



**POLITECHNIKA
BYDGOSKA**
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

**RADA NAUKOWA DISCYPLINY ROLNICTWO
I OGRODNICTWO**

ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Radosław Nowicki

**OCENA EFEKTYWNOŚCI UPRAWY ZIMUJĄCYCH
MIESZANEK STRĄCZKOWO-ZBOŻOWYCH
W ZALEŻNOŚCI OD SKŁADU GATUNKOWEGO
I UDZIAŁU KOMPONENTÓW**

*Evaluation of the efficiency of cultivation winter
legume-cereal mixtures depending on the species
and the share of components*

DZIEDZINA: NAUKI ROLNICZE
DISCYPLINA: ROLNICTWO I OGRODNICTWO

PROMOTOR

DR HAB. INŻ. EDWARD WILCZEWSKI PROF. PBŚ
Wydział Rolnictwa i Biotechnologii
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

Bydgoszcz, 2024

*Pragnę wyrazić niezmierną wdzięczność mojemu promotorowi i mentorowi **dr hab. inż. Edwardowi Wilczewskiemu** za bezinteresowne poświęcenie mi tego co najcenniejsze i co upływa bezpowrotnie, czyli czasu. Przeogromna wiedza i wskazówki, którymi mnie Pan obdarował sprawiły, że praca ta mogła powstać.*

*Dziękuję **wspaniałej Żonie Agacie**, za przejęcie trudów życia codziennego i opieki nad córką, gdy ja poświęcałem czas na badania i realizację swoich ambicji.*

Rodzinie, Przyjaciółom i Pracownikom Politechniki Bydgoskiej, którzy pomagali mi, wspierali i trzymali kciuki za realizację celu,

Serdecznie Dziękuję

*„Wybierz pracę, którą kochasz, a nie przepracujesz ani jednego dnia więcej w swoim życiu.”
~ Konfucjusz*

Ze specjalną dedykacją dla Wujka Tolka i Kuzyna Dawida za zaszczerpienie i możliwość realizacji od najmłodszych lat pasji do rolnictwa, która doprowadziła mnie w miejsce, w którym dzisiaj się znajduję.

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP.....	9
2. HIPOTEZA I CEL BADAŃ	11
3. PRZEGLĄD LITERATURY	12
3.1. Mieszanki strączkowo-zbożowe w Polsce i na Świecie	12
3.2. Charakterystyka grochu siewnego.....	13
3.3. Kierunki użytkowania.....	14
3.3.1. Suche nasiona.....	15
3.3.2. Mieszanki strączkowo-zbożowe.....	15
3.3.3. Uprawa grochu na zielony nawóz	16
3.3.4. Uprawa grochu na zielone nasiona.....	16
3.4. Udział grochu w strukturze zasiewów w Polsce.....	17
3.5. Rola grochu i jego mieszanek w poprawie bilansu białkowego Polski.....	20
3.6. Jesienny termin siewu.....	21
3.7. Elementy agrotechniki mieszanek strączkowo-zbożowych	23
3.8. Wpływ proporcji mieszanek na wzrost, plonowanie i cechy jakościowe surowca.....	25
4. METODYKA BADAŃ.....	27
4.1. Lokalizacja i układ doświadczenia	27
4.2. Warunki pogodowe	28
4.3. Warunki glebowe.....	34
4.4. Warunki agrotechniczne	35
4.5. Badania polowe i laboratoryjne	36
4.6. Metodyka obliczania wskaźników.....	38
4.7. Opracowanie wyników	39
5. OMÓWIENIE WYNIKÓW	40
5.1. Struktura plonu	40
5.1.1. Obsada roślin po wschodach i spoczynku zimowym.....	40

5.1.2. Obsada kłosów zbóż.....	43
5.1.3. Liczba strąków na roślinie.....	50
5.1.4. Liczba ziaren w kłosie.....	57
5.1.5. Liczba nasion w strąku.....	63
5.1.6. Masa tysiąca ziaren zbóż.....	68
5.1.7. Masa tysiąca nasion grochu.....	74
5.2. Plon.....	80
5.2.1. Plon ogólny	80
5.2.2. Udział grochu w plonie mieszanek	86
5.3. Zawartość i plon białka.....	93
5.3.1. Zawartość białka w nasionach grochu.....	93
5.3.2. Zawartość białka w ziarnach zbóż.....	99
5.3.3. Plon białka.....	106
5.4. Dynamika przyrostu suchej masy komponentów w mieszankach.....	113
5.5. Masa azotu zgromadzona w biomacie nadziemnej roślin.....	123
5.6. Wskaźniki produkcyjne	131
5.6.1. Leaf Area Index (LAI)	131
5.6.2. Harvest Index (HI)	138
5.6.3. Land Equivalent Ratio (LER)	144
6. DYSKUSJA WYNIKÓW	149
7. WNIOSKI	163
8. LITERATURA.....	165
Streszczenie.....	181
Summary	183

Używane w rozprawie skróty:

HTC	Współczynnik hydrotermiczny Selyaninova (ang. Hydrothermal coefficient)
WZ	Współczynnik zmienności
SD	Odchylenie standardowe (ang. standard deviation)
LAI	Współczynnik pokrycia liściowego (ang. Leaf Area Index)
HI	Indeks żniwny (ang. Harvest Index)
LER	Współczynnik ekwiwalentu terenowego (Land Equivalent Ratio)
MTZ	Masa tysiąca ziaren
MTN	Masa tysiąca nasion
G100	Jednogatunkowy zasiew grochu
J100	Jednogatunkowy zasiew jęczmienia
P100	Jednogatunkowy zasiew pszenicy
G80P20	Mieszanka złożona z 80% grochu i 20% pszenicy
G60P40	Mieszanka złożona z 60% grochu i 40% pszenicy
G40P60	Mieszanka złożona z 40% grochu i 60% pszenicy
G20P80	Mieszanka złożona z 20% grochu i 80% pszenicy
G80J20	Mieszanka złożona z 80% grochu i 20% jęczmienia
G60J40	Mieszanka złożona z 60% grochu i 40% jęczmienia
G40J60	Mieszanka złożona z 40% grochu i 60% jęczmienia
G20J80	Mieszanka złożona z 20% grochu i 80% jęczmienia
G80Z20	W tabelach prezentujących jednowymiarowe wyniki wariacji oznacza mieszanki złożone z 80% grochu i 20% rośliny zbożowej bez rozróżniania gatunku
G60Z40	W tabelach prezentujących jednowymiarowe wyniki wariacji oznacza mieszanki złożone z 60% grochu i 40% rośliny zbożowej bez rozróżniania gatunku
G40Z60	W tabelach prezentujących jednowymiarowe wyniki wariacji oznacza mieszanki złożone z 40% grochu i 60% rośliny zbożowej bez rozróżniania gatunku
G20Z80	W tabelach prezentujących jednowymiarowe wyniki wariacji oznacza mieszanki złożone z 20% grochu i 80% rośliny zbożowej bez rozróżniania gatunku

1. WSTĘP

Dominujący w Europie model rolnictwa intensywnego, skupiającego się na osiągnięciu maksymalnie wysokich plonów, jest konsekwencją potrzeby zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego stale rosnącej populacji na świecie (Dorneanu, 2017). W drugiej połowie XX wieku rolnicy w krajach uprzemysłowionych ograniczyli stosowanie płodozmianu wykorzystującego rośliny strączkowe, a zapotrzebowanie roślin na azot pokrywali stosując coraz większe dawki syntetycznych nawozów azotowych (Crews i Peoples, 2004). Wykorzystanie przemysłowych źródeł azotu spowodowało istotne zmiany w rolnictwie, zmniejszając dywersyfikację upraw i uzależniając opłacalność rolnictwa od nawozów sztucznych (Miśniakiewicz i in., 2021). Kilkukrotny wzrost średniego plonowania roślin uprawnych, będący efektem stosowania przede wszystkim nawożenia azotowego, przyczynił się do ograniczenia głodu na świecie, jednak nadmierne użycie nawozów w pogoni za jak najwyższymi plonami prowadziło do szkód środowiskowych (Księżak i in., 2023). W ostatnich dekadach, dzięki rosnącej świadomości ekologicznej, wzrasta zainteresowanie alternatywnymi metodami uprawy (Hauggaard-Nielsen i Jensen, 2005). Uprawa współrzędna, czyli uprawianie mieszanek dwóch lub więcej gatunków roślin lub ich naprzemienny wysiew w sąsiednich rzędach jest znaną od dawna praktyką, która nie jest obecnie powszechna w towarowej produkcji roślin (Lithourgidis i in. 2011a), ale była popularna przed intensyfikacją rolnictwa (Hauggaard-Nielsen i Jensen, 2005). Problemem Polski i Unii Europejskiej pozostaje deficyt białka paszowego, który uzupełniany jest przez import śruty sojowej (Czerwińska-Kayzer i in., 2016). Ponowne wprowadzenie roślin strączkowych do systemów upraw jest obiecującym sposobem na zmniejszenie zależności od importu surowców paszowych, przełamanie efektu monokultur, uniknięcie zagrożeń środowiskowych i utrzymanie wysokiej produkcji dzięki zdolności tych roślin do wiązania azotu (Ghaley i in., 2005). Spadek powierzchni upraw tych roślin tłumaczy się ich mniejszą konkurencyjnością ekonomiczną w porównaniu z bardziej dochodowymi i stabilniejszymi w plonowaniu zbożami (Divéky-Ertsey, 2022). Groch siewny jest ważną rośliną strączkową w klimacie umiarkowanym Europy (Tran i in., 2022). Jakkolwiek jest on bardzo wrażliwy na warunki atmosferyczne (Parihar i in., 2022; Osorio i in., 2022). Susze wiosenne są jednym z najważniejszych czynników, które mogą znacząco obniżyć plony tej rośliny. Wrażliwość grochu na niedobory wody w okresie wiosennym jest szczególnie istotna, ponieważ w tym czasie rośliny przechodzą przez kluczowe fazy rozwojowe, takie jak kiełkowanie, wschody i kwitnienie (Khatun i in., 2021). Reakcja na stresy abiotyczne zależy w dużej mierze od etapu rozwojowego rośliny. Moment, w którym wystąpi krytyczny niedobór wody, ma wpływ na to jakie elementy plonowania ulegną redukcji (Bányai i in., 2014). Niedostateczne uwilgotnienie gleby w okresie siewu może doprowadzić do opóźnień lub nierównomiernych wschodów. Stres wodny występujący w okresie kwitnienia może doprowadzić do najbardziej dotkliwych skutków dla

wielkości uzyskiwanych plonów. Zbyt mała ilość wody w glebie w tym okresie będzie prowadziła do problemów z zapyleniem się kwiatów i redukcji liczby przyszłych strąków. Wystąpienie suszy po zawiązaniu strąków będzie miała wpływ przede wszystkim na proces tworzenia się nasion i ich masę (Bagheri i in., 2023). Plon grochu jest zależny również od morfologii liści (Baigorri i in., 1999). Liście przekształcone w wąsy czepne ograniczają wyleganie roślin i oszczędzają wodę, minimalizując ewapotranspirację, a także zapewniają lepszą cyrkulację powietrza w łanie, co ogranicza ryzyko przegrzania roślin (Tafesse i in., 2019). Mieszanki strączkowo-zbożowe lepiej niż zasiewy jednogatunkowe wykorzystują zasoby gleby i cechuje je większa stabilność plonów. Ponadto umożliwiają uzyskanie wielu korzyści, takich jak poprawa żyzności gleby, większa w porównaniu z zasiewami czystymi odporność na wyleganie oraz redukcja występowania chwastów, szkodników i chorób (Corre-Hellou i in., 2006; Lithourgidis i in., 2011a; Neugschwandtner i in., 2021; Pankou i in., 2021). Zastąpienie grochu jarego odmianą zimującą w mieszankach daje możliwość lepszego wykorzystania warunków środowiskowych (Naudin i in., 2009). Zwiększenie udziału roślin zimujących w strukturze zasiewów ma swoje zalety w postaci przeciwdziałaniu wodnej i wietrznej erozji gleb, poprzez okrywą roślinną i stabilizację gruntu którą zapewniają korzenie. Nie bez znaczenia pozostaje także ograniczenie zanieczyszczenia wód gruntowych biogenami poprzez ich pobieranie przez rośliny (Obour i in., 2021). Rośliny zimujące, w przeciwieństwie do zasiewów wiosennych, charakteryzują się wcześniejszym rozwojem fenologicznym, a na skutek przesunięcia kształtowania niektórych elementów plonowania na okres o korzystniejszych warunkach wodnych możliwe są do uzyskania wyższe plony i osiągnięcie większej stabilności plonowania (Mikic i in., 2011; Neugschwandtner i in., 2019a). Po niedawnym przełomie w hodowli i pojawieniu się w towarowej produkcji zimujących odmian grochu, istnieje niedostatek badań nad procesami rozwoju roślin towarzyszących w zimujących uprawach mieszanych. W kontekście asocjacji roślin, określenie najkorzystniejszej proporcji komponentów mieszanki jest kluczowe dla koordynacji upraw mieszanek międzygatunkowych (Urbatzka i in., 2011). W światowym dorobku naukowym brakuje badań nad zdolnością do konkurencji i adaptacji różnych gatunków w mieszankach ozimych i jarych, porównywanych w tych samych warunkach glebowych i pogodowych, dających obiektywną możliwość określenia przydatności do uprawy nowej formy mieszanek. Badania zaplanowano opierając się głównie na znanym wcześniej, pozytywnym wpływie na siebie różnych gatunków roślin w łanie oraz na przewadze roślin zimujących w zakresie większego wykorzystania wody pozimowej, a także dłuższemu okresowi wegetacji, sprzyjającemu gromadzeniu większej biomasy. Brak doniesień literaturowych na temat szczegółowych interakcji międzygatunkowych w mieszankach strączkowo-zbożowych z udziałem zimujących form grochu ze zbożami ozimymi, a także duże zapotrzebowanie na krajowe białko roślinne i potencjalne korzyści dla właściwości gleby rodzą potrzebę uzupełnienia stanu wiedzy w tym zakresie.

2. HIPOTEZA I CEL BADAŃ

Biorąc pod uwagę przedstawione we wstępie rozważania przyjęto hipotezę badawczą zakładającą, że dłuższy okres wegetacji oraz korzystanie z zasobów wody z opadów jesienno-zimowych umożliwi uzyskanie wyższej efektywności uprawy mieszanek strączkowo-zbożowych wysiewanych jesienią w stosunku do siewu wiosennego. Założono, że stosowanie siewu jesienniego umożliwi uzyskanie wyższych plonów ogólnych mieszanek, wyższego plonu białka oraz większej ilości azotu zgromadzonego w resztkach poźniwnych mieszanek w porównaniu do identycznych mieszanek wysiewanych wiosną.

Głównym celem badań była ocena efektywności uprawy zimujących mieszanek strączkowo-zbożowych w kontekście poprawy stabilności plonowania i wyższej w porównaniu do tradycyjnych mieszanek jarych wielkości plonu. Do zrealizowania celu głównego zaplanowano szczegółowe zadania mające w swojej istocie:

- Ustalenie optymalnej proporcji wysiewanych komponentów mieszanek, przy której możliwe jest uzyskanie najwyższego plonu białka;
- Ustalenie ilości azotu zgromadzonego w częściach nadziemnych przez rośliny w zależności od udziału komponentów w łanie;
- Określenie wpływu badanych czynników na dynamikę i wielkość gromadzenia suchej masy oraz konkurencję międzygatunkową komponentów mieszanek;
- Określenie wpływu badanych czynników na elementy struktury plonu i wskaźniki produkcyjne mieszanek.

3. PRZEGLĄD LITERATURY

3.1. MIESZANKI STRĄCZKOWO-ZBOŻOWE W POLSCE I NA ŚWIECIE

Mieszanki strączkowo-zbożowe odznaczają się wieloma pozytywnymi aspektami w porównaniu do osobnych siewów gatunków stanowiących komponenty w mieszance. Ceglarek i in. (2004) oraz Księżak i Bojarszczuk (2016) podkreślają większą stabilność w plonowaniu roślin strączkowych w mieszankach ze zbożami, w porównaniu do zasiewów czystych, szczególnie w latach o niesprzyjającym przebiegu warunków pogodowych. Plony poszczególnych gatunków uprawianych w mieszankach są zwykle wyższe, niż wynikałoby to z ich oddzielnego wzrostu na tej samej jednostce powierzchni. W zasiewach mieszanych obserwuje się niższe zachwaszczenie, co wynika ze zróżnicowanych nisz ekologicznych gatunków występujących w łanie (Płaza i in., 2018). Intensywność zachwaszczenia może być różnicowana zarówno przez dobór gatunków w mieszance, ale także przez udział komponentów mieszanki. Biocenozy składające się z co najmniej dwóch gatunków roślin, są mniej narażone na infekcje chorobowe i ataki agrofagów. Kolejną zaletą mieszanek z udziałem roślin bobowatych jest ich zdolność do wiązania azotu atmosferycznego. Według Bourion i in. (2007) bakterie *Rhizobium* żyjące w symbiozie z grochem mogą potencjalnie związać nawet do 165 kg azotu atmosferycznego na hektar, jednak w uprawie polowej najczęściej są to ilości w granicach 40-60 kg N·ha⁻¹. Podobne wyniki w doświadczeniach zanotowali Faligowska i in. (2022), Tsialtas i in. 2018 oraz Gollner i in. (2019). Azot pochodzący z powietrza stanowi około 50% ogólnej masy tego pierwiastka pobranego przez rośliny. Zwykle od 20 do 50% azotu zakumulowanego przez bakterie brodawkowe zostaje wykorzystane do budowy białka w nasionach. Udział nasion roślin strączkowych w plonie mieszanek ze zbożami zwiększa zawartość białka oraz wpływa korzystnie na jakość, przez odmienny i częściowo dopełniający skład aminokwasowy białka zbóż (Wang i Daun, 2004). Pozwala to na podniesienie zintegrowanego wskaźnika aminokwasów egzogennych, a tym samym obniżenie kosztów jakościowego dostosowania paszy treściwej, produkowanej z nasion mieszanek strączkowo-zbożowych, do wymagań żywnościowych zwierząt inwentarskich (Borowiecki i Księżak, 2000).

Groch, który jest składnikiem dużej części uprawianych mieszanek strączkowo-zbożowych jest uprawiany na całym świecie ze względu na swoje wartości odżywcze oraz szerokie zastosowanie kulinarne. Jednakże, aby osiągnąć optymalne plony, uprawa grochu wymaga specyficznych warunków klimatycznych i geograficznych. W tym kontekście, najbardziej odpowiedni zasięg szerokości geograficznej oraz warunki uprawy odgrywają kluczową rolę. Groch najlepiej rośnie w strefie umiarkowanej, pomiędzy 30° a 55° szerokości geograficznej na obu półkulach. Ta strefa obejmuje wiele regionów o klimacie umiarkowanym, który sprzyja uprawie grochu. Na półkuli północnej uprawia się

go w Europie, Ameryce Północnej, północnych częściach Azji i niektórych regionach Bliskiego Wschodu, a na półkuli południowej w południowych częściach Australii, Nowej Zelandii oraz w niektórych regionach Ameryki Południowej.

Wśród największych producentów grochu na świecie Rosja posiada największy areał uprawy wynoszący około 1,6 mln ha, osiągając przy tym produkcję w wielkości zaledwie 2,7 mln ton nasion rocznie. Największe obszary uprawy w tym kraju znajdują się w południowych regionach kraju (Zotikov i Vilyunov, 2021). Kanada jest drugim krajem pod względem powierzchni uprawy grochu wynoszącej około 1,3 mln ha i pierwszym pod względem produkcji, osiągając roczne zbiory wynoszące około 3,8 mln ton. Groch jest tam uprawiany głównie w regionach o klimacie kontynentalnym, z chłodnymi zimami i ciepłymi latami, co sprzyja jego wzrostowi i wysokiemu plonowaniu (Canadian Grain Commission, 2022). W Unii Europejskiej liderami w produkcji grochu są Francja i Niemcy, wytwarzając odpowiednio 800 i 400 tysięcy ton w 2022 roku (FAO, 2024). W Polsce powierzchnia upraw czystych zasiewów roślin strączkowych ulega dużym wahaniom w latach na skutek niestabilności ich plonowania. Areał uprawy okresowo wzrasta przy wysokim popycie, jednak wyraźnie spada po wystąpieniu niekorzystnego roku do ich uprawy (Podleśny, 2005).

