstuffs in Europe. 2.3 Cereals, pulses and oilseeds. *Livest. Prod. Sci.* 19, 47–95.
- Tokarczyk, T. (2008). Wskaźniki oceny suszy stosowane w Polsce i na świecie. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, 7, 167–182.
- Tomaszewska, T. (1994). Susze atmosferyczne na przestrzeni ostatniego czterdziestolecia. *Mater. Konf. XXV Zjazd Agrometeorologów. Olsztyn–Mierki, 27–29.09.1994. Olsztyn: Wydaw. ART*, 169–178.
- Tomple, B.M., Hwan, J.I. (2018). Enhancing seed productivity and feed value of oats (*Avena sativa* L.) with different seeding rate and nitrogen fertilizing levels in Gyeongbuk area. *J. Agric. Life Sci.*, 52(6), 61–72.
- Trawczyński, C. (2011). Ocena zmian właściwości chemicznych gleby lekkiej w ekologicznym systemie uprawy roślin z nawadnianiem. *J. Agric. Eng. Res.*, 56(4), 171–177.
- Trenberth, K.E., Dai, A., Rasmussen, R.M., Parsons, D.B. (2003). The Changing Character of Precipitation. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 84, 1205–1217.
- Trnka, M., Olesen, J.E., Kersebaum, K.C., Skjelvåg, A.O., Eitzinger, J., ..., Dubrovsky, M. (2011). Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Glob. Change Biol.*, 17, 2298–2318.

- Ul-Allah, S., Khan, A.A., Fricke, T., Buerkert, A., Wachendorf, M. (2014). Fertilizer and irrigation effects on forage protein and energy production under semi-arid conditions of Pakistan. *Field Crops Res.*, 159, 62–69.
- Valentine, J. (1995). Naked oats. W: R.W. Welch (red.), *The oat Crop Production and Utilization* (s. 504–532). London, UK: Chapman and Hall.
- Valentine, J., Cowan, S. (2004). Environmental benefits and impact assessment of oats in the UK. *Agrifood Res. Rep.*, 51, 217.
- Valentine, J., Hale, O.D. (1990). Investigations into reduced germination of seed of naked oats. *Plant Varieties & Seeds*, 3, 21–30.
- Velasco, J.L., Rozas, H.S., Echeverría, H.E., Barbieri, P.A. (2012). Optimizing fertilizer nitrogen use efficiency by intensively managed spring wheat in humid regions: Effect of split application. *Can. J. Plant Sci.*, 92, 847–856.
- Walens, M. (2003). Wpływ nawożenia azotowego i gęstości siewu na wysokość i jakość plonu ziarna odmian owsa oplewionego i nagoziarnistego. *Biul. IHAR*, 229, 115–124.
- Wang, T., Du, Y.L., He, J., Turner, N.C., Wang, B.R., Zhang, C., Li, F.M. (2017). Recently-released genotypes of naked oat (*Avena nuda* L.) out-yield early releases under water-limited conditions by greater reproductive allocation and desiccation tolerance. *Field Crops Res.*, 204, 169–179.
- Weber, R., Hryńczuk, B., Kita, W. (2003). Wpływ sposobu uprawy roli na plonowanie oraz wartość przedplonową owsa i pszenicy jarej dla pszenicy ozimej. *Biul. IHAR*, 229, 65–72.
- Welch, R.W. (2011). Nutrient Composition and Nutritional Quality of Oats and Comparisons with Other Cereals. W: F.H. Webster, J. Wood (red.), *Oats: Chemistry and Technology*, 2nd edition (pp. 95–107). St. Paul, MN, USA: AACCC International.
- Witkowicz, R., Lepiarczyk, A., Pisulewska, E. (2009). Ocena plonowania różnych form owsa. *Fragm. Agron.*, 26(2), 165–175.
- Witkowicz, R., Pisulewska, E. (2010). Wpływ nawożenia mineralnego i regulatorów wzrostu na transmisję promieniowania biologicznie czynnego przez łan owsa nagoziarnistego. *Żywn. Nauka Technol. Jakość*, 17(3).
- Witkowicz, R., Pisulewska, E., Poradowski, R. (2007). Plonowanie i elementy struktury plonu ziarna owsa nagoziarnistego odmiany 'Akt' w różnych warunkach siedliska. *Acta Agr. Silv.*, 50, 3–13.
- Włodek, S., Biskupski, A., Pabin, J. (2012). Znaczenie ilości opadów dla produktywności roślin w uproszczonych systemach uprawy roli. *Roczniki Gleboznawcze*, 63(2), 49–54.
- Wójcik-Gront, E., Bloch-Michalik, M. (2016). Assessment of greenhouse gas emission from life cycle of basic cereals production in Poland / Śiltnamio efektā sukeliančių dujų emisijos per pagrindinių rūšių javų auginimo ciklą įvertinimas Lenkijoje. *Zemdirbyste*, 103(3), 259–266, doi: 10.13080/z-a.2016.103.033.
- Wójcik, I., Doroszewski, A., Wróblewska, E., Koza, P. (2019). Susza rolnicza w uprawie zbóż jarych w Polsce w latach 2006–2017. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 19.
- Wright, S. (1934). The method of path coefficients. *Ann. Mathem. Stat.*, 5, 161–215.
- Wróbel, E. (1993). Wpływ nawożenia azotem na plonowanie i jakość białka ziarna jęczmienia jarego i owsa uprawianych na paszę. *Acta Academiae Agriculturae ac Technicae Olstenensis. Agricultura*, (56, Suppl. B), 52.
- Zajac, T., Pińczuk, A., Witkowicz, R. (2010). Porównanie plonowania i cech morfologicznych roślin owsa oplewionego uprawianego w siewie czystym i mieszanym na terenie powiatu sanockiego. *Żywn. Nauka Technol. Jakość*, 3(70), 148–159.
- Zajac, T., Szafranski, W., Witkowicz, R., Oleksy, A. (1999). Indywidualny udział komponentów struktury plonu w kształtowaniu wysokości plonu ziarna owsa w różnych warunkach siedliskowych. *Żywn. Nauka Technol. Jakość, Supplement*, 1(06), 173–180.
- Zarzecka, K., Gugala, M., Mystkowska, I., Baranowska, A., Sikorska, A., Zarzecka, M. (2018). Odżywcze i prozdrowotne właściwości ziarna owsa i przetworów owsianych. *Kosmos*, 67(2), 409–414.