3.2. CHARAKTERYSTYKA GROCHU SIEWNEGO

Groch siewny (*Pisum sativum* L.) jest jednoroczną rośliną jarą, należącą do rodziny botanicznej *Fabaceae* – Bobowate. Rośliny należące do tej rodziny dzieli się na dwie grupy – bobowate drobonasienne i bobowate grubonasienne do której należy groch. Powszechnym w użyciu synonimem tej grupy jest nazwa strączkowe, wypierana jednak przez botaniczną nazwę (Kotecki i Kozak, 2020). Groch charakteryzuje się wieloma różnorodnymi formami i odmianami botanicznymi. W przeszłości grochy o barwnych kwiatach i antocyjanowych przebarwieniach przylistków były klasyfikowane jako osobny gatunek – peluszką (*Pisum arvense* L.), który obecnie wyróżniany jest jako pastewna forma grochu siewnego. W produkcji polowej przeważają odmiany grochu o białej barwie kwiatów, bez antocyjanowych przebarwień i są stosowane jako żywność dla ludzi, pasza dla zwierząt oraz w przemyśle (Kotecki i Kozak, 2020).

W drugiej połowie XX wieku uzyskano znaczący postęp hodowlany, w wyniku, którego wyhodowano odmiany grochu o krótszych łodygach. Wcześniej uprawiane odmiany grochu charakteryzowały się długimi międzywęzłami oraz wiotkimi łodygami, które mogły osiągać długość nawet do dwóch metrów. Bujne, parzystopierzaste ulistnienie tych odmian powodowało problemy związane z sztywnością łąnu i częstym wyleganiem. Przełomem było wyhodowanie odmiany grochu, która łączyła gen niskopienności z genem *afila*, determinującym listki przekształcone w wąsy czepne. To osiągnięcie genetyczne umożliwiło tworzenie zwartego łąnu, w którym rośliny splecione wąsami są

mniej podatne na wyleganie. Dodatkowo, wąsy czepne mają mniej aparatów szparkowych niż listki grochu, co redukuje transpirację i zmniejsza zapotrzebowanie roślin na wodę (Nemeskéri i in., 2015). Redukcja powierzchni asymilacyjnej nie wpłynęła negatywnie na plonowanie, ponieważ wąsy czepne nie zacinają dolnych partii łanu, co pozwala na efektywniejsze wykorzystanie energii słonecznej (Jasińska i Kotecki, 2003). W ostatnich latach ponad 80% odmian grochu uprawianych w Unii Europejskiej to odmiany wąsolistne (Tran i in., 2022), natomiast w Polsce, takie odmiany stanowią w 94% wszystkich zarejestrowanych w Krajowym Rejestrze (COBORU, 2024a).

Groch jest dobrze przystosowany do warunków klimatycznych panujących w Polsce. W 2024 roku powierzchnia jego uprawy wynosiła 158 tysięcy hektarów, co stanowiło 26,45% wszystkich roślin bobowatych grubonasiennych uprawianych w kraju (ARiMR, 2024). W mieszankach strączkowo-zbożowych, które zajmują około 60 tysięcy hektarów, groch jest często jednym z głównych składników (Bojarszczuk i Książak, 2020). Podobnie jak inne rośliny bobowate, groch odgrywa znaczącą rolę w produkcji roślinnej w Polsce ze względu na swoje walory gospodarcze, przyrodnicze i ekonomiczne (Podleśny, 2005). Nasiona grochu kiełkują już w temperaturze 2°C, a młode rośliny mogą przetrwać przymrozki do -5°C (Kotecki i Kozak, 2020). Postęp hodowlany doprowadził do wyselekcjonowania odmian grochu, które mogą wytrzymać spadki temperatury w okresie zimy nawet do -18°C (Chen i in., 2006; Neugschwandtner i in., 2019a; Bozoglu i in., 2007; Schillinger, 2017; Urbatzka i in., 2011).

3.3. KIERUNKI UŻYTKOWANIA

W Polsce groch uważany jest za kluczową roślinę bobowatą ze względu na swój wysoki potencjał produkcyjny oraz wszechstronność zastosowań. Dzięki różnorodnym kierunkom upraw, groch może być elastycznie włączany do płodozmianu w polskich gospodarstwach rolnych. Jego znaczenie jest istotne zarówno w kontekście paszowym, kulinarnym, jak i ekologicznym. Niska zawartość związków antyżywnościowych, wysoki plon białka oraz korzystne warunki glebowe, jakie pozostawia po sobie groch, podkreślają jego kluczową rolę w zwiększaniu produkcji białka w Polsce. Jego znaczenie wynika z wysokiej wartości odżywczej nasion oraz zdolności do symbiozy z bakteriami brodawkowymi, co pozwala na wiązanie azotu atmosferycznego i wzbogacanie gleby w ten pierwiastek co jest korzystne dla kolejnych upraw (Voisin i in., 2014). Oprócz siewu na zbiór suchych nasion, które są wykorzystywane jako komponent białkowy w paszach oraz do konsumpcji przez ludzi, groch ma także inne zastosowania. Jego wszechstronność i różnorodne formy użytkowe czynią go ważnym elementem w systemach rolniczych w Polsce (Podleśny i Bieniaszewski, 2012).

3.3.1. Suche nasiona

Zbiór grochu na suche nasiona stanowi jeden z głównych kierunków jego użytkowania. Suche nasiona grochu są bogatym źródłem białka roślinnego, zawierającego aminokwasy egzogenne, niezbędne dla organizmu ludzkiego (Wang i Daun, 2004). Zawartość białka w nasionach grochu wynosi od 20% do 25%, co czyni go wartościowym składnikiem diety, zwłaszcza w populacjach o ograniczonym dostępie do białka zwierzęcego (Dahl i in., 2012). Oprócz białka, nasiona grochu są źródłem błonnika pokarmowego, witamin z grupy B oraz minerałów, takich jak żelazo, fosfor i magnez (Jukanti i in., 2012). Regularne spożywanie grochu może przyczynić się do obniżenia poziomu cholesterolu, regulacji glikemii oraz wspomagać profilaktykę chorób układu krążenia i cukrzycy (Dahl i in., 2012). W związku z rosnącym zainteresowaniem dietami roślinnymi, groch zyskuje na popularności jako alternatywa dla białka zwierzęcego (Roland i in., 2017). Kilkanaście lat temu produkcja grochu na suche nasiona była głównie motywowana potrzebami produkcji zwierzęcej. W Polsce, znaczna część produkowanego grochu zostaje wykorzystana w rodzinnych gospodarstwach rolnych do produkcji pasz, co tłumaczy niską produkcję rynkową w stosunku do rejestrowanych zasiewów. Dodatkowo, niektórzy rolnicy zniechęcają się do uprawy grochu ze względu na jego niestabilne plonowanie spowodowane ostrą reakcją na niesprzyjające warunki pogodowe, zwłaszcza posuchy występujące w czasie kwitnienia (Podleśny, 2005). Aktualnie w Polsce więcej niż na paszę wykorzystuje się groch do celów konsumpcyjnych (GUS, 2024). Wykorzystanie grochu jako składnika paszowego może przyczynić się do zmniejszenia zależności od importowanych surowców białkowych, takich jak śruta sojowa, co ma znaczenie ekonomiczne i ekologiczne (Grela i Czech, 2019). Badania wskazują na możliwość zastąpienia części lub całości białka sojowego białkiem grochowym bez negatywnego wpływu na parametry produkcyjne zwierząt. Wysoka zawartość białka oraz korzystny profil aminokwasowy sprawiają, że jest atrakcyjnym komponentem w żywieniu trzody chlewnej, drobiu i bydła (Smith i in., 2013; Laudadio i Tufarelli, 2010; Naeiny i in., 2019).

3.3.2. Mieszanki strączkowo-zbożowe

Uprawa grochu w mieszankach strączkowo-zbożowych jest praktyką agronomiczną, która zyskuje na znaczeniu w kontekście zrównoważonego rolnictwa (Pelzer i in., 2012). Siew współrzędny roślin strączkowych ze zbożami jest stosowany głównie w celach paszowych, co pozwala na uzyskanie mieszanki nasion zawierającej więcej białka niż ziarna zbóż z upraw jednogatunkowych. Około 20% areалу zasiewów grochu w Polsce jest zbierane na zielonkę, którą bezpośrednio skarmia się zwierzęta (Kozak i in., 2012). Ze względu na trudności w uzyskaniu mieszanki o jednolitym składzie, zakłady przetwórcze zazwyczaj nie skupują takiego surowca, więc rolnicy wykorzystują go we własnych gospodarstwach. Mieszanki takie pozwalają na lepsze wykorzystanie zasobów

środowiska, takich jak światło, woda i składniki pokarmowe, między innymi dzięki komplementarności systemów korzeniowych i różnicom w architekturze roślin (Lithourgidis i in., 2011b). Mieszanki wykazują większą stabilność plonowania w porównaniu do czystych zasiewów roślin strączkowych, a symbioza grochu z innymi roślinami w łanie przynosi dodatkowe korzyści (Yu i in., 2015). Groch, dzięki zdolności do wiązania azotu atmosferycznego, dostarcza tego pierwiastka zarówno sobie, jak i roślinom współrzędnym, co może prowadzić do zmniejszenia zapotrzebowania na nawozy azotowe (Jensen i in., 2012). Ponadto, groch w mieszance jest mniej podatny na wyleganie, gdyż zbożowy komponent stanowi dodatkową podporę. Korzyści płynące z mieszanek są również odczuwalne przez rośliny następcze, które korzystają z przełamanej monokultury zbożowej i gleby wzbogaconej w składniki pokarmowe z głębszych warstw oraz azot związany przez bakterie symbiotyczne. (Kozak i in., 2012). Ponadto, uprawa w mieszankach może przyczynić się do ograniczenia występowania chorób i szkodników poprzez efekt rozpraszania patogenów i zwiększenie bioróżnorodności agroekosystemu (Bedoussac i in., 2008).

3.3.3. Uprawa grochu na zielony nawóz

Groch jest często wykorzystywany jako zielony nawóz w międzyplonach ścierniskowych co stanowi ważny element praktyk rolnictwa regeneratywnego (Thorup-Kristensen i in., 2003). Wymieszanie niedojrzałych roślin z glebą po kilkunastotygodniowym wzroście wzbogaca glebę w materię organiczną i składniki mineralne. Praktyka ta sprzyja dywersyfikacji upraw i utrzymywaniu obszarów proekologicznych, jednocześnie dostarczając glebie cenną materię organiczną, która zwiększa zawartość próchnicy (Peoples i in., 2009). Stosując międzyplon ozimy przemarznięte resztki roślin mogą stanowić mulcz, w który bezpośrednio można siać kolejną uprawę główną. Dla gospodarstw bez zwierząt, a tym samym bez dostępu do obornika, stosowanie grochu jako zielonego nawozu jest głównym sposobem na wzbogacenie gleby w organiczne składniki odżywcze i zwiększa zawartość materii organicznej w glebie, co poprawia jej strukturę, pojemność wodną oraz aktywność biologiczną (Fageria i Baligar, 2005). Rośliny bobowate, takie jak groch, zapewniają dodatkowe korzyści, takie jak zapobieganie erozji i wymywaniu składników odżywczych, a także pobieranie tych składników z głębszych warstw gleby. Składniki te są w pełni zwracane do gleby, co czyni je dostępnymi dla kolejnych upraw (Wojciechowski i Werwińska, 2016).

3.3.4. Uprawa grochu na zielone nasiona

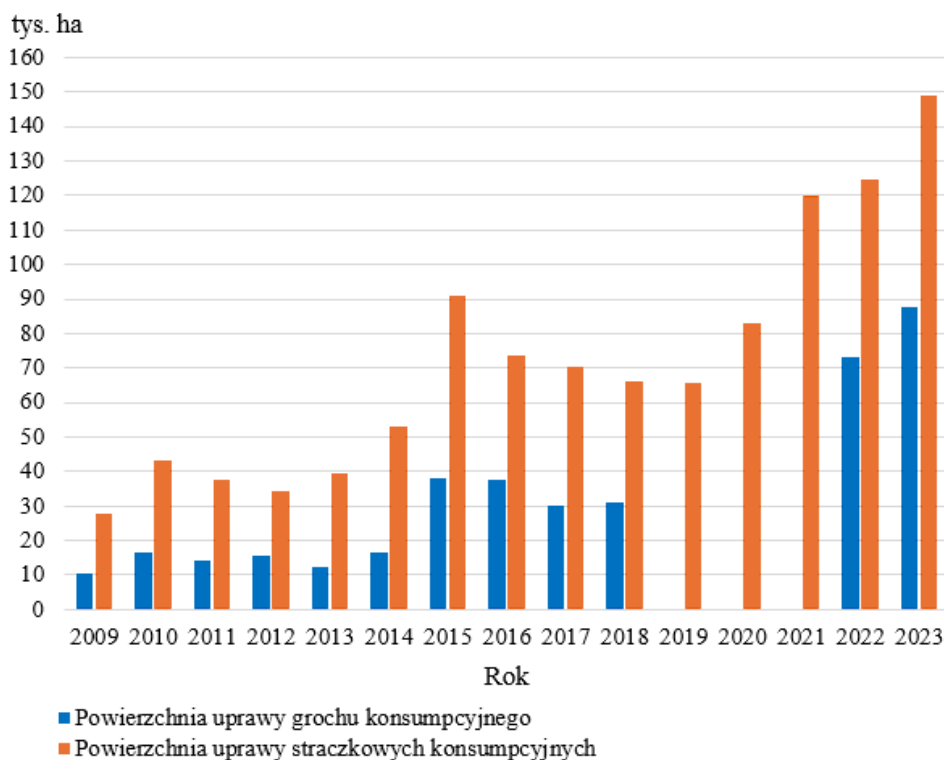
Zebrane zielone, jeszcze niedojrzałe nasiona grochu są przeznaczone głównie do bezpośredniego sezonowego spożycia oraz przetwórstwa, często w formie mrozonek lub konserw (Srinivasan i in., 2006). Groch jest popularnym składnikiem kulinarnym, znanym ze swoich wysokich wartości odżywczych, w tym dużej zawartości białka, witamin i minerałów (Singh i in., 2017). Uprawa

grochu na zielone nasiona jest jednym z najbardziej skomplikowanych kierunków użytkowania tej rośliny. Największym wyzwaniem dla rolników jest precyzyjne ustalenie terminu zbioru, który musi nastąpić w ściśle określonym stadium rozwoju rośliny. Każde opóźnienie zbioru prowadzi do pogorszenia jakości nasion, które stają się twardsze i zawierają coraz więcej skrobi, co negatywnie wpływa na ich przydatność do przetwórstwa (Higgins i in., 2010). Aby ustalić optymalny moment zbioru, rolnicy używają narzędzi do oceny dojrzałości i twardości nasion. Kluczowe jest również uprawianie odmian o różnej wczesności dojrzwania, co pozwala na sukcesywny zbiór spełniający wymagania przetwórców (Roland i in., 2017). Ważna jest także odporność odmian na choroby, ponieważ szybki zbiór ogranicza możliwość stosowania chemicznych środków ochrony roślin, z obawy przed ich pozostałościami w plonie. Groch na zielone nasiona jest gotowy do zbioru w ciągu około 60-70 dni od siewu. Zapewnienie zdrowych nasion bez pozostałości fungicydów jest trudnym zadaniem, wymagającym starannego zarządzania uprawą (Grudnik, 2012).

3.4. UDZIAŁ GROCHU W STRUKTURZE ZASIEWÓW W POLSCE

Powierzchnia upraw roślin strączkowych w Polsce w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat zmieniała się znacznie. W 1989 roku wynosiła 372 tys. ha. i od lat 90. ubiegłego stulecia postępował gwałtowny spadek produkcji tych roślin, osiągając najniższy poziom - 100 tys. ha w 2003 roku. Od tego czasu obserwuje się stopniowy wzrost powierzchni uprawy bobowatych grubonasiennych, która w 2015 roku wyniosła 400 tys. ha, po czym w ciągu kolejnych trzech lat nastąpił spadek do około 300 tys. ha. (Florek, 2017). W 2024 roku powierzchnia uprawy roślin bobowatych grubonasiennych wynosiła 603 tys. ha. co stanowi 5,4% powierzchni zasiewów w Polsce (ARiMR, 2024).

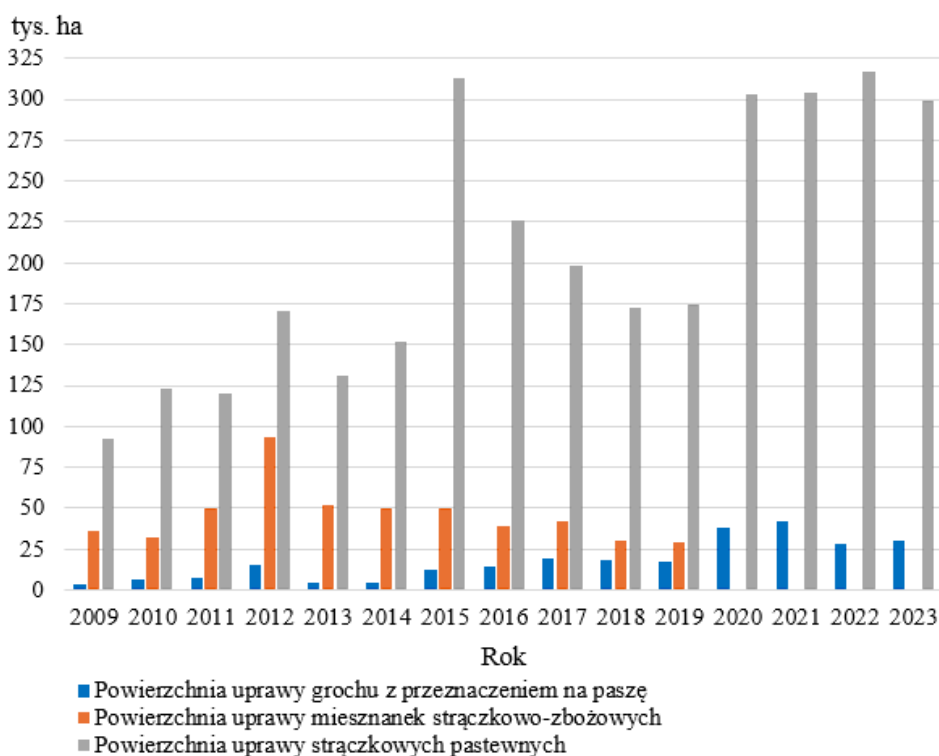
W ostatnich piętnastu latach zainteresowanie uprawą grochu znacznie wzrosło (Rys. 1). W 2009 roku groch z przeznaczeniem konsumpcyjnym wysiewano na powierzchni 10 tys. ha. Po tym czasie następował wzrost powierzchni zasiewów i do 2014 roku groch jadalny wysiewano średnio na powierzchni 15 tys. ha. Kolejny znaczny wzrost, do poziomu 38 tys. ha, odnotowano w 2015 roku. W latach 2017-2018 nastąpił spadek areału do poziomu około 30 tys. ha. W kolejnych trzech latach Główny Urząd Statystyczny nie wyszczególniał udziału poszczególnych gatunków wśród upraw strączkowych z przeznaczeniem konsumpcyjnym, a po powrocie do szczegółowych danych statystycznych w 2022 roku ujawniono wzrost powierzchni zasiewów grochu konsumpcyjnego do poziomu 73 tys. ha, a w 2023 roku do 88 tys. ha. Udział grochu konsumpcyjnego w grupie roślin strączkowych jadalnych w analizowanym okresie wahał się od 30 do 58% (GUS, 2010-2024).



Rys. 1. Powierzchnia uprawy grochu konsumpcyjnego na tle strączkowych konsumpcyjnych w Polsce w latach 2009-2023 (GUS, 2010-2024)

W analizowanym okresie struktura zasiewów grochu pastewnego na nasiona zmieniała się w odmienny sposób (Rys. 2). W 2009 roku areał upraw wynosił nieco poniżej 4 tys. ha. W ciągu następnych dwóch lat powierzchnia upraw wzrosła do 6 tys. ha i 7 tys. ha. W 2012 roku, z powodu wymarżenia zbóż ozimych, areał grochu pastewnego zwiększył się do 15 tys. ha. Niestety, w kolejnych dwóch latach nastąpił znaczny spadek ich powierzchni - do około 4 tys. ha. Następne lata przyniosły dynamiczny wzrost powierzchni zasiewów grochu pastewnego, osiągając 12 tys. ha w 2015 roku, 14 tys. ha w 2016 roku oraz 19 tys. ha w 2017 roku. W 2018 i 2019 powierzchnię uprawy grochu z przeznaczeniem paszowym szacowano na około 18 tys. ha. Od 2020 roku GUS zmienił źródło informacji statystycznych z szacunków na dokładne dane pochodzące z wniosków o płatności obszarowe, w wyniku czego odnotowano w statystykach znaczny wzrost powierzchni zasiewów roślin bobowatych grubonasiennych pastewnych i tym samym grochu z przeznaczeniem paszowym, co może wskazywać na pewne niedoszacowania w latach poprzednich. W 2020 roku groch paszowy wysiewano na 38 tysiącach hektarów, w 2021 na powierzchni 42,4 tys. ha, a w 2022 i 2023 r powierzchnia uprawy grochu

paszowego zmalała do około 30 tys. ha. Mimo to groch pastewny nie cieszy się dużą popularnością wśród innych roślin strączkowych na paszę, a jego udział w tej grupie wahał się od niespełna 3% w 2015 r. do prawie 14% w 2021 roku (GUS, 2010-2024).



Rys. 2. Powierzchnia uprawy grochu pastewnego i mieszanek na tle strączkowych pastewnych w Polsce w latach 2009-2023 (GUS, 2010-2024)

Mieszanki strączkowo-zbożowe, w których groch stanowi jeden z głównych składników, cieszyły się większą popularnością wśród pastewnych roślin strączkowych niż groch z przeznaczeniem na paszę (Rys. 2). W 2009 roku były one wysiewane na powierzchni 36 tys. ha, a w kolejnym roku na 32 tys. ha. W 2011 roku powierzchnia zasiewów wzrosła do 50 tys. ha. W 2012 roku, z powodu wymarznienia zbóż, zanotowano rekordowy wzrost areалу do 93 tys. ha. W następnych latach powierzchnia upraw mieszanek ustabilizowała się na poziomie około 50 tys. ha. W latach 2016 i 2017 mieszanki te były uprawiane na 40 tys. ha, a w 2018 i 2019 na około 30 tys. ha. Od 2020 roku zaprzestano wyszczególniać w oficjalnych statystykach udział mieszanek strączkowo-zbożowych (GUS, 2010-2020).

3.5. ROLA GROCHU I JEGO MIESZANEK W POPRAWIE BILANSU BIAŁKOWEGO POLSKI

Od niemal dwóch dekad trwają prace nad uniezależnieniem Polski od importowanej śruty sojowej pochodzącej z roślin modyfikowanych genetycznie. Pierwsze działania podjęto w 2006 roku, gdy Sejm uchwalił ustawę z dnia 22 lipca 2006 r. o paszach, wprowadzającą zakaz wytwarzania, wprowadzania do obrotu i stosowania pasz pochodzących z GMO, który miał wejść w życie po dwóch latach (Ustawa z dnia 22 lipca 2006 r. o paszach). Jednak brak postępów w znalezieniu alternatywnych źródeł białka spowodował przesunięcie terminu wdrożenia przepisów na 2013 rok. Kolejne opóźnienia, obejmujące lata 2017, 2019, 2021, 2023 i 2024, również nie przyniosły oczekiwanych rezultatów, a krajowa gospodarka nie była w stanie poradzić sobie bez białka sojowego. Aktualnie planuje się, że zakaz zacznie obowiązywać od 1 stycznia 2030 roku (Ustawa z dnia 27 września 2024 r. o zmianie ustawy o paszach). Przesuwanie terminu wprowadzenia zakazu wynika z niewystarczającej ilości krajowych źródeł białka paszowego, mimo podejmowanych starań. W nowelizacji ustawy z 2018 roku, poza zmianą terminu, nałożono na Ministra Rolnictwa obowiązek opracowania planu wykorzystania krajowych źródeł białka oraz zmniejszenia deficytu białka paszowego (Ustawa z dnia 22 listopada 2018 r. o zmianie ustawy o paszach). Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi zainicjowało plan odbudowy rynku krajowych źródeł białka poprzez Program Wieloletni na lata 2011–2015, który jednak skupiał się głównie na analizach, a nie na konkretnych działaniach. Prace te kontynuowano w latach 2016–2020 pod nazwą „Zwiększanie wykorzystania krajowego białka paszowego dla produkcji wysokiej jakości produktów zwierzęcych w warunkach zrównoważonego rozwoju”. Nowy program koncentrował się na stworzeniu strategii realnie wpływającej na popyt i produkcję roślin strączkowych, bazując na modelach organizacji rynku oraz analizie szans i zagrożeń związanych ze zwiększeniem produkcji białka. Dzięki decyzjom władz oraz działaniom różnych organizacji, ośrodków badawczych i rolników, udział roślin strączkowych w strukturze zasiewów wzrósł dwukrotnie z około 2% w latach 2002–2014 do 4% w 2015 roku, utrzymując się na tym poziomie przez kolejne dwa lata. Niestety, mimo ponad dwukrotnego wzrostu areału upraw grochu w 2015 roku, do skupów trafiło jedynie 2% całkowitej produkcji, podczas gdy w 2011 roku sprzedano 4% wyprodukowanego surowca. Oznacza to, że pomimo znaczącego wzrostu upraw, wolumen sprzedaży grochu pozostał na podobnym poziomie (Dzwonkowski, 2016). Sugeruje to, że reszta zbiorów jest wykorzystywana przez rolników we własnych gospodarstwach lub, co gorsza i bardzo prawdopodobne, większa część plantacji jest likwidowana przed zbiorem jako zielony nawóz. Taka sytuacja wynika z trudności w sprzedaży niewielkich partii surowca oraz z systemu przyznawania dopłat do upraw roślin strączkowych, gdzie nie wymagano ani nie kontrolowano ich zbioru (Czerwińska-Kayzer i in., 2016). Od 2017 roku sytuacja uległa zmianie, ponieważ dopłaty przyznawane są tylko do roślin przeznaczonych na zbiór nasion

(Ślósarz, 2017). Groch jako jedna z roślin strączkowych badanych przez Instytut Genetyki Roślin PAN oraz Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu we współpracy z innymi uczelniami, wyróżnia się jako gatunek mogący znacząco przyczynić się do poprawy krajowego zaopatrzenia w białko. Jest to możliwe głównie dzięki korzystnym warunkom klimatycznym dla jego uprawy oraz różnorodnym sposobom wykorzystania (Czerwińska-Kayzer i in., 2016). Wysoka zawartość białka czyni groch odpowiednim do zastąpienia białka sojowego, co jest szczególnie istotne w regionach, gdzie soja nie ma optymalnych warunków do wzrostu, a dotychczasowe osiągnięcia genetyczne nie są wystarczające, aby stała się ona stałym elementem zasiewów w naszym kraju (Bilalis i in., 2015).

3.6. JESIENNY TERMIN SIEWU

Uprawa roślin ozimych jest ceniona przez rolników ze względu na możliwość uzyskania wyższych plonów w porównaniu z roślinami jarymi. Przyczyną tego jest dłuższy okres wegetacji, lepsze wykorzystanie zapasów wody pozimowej z gleby oraz przesunięcie kluczowych faz rozwojowych na okresy mniej narażone na susze (Gąsiorowska i in., 2011). Badania odmianowe Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych wykazują, że różnice w plonach między odmianami ozimymi a jarymi w obrębie tego samego gatunku wynoszą od 15 do 30% na korzyść roślin wysiewanych jesienią (Najewski, 2022; Skrzypek, 2022). Badania nad technologią uprawy grochu wysiewanego jesienią dają nadzieję na rozwiązanie problemów związanych z tradycyjną metodą uprawy. Wyhodowanie odmian grochu odpornych na niskie temperatury i zapewniających wysokie oraz stabilne plony mogłoby zwiększyć zainteresowanie tym gatunkiem na obszarach, gdzie dotychczas była ona zawodna (Červenski i in., 2017). Największym wyzwaniem przy uprawie grochu jest zmienność i zawodność plonów wynikająca z nierównomiernych opadów i niedoboru wody w kluczowych dla rośliny okresach, co prowadzi do obniżenia plonów. Odkrycie rodów grochu zdolnych przetrwać mrozy do -18°C w odpowiedniej fazie rozwoju sprawia, że prace hodowlane mogą w przyszłości umożliwić wysiew nasion jesienią z dużym prawdopodobieństwem ich przetrwania (Andrzejewska i in., 2003). Dzięki temu wiosenny rozwój roślin następuje szybciej niż w przypadku tradycyjnego siewu, co przesunęło krytyczne okresy zapotrzebowania na wodę na czas dostępności pozimowych zasobów wody. Dodatkową korzyścią jest wcześniejszy zbiór odmian wysiewanych jesienią, co pozwala na rozłożenie żniw w czasie i lepszy dobór roślin następczych (Knott i Belcher, 1998). Castel i in. (2017) twierdzą, że na zimotrwałość grochu największy wpływ ma jesienne hartowanie roślin, które zwiększa ich odporność na mrozy. Stopniowe obniżanie się temperatury do wartości ujemnych sprzyja przetrzaniu roślin, zmniejszając ich wrażliwość na silne i nagłe mrozy. Największe zagrożenie stanowią okresy z wahaniami temperatury, kiedy po odmarznięciu roślin następuje ponowny spadek poniżej zera, co prowadzi do uszkodzenia ścian komórkowych roślin. Kluczowym

okresem decydującym o przetrwaniu zimy przez groch jest końcówka zimy, gdy amplitudy temperatur są największe. Klein i in. (2014) wykazali, że odmiany tworzące przed zimą niskie rośliny z kilkoma rozgałęzieniami, wysoką zawartością chlorofilu i późnym terminem kwitnienia cechują się największą zimotrwałością. Badania te nie wykazały też genetycznej zależności między zimotrwałością a plennością i jakością nasion, co daje nadzieję na wyhodowanie odmian łączących te cechy. W sześcioletnich badaniach Schillingera (2017) prowadzonych w zimnych stanach USA, takich jak Waszyngton i Oregon, gdzie roczne opady wynoszą średnio tylko 290 mm, stwierdzono, że groch wysiewany jesienią zużywa mniej wody glebowej niż pszenica ozima. Ponadto groch nienawożony azotem pozostawiał w glebie więcej tego pierwiastka niż nawożona pszenica ozima. Co więcej, plony pszenicy jarej były o $0,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ wyższe po uprawie grochu niż po pszenicy ozimej. Schillinger (2017) zauważa jednak, że groch zimujący wykazuje wyższy potencjał plonowania w regionach z mniej mroźnymi zimami, gdzie plony wzrosły nawet o $1,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, podczas gdy w północnych stanach różnice nie były istotne. Mimo to, według Schillingera (2017), groch zimujący doskonale wpisuje się w płodozmian zbożowy na terenach suchych, wzbogacając go, zwiększając zawartość materii organicznej w glebie, podnosząc plony roślin następczych i pomagając w zwalczaniu uciążliwych chwastów jednoliściennych. W północnych stanach USA optymalny termin siewu przypada na przełom sierpnia i września. Podczas badań odmiany grochu przetrwały temperatury do -18°C bez pokrywy śnieżnej, natomiast przy -21°C uległy wymarznięciu. Zauważono znaczący postęp w hodowli zimujących form grochu, ponieważ rośliny, które przetrwały niskie temperatury, były najnowszymi odmianami, a niektóre jeszcze w trakcie rejestracji. Schillinger (2017) dostrzega ogromny potencjał grochu zimującego. W trakcie jego badań powierzchnia upraw wzrosła z zera do 2 730 ha w ciągu pięciu lat, co wskazuje na realną szansę popularyzacji uprawy z siewu jesiennego również w Polsce. Dotychczasowe badania prowadzone w Polsce przez Skindera i in. (1997) wskazują, że w latach o łagodnych zimach forma zimująca grochu przewyższa poziomem plonowania formę jarą na glebie płowej, a na czarnej ziemi nie stwierdzono różnic w plonowaniu pomiędzy oboma formami grochu pastewnego. Z kolei Andrzejewska i in. (2003) stwierdzili w kilkuletnich badaniach, że w niesprzyjających warunkach termicznych zimą pastewny groch zimujący nie dorównuje plonowaniem formom jarym, a czynnikiem najbardziej ograniczającym plon jest zimowa redukcja obsady. Trudność polega na nieprzewidywalności warunków zimowych i stopnia uszkodzenia ładu. W czteroletnim doświadczeniu Prusińskiego i Borowskiej (2023) tylko w jednym roku rośliny zostały całkowicie uszkodzone przez niską temperaturę, a w pozostałych latach przezimowało od 26% do 72% roślin. Różne metody siewu, takie jak siew w mulcz, ściernisko, głębsze bruzdy czy stosowanie środków chemicznych zwiększających odporność, nie przyniosły znaczącej poprawy przeżywalności. Kluczowym czynnikiem wpływającym na przetrwanie siewek grochu jest odpowiedni termin siewu. W Polsce jest on elastyczny ze

względu na zmienność warunków pogodowych, ale zazwyczaj mieści się w przedziale od drugiej do trzeciej dekady października (Prusiński, 2016). To otwiera możliwości uprawy grochu jako rośliny zimującej. Badacze wskazują, że potencjał plonowania grochu ogólnoużytkowego wysiewanego jesienią jest wyższy niż wysiewanego wiosną, co przekłada się na większy plon białka. Zbiory grochu z jesiennych siewów są również przyspieszone o 7–10 dni w porównaniu z siewem wiosennym. Potwierdzają to badania Prusińskiego i Borowskiej (2023), gdzie poszczególne odmiany grochu wykazywały różną zdolność do zimowania, a plonowanie najlepszych z nich było wyższe przy optymalnym terminie jesiennym. Nieliczne badania nad zimującymi mieszankami strączkowo-zbożowymi w krajach o odmiennym klimacie niż Polska potwierdzają ich lepsze plonowanie w porównaniu z mieszankami jarymi (Urbatzka i in., 2008; Urbatzka i in., 2011).

3.7. ELEMENTY AGROTECHNIKI MIESZANEK STRĄCZKOWO-ZBOŻOWYCH

Mieszanki strączkowo-zbożowe stanowią istotny element systemów rolniczych, szczególnie w kontekście rolnictwa zrównoważonego i ekologicznego. Kombinacja roślin strączkowych z zbożami pozwala na wykorzystanie synergistycznych efektów wzajemnego oddziaływania tych roślin, co przekłada się na szereg korzyści agronomicznych, środowiskowych i ekonomicznych. Rośliny strączkowe, dzięki zdolności do wiązania azotu atmosferycznego w symbiozie z bakteriami brodawkowymi z rodzaju *Rhizobium*, wzbogacają glebę w azot, redukując zapotrzebowanie na nawozy azotowe (Podgórska-Lesiak i in., 2011; Jensen i in., 2020).

Uprawa mieszanek strączkowo-zbożowych przyczynia się do poprawy żyzności gleby poprzez zwiększenie zawartości materii organicznej i aktywności mikrobiologicznej. Proces wiązania azotu przez rośliny strączkowe dostarcza azotu nie tylko dla nich samych, ale również pozostawia jego część w glebie dla roślin następczych (Duchene i in., 2017). Różnorodność gatunkowa w mieszankach wpływa także na zmniejszenie ryzyka wystąpienia chorób i szkodników, co jest wynikiem efektu rozcieńczenia i bariery mechanicznej (Hauggaard-Nielsen i in., 2001a; Boudreau, 2013). Zwiększa to stabilność plonowania i może ograniczyć potrzebę stosowania środków ochrony roślin.

Mieszanki umożliwiają efektywniejsze wykorzystanie dostępnych zasobów, takich jak światło, woda i składniki pokarmowe, dzięki różnicom w morfologii i fizjologii roślin strączkowych i zbożowych (Bedoussac i Justes, 2010a). Rośliny zbożowe posiadając wiązkowy system korzeniowy mogą korzystać z wyższych warstw profilu glebowego, podczas gdy rośliny strączkowe z palowym systemem korzeniowym eksplorują głębsze warstwy. Właściwy dobór gatunków i odmian jest kluczowy dla sukcesu uprawy mieszanek. Należy uwzględnić wymagania siedliskowe, takie jak pH gleby, zasobność w składniki pokarmowe oraz warunki wodne a także czas wegetacji, aby harmonizować

okresy wzrostu i dojrzewania obu komponentów. Wysokość i pokrój roślin są istotne, by zapobiec wzajemnemu zacienianiu i konkurencji o światło (Książak, 2007).

Przykładowe kombinacje komponentów to groch siewny (*Pisum sativum* L.) z jęczmieniem jarym (*Hordeum vulgare* L.), będące popularną mieszanką o synergistycznym działaniu (Jensen i in., 2020), oraz bobik (*Vicia faba* L.) z pszenicą ozimą (*Triticum aestivum* L.), zapewniające wysoki plon białka i korzystny wpływ na strukturę gleby (Bedoussac i Justes, 2010a). Na glebach średnich i słabszych mieszanki łubinu żółtego (*Lupinus luteus* L.) i pszenżyta jarego (\times *Triticosecale* Wittm.) pozytywnie wpływały na plon zbożowej rośliny następczej (Rudnicki i Kotwica, 1994). Normy wysiewu powinny być dostosowane tak, aby zapewnić równowagę między komponentami mieszanki. Zbyt duży udział zboża może prowadzić do zagłuszenia roślin strączkowych, podczas gdy nadmierna ilość roślin strączkowych może obniżyć stabilność ładu (Lithourgidis i in., 2011a). Terminy siewu powinny być ustalone w oparciu o wymagania termiczne komponentów mieszanki. Dla roślin jarych siew odbywa się wczesną wiosną, gdy temperatura gleby pozwala na kiełkowanie (Neugschwandtner i in., 2020), natomiast rośliny ozime wysiewa się w terminach typowych dla zboża ozimego, z uwzględnieniem mrozoodporności roślin strączkowych.

Celem uprawy przedsewnej jest stworzenie optymalnych warunków dla kiełkowania i wzrostu roślin. Głębokie spulchnienie umożliwia niezakłócony rozwój systemu korzeniowego roślin strączkowych (Simon i in., 2018), a wyrównanie powierzchni zapewnia równomierne głębokości siewu i wschody. Mieszanki strączkowo-zbożowe powinny być włączone w odpowiedni płodozmian, aby zapobiec nagromadzeniu patogenów i szkodników specyficznych dla danej grupy roślin (Kozak i in., 2014; Wiśniewska i in., 2020).

Nawożenie azotem w uprawie mieszanek powinno być ograniczone, ponieważ nadmiar azotu może hamować symbiozę z bakteriami brodawkowymi (Duchene i in., 2017). Stosowanie startowych dawek azotu może jednak wspomóc początkowy wzrost roślin zbożowych bez negatywnego wpływu na wiązanie azotu (Fustec i in., 2010). Nawożenie fosforem jest kluczowe dla rozwoju systemu korzeniowego i procesu wiązania azotu (Schulze i in., 2006), natomiast potas wpływa na gospodarkę wodną roślin i odporność na stresy abiotyczne (Marschner, 2012).

Strategia integrowanej ochrony roślin obejmuje monitorowanie plantacji oraz stosowanie mechanicznych i agrotechnicznych metod zwalczania chwastów, takich jak zwiększenie konkurencyjności roślin poprzez odpowiednie zagęszczenie siewu (Sosnowska i in., 2016). Wykorzystanie naturalnych wrogów szkodników poprzez promowanie bioróżnorodności sprzyja obecności drapieżników i pasożytów szkodników (Boudreau, 2013). Synchronizacja dojrzewania obu komponentów jest kluczowa dla optymalnego terminu zbioru. Ocena dojrzałości fizjologicznej pozwala na zbiór w momencie, gdy oba komponenty osiągną optymalną dojrzałość, a stosowanie kombajnów

z odpowiednimi ustawieniami minimalizuje straty ziarna. Warunki przechowywania plonu powinny zapewniać odpowiednią wilgotność i temperaturę magazynowania w celu zachowania jakości a regularne monitorowanie pozwala kontrolować obecność szkodników magazynowych i chorób (Kozak i in., 2012). Zmiany klimatyczne stawiają nowe wyzwania przed rolnictwem. Mieszanki strączkowo-zbożowe mogą zwiększyć odporność systemów uprawnych na stropy abiotyczne, takie jak susza czy ekstremalne temperatury (Pelzer i in., 2012).

3.8. WPLYW PROPORCJI MIESZANEK NA WZROST, PLONOWANIE I CECHY JAKOŚCIOWE SUROWCA

Proporcje komponentów w mieszance determinują dynamikę wzrostu poszczególnych gatunków. Synergistyczne interakcje między roślinami strączkowymi a zbożowymi są kluczowe dla osiągnięcia pozytywnych wyników uprawy współrzędnej (Duchene i in., 2017). Wyższy udział roślin strączkowych w mieszance może prowadzić do zwiększenia zawartości azotu w glebie, poprzez procesy rhizodepozycji co korzystnie wpływa na wzrost roślin zbożowych (Fustec i in., 2010; Hauggaard-Nielsen i in., 2001b). Z kolei nadmierny udział zbóż może skutkować konkurencją o światło i składniki pokarmowe, ograniczając wzrost roślin strączkowych (Bedoussac i Justes, 2011). Zboża mogą jednak wspomagać rośliny strączkowe w redukcji presji chwastów poprzez szybsze pokrycie powierzchni gleby (Hauggaard-Nielsen i Jensen, 2005; Mun i in., 2023).