- Zarzecka, K., Gugala, M., Mystkowska, I., Baranowska, A., Zarzecka, M., Falkowska, K. (2015). Owies siewny – wartość odżywcza i prozdrowotna oraz wykorzystanie przemysłowe. *Med. Rodz.*, 4, 182–185.
- Zegar, J., Toczyński, T., Wrzaszcz, W. (2009). Zrównoważenie polskiego rolnictwa w świetle danych statystyki publicznej. Seria: Z badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym, 8. Warszawa: Wyd. IERiGŻ-PIB.
- Zhang, D., Shen, J., Zhang, F., Li, Y.E., Zhang, W. (2017). Carbon footprint of grain production in China. *Scientific Reports*, 7(1), 1–11.
- Zhang, W., He, X., Zhang, Z., Gong, S., Zhang, Q., Zhang, W., Chen, X. (2018). Carbon footprint assessment for irrigated and rainfed maize (*Zea mays* L.) production on the Loess Plateau of China. *Biosyst. Eng.*, 167, 75–86.
- Zhang, X., McGeoch, S.C., Megson, I.L., MacRury, S.M., Johnstone, A.M., ..., Lobley, G.E. (2014). Oat-enriched diet reduces inflammatory status assessed by circulating cell-derived microparticle concentrations in type 2 diabetes. *Mol. Nutr. Food Res.*, 58, 1322–1332.
- Zhang, Y., Zhang, L., Yang, N., Huth, N., Wang, E., van der Werf, W., Anten, N.P. (2019). Optimized sowing time windows mitigate climate risks for oats production under cool semi-arid growing conditions. *Agric. For. Meteorol.*, 266, 184–197.
- Zhou, Q. P., Kumar Biswas, D., Ma, B.L. (2013). Comparisons among cultivars of wheat, hullless and hulled oats: dry matter, N and P accumulation and partitioning as affected by N supply. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.*, 176, 929–941.
- Zieliński, A., Sygulska, P., Moś, M. (2009). Germination of Oat Seeds, Characterized by Decreased Vigour, Under Drought Conditions. *Ecol. Chem. Eng. A*, 16(9), 1209–1218.
- Zute, S., Brunava, L., Jansone, I., Tamm, Y. (2015). Influence of farming system, nitrogen rates and meteorological conditions on naked oat in Latvia. *POLIOPR SUMAR*, 61(1), 15.
- Zwart, S.J., Bastiaanssen, W.G.M., Fraiture, C., Molden, D.J. (2010). A global benchmark map of water productivity for rainfed and irrigated wheat. *Agric. Water Manag.*, 97, 16717–1627.
- Żarski, J. (2009). Efekty nawadniania roślin zbożowych w Polsce. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 3, 29–42.
- Żarski, J. (1992). Efekty deszczowania zbóż jarych na glebie bardzo lekkiej. *Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Rolnictwo*, 32, 101–111.
- Żarski, J., Dudek, S., Kuśmierk-Tomaszewska, R. (2011). Potrzeby deszczowania jęczmienia browarnego w zależności od rodzaju gleby. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 5, 203–214.
- Żarski, J., Dudek, S., Kuśmierk-Tomaszewska, R., Rolbiecki, R., Rolbiecki, S. (2013). Prognozowanie efektów nawadniania roślin na podstawie wybranych wskaźników suszy meteorologicznej i rolniczej. *Rocz. Ochr. Sr.*, 15 (cz. 3), 2185–2203.
- Żyłowski, T., Król, A., Kozyra, J. (2018). Ocena możliwości ograniczenia śladu węglowego w uprawie kukurydzy na ziarno. *Rocz. Nauk. SERiA*, 20(4), 217–223.