Wyniki badań nad zróżnicowanym udziałem komponentów nie dają jednoznacznych odpowiedzi na temat optymalnych proporcji, podkreślając zmienność powodowaną warunkami środowiskowymi oraz zróżnicowaną konkurencyjnością gatunków a nawet odmian (Pelzer i in., 2014). Badania przeprowadzone przez Książaka (2007) wykazały, że optymalna proporcja wysiewu grochu do jęczmienia pod względem plonu nasion wynosi 50%-50%, co zapewnia równomierny wzrost obu komponentów. Zbyt wysoki udział grochu prowadził do wylegania łanu, podczas gdy dominacja jęczmienia ograniczała rozwój grochu. Soufan i Al-Suhaibani (2021) badając mieszanki grochu i jęczmienia z przeznaczeniem paszowym, stwierdzili, że groch konkurując w łanie z jęczmieniem tworzy mniej części generatywnych kosztem większego udziału łodyg i liści w plonie zielonki. We wszystkich mieszankach ze zróżnicowanym udziałem grochu odnotowano także znaczne wydłużenie łodyg grochu względem siewu czystego grochu, co było efektem konkurencji o światło, nasilającej się wraz ze wzrostem udziału jęczmienia. Udział jęczmienia w ilości 25 i 50% zostały uznane za optymalne, powodując znaczący przyrost plonu zielonki, zachowując korzystne walory jakościowe paszy. Buraczyńska i Ceglarek (2009) ustalili, że mieszanki grochu z pszenżytem jarym plonowały istotnie wyżej od mieszanek bobiku z pszenicą jarą w tych samych proporcjach wysiewu. Plony mieszek w tym doświadczeniu były determinowane przez

komponent zbożowy i były najwyższe przy 50 i 75% udziale zboża w normie wysiewu. Doświadczenia Vályi-Nagy i in. (2024) obejmujące addytywny sposób tworzenia mieszanek, nie wykazały korzyści w postaci wyższej produktywności wyrażonej w LER mieszanek grochu zimującego z pszenicą ozimą w proporcjach odpowiednio 100%-100%, 100%-75%, 100%-50% i 100%-25% i były one podobne do komplementarnego udziału komponentów mieszanek. Nie udało się w ten sposób poprawić konkurencyjności grochu nawet przez dominację w obsadzie. Rudnicki i Kotwica (2007) podkreślają, że łubin źle toleruje wysiew w mieszankach, szczególnie z wysokimi gatunkami zbóż, które ograniczają jego rozwój i plonowanie.

Proporcje mieszanek mają bezpośredni wpływ na wielkość i jakość plonu. Zwiększenie udziału roślin strączkowych w mieszance często skutkuje wyższym plonem białka, co jest istotne z punktu widzenia wartości paszowej surowca (Lithourgidis i in., 2011b). Jednakże całkowity plon ziarna może być niższy w porównaniu z mieszankami o wyższym udziale zbóż. W badaniach Carr i in. (2004) stwierdzono, że mieszanki z udziałem 75% zboża i 25% roślin strączkowych dawały najwyższy całkowity plon ziarna, podczas gdy mieszanki z równym udziałem obu komponentów charakteryzowały się wyższą zawartością białka.

Proporcje komponentów w mieszance wpływają na skład chemiczny i wartość odżywczą uzyskiwanego surowca. Wyższy udział roślin strączkowych zwiększa zawartość białka, ale także aminokwasów egzogennych w plonie (Górski i in., 2022). Ponadto mieszanki te mogą mieć korzystny wpływ na zawartość mikroelementów, takich jak żelazo i cynk. Jednakże zwiększenie udziału roślin strączkowych może wpływać na pogorszenie niektórych parametrów technologicznych ziarna, takich jak właściwości wypiekowe w przypadku pszenicy (Dhima i in., 2007). Dlatego ważne jest dostosowanie proporcji mieszanek do zamierzonego przeznaczenia surowca.

4. METODYKA BADAŃ

W celu weryfikacji hipotezy badawczej i realizacji celów szczegółowych zaplanowano trzyletnie, trzyczynnikowe, ściśle doświadczenie polowe. W badaniach poddano ocenie przydatność do uprawy zimujących mieszanek strączkowo-zbożowych względem mieszanek jarych. Realizując doświadczenie wykonano pomiary i analizy zebranego materiału roślinnego.

4.1. LOKALIZACJA I UKŁAD DOŚWIADCZENIA

W latach 2020-2023 prowadzono trójczynnikowe doświadczenie polowe w układzie split-blok-plot. Eksperyment był zlokalizowany w miejscowości Minikowo (53°09'41.6"N 17°44'24.3"E), w powiecie nakielskim, w województwie kujawsko-pomorskim. Obejmował on cztery bloki, a w każdym z nich znajdowały się wszystkie kombinacje czynników. W ramach każdego z bloków wyznaczono podbloki, w których znajdowały się osobno obiekty, w których nasiona wysiewano wiosną i osobno jesienią. Przed założeniem jesiennej części doświadczenia losowano kolejność obiektów w podblokach i stosowano ją także dla obiektów wysiewanych wiosną (Fot. 1).

Czynnik I: Termin siewu:

1. Siew jesienny
2. Siew wiosenny

Czynnik II: Gatunek rośliny zbożowej w mieszance:

1. Jęczmień uprawny
2. Pszenica zwyczajna

Czynnik III: Udział komponentów mieszanki (% normy wysiewu w siewie czystym):

1. 100% groch, 0% roślina zbożowa
2. 80% groch, 20% roślina zbożowa
3. 60% groch, 40% roślina zbożowa
4. 40% groch, 60% roślina zbożowa
5. 20% groch, 80% roślina zbożowa
6. 0% groch, 100% roślina zbożowa

Wielkość poletka do zbioru wynosiła 21m² (14,0m x 1,5m). Pomiędzy każdym obiektem znajdowała się przerwa o szerokości 0,4m, a między podblokami pozostawiano ścieżki technologiczne o szerokości 6m.



Fot. 1. Układ doświadczenia. Po prawej stronie obiekty wysiewane jesienią, po lewej stronie wysiewane wiosną (fot. 28.06.2021)

4.2. WARUNKI POGODOWE

Warunki pogodowe w trakcie prowadzenia badań zostały zebrane ze stacji meteorologicznej w miejscowości Chrzastowo, oddalonej o 10,5 km w linii prostej od miejsca doświadczeń. Średnie dekadowe temperatury oraz dekadowe sumy opadów przedstawiono na osobnych wykresach dla każdego sezonu uprawy (Rys. 3 i Rys. 4). Charakterystykę warunków pogodowych w poszczególnych miesiącach i dekadach oparto o współczynnik hydrotermiczny Selyaninova (Rys. 5).

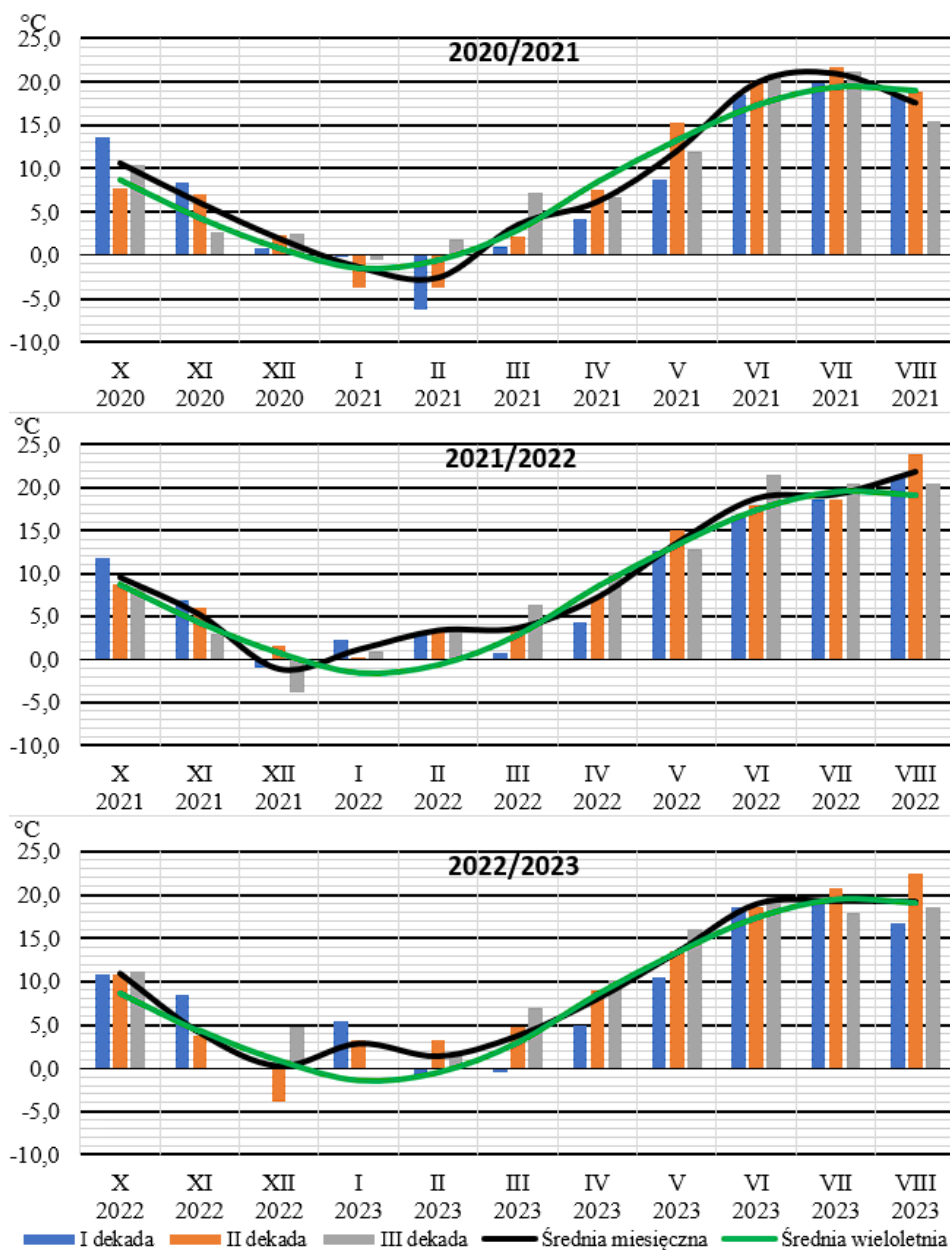
W sezonie uprawowym 2020/2021 większość miesięcy charakteryzowała się wyższą temperaturą niż średnia wieloletnia. Szczególnie październik i listopad były znacznie cieplejsze co mogło sprzyjać szybszemu wzrostowi roślin w okresie jesiennym. Grudzień i styczeń charakteryzowały się średnimi temperaturami zbliżonymi do wielolecia, natomiast luty wykazał spadek średniej temperatury poniżej normy, głównie za sprawą mroźnej I dekady. W marcu średnia temperatura powietrza była w normie wieloletniej, dzięki cieplej III dekadzie miesiąca. Kwiecień był znacznie zimniejszy niż w wieloleciu a maj z niewielkim odchyleniem poniżej średniej. Temperatury powietrza w czerwcu były zdecydowanie wyższe niż średnio w ostatnich dwudziestu latach.

Sezon 2021/2022 również wykazywał odchylenia od średnich wieloletnich temperatur, jednakże charakterystyka tych odchyleń była bardziej zróżnicowana. Październik i listopad były cieplejsze niż średnio w wieloleciu, ale w grudniu zanotowano wyraźny spadek poniżej średniej. Z kolei styczeń i luty były znacznie cieplejsze niż przeciętnie w wieloleciu. Temperatury wiosną, miały podobny przebieg jak w wieloleciu. Czerwiec i sierpień były cieplejsze, od

średniej wieloletniej, a w lipcu panowały warunki termiczne zbliżone do wielolecia.

Sezon 2022/2023 wykazywał większą zmienność temperatur, z wyraźnym ociepleniem w październiku w stosunku do średniej. Średnia temperatura w grudniu była zbliżona do wieloletniej, ale doszło do anomalii w trzeciej dekadzie miesiąca oraz pierwszej dekadzie stycznia w postaci znacznego zwiększenia średniej dobowej temperatury tych okresów do około 5°C, powodujących przedwczesny start wegetacji roślin. Została ona zatrzymana przez ujemne temperatury, które wystąpiły w pierwszej dekadzie lutego oraz marca. Temperatury powietrza w marcu, kwietniu i maju były zbliżone do średniego przebiegu w wieloleciu. Czerwiec był cieplejszy niż przeciętnie w ostatnich dwudziestu latach, a lipiec i sierpień były zbliżone do średnich wieloletnich, jednak z dużymi odchyleniami w pierwszych dwóch dekadach sierpnia.

Porównując poszczególne sezony ze sobą, można zauważyć, że sezon 2020/2021 charakteryzował się cieplejszymi miesiącami jesiennymi w porównaniu do dwóch kolejnych sezonów. Październik i listopad 2020/2021 były cieplejsze niż w sezonach 2021/2022 i 2022/2023, co mogło sprzyjać lepszemu rozwojowi roślin w początkowej fazie. W sezonie 2021/2022 z kolei zanotowano wyraźne ocieplenie wiosną, zwłaszcza w maju, co odróżniało ten sezon od sezonu 2020-2021, gdzie wiosna była chłodniejsza. W każdym roku czerwiec charakteryzował się temperaturami znacznie przekraczającymi średnie wartości w wieloleciu.

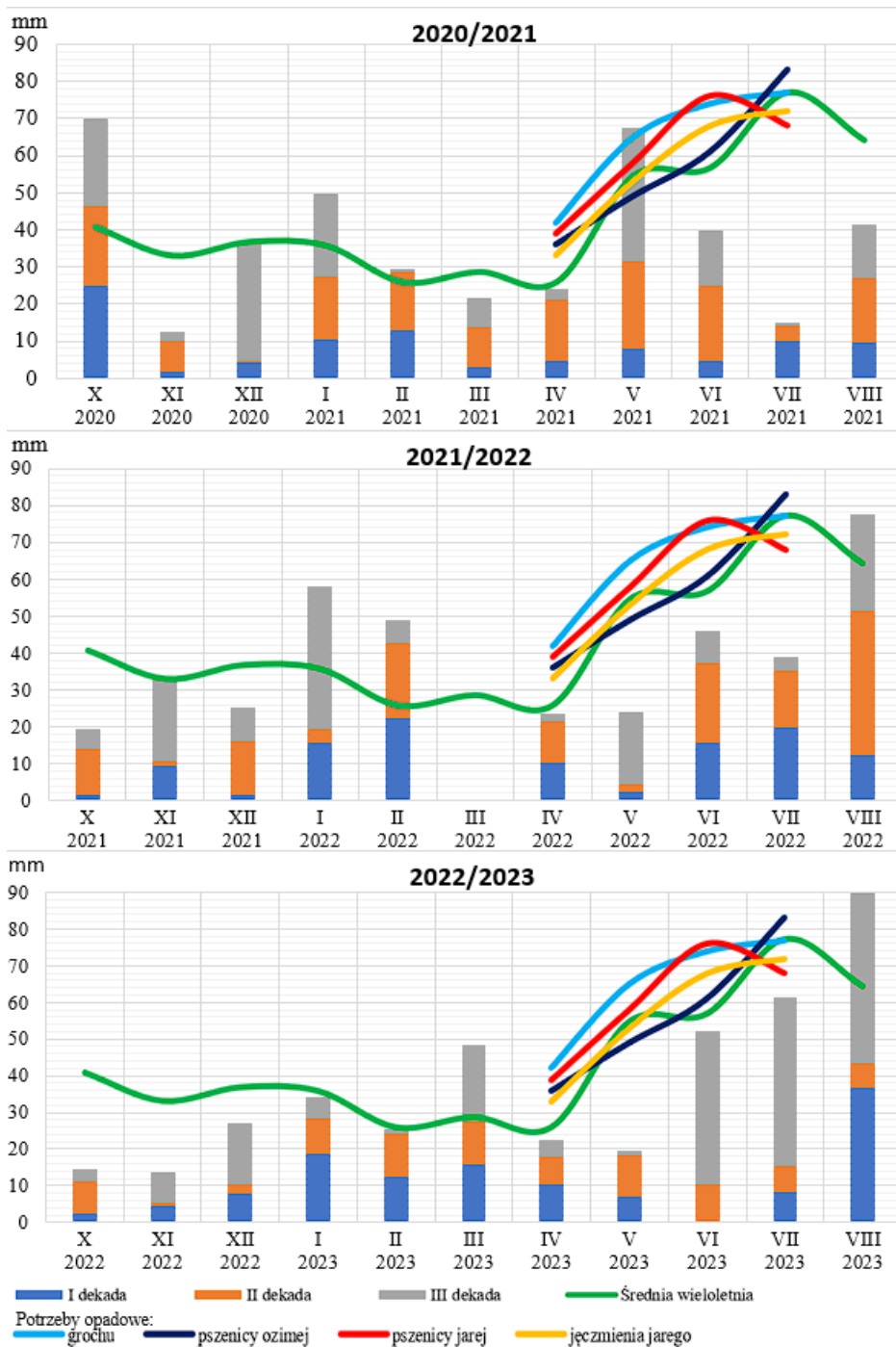


Rys. 3. Średnie dekadowe temperatury powietrza w sezonach badań połowych 2020/2021, 2021/2022, 2022/2023 i wieloleciu 2003-2022

Wszystkie trzy analizowane sezony charakteryzowały się sumami opadów poniżej średniej wieloletniej, która wynosiła 479,6 mm w okresie październik-sierpień. Sumy opadów w sezonach badań były zbliżone do siebie i wynosiły

406,2 mm, 394,2 mm oraz 408,8 mm odpowiednio w I, II i III sezonie badań. Zróżnicowany był jednak miesięczny i dekadowy rozkład opadów (Rys. 4).

Październik w sezonie 2021/2022 oraz 2022/2023 charakteryzował się opadami znacznie poniżej normy, a w 2020/2021 przekroczyły ją o 75%. Listopad w sezonach 2020/2021 oraz 2022/2023 charakteryzował się deficytem opadów w porównaniu do średniej wieloletniej, podczas gdy w sezonie 2021/2022 były zbliżone do normy. W grudniu odnotowano deficyty opadów w sezonie 2021/2022 oraz 2022/2023, natomiast w sezonie 2020/2021 opady były zbliżone do normy. Opady w styczniu sezonu 2022/2023 były zbliżone do normy wieloletniej podczas gdy w pozostałych sezonach znacznie je przewyższały. Luty w sezonach 2020/2021 i 2022/2023 charakteryzował się opadami zbliżonymi z wieloletnim przebiegiem podczas gdy w sezonie 2021/2022 opady przekroczyły normę dwukrotnie. Marzec 2022 był najsuchszym miesiącem w trakcie badań, gdy spadło zaledwie 0,4 mm deszczu. W marcu 2021 odnotowano około 20% obniżkę w stosunku do wielolecia, a w 2023 norma została przekroczona o 60%. Kwiecień we wszystkich latach badań był miesiącem o opadach najbardziej zbliżonych do średniej wielolecia. Opady w maju 2021 były większe o 13 mm niż w wieloleciu, a w pozostałych latach wystąpił deficyt niemal 30mm w stosunku do wieloletnich obserwacji. W czerwcu i lipcu w badanych latach notowano opady niższe niż w badanym wieloleciu. Największe niedobory notowano w 2021 i w 2022 roku, a w 2023 pomimo, że braki były najmniejsze, to większość z sumy opadów przypadała na trzecią dekadę poszczególnych miesięcy co powodowało jej niedobory we wcześniejszych okresach. Obfite opady w pierwszej dekadzie sierpnia 2023 nie komplikowały zbiorów mieszanek z pszenicą ozimą i jara, a w pozostałych latach występowały już po żniwach. Sumy opadów dekadowych jak i miesięcznych był niewystarczające względem potrzeb roślin sklasyfikowanych przez Dzieżyca (1987) we wszystkich latach badań z wyjątkiem maja 2021. Największe różnice pomiędzy wymaganiami a opadami wystąpiły w lipcu 2021, kiedy wystąpiły niedobory opadów wynoszące 53mm dla pszenicy jarej i 68mm w przypadku pszenicy ozimej, reprezentujących odpowiednio najniższe i najwyższe potrzeby opadowe w tym miesiącu spośród uprawianych roślin. W maju 2022 roku niedobory opadów wahały się od 25 mm w przypadku pszenicy ozimej do 41 mm dla grochu. W maju 2023 deficyt opadów wyniósł 29 mm dla pszenicy ozimej i 46 mm w przypadku grochu. Średnie roczne niedobory opadów mieściły się w granicach 83-112 mm w 2021 roku, 97-126 mm w 2022 roku i 71-103 mm w 2023 roku. Warto zauważyć, że na tle średnich opadów w wieloleciu, uprawy są zagrożone niedoborem opadów najbardziej w kwietniu i czerwcu, a w przypadku grochu także w maju. Najbardziej zbliżone potrzeby do średniego przebiegu opadów ma pszenica ozima.



Rys. 4. Warunki opadowe w sezonach uprawy 2020/202, 2021/2022, 2022/2023 i wieloleciu 2003-2022 na tle wymagań opadowych grochu, pszenicy i jęczmienia

Obliczone dekadowe i miesięczne wskaźniki hydrotermiczne Selyaninova (HTC) ukazują dużą zmienność warunków w analizowanym okresie (Rys. 5). W 2021 roku kwiecień i maj były sprzyjające rozwojowi roślin i zostały scharakteryzowane jako bardzo wilgotne i wilgotne. Pomimo tego, że czerwiec okazał się bardzo suchy, a pierwsza dekada skrajnie sucha, to ponadprzeciętne opady w trzeciej dekadzie maja pozwoliły roślinom zachować dobrą kondycję. Pozostały okres wegetacji roślin został sklasyfikowany jako bardzo suchy i skrajnie suchy. W 2022 roku ponownie pierwsze dwie dekady kwietnia były skrajnie wilgotne, lecz następne trzy dekady były skrajnie suche. Dopiero w trzeciej dekadzie maja warunki hydrotermiczne były optymalne. Czerwiec był miesiącem suchym, jednak dość duże opady w pierwszych dwóch dekadach sprzyjały rozwojowi roślin. Dość sucha pierwsza dekada lipca stworzyła dobre warunki do wzrostu roślin jarych. Warunki hydrotermiczne w 2023 roku były najmniej sprzyjające do wzrostu roślin jarych. Pomimo skrajnie wilgotnej pierwszej dekady kwietnia, cały miesiąc był dość suchy. Bardzo suchy maj oraz suchy czerwiec, w którym solidniejsze opady pojawiły się dopiero w trzeciej dekadzie spowodowały kiepską kondycję zbóż jarych, które ze względu na płytszy system korzeniowy od gatunków ozimych nie mogły skorzystać z wilgoci znajdującej się w niżej położonych warstwach gleby.

Miesiąc	Dekada	Rok					
		2021		2022		2023	
		HTC miesięczny	HTC dekadowy	HTC miesięczny	HTC dekadowy	HTC miesięczny	HTC dekadowy
Kwiecień	I	2,9	4,7	1,8	10,1	1,3	3,9
	I		3,8		3,8		1,3
	III		1		0,2		0,5
Maj	I	2,1	2	0,6	0,2	0,5	0,7
	I		1,5		0,2		0,8
	III		2,7		1,4		0,1
Czerwiec	I	0,7	0,2	0,8	0,9	0,9	0
	I		1		1,2		0,6
	III		0,7		0,4		2,1
Lipiec	I	0,2	0,5	0,7	1,1	1	0,4
	I		0,2		0,8		0,3
	III		0		0,2		2,3
Sierpień	I	0,8	0,5	1,1	0,6	1,5	2,2
	I		0,9		1,7		0,3
	III		0,8		1,1		2,3

Legenda	
Okres	Wartość wskaźnika
skrajnie wilgotny	>3
bardzo wilgotny	2,6-3,0
wilgotny	2,1-2,5
dość wilgotny	1,7-2,0
optymalny	1,4-1,6
dość suchy	1,1-1,3
suchy	0,8-1,0
bardzo suchy	0,4-0,7
skrajnie suchy	<0,4

Rys. 5. Współczynnik hydrotermiczny okresów wegetacyjnych doświadczeń w latach 2021-2023

4.3. WARUNKI GLEBOWE

Doświadczenie zlokalizowano na polach z glebą płową właściwą, o kompleksie przydatności rolniczej klasyfikowanym jako pszenno-dobry, klasy bonitacyjnej IIIb. Gleba, na której prowadzono doświadczenia zbudowana jest w warstwie ornej 0-30 cm z piasku gliniastego mocnego pylastego z zawartością frakcji piaskowej 57%, frakcji pyłowej 28% i frakcji łałowej 15%. W latach badań zawartość przyswajalnych form fosforu i potasu w glebie była na poziomie bardzo wysokim, a magnezu – średnim. Zawartość azotu ogólnego mierzona wiosną w warstwie gleby 0-30 cm wynosiła 1,13 g·kg⁻¹ s.m. w 2021 r.; 1,02 g·kg⁻¹ s.m. w 2022 r.; oraz 1,10 g·kg⁻¹ s.m. w 2023 r. Stosunek węgla do

azotu wynosił odpowiednio 10,21:1 w 2021 r.; 9,83:1 w 2022 r.; oraz 9,66:1 w 2023 r. Odczyn gleby w latach badań mierzony w 1M KCl mieścił się w zakresie pH 6,0-6,2.

4.4. WARUNKI AGROTECHNICZNE

Przedplon każdorazowo stanowiła pszenica ozima, po zbiorze której stosowano bronę talerzową w celu pobudzenia samosiewów do skielkowania. Po skielkowaniu większości nasion ponownie przeprowadzono uprawę broną talerzową, a następnie wykonano orkę siewną na głębokość 25 cm. Przed uprawą przedsięwziętą stosowano 40 kg·ha⁻¹ P₂O₅, 60 kg·ha⁻¹ K₂O, 25 kg·ha⁻¹ MgO oraz 50 kg·ha⁻¹ SO₃. Nie stosowano nawożenia azotowego z powodu prowadzenia badań ilości zgromadzonego składnika przez bakterie *Rhizobium leguminosarum* w czasie wegetacji.

W doświadczeniu wykorzystano pszenicę ozimą odmiany 'Aventinus', jęczmień ozimy 'SU Vireni', pszenicę jarą 'SU Ahab' oraz jęczmień jary 'Runner'. Zarówno w zasiewach jesiennych jak i wysiewanych wiosną wykorzystywano tą samą odmianę grochu zimującego – 'Lapony'. W zasiewach jednogatunkowych stosowano obsadę 350 szt·m⁻² w przypadku jęczmienia ozimego i pszenicy jarej, 300 szt·m⁻² dla pszenicy ozimej i jęczmienia jarego, oraz 110 szt·m⁻² dla grochu. W zasiewach mieszanych obsadę obliczano mnożąc przewidziany udział procentowy przez obsadę w siewie czystym dla danego gatunku. Mieszanki wysiewano współrzędnie po wcześniejszym zmieszaniu materiału siewnego obu gatunków w odpowiednich proporcjach. Rozstawa rzędów w poletku doświadczalnym wynosiła 12,5 cm. Siewu jesiennego dokonywano corocznie od 21 do 23 października, a siewy wiosenne wykonywano w dniach 22-25 marca, w zależności od panujących warunków pogodowych. Do trzech dni od zasiewu stosowano herbicydy doglebowe Boxer 800 EC – 2,5 dm³·ha⁻¹ + Stomp Aqua 455 CS – 2,5 dm³·ha⁻¹ + adiuwant Atpolan SoilMaxx 0,6 dm³·ha⁻¹. Zwalczanie szkodników wykonywano po przekroczeniu ekonomicznego progu szkodliwości środkiem Mospilan 20 SP – 0,12 kg·ha⁻¹ + Decis Mega 050 EW – 0,1 dm³·ha⁻¹.

Zbiór roślin kombajnem poletkowym Wintersteiger Classic wykonywano sukcesywnie w zależności od dojrzałości roślin. Najwcześniej (5-20 lipca) dokonywano zbioru grochu zimującego, wysiewanego jesienią, następnie (15-25 lipca) zbierano jęczmień ozimy i jego mieszanki z grochem. W dalszej kolejności (20-30 lipca) zbierano groch wysiewany wiosną oraz jęczmień jary w siewie czystym i w mieszankach z grochem. Najpóźniej gotowe do zbioru były zasiewy mieszane pszenicy ozimej z grochem (28 lipca- 8 sierpnia) i mieszanki pszenicy jarej z grochem (1-10 sierpnia).

4.5. BADANIA POŁOWE I LABORATORYJNE

Po pojawieniu się pełni wschodów dokonywano pomiarów obsady roślin na wyznaczonej za pomocą ramki pomiarowej powierzchni jednego metra kwadratowego. Obliczenia te stanowiły kontrolę uzyskania odpowiednich proporcji mieszanek, a w przypadku zasiewów ozimych pozwoliły kontrolować ubytki pozimowe. W ocenie obsady roślin wysiewanych jesienią dokonywano pomiarów po wschodach roślin oraz po wznowieniu wegetacji wiosennej. Obliczono procentowy ubytek roślin po zimie oraz określono procentowo zgodność obsady z założeniami doświadczenia. W zasiewach wiosennych obsadę mierzono po wschodach i porównywano ją z zakładaną obsadą, wynik przedstawiając w procentach. W celu określenia zmienności obsady w powtórzeniach tych samych obiektów obliczono współczynnik zmienności jako niezależną miarę, pozwalającą porównać zmienność także między różnymi kombinacjami.

Od momentu wschodów co 14 dni pobierano po 10 roślin każdego z gatunków z każdego obiektu w celu określania przyrostu biomasy, na którą mogły mieć wpływ konkurencja lub synergia między roślinami oraz korzyści z azotu asymilowanego przez bakterie brodawkowe (Fot. 2), (Fot. 3).



Fot. 2. Porównanie zaawansowania rozwoju mieszanki wysiewanej jesienią (po lewej) i wiosną (po prawej) z 60% udziałem grochu i 40% udziałem jęczmienia (fot. 27.05.2021)



Fot. 3. Porównanie zaawansowania rozwoju mieszanki wysiewanej jesienią (po lewej) i wiosną (po prawej) z 60% udziałem grochu i 40% udziałem pszenicy (fot. 10.06.2021)

Suchą masę zebranych roślin mierzono po wysuszeniu zebranego materiału w suszarce laboratoryjnej. Wyniki zaprezentowano osobno dla każdego roku zbioru w okresach od 22 marca do fazy dojrzałości pełnej danego gatunku. Na wykresach porównano przyrosty suchej masy sumy 10 roślin, aby uwidocznic różnice pomiędzy obiektami z różnym ilościowym udziałem komponentów. Na podstawie zebranych danych został wygenerowany za pomocą programu Microsoft Excel przebieg krzywej przyrostu suchej masy. Próby części nadziemnych roślin zostały pobrane tuż przed zbiorem w celu wykonania badania zawartości azotu. Analizę zawartości azotu w materiale roślinnym wykonano metodą Kjeldahla (Goyal i in., 2022). Zgodnie z tą procedurą badaną próbkę poddano mineralizacji poprzez ogrzewanie w temperaturze 350°C przez 90 minut w obecności kwasu siarkowego, siarczanu potasu i selenu. Następnie zmineralizowaną próbkę alkalizowano poprzez dodatek wodorotlenku sodu, po czym podgrzewaną próbkę poddano destylacji do roztworu nasyconego kwasu borowego w celu wyekstrahowania amoniaku. Wydzielony amoniak będący produktem przemiany wszystkich związków azotowych zawartych w próbce poddano miareczkowaniu 0,1 M HCl w obecności czerwieni metylowej do momentu powrotu barwy wskaźnika do wyjściowej. Stężenie azotu obliczano na podstawie objętości zużytego HCl do procesu miareczkowania. Zawartość białka obliczano przy użyciu współczynnika konwersji 6,25 wynikającego z przeciętnej zawartości azotu w białkach (Goyal i in., 2022). Zawartość azotu badano w próbkach nasion i ziaren pobranych z plonów, oddzielnie dla poszczególnych komponentów. Ponadto analizy zawartości azotu wykonywano także w wegetatywnych częściach nadziemnych poszczególnych gatunków pobranych przed zbiorem kombajnowym ze wszystkich mieszanek i zasiewów czystych.

Ilość zgromadzonego azotu w częściach wegetatywnych na jednostce powierzchni obliczono mnożąc oznaczoną zawartość azotu przez powietrznie suchą masę pobranych roślin i policzoną obsadę w każdym obiekcie. Ilość zgromadzonego azotu z nasionach i ziarnach obliczono mnożąc oznaczoną zawartość azotu przez zebrany plon każdego komponentu w mieszance lub siewie czystym.

Na losowo pobranych roślinach przed zbiorem określano strukturę plonu w postaci liczby strąków na roślinie, liczby nasion w strąku oraz masy tysiąca nasion, a w przypadku zbóż określano liczbę rozkrzewień produkcyjnych, liczbę ziaren w kłosie oraz masę tysiąca ziaren.

W okresie najintensywniejszego przebiegu wegetacji, który dla zbóż przypada w fazie liścia flagowego, a u grochu w fazie kwitnienia dokonywano pomiarów współczynnika LAI (Leaf Area Index – Indeks liściowy) za pomocą aparatury SunScan Canopy Analysis.

4.6. METODYKA OBLICZANIA WSKAŹNIKÓW

Dla sezonu wegetacyjnego obejmującego okres od kwietnia do sierpnia obliczono Współczynnik hydrotermiczny Selyaninova (HTC), który określa zależność między opadami a parowaniem w odniesieniu do panujących temperatur i pozwala obliczyć a następnie sklasyfikować warunki wilgotnościowe danego okresu według wzoru: (Selyaninov, 1928)

$$HTC = \frac{\Sigma P}{0,1 \Sigma T}$$

Gdzie:

ΣP – dekadowa lub miesięczna suma opadów atmosferycznych

ΣT – suma średnich dobowych wartości temperatury powietrza w danej dekadzie lub miesiącu (obliczona z dni o temperaturze średniej dobowej powyżej 8°C)

Klasyfikacji dokonano zgodnie z legendą wykresu w oparciu o 9° skalę zaproponowaną przez Skowerę i Pułę (2004).

W opracowaniu wyników produkcyjnych wykorzystano współczynnik ekwiwalentu terenowego LER (Land Equivalent Ratio). Wskaźnik ten jest sumą względnych plonów poszczególnych gatunków uprawianych w mieszankach w odniesieniu do monokultur przedstawiany według wzoru (Willey i Rao, 1980):

$$LER = \frac{Y_{ab}}{Y_a} + \frac{Y_{ba}}{Y_b}$$

Gdzie:

Y_a – plon gatunku „a” w siewie czystym

Y_b – plon gatunku „b” w siewie czystym

Y_{ab} – plon gatunku „a” w mieszance gatunków „a” i „b”

Y_{ba} – plon gatunku „b” w mieszance gatunków „a” i „b”

Wartość LER większa niż 1 oznacza większą produktywność mieszanek na jednostce powierzchni, niż uprawa osobno zasiewów czystych.

W celu określenia różnic w produktywności badanych mieszanek i ich komponentów obliczono Indeks Żniwny (ang. Harvest Index – HI). Opisuje on zdolność rośliny do alokacji biomasy do części reprodukcyjnych za sprawą asymilacji i stanowi ważną cechę w hodowli roślin (Wnuk i in., 2014). HI to stosunek masy ziarna do całkowitej suchej masy nadziemnej i jest miarą wydajności reprodukcyjnej, a termin ten po raz pierwszy został użyty i zaprezentowany przez Donalda (1962) i modyfikowany przez część badaczy (Amanullah i in., 2019) do postaci procentowej według wzoru:

$$HI = \frac{PZ}{CBN} \times 100$$

Gdzie:

PZ – plon ziaren lub nasion

CBN- całkowita biomasa nadziemna

4.7. OPRACOWANIE WYNIKÓW

Wyniki pomiarów i analiz cech posiadających rozkład normalny poddano analizie statystycznej wykonując analizę wariancji i ocenę istotności różnic pomiędzy średnimi dla obiektów. Zgodnie z rodzajem i układem doświadczenia wykorzystano model analizy wariancji właściwy dla doświadczeń trzyczynnikowych o czynnikach występujących w układzie split-block-plot, a dla oceny różnic między obiektowych użyto test Tukey'a na poziomie istotności $p < 0,05$. W analizie wyników oceny właściwości biologicznych roślin wykorzystano natomiast model ANOVA.

Cechy, których wyniki pomiarów nie miały rozkładu normalnego, nie zostały poddane analizie wariancji. W tych przypadkach zastosowano metody statystyki opisowej i wyliczono ich średnie arytmetyczne oraz współczynniki zmienności. Na podstawie zbioru wyników obsady roślin określono jej równomierność na każdym obiekcie. Jako miarę zmienności przyjęto odchylenie standardowe (SD). Wyniki analizy przedstawiono na wykresach słupkowych, z SD. Wyniki opracowano dla każdego roku badań, a następnie ich syntezę dla całego okresu. Do opracowania wyników wykorzystano pakiety programów komputerowych: Statistica 12.0 oraz Microsoft Office. Wyniki opracowano z dokładnością 0,001, a przed prezentacją w tabelach lub na wykresach zaokrąglono je, w zależności od cechy, do 0,01; 0,1 lub 1,0 za pomocą arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel.

5. OMÓWIENIE WYNIKÓW

5.1. STRUKTURA PŁONU

5.1.1. Obsada roślin po wschodach i spoczynku zimowym

Zgodność obsady jęczmienia ozimego i grochu z założeniami doświadczenia wynosiła ponad 90% w każdym roku dla obu gatunków w mieszankach i siewach czystych z wyjątkiem grochu w 2022 roku, gdzie średnia obsada była o 12,72% niższa od zakładanej (Tab. 1). Obsada jęczmienia ozimego ulegała mniejszej redukcji po zimie w latach 2021 i 2023, niż w 2022 roku. Różnica ta jednak była znacznie mniejsza niż w przypadku grochu. Stopień uszkodzenia pozimowego grochu w mieszankach z jęczmieniem w poszczególnych latach był podobny jak w przypadku mieszanek z pszenicą. Był on największy w 2022 roku, w którym średni ubytek obsady grochu wyniósł 14,96%, wobec 6,79% w 2021 roku i 4,67% w 2023 roku. Współczynnik zmienności obsady pozostawał na niskim poziomie, co pozwala na przyjęcie takiego samego błędu w doświadczeniu.

Tab. 1. Obsada (szt·m⁻²) komponentów mieszanek jęczmienia ozimego z grochem

Udział komponentów	Obsada po wschodach (szt·m ⁻²)		Obsada po zimie (szt·m ⁻²)		Ubytek zimowy%		% zakładanej obsady		WZ obsady po zimie (%)	
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Rok 2021										
J100	344,5	-	337,3	-	2,10	-	96,36	-	2,59	-
G20J80	277,8	21,3	272,5	20,0	1,89	5,88	97,32	90,91	2,33	4,08
G40J60	200,3	43,5	196,5	40,8	1,87	6,32	93,57	92,61	6,14	4,19
G60J40	141,5	66,3	138,5	62,0	2,12	6,42	98,93	93,94	1,82	3,48
G80J20	67,8	90,0	66,5	83,0	1,85	7,78	95,00	94,32	2,88	2,20
G100	-	112,5	-	104,0	-	7,56	-	94,55	-	3,04
	<i>Średnia</i>				<i>1,97</i>	<i>6,79</i>	<i>96,24</i>	<i>93,27</i>		
Rok 2022										
J100	353,5	-	339,8	-	3,89	-	97,07	-	0,94	-
G20J80	276,0	21,5	264,5	18,3	4,17	15,12	94,46	82,95	2,85	6,89
G40J60	200,3	45,5	193,8	38,5	3,25	15,38	92,26	87,50	4,07	3,35
G60J40	133,8	71,0	128,5	59,5	3,93	16,20	91,79	90,15	2,42	2,17
G80J20	66,8	89,0	64,0	77,5	4,12	12,92	91,43	88,07	2,85	2,69
G100	-	113,8	-	96,5	-	15,16	-	87,73	-	2,74
	<i>Średnia</i>				<i>3,87</i>	<i>14,96</i>	<i>93,40</i>	<i>87,28</i>		
Rok 2023										
J100	340,8	-	335,8	-	1,47	-	95,93	-	2,04	-
G20J80	269,0	20,0	263,5	19,0	2,04	5,00	94,11	86,36	2,09	9,61
G40J60	200,3	42,5	197,8	40,5	1,25	4,71	94,17	92,05	1,04	3,19
G60J40	135,3	65,5	132,8	62,5	1,85	4,58	94,82	94,70	2,49	2,07
G80J20	65,3	88,8	64,0	84,8	1,92	4,51	91,43	96,31	5,10	3,52
G100	-	109,3	-	104,3	-	4,58	-	94,77	-	4,46
	<i>Średnia</i>				<i>1,70</i>	<i>4,67</i>	<i>94,09</i>	<i>92,84</i>		

Obsada po wschodach jęczmienia jarego i grochu wysiewanego wiosną odbiegała w mniejszym stopniu od zakładanej obsady niż w przypadku zasiewów jesiennych (Tab. 2). Dokładność i niewielkie zróżnicowanie obsady w poszczególnych replikacjach odzwierciedlają niskie wartości współczynnika zmienności dla tej cechy.