ANALIZA ODDZIAŁYWANIA WARUNKÓW ŚRODOWISKOWYCH I AGROTECHNICZNYCH NA WZROST, ROZWÓJ I PLONOWANIE OWSA ORAZ OCENA MOŻLIWOŚCI OGRANICZENIA ŚLADU WĘGLOWEGO W JEGO UPRAWIE

ABSTRAKT

Cel badań

Ocena reakcji owsa na zróżnicowane warunki pogodowe i agrotechniczne oraz wskazanie działań mitygujących.

Material i metody

Badania przeprowadzono w latach 2010–2019 w Zakładzie Doświadczalno-Dydaktycznym Gorzyń Stacja Złotniki, należącym do Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Doświadczenia prowadzono na dwóch formach owsa: oplewionej i nieoplewionej, w których analizowano wpływ wariantu wodnego (niedeszczowany i deszczowany) oraz nawożenia azotem (0, 50, 100, 150 kg N·ha⁻¹).

Podsumowanie

Zmienność poszczególnych okresów rozwojowych owsa była silniej modyfikowana opadami niż temperaturą powietrza. Optymalne opady dla wielkości plonu ziarna owsa w okresie od krzewienia do strzelania w źdźbło oraz od rozwoju ziarniaków do dojrzałości woskowej wynosiły odpowiednio 51,5 mm i 124,5 mm. Forma oplewiona owsa ('Bingo') plonowała wyżej średnio o około 36,6% niż forma nagoziarnista ('Nagus'). Ponadto forma nagoziarnista charakteryzowała się większą zmiennością plonu ziarna i jego komponentów w porównaniu do formy oplewionej. Forma oplewiona owsa reagowała większym spadkiem plonu na skutek niekorzystnych warunków pogodowych. Deszczowanie było czynnikiem stabilizującym plonowanie owsa. U obu form owsa deszczowanie zmniejszyło o połowę współczynniki zmienności plonu, a u formy nieoplewionej spadek wartości współczynników zmienności dotyczył także wszystkich składowych plonu. Plon owsa wzrósł pod wpływem deszczowania o 23,1%. Przyrost ten wynikał z poprawy komponentów plonowania. Nawadnianie owsa zwiększyło masę tysiąca ziaren o 5,6%, liczbę wiech na jednostce powierzchni o 13,4%, a nie wpłynęło na liczbę ziaren w wiesze. Nawadnianie zwiększało plon ziarna owsa na każdej ze stosowanych dawek azotu, a przyrost ten wahał się od 0,25 t·ha⁻¹ u owsa uprawianego bez nawożenia azotem do 1,28 t·ha⁻¹ na obiektach nawożonych dawką 100 kg N·ha⁻¹. W warunkach deszczowania przyrost plonu ziarna owsa w wyniku intensyfikacji nawożenia azotem w badanym zakresie następował do dawki 147 kg N·ha⁻¹. Efektywność rolnicza i fizjologiczna oraz wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez owies zmniejszały się wraz ze wzrostem dawki azotu, natomiast wartości emisji CO₂ wyraźnie wzrastały i przy dawce 150 kg N·ha⁻¹ generowały największy wzrost emisji wynoszący w porównaniu z kontrolą 55,2%. Zwiększenie efektywności nawożenia poprzez dopasowanie do uprawianej formy owsa daje możliwość redukcji emisji gazów cieplarnianych.