Tab. 2. Obsada (szt·m⁻²) komponentów mieszanek jęczmienia jarego z grochem

Udział komponentów	Obsada po wschodach (szt·m ⁻²)		% zakładanej obsady		WZ obsady po wschodach (%)	
	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch	Jęczmień	Groch
Rok 2021						
J100	300,8	–	100,25	–	3,14	–
G20J80	238,3	22,5	99,27	102,27	2,01	5,74
G40J60	176,8	42,8	98,19	97,16	2,71	3,99
G60J40	118,3	65,8	98,54	99,62	3,74	2,60
G80J20	57,5	83,5	95,83	94,89	2,25	4,43
G100	–	110,5	–	100,45	–	3,80
	<i>Średnia</i>		98,42	98,88		
Rok 2022						
J100	293,8	–	97,92	–	2,87	–
G20J80	235,3	23,8	98,02	107,95	2,85	7,19
G40J60	178,8	43,0	99,31	97,73	1,96	4,25
G60J40	118,3	66,3	98,54	100,38	1,88	2,26
G80J20	58,3	86,8	97,08	98,58	6,17	1,97
G100	–	109,3	–	99,32	–	5,95
	<i>Średnia</i>		98,17	100,79		
Rok 2023						
J100	299,8	–	99,92	–	2,73	–
G20J80	234,3	21,8	97,60	98,86	2,71	7,85
G40J60	177,8	43,5	98,75	98,86	2,85	5,47
G60J40	118,3	62,5	98,54	94,70	2,33	5,47
G80J20	58,5	81,3	97,50	92,33	2,96	5,63
G100	–	111,8	–	101,59	–	5,58
	<i>Średnia</i>		98,46	97,27		

W latach 2021-2023 zimowe ubytki obsady pszenicy ozimej w mieszankach z grochem i zasiewie czystym pozostawały na bardzo niskim poziomie i mieściły się w zakresie 1,24% do 3,57% (Tab. 3). Różnice pomiędzy ubytkami zimowymi w poszczególnych latach były zbliżone. Dokładność uzyskanej obsady względem założeń w trakcie lat badań była bardzo wysoka i wahała się w granicach 90,00 – 100,83%. Współczynnik zmienności obsady pszenicy we wszystkich mieszankach pozostawał na niskim poziomie co wskazuje na zachowanie wyrównanej obsady we wszystkich obiektach.

Obsada grochu ulegała większej redukcji w okresie zimy niż w przypadku pszenicy. W roku 2021 ubytki zimowe stanowiły 3,00-8,14% i były podobne jak

w roku 2023. W 2022 roku uszkodzeniu uległa znacznie większa część roślin grochu, gdzie odnotowano średnie straty wynoszące 13,82%. Podobnie najwyższą zgodność obsady z zakładaną uzyskano w latach 2021 i 2023. Nieco niższa była ona w 2022 roku, jednak nie odbiegała w sposób znaczny od założeń doświadczenia. Współczynnik zmienności pozostawał niski we wszystkich kombinacjach w latach i świadczy o porównywalnych warunkach doświadczenia.

Tab. 3. Obsada (szt·m⁻²) komponentów mieszanek pszenicy ozimej z grochem

Udział komponentów	Obsada po wschodach (szt·m ⁻²)		Obsada po zimie (szt·m ⁻²)		Ubytek zimowy%		% zakładanej obsady		WZ obsady po zimie (%)	
	Pszenica	Groch	Pszenica	Groch	Pszenica	Groch	Pszenica	Groch	Pszenica	Groch
Rok 2021										
P100	291,3	–	286,8	–	1,55	–	95,58	–	7,55	–
G20P80	227,3	21,5	223,3	19,8	1,76	8,14	93,02	89,80	5,66	4,85
G40P60	171,0	44,5	165,5	42,8	3,22	3,93	91,94	97,16	2,71	3,99
G60P40	113,5	66,8	111,3	64,8	1,98	3,00	92,71	98,11	4,81	2,64
G80P20	61,5	90,8	60,5	85,5	1,63	5,79	100,83	97,16	5,28	3,64
G100	–	111,0	–	104,78	–	5,63	–	95,23	–	4,37
	<i>Średnia</i>				2,03	5,3	94,82	95,48		
Rok 2022										
P100	302,3	–	296,0	–	2,07	–	98,67	–	2,57	–
G20P80	222,8	20,3	217,8	17,5	2,24	13,58	90,73	79,55	3,03	7,38
G40P60	171,5	47,3	167,8	39,5	2,19	16,40	93,19	89,77	5,11	3,27
G60P40	112,0	68,3	108,0	58,0	3,57	15,02	90,00	87,88	4,00	3,72
G80P20	61,3	90,5	59,8	79,5	2,45	12,15	99,58	90,34	4,4	4,87
G100	–	113,0	–	99,5	–	11,95	–	90,45	–	4,22
	<i>Średnia</i>				2,5	13,82	94,43	87,6		
Rok 2023										
P100	296,3	–	290,8	–	1,86	–	96,92	–	4,42	–
G20P80	232,5	23,5	228	21,8	1,94	7,45	95,00	98,86	4,49	7,85
G40P60	183	47,5	179,3	44,5	2,05	6,32	99,58	101,14	3,82	4,3
G60P40	123	68,8	120	65,5	2,44	4,73	100,00	99,24	4,30	1,97
G80P20	60,3	91,8	59,5	87,3	1,24	4,9	99,17	99,15	4,45	1,96
G100	–	116	–	109,8	–	5,39	–	99,77	–	3,67
	<i>Średnia</i>				1,91	5,76	98,13	99,63		

W mieszkankach pszenicy jarej z grochem obserwowano większą zgodność obsady po wschodach z założeniami doświadczenia, szczególnie w przypadku grochu, w porównaniu do zasiewów jesiennych (Tab. 4). Zarówno obsada pszenicy jak i grochu była zgodna z zakładaną w podobnym stopniu i mieściły się w przedziale 95,83 – 102,05%. Współczynniki zmienności w granicach 1,51-7,87% świadczą o niewielkim zróżnicowaniu obsady w poszczególnych powtórzeniach doświadczenia, oraz między poszczególnymi kombinacjami.

Tab. 4. Obsada (szt·m⁻²) komponentów mieszanek pszenicy jarej z grochem

Udział komponentów	Obsada po wschodach (szt·m ⁻²)		% zakładanej obsady		WZ obsady po wschodach (%)	
	Pszenica	Groch	Pszenica	Groch	Pszenica	Groch
Rok 2021						
P100	347,8	–	99,36	–	5,18	–
G20P80	281,0	21,5	100,36	97,73	3,85	6,00
G40P60	206,8	43,3	98,45	98,30	3,37	5,13
G60P40	136,8	64,8	97,68	98,11	3,27	3,86
G80P20	66,5	87,5	95,00	99,43	7,87	2,38
G100	–	108,8	–	98,86	–	2,75
		<i>Średnia</i>	98,17	98,48		
Rok 2022						
P100	344,5	–	98,43	–	3,92	–
G20P80	275,5	22,0	98,39	100,00	3,09	3,71
G40P60	203,3	44,8	96,79	101,70	4,20	6,67
G60P40	136,0	66,0	97,14	100,00	3,06	2,77
G80P20	66,8	86,5	95,36	98,30	5,24	4,48
G100	–	112,3	–	102,05	–	1,84
		<i>Średnia</i>	97,22	100,41		
Rok 2023						
P100	342,5	–	97,86	–	4,39	–
G20P80	282,8	21,0	100,98	95,45	3,76	3,89
G40P60	201,3	42,8	95,83	97,16	2,85	3,99
G60P40	138,8	64,3	99,11	97,35	4,38	2,66
G80P20	69,0	85,5	98,57	97,16	2,05	1,51
G100	–	109,3	–	99,32	–	3,02
		<i>Średnia</i>	98,47	97,29		

5.1.2. Obsada kłosów zbóż

Przeprowadzone analizy statystyczne, wykazały, że czynniki doświadczalne w sposób istotny różnicowały obsadę kłosów zbóż w mieszankach z grochem i zasiewach jednogatunkowych (Tab. 5). Jesienny termin siewu umożliwił uzyskanie wyższej obsady kłosów na jednostce powierzchni, a spośród zbóż to zasiewy z jęczmieniem cechowały się wyższą obsadą. Wraz ze zwiększaniem udziału grochu w mieszance, spadała obsada kłosów. Najwyższą obsadę kłosów obserwowano w zasiewach jednogatunkowych zbóż.

Tab. 5. Obsada kłosów zbóż (szt·m⁻²) w mieszankach i siewach jednogatunkowych w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	szt.· m⁻²
Termin siewu (T)	Wiosenny (zboża jare)	402,6 ^b
	Jesienny (zboża ozime)	447,4 ^a
F_{obl, p} 84,88***		
Gatunek zboża w mieszance (G)	Jęczmień	485,8 ^a
	Pszenica	364,2 ^b
F_{obl, p} 626,93***		
Udział komponentów (U)	Z100	579,4 ^a
	G20Z80	515,5 ^b
	G40Z60	443,7 ^c
	G60Z40	347,5 ^d
	G80Z20	238,9 ^e
F_{obl, p} 620,26***		
Lata (L)	2021	395,0 ^c
	2022	461,2 ^a
	2023	418,8 ^b
F_{obl, p} 63,68***		
Interakcje: TxG***; TxU***; TxL***; GxU***; TxU***; TxGxU***		
Opis statystyczny		
Średnia		425,0
SD		155,58
WZ, %		36,61

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ns – brak istotnego działania czynnika; a, b, c – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

Obsada kłosów jęczmienia w siewie czystym i w mieszankach z grochem była zależna od terminu siewu, udziału komponentów, a także od roku uprawy (Tab. 6). Wyższą obsadą kłosów niż jęczmień ozimy charakteryzował się jęczmień jary. Wraz ze zwiększaniem udziału jęczmienia w mieszance, rosła obsada kłosów, a najwyższą obsadę uzyskano w zasiewie jednogatunkowym. Średnia obsada jęczmienia była zmienna w trakcie lat badań, najwyższą notowano w 2022 roku a najniższą w 2021 roku.

Tab. 6. Obsada kłosów jęczmienia (szt·m⁻²) w siewie czystym i mieszankach z grochem w latach 2021-2023

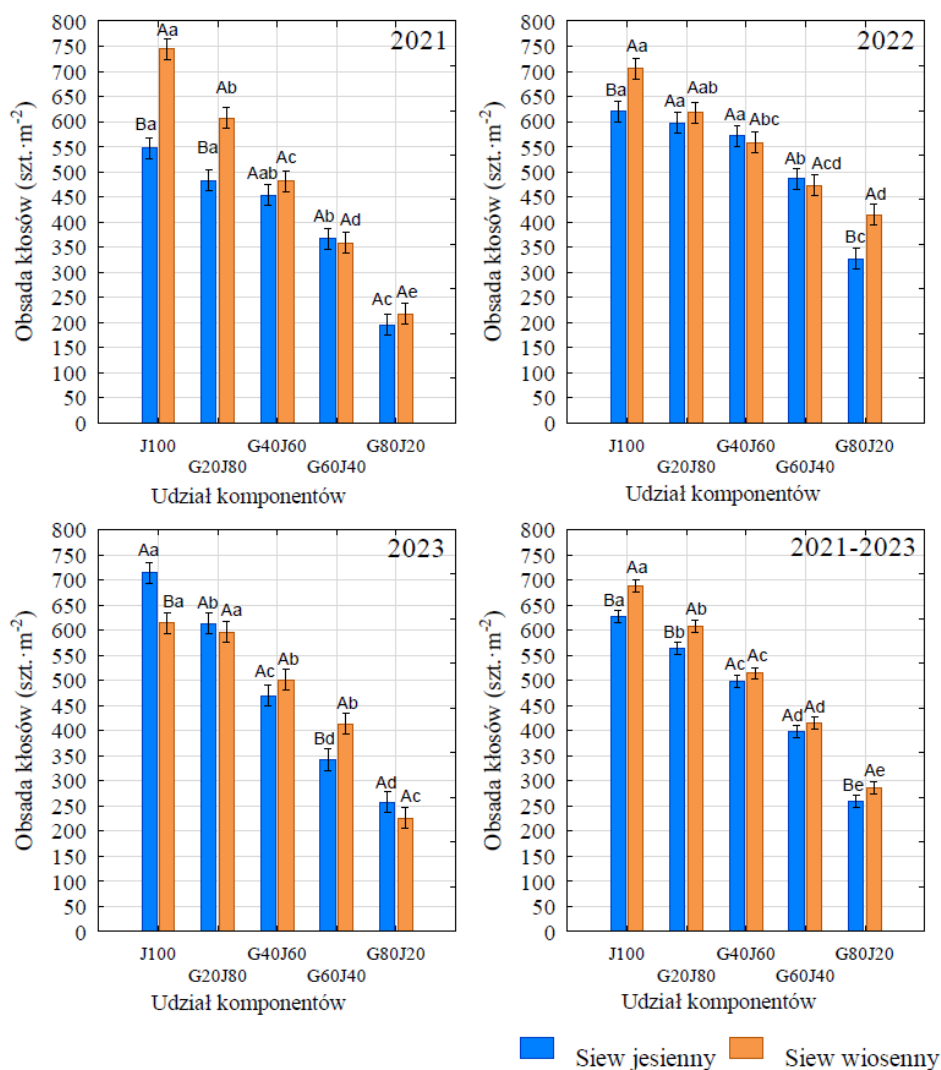
Czynnik	Poziom czynnika	sz.· m⁻²
Termin siewu (T)	Wiosenny (jęczmień jary)	502,0 ^a
	Jesienny (jęczmień ozimy)	469,5 ^b
F_{obl, p} 18,45***		
Udział komponentów (U)	J100	657,5 ^a
	G20J80	586,0 ^b
	G40J60	506,0 ^c
	G60J40	406,7 ^d
	G80J20	272,5 ^e
F_{obl, p} 319,84***		
Lata (L)	2021	445,3 ^c
	2022	537,2 ^a
	2023	474,8 ^b
F_{obl, p} 51,21***		
Interakcje: TxU**; TxL***; UxL^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		485,75
SD		152,98
WZ, %		31,49

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego różnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

W 2021 roku termin siewu wpływał w sposób istotny na obsadę kłosów jęczmienia w zasiewie czystym jęczmienia i mieszance z 20% udziałem grochu (Rys. 6). W pozostałych mieszankach termin siewu nie wpływał istotnie na obsadę kłosów. W jesiennym terminie siewu obsada kłosów jęczmienia była istotnie najwyższa w przypadku siewu czystego jęczmienia, mieszanki z 20% i 40% udziałem grochu. Jesienna mieszanka z 40% udziałem grochu nie różniła się także od mieszanki z 60% udziałem grochu. Jęczmień w mieszance z 60% udziałem grochu miał istotnie niższą obsadę kłosów niż jęczmień w obiektach J100 i G20J80 i wyższą niż jęczmień w mieszance G80J20. Najniższą obsadę kłosów obserwowano w mieszance z najwyższym udziałem grochu. W przypadku wiosennego terminu siewu najwyższą obsadę kłosów notowano w zasiewie czystym jęczmienia, a wartość tej cechy malała w sposób istotny wraz z zwiększaniem udziału grochu w mieszance.

W 2022 roku istotny wpływ terminu siewu na obsadę kłosów jęczmienia zaznaczył się jedynie w czystym siewie jęczmienia i mieszance z 80% udziałem grochu, w których obsada kłosów była wyższa w siewach wiosennych. W przypadku zasiewów wiosennych, obsada kłosów malała wraz z zwiększaniem udziału grochu w mieszance. W zasiewach jesiennych, obsada kłosów w jednogatunkowym siewie nie różniła się w sposób istotny od

mieszanek z 20 i 40% udziałem grochu. Obsada kłosów w pozostałych dwóch mieszankach była istotnie niższa.



Rys. 6. Obsada kłosów jęczmienia (szt·m⁻²) w siewie czystym i mieszankach z grochem w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy p < 0,05; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy p < 0,05

W 2023 roku obsada kłosów jęczmienia ozimego w czystym siewie była istotnie wyższa od jarego. Odwrotną zależność zaobserwowano w przypadku

jęczmienia w mieszance z 60% udziałem grochu. W pozostałych mieszankach obsada kłosów nie była zależna od terminu siewu. W wiosennym terminie siewu obsada kłosów była najwyższa w siewie czystym i mieszance z 80% udziałem jęczmienia. Niższe wartości tego elementu struktury plonu zanotowano w mieszankach z 40 i 60% udziałem grochu, a najniższą obsadą kłosów jęczmienia charakteryzowała się mieszanka z 80% udziałem grochu. W zasiewach ozimych obsada kłosów jęczmienia była najwyższa w zasiewie jednogatunkowym i malała wraz ze zwiększaniem udziału grochu do 60%.

Różnice w obsadzie kłosów jęczmienia w latach 2021-2023 ze względu na termin siewu wystąpiły tylko w zasiewie jednogatunkowym oraz w mieszankach z 20 i 80% udziałem grochu. W poszczególnych terminach siewu obsada kłosów jęczmienia była najwyższa w obiektach z siewem czystym jęczmienia i malała wraz ze wzrostem udziału grochu w mieszance.

Badania nad obsadą kłosów pszenicy ozimej w czystym siewie oraz w mieszankach z grochem, prowadzone w latach 2021-2023, wykazały istotne różnicowanie wyników w zależności od terminu siewu, udziału grochu w mieszance oraz lat badań (Tab. 7). Obsada kłosów była istotnie wyższa w przypadku siewu jesiennego w porównaniu do siewu wiosennego. Zwiększenie udziału grochu w mieszance prowadziło do znaczącego spadku obsady kłosów pszenicy, średnio od 501,2 szt.·m⁻² w czystym siewie pszenicy do 205,3 szt.·m⁻² w mieszance z 80% udziałem grochu. Lata prowadzenia badań również miały istotny wpływ na obsadę kłosów, z najwyższymi wynikami w 2022 i najniższymi w 2021 roku.

Tab. 7. Obsada kłosów pszenicy (szt·m⁻²) siewie czystym i mieszankach z grochem w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	szt.· m⁻²
Termin siewu (T)	Wiosenny (pszenica jara)	303,27 ^b
	Jesienny (pszenica ozima)	425,22 ^a
F_{obl, p} 18,45***		
Udział grochu w mieszance (U)	P100	501,2 ^a
	G20P80	445,0 ^b
	G40P60	381,4 ^c
	G60P40	288,3 ^d
	G80P20	205,3 ^e
F_{obl, p} 319,84***		
Lata (L)	2021	344,8 ^c
	2022	385,2 ^a
	2023	362,7 ^b
F_{obl, p} 51,21***		
Interakcje: TxU***; TxL***; UxL*		
Opis statystyczny		
Średnia		364,2
SD		133,3
WZ, %		36,59

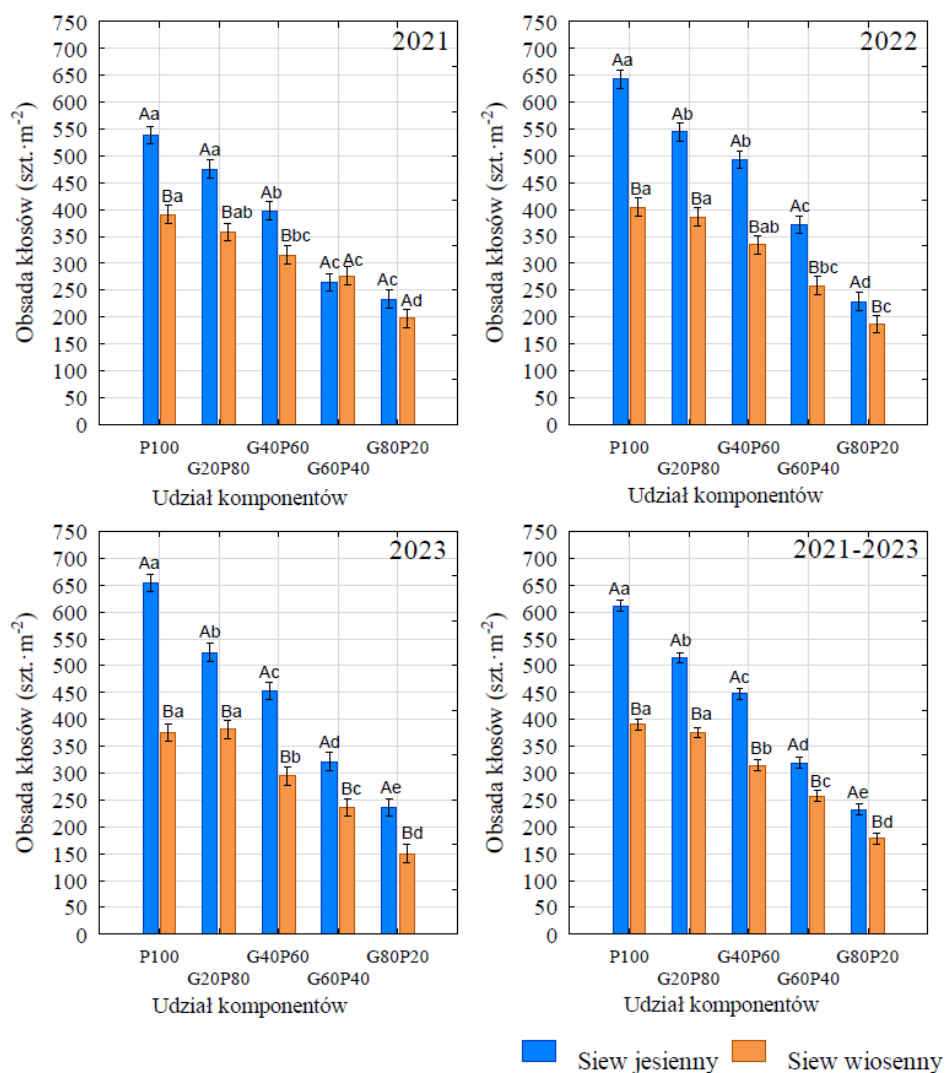
***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ns – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

Obsada kłosów pszenicy w 2021 roku była zależna zarówno od terminu siewu jak i udziału komponentów (Rys. 7). W przypadku jesiennego terminu siewu obsada kłosów pszenicy w siewie jednogatunkowym nie różniła się od obsady w mieszance z 20% udziałem grochu. Istotnie niższe wartości uzyskano w pozostałych mieszankach, zwłaszcza w mieszankach z 60 i 80% udziałem grochu, w których były one najniższe. W przypadku siewu wiosennego, najwyższą obsadę kłosów uzyskano w czystym siewie pszenicy a najniższą w mieszance z 80% udziałem grochu.

W 2022 roku także obsada kłosów pszenicy była zależna od terminu siewu i udziału komponentów. Wszystkie mieszanki zimujące i czysty zasiew pszenicy ozimej charakteryzowały się wyższą obsadą kłosów w porównaniu z ich jarymi odpowiednikami. Spośród mieszanek zimujących najwyższą obsadą kłosów wyróżniały się obiekty z 20 i 40% udziałem grochu, jednak były to wartości mniejsze niż w przypadku siewu czystego pszenicy ozimej. Obsada kłosów pszenicy ozimej malała w pozostałych mieszankach z wyższym udziałem grochu. Obsada kłosów pszenicy jarej w czystym siewie była najwyższa i nie różniła się w sposób istotny od obsady w mieszankach z 20 i 40% udziałem grochu. W mieszankach pszenicy jarej z grochem występowały istotne różnice w obsadzie kłosów, przebiegały jednak łagodnie, nie ujawniając różnic pomiędzy obsadą kłosów w kolejnej i poprzedniej mieszance względem analizowanej.

W 2023 roku podobnie jak rok wcześniej obsada kłosów pszenicy była zależna od terminu siewu i udziału komponentów. W siewach jesiennych obsada kłosów malała, wraz ze zwiększaniem udziału grochu. W siewach wiosennych pszenica jara w czystym siewie charakteryzowała się obsadą zbliżoną do pszenicy w mieszance 20% udziałem grochu. W pozostałych mieszankach obsada kłosów pszenicy malała w sposób istotny wraz ze zwiększaniem udziału grochu.

W badanym trzyleciu zależności obsady kłosów pszenicy od czynników doświadczalnych były identyczne jak w 2023 roku.



Rys. 7. Obsada kłosów pszenicy (szt·m⁻²) w siewie czystym i mieszankach z grochem w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, ^{a, b, c} – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; ^{A, B} – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

5.1.3. Liczba strąków na roślinie

Liczba strąków na roślinie grochu była zależna od terminu siewu i składu mieszanki (Tab. 8). Także warunki pogodowe w poszczególnych latach wpływały istotnie na tą cechę. Jesienny termin wysiewu grochu i jego mieszanek

ze zbożami skutkowało znacznym zwiększeniem liczby strąków na roślinie. Istotny wpływ na zwiększenie liczby strąków grochu miał udział pszenicy w mieszance. W poszczególnych mieszankach liczba strąków na roślinie nie różniła się w sposób istotny, natomiast wysiew jednogatunkowy grochu skutkowało znacznym zwiększeniem liczby strąków na roślinie. W trakcie lat badań groch najwięcej strąków generował w 2021 roku a najmniej w 2023 roku.

Tab. 8. Liczba strąków na roślinie w mieszankach i siewach jednogatunkowych w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	szt.
Termin siewu (T)	Wiosenny	3,1 ^b
	Jesienny	4,6 ^a
F_{obl, p} 371,95***		
Gatunek zboża w mieszance (G)	Jęczmień	3,8 ^b
	Pszenica	4,1 ^a
F_{obl, p} 20,54***		
Udział komponentów (U)	G20Z80	3,6 ^b
	G40Z60	3,6 ^b
	G60Z40	3,5 ^b
	G80Z20	3,5 ^b
	G100	5,53 ^a
F_{obl, p} 141,90***		
Lata (L)	2021	5,1 ^a
	2022	3,8 ^b
	2023	2,9 ^c
F_{obl, p} 63,68***		
Interakcje: TxG***; TxU***; TxL***; GxU^{ns}; TxU***; TxGxU*		
Opis statystyczny		
Średnia		4,0
SD		1,6
WZ, %		39,6

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

Liczba strąków na roślinach rosnących w siewie czystym i w mieszankach z jęczmieniem wykazała zależność tej cechy od terminu siewu, udziału grochu w mieszance i roku uprawy (Tab. 9). Niezależnie od składu mieszanki, groch wysiewany jesienią wytwarzał większą liczbę strąków na roślinie niż po zastosowaniu siewu wiosennego. W poszczególnych mieszankach liczba strąków na roślinie była taka sama, jednak istotnie niższa niż na grochu w siewie jednogatunkowym. Najwyższą liczbę strąków na roślinie uzyskano w 2021 roku, a najniższą w 2023 roku.

Tab. 9. Liczba strąków na roślinie w siewie czystym i mieszankach z udziałem jęczmienia w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	szt.
Termin siewu (T)	Wiosenny	3,3 ^b
	Jesienny	4,3 ^a
F_{obl, p} 18,45***		
Udział komponentów (U)	G20J80	3,4 ^b
	G40J60	3,4 ^b
	G60J40	3,4 ^b
	G80J20	3,4 ^b
	G100	5,5 ^a
F_{obl, p} 319,84***		
Lata (L)	2021	5,0 ^a
	2022	3,5 ^b
	2023	3,0 ^c
F_{obl, p} 51,21***		
Interakcje: TxU**; TxL***; UxL^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		5,0
SD		1,2
WZ, %		23,17

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

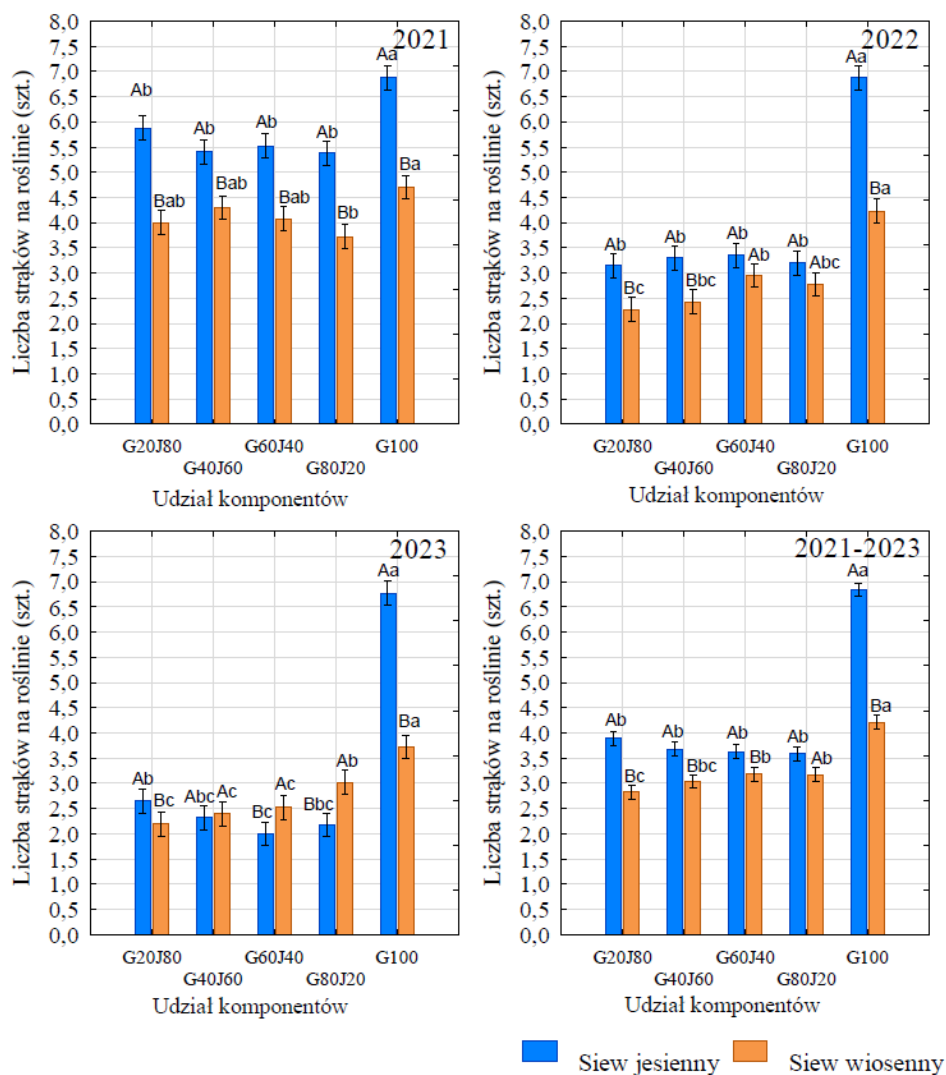
W każdym z badanych lat terminu siewu i udziału grochu w mieszance z jęczmieniem istotnie wpływały na liczbę strąków na roślinie (Rys. 8). Największe różnice w liczbie strąków na roślinie pomiędzy siewem wiosennym a jesiennym zaobserwowano w 2021 roku. Groch wysiewany jesienią we wszystkich mieszankach i siewie czystym charakteryzował się większą liczbą strąków niż w siewach wiosennych. W jesiennym terminie istotnie wyższa liczba strąków charakteryzował się groch w siewie czystym niż w mieszankach, w których liczba strąków na roślinie grochu nie różniła się od siebie. W siewie wiosennym najwyższą liczbę strąków uzyskano w siewie czystym grochu, a istotnie niższą w mieszance z 80% udziałem grochu. Pozostałe mieszanki nie różniły się pod względem tej cechy zarówno między sobą jak i od obiektów z najwyższą i najniższą liczbą strąków.

W 2022 roku termin siewu wpływał istotnie na liczbę strąków grochu uprawianego w siewie czystym oraz z jego 20 i 40% udziałem, w których była ona wyższa w obiektach z siewu jesiennego niż wiosennego. W pozostałych mieszankach liczba strąków na roślinie nie była zależna od terminu wysiewu. W przypadku siewu jesiennego, liczba strąków na roślinie nie różniła się od siebie w poszczególnych mieszankach, ale była mniejsza niż na grochu w siewie czystym. W zasiewach wiosennych również najwyższą liczbą strąków na roślinie charakteryzował się groch w siewie czystym, a różnice pomiędzy

poszczególnymi mieszankami występowały tylko pomiędzy roślinami w obiektach z 20 i 60% udziałem grochu.

W 2023 w mieszankach z 20% udziałem grochu oraz w siewie czystym tej rośliny jesienny termin siewu umożliwił uzyskanie większej liczby strąków na roślinie niż termin wiosenny. Tymczasem w obiektach, w których groch stanowił 60 lub 80%, liczba strąków na roślinie była wyższa na roślinach z siewu wiosennego niż jesiennego. W mieszance z 40% udziałem grochu termin siewu nie miał wpływu na liczbę strąków na roślinie. W jesiennym terminie siewu to groch w siewie czystym charakteryzował się najwyższą liczbą strąków. Mieszanki z 20% udziałem grochu cechowały się istotnie wyższą liczbę strąków na roślinie od grochu w mieszankach z 60% udziałem tej rośliny. Liczba strąków na roślinie w mieszankach z 40 i 80% udziałem grochu nie różniła się w stosunku do pozostałych mieszanek. W obiektach wysiewanych wiosną, najwyższa liczba strąków występowała na grochu w czystym siewie, istotnie niższa występowała na grochu z mieszanki z 80% jego udziałem, a najniższe liczby strąków obserwowano na pozostałych mieszankach, które nie różniły się istotnie pomiędzy sobą.

W badanym trzyleciu, jesienny termin siewu umożliwił uzyskanie wyższej liczby strąków na roślinie we wszystkich kombinacjach oprócz mieszanki z 80% udziałem grochu. W ramach jesiennego terminu siewu udział grochu w mieszance nie wpływał istotnie na liczbę strąków na roślinie, jednak wartość tej cechy była znacznie niższa w porównaniu do grochu z czystego siewu. W przypadku siewu wiosennego, różnica między liczbą strąków na grochu z siewu czystego i mieszanek była znacznie mniejsza, lecz nadal istotnie wyższa w przypadku grochu w siewie jednogatunkowym. Spośród mieszanek wysiewanych wiosną najniższą liczbą strąków charakteryzował się groch w mieszance z 20% udziałem, gdzie wartość ta była istotnie niższa niż na grochach z mieszanek z 60 i 80% udziałem tego gatunku.



Rys. 8. Liczba strąków na roślinie w siewie czystym i mieszankach z jęczmieniem w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

Średnia liczba strąków na roślinie grochu uprawianego w mieszance z pszenicą była zależna od terminu siewu, udziału grochu w mieszance i roku uprawy (Tab. 10). Groch wysiewany jesienią wytwarzał średnio o 1,6 strąka na roślinie więcej niż groch wysiewany wiosną co stanowiło istotną różnicę. Czysty siew grochu sprzyjał wyższej liczbie strąków na roślinie w porównaniu do grochu

wysiewanego w mieszankach z pszenicą. W trakcie lat badań najwyższą liczbę strąków notowano w 2021 roku, nieco mniejszą w 2022 roku a najmniejszą w 2023 roku.

Tab. 10. Liczba strąków na roślinie w siewie czystym i mieszankach z udziałem pszenicy w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	szt.
Termin siewu (T)	Wiosenny	3,3 ^b
	Jesienny	4,9 ^a
F_{obl, p} 18,45***		
Udział komponentów (U)	G20P80	3,8 ^b
	G40P60	3,9 ^b
	G60P40	3,6 ^b
	G80P20	3,7 ^b
	G100	5,5 ^a
F_{obl, p} 319,84***		
Lata (L)	2021	5,3 ^a
	2022	4,1 ^b
	2023	2,9 ^c
F_{obl, p} 51,21***		
Interakcje: TxU**; TxL***; UxL^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		4,1
SD		1,6
WZ, %		38,84

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

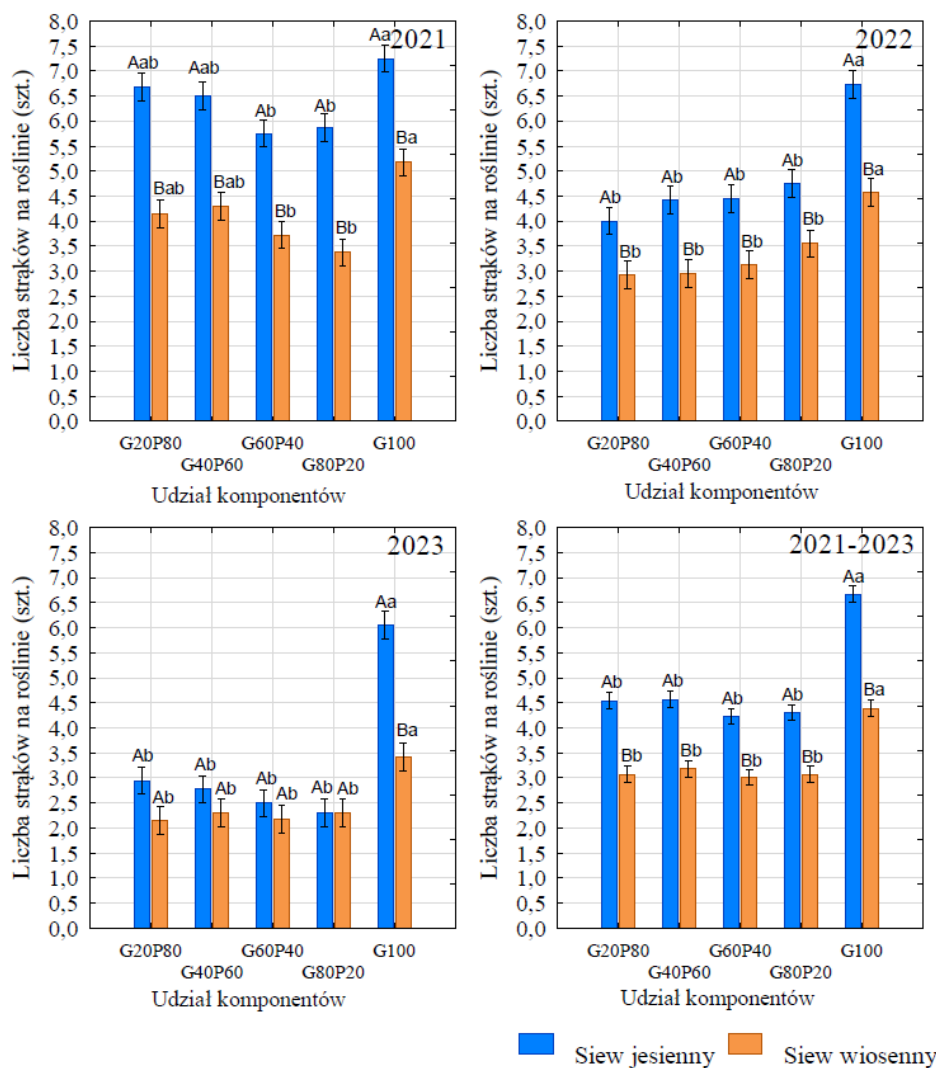
W 2021 roku wszystkie kombinacje jesiennych siewów skutkowały większą liczbą strąków na roślinie w porównaniu do ich wiosennych odpowiedników (Rys. 9). W ramach jesiennego terminu siewu najwyższą liczbą strąków na roślinie charakteryzował się groch uprawiany w siewie czystym a najniższe wartości tej cechy obserwowano na grochu w mieszankach w których stanowił on 60 i 80% udziału. Mieszanki z 20 i 40% udziałem grochu nie różniły się w sposób istotny od pozostałych kombinacji pod względem liczby strąków na roślinie. Identyczne zależności występowały w przypadku wiosennego terminu siewu, osiągając jednak niższe liczby strąków na roślinie.

W 2022 roku każdy z jesiennych wariantów siewu odznaczał się wyższą liczbą strąków na roślinie w porównaniu do siewu wiosennego. Liczba strąków grochu w mieszankach nie różniła się w sposób istotny w ramach każdego z terminu siewu, a groch w siewie czystym wytwarzał istotnie wyższą liczbę strąków niż groch w mieszankach.

W 2023 istotny wpływ terminu siewu na liczbę strąków na roślinie uwidocznił się tylko w przypadku zasiewu jednogatunkowego, gdzie groch wysiewany jesienią cechował się większą liczbą strąków od grochu wysiewanego

wiosną. Groch w każdej z mieszanek zarówno w jesiennym jak i wiosennym zasiewie uzyskiwał istotnie niższą liczbę strąków od grochu uprawianego bez dodatku pszenicy.

Średnio w latach badań jesienny termin siewu skutkowało uzyskaniem istotnie większej liczby strąków na roślinie niż z siewu wiosennego. W ramach każdego z terminów siewu groch w czystym siewie osiągał wyższe wartości badanej cechy niż groch w mieszankach z pszenicą.



Rys. 9. Liczba strąków na roślinie w siewie czystym i mieszankach z pszenicą w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

5.1.4. Liczba ziaren w kłosie

Liczba ziaren w kłosie zbóż uprawianych w siewie czystym i w mieszankach z grochem była istotnie zależna od wszystkich badanych czynników (Tab. 11). Jesienny termin siewu w sposób istotny umożliwił

uzyskanie wyższej liczby ziaren w kłosach zbóż w porównaniu do siewu wiosennego. Pszenica zawierała w kłosach niemal dwukrotnie większą liczbę ziaren niż jęczmień, co stanowiło istotną różnicę. Spośród mieszanek i siewu czystego najwyższą liczbę ziaren w kłosie zawierały zboża uprawiane w mieszance z 80% udziałem grochu. Najniższą liczbą ziaren w kłosie charakteryzowały się zboża wysiewane bez udziału grochu oraz w mieszankach z jego 20 i 40% udziałem. Zboża uprawiane w mieszance z 40% udziałem grochu, nie różniły się pod względem liczby ziaren w kłosie od zbóż z mieszanek z 20 i 60% udziałem grochu. W 2022 roku zboża wykazywały istotnie więcej ziaren w kłosie niż w pozostałych latach badań.