Słowa kluczowe: oplewiony, nieoplewiony, *Avena sativa* L., nawożenie azotem, deszczowanie, efektywność rolnicza, gazy cieplarniane

ANALYSIS OF THE IMPACT OF ENVIRONMENTAL AND AGROTECHNICAL CONDITIONS ON THE GROWTH, DEVELOPMENT AND YIELDING OF OAT AND THE ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF REDUCING THE CARBON FOOTPRINT OF ITS CULTIVATION

ABSTRACT

Aim of the study

The aim of the research was to evaluate the reaction of oats to various weather and agrotechnical conditions and to indicate mitigation measures.

Material and methods

The research was carried out in 2010–2019 at the Research and Education Centre Gorzyń, Złotniki Station, belonging to Poznań University of Life Sciences. In the experiments with two oat forms: hulled and naked, the influence of the water variant (not irrigated and irrigated) and nitrogen fertilization (0, 50, 100, 150 kg N·ha⁻¹) were analysed.

Summary

The variability of individual oat development periods was more strongly modified by rainfall than by air temperature. The optimal precipitation for the size of oat grain yield in the period from tillering to stalk shooting and from kernel development to wax maturity was 51.5 mm and 124.5 mm, respectively. The hulled form of oats ('Bingo') yielded an average approximately 36.6% higher than the naked form ('Nagus'). Moreover, the naked form was characterized by greater variability of the grain yield and its components compared to the hulled form. The hulled oat form reacted with a greater yield decrease due to unfavourable weather conditions. Irrigation was a factor stabilizing the oat yield. In both forms of oats, irrigation reduced by half the coefficients of yield variation, and in the naked form, the decrease in the value of the coefficients of variation also applied to all yield components. The yield of oats increased by 23.1% under the influence of irrigation. This increase was due to the improvement in the yield components. Oat irrigation increased the thousand-grain weight by 5.6%, the number of tassels per unit area by 13.4%, and did not affect the number of grains in the panicle. Irrigation increased the oat grain yield at each of the applied nitrogen doses, and this increase ranged from 0.25 t·ha⁻¹ in oats cultivated without nitrogen fertilization to 1.28 t·ha⁻¹ in the objects fertilized with the dose of 100 kg N·ha⁻¹. Under irrigation conditions, the increase in the oat grain yield as a result of the intensification of nitrogen fertilization in the tested range was observed up to the dose of 147 kg N·ha⁻¹. Agricultural and physiological efficiency, as well as the use of nitrogen from mineral fertilizers by oats, decreased with the increase in nitrogen dose, while the values of CO₂ emission clearly increased and at the dose of 150 kg N·ha⁻¹ generated the largest increase in emissions, amounting to 55.2% compared to the control. Increasing the efficiency of fertilization by adapting to the cultivated form of oats makes it possible to reduce greenhouse gas emissions.

Keywords: hulled, naked, *Avena sativa* L., nitrogen fertilization, irrigation, agricultural efficiency, greenhouse gases