Tab. 11. Liczba ziaren w kłosach zbóż w siewach czystych i mieszankach z grochem w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	szt.
Termin siewu (T)	Wiosenny (zboża jare)	28,7 ^b
	Jesienny (zboża ozime)	29,8 ^a
F_{obl, p} 18,022***		
Gatunek zboża w mieszance (G)	Jęczmień	19,6 ^b
	Pszenica	39,0 ^a
F_{obl, p} 5847,5***		
Udział komponentów (U)	Z100	28,4 ^c
	G20Z80	28,6 ^c
	G40Z60	28,8 ^{bc}
	G60Z40	29,8 ^b
	G80Z20	30,9 ^a
F_{obl, p} 13,372***		
Lata (L)	2021	28,1 ^b
	2022	31,4 ^a
	2023	28,4 ^b
F_{obl, p} 67,449***		
Interakcje: TxG***; TxU^{ns}; TxL***; GxU**; TxU^{ns}; TxGxU^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		29,3
SD		10,3
WZ, %		35,16

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; a, b, c – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

Średnia liczba ziaren w kłosach jęczmienia wysiewanego w siewie czystym i mieszankach z grochem w latach 2021-2023 była zależna od terminu siewu, udziału grochu w mieszance i roku uprawy (Tab. 12). Jesienny termin siewu w sposób istotny umożliwił uzyskanie większej liczby ziaren w kłosie jęczmienia w porównaniu do siewu wiosennego. Jęczmień wysiewany w mieszance z 80% udziałem grochu zawierał istotnie więcej ziaren w kłosie niż jęczmień

w pozostałych mieszankach i siewie czystym. W 2023 roku liczba ziaren w kłosie jęczmienia była istotnie wyższa niż w pozostałych latach badań.

Tab. 12. Liczba ziaren w kłosie jęczmienia w siewie czystym i mieszankach z udziałem grochu w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	szt.
Termin siewu (T)	Wiosenny (jęczmień jary)	19,0 ^b
	Jesienny (jęczmień ozimy)	20,2 ^a
F_{obl, p} 13,812***		
Udział komponentów (U)	J100	19,5 ^b
	G20J80	18,5 ^b
	G40J60	18,8 ^b
	G60J40	19,7 ^b
	G80J20	21,3 ^a
F_{obl, p} 319,84***		
Lata (L)	2021	18,5 ^b
	2022	19,8 ^b
	2023	20,4 ^a
F_{obl, p} 51,21***		
Interakcje: TxU**; TxL***; UxL^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		19,6
SD		2,4
WZ, %		12,46

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego różnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

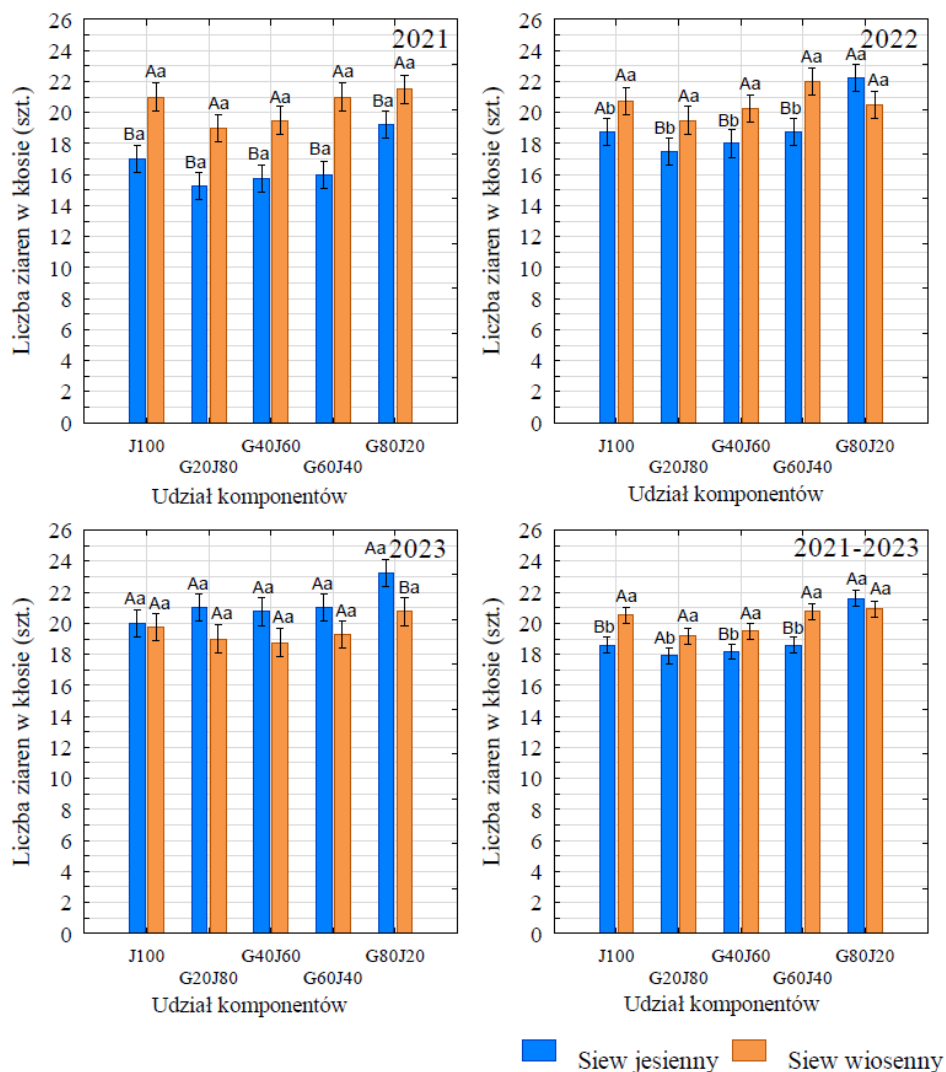
W 2021 roku liczba ziaren w kłosie jęczmienia jarego była istotnie wyższa niż w przypadku jęczmienia ozimego we wszystkich mieszankach i siewie czystym (Rys. 10). W żadnym z terminów siewu liczba ziaren w kłosie nie była zależna od udziału grochu w mieszance.

W 2022 roku wiosenny termin siewu miał wpływ na wyższą liczbę ziaren w kłosie jęczmienia w mieszankach z 20, 40 i 60% udziałem grochu. W zasiewach wiosennych udział grochu nie miał wpływu na liczbę ziaren w kłosie jęczmienia. W przypadku jęczmienia ozimego, liczba ziaren w kłosie była istotnie większa w mieszance z 80% udziałem grochu w porównaniu do pozostałych kombinacji.

W 2023 roku termin siewu miał istotny wpływ na liczbę ziaren w kłosie jęczmienia tylko w przypadku mieszanki z 80% udziałem grochu. W pozostałych kombinacjach wysiewanych jesienią również zauważono wyższą ziaren w kłosie, jednak nie były to różnice istotne statystycznie.

Średnio w latach 2021-2023 istotny wpływ terminu siewu na liczbę ziaren w kłosie jęczmienia uwidocznił się w przypadku siewu czystego i w mieszankach z 20,40 i 60% udziałem grochu. Wykazano interakcję pomiędzy czynnikami doświadczenia w kształtowaniu liczby ziaren w kłosie. W jęczmieniu

wysiewanym jesienią w mieszance z 80% udziałem grochu była ona istotnie wyższa niż w obiektach z mniejszym udziałem tej rośliny. W obiektach z siewem wiosennym, skład mieszanki nie wpływał istotnie na liczbę ziaren w kłosie.



Rys. 10. Liczba ziaren w kłosie jęczmienia w siewie czystym i mieszankach z grochem w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

Liczba ziaren w kłosie pszenicy była zależna od terminu siewu, udziału komponentów i roku uprawy (Tab. 13). Jesienny termin wysiewu skutkował większą liczbą ziaren w kłosie niż w przypadku siewu wiosennego. Spośród mieszanek największą liczbę ziaren zawierały kłosy pszenicy w mieszance z 80% udziałem grochu, a najmniejszą wartość uzyskiwała pszenica w mieszankach z 20 i 40% udziałem grochu, podobnie jak pszenica w czystym siewie. W 2022 roku pszenica wykształcała najwięcej ziarniaków w kłosie, a najmniej w 2023 roku.

Tab. 13. Liczba ziaren w kłosie pszenicy w siewie czystym i mieszankach z udziałem grochu w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	szt.
Termin siewu (T)	Wiosenny (pszenica jara)	37,3 ^b
	Jesienny (pszenica ozima)	40,7 ^a
F_{obl}, p 4,63***		
Udział komponentów (U)	P100	37,2 ^c
	G20P80	38,7 ^{bc}
	G40P60	38,8 ^{bc}
	G60P40	39,9 ^{ab}
	G80P20	40,5 ^a
F_{obl}, p 319,84***		
Lata (L)	2021	37,7 ^b
	2022	42,9 ^a
	2023	36,5 ^c
F_{obl}, p 51,21***		
Interakcje: TxU**; TxL***; UxL^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		39,0
SD		4,0
WZ, %		10,37

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

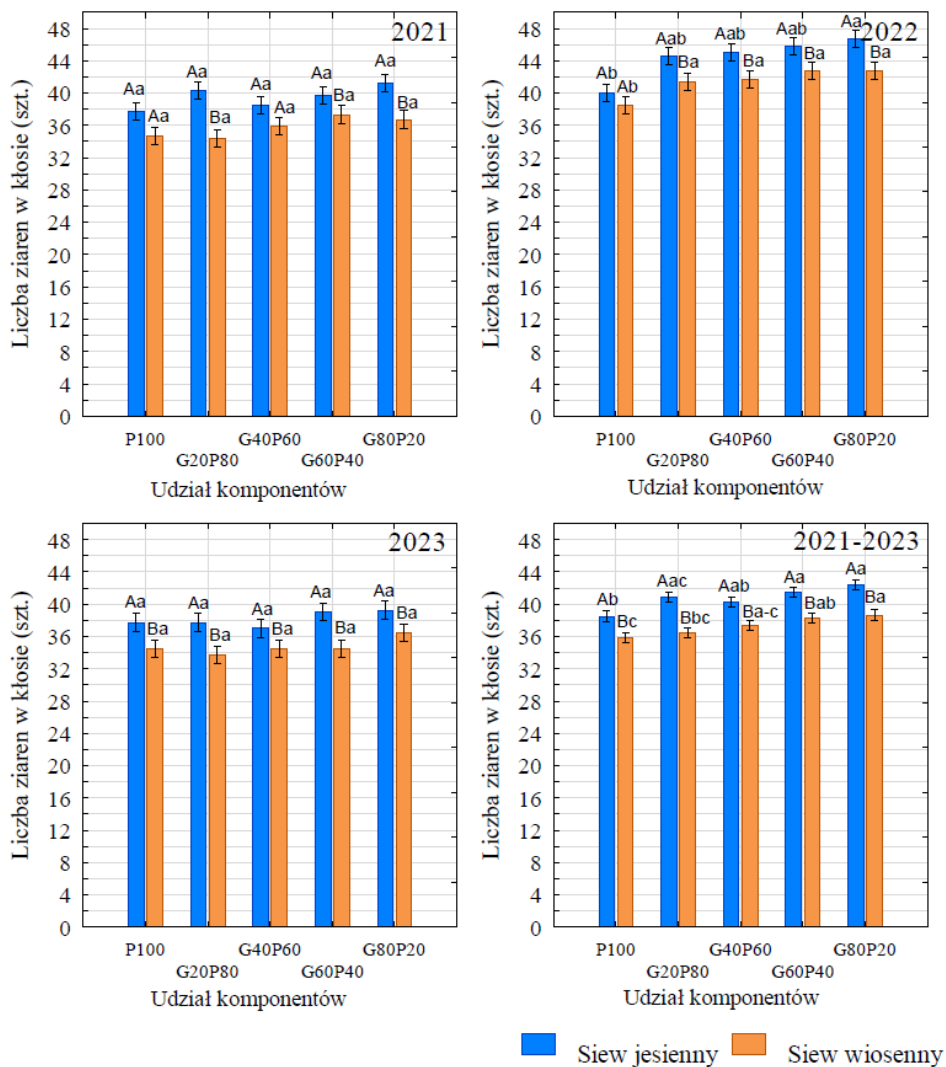
W 2021 roku udział komponentów nie miał istotnego wpływu na liczbę ziaren w kłosie pszenicy w żadnym z terminów siewu (Rys. 11). Pszenica z mieszanek zimujących z 20, 60 i 80% udziałem grochu miała istotnie wyższą liczbę ziaren od tych samych mieszanek wysiewanych wiosną. Pozostałe kombinacje nie różniły się od siebie pod względem liczby ziaren w kłosie.

W 2022 roku liczba ziaren w kłosie pszenicy była istotnie wyższa w przypadku mieszanek wysiewanych jesienią w porównaniu do wysiewanych wiosną, natomiast nie zaobserwowano takiej zależności w czystym siewie pszenicy. W jesiennym terminie siewu wystąpiły istotne różnice w liczbie ziaren w kłosie jedynie pomiędzy pszenicą z siewu czystego, a pszenicą z mieszanki z 80% udziałem grochu. W przypadku zasiewów jarych, istotnych różnic nie wykazano pomiędzy mieszankami, natomiast liczba ziaren w kłosach pszenicy

uprawianej w mieszankach była istotnie wyższa w porównaniu do pszenicy z siewu czystego.

W 2023 roku liczba ziaren w kłosie była modyfikowana tylko pod wpływem terminu siewu. Pszenica ozima w mieszankach i siewie czystym miała więcej ziaren w kłosie niż pszenica jara. Udział komponentów w tym roku nie miał istotnego wpływu na tę cechę.

Średnio w latach 2021-2023 istotnie wyższą liczbą ziaren w kłosie cechowały się kombinacje wysiewane jesienią w porównaniu do wiosennych. W jesiennym terminie siewu istotne różnice pomiędzy poszczególnymi kombinacjami wystąpiły tylko pomiędzy czystym siewem pszenicy a pszenicą wysiewaną w mieszankach z 60 i 80% udziałem grochu. W przypadku wiosennego terminu siewu, pszenica z mieszanek z 40, 60 i 80 % udziałem grochu zawierała podobną liczbę ziaren. Pszenica z siewu czystego wytworzyła istotnie mniej ziaren w kłosie niż w mieszance G80P20, jednak nie różniła się w sposób istotny pod tym względem od pszenicy z mieszanek z 20 i 40% udziałem grochu.



Rys. 11. Liczba ziaren w kłosie pszenicy w siewie czystym i mieszankach z grochem w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają \pm SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

5.1.5. Liczba nasion w strąku

Liczba nasion w strąku grochu uprawianego w siewie czystym i mieszankach ze zbożami była zależna od terminu siewu, gatunku zboża w mieszance i roku uprawy (Tab. 14). Nie stwierdzono istotnego wpływu udziału

komponentów w mieszance na liczbę nasion w strąku. Wiosenny termin siewu, niezależnie od pozostałych czynników powodował wyższą liczbę nasion w strąku grochu. Udział pszenicy w mieszance sprzyjał wyższej liczbie nasion w strąku. W ciągu pierwszych dwóch lat badań liczba nasion w strąku była taka sama, a w 2023 roku wartość tej cechy była istotnie niższa. Niewielkie wartości odchylenia standardowego i współczynnika zmienności wskazują na stabilność tej cechy w stosunku do stosowanych czynników doświadczalnych.

Tab. 14. Liczba nasion w strąku grochu w mieszankach i siewach jednogatunkowych w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	szt.
Termin siewu (T)	Wiosenny	4,0 ^a
	Jesienny	3,9 ^b
F_{obl}, p 5,51*		
Gatunek zboża w mieszance (G)	Jęczmień	3,9 ^b
	Pszenica	4,0 ^a
F_{obl}, p 4,94*		
Udział komponentów (U)	G20Z80	4,0
	G40Z60	4,0
	G60Z40	3,9
	G80Z20	3,9
	G100	4,0
F_{obl}, p 0,047^{ns}		
Lata (L)	2021	4,0 ^a
	2022	4,0 ^a
	2023	3,9 ^b
F_{obl}, p 19,64***		
Interakcje: TxG^{ns}; TxU^{ns}; TxL***; GxU^{ns}; TxU^{ns}; TxGxU^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		4,0
SD		0,2
WZ, %		5,25

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; a, b, c – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

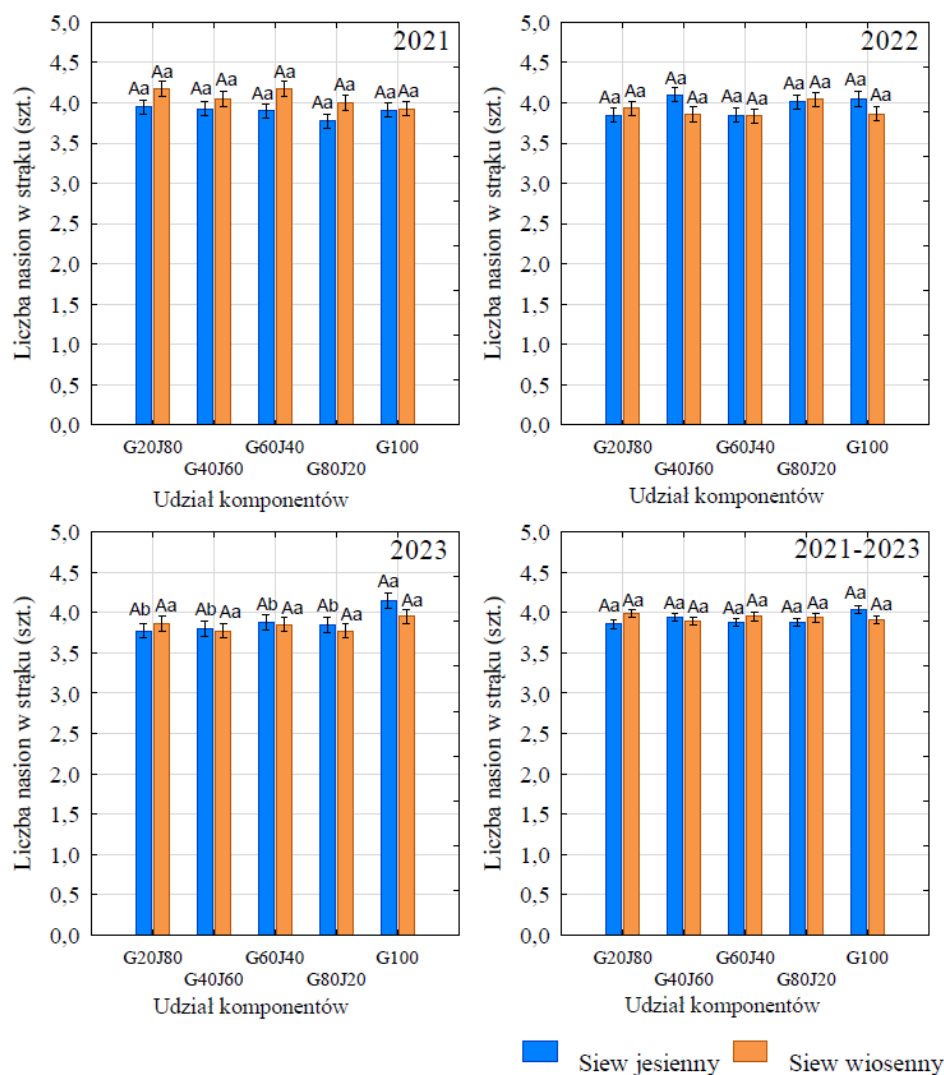
Liczba nasion w strąku grochu w uprawie jednogatunkowej i mieszance z jęczmieniem była zależna jedynie od roku uprawy (Tab. 15). Liczba nasion w strąku w 2021 była istotnie wyższa niż w 2023 roku, a wartość tej cechy w drugim roku badań nie różniła się w sposób istotny od wartości w pozostałych latach. Pozostałe czynniki doświadczenia nie miały wpływu na tę cechę.

Tab. 15. Liczba nasion w strąkach grochu w siewie czystym i mieszankach z udziałem jęczmienia w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	szt.
Termin siewu (T)	Wiosenny	3,9
	Jesienny	3,9
F_{obl}, p 0,36^{ns}		
Udział komponentów (U)	G20J80	3,9
	G40J60	3,9
	G60J40	3,9
	G80J20	3,9
	G100	4,0
F_{obl}, p 0,54^{ns}		
Lata (L)	2021	4,0 ^a
	2022	3,9 ^{ab}
	2023	3,9 ^b
F_{obl}, p 4,0*		
Interakcje: TxU^{ns}; TxL^{**}; UxL*		
	Opis statystyczny	
Średnia		3,9
SD		0,2
WZ, %		4,98

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

W poszczególnych latach badań a także średnio w trzyleciu, czynniki doświadczalne nie miały wpływu na liczbę nasion w strąku grochu, z wyjątkiem 2023 roku (Rys. 12). W ramach jesiennego terminu siewu, groch w siewie czystym wytworzył istotnie większą liczbę nasion w strąku niż rośliny w mieszankach z jęczmieniem.



Rys. 12. Liczba nasion w strąku grochu w siewie czystym i mieszankach z jęczmieniem w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

Liczba nasion w strąkach grochu uprawianego w siewie czystym i mieszankach z pszenicą nie była zależna od udziału komponentów i terminu siewu obiektów (Tab. 16). Istotny wpływ na tą cechę miał jedynie rok uprawy.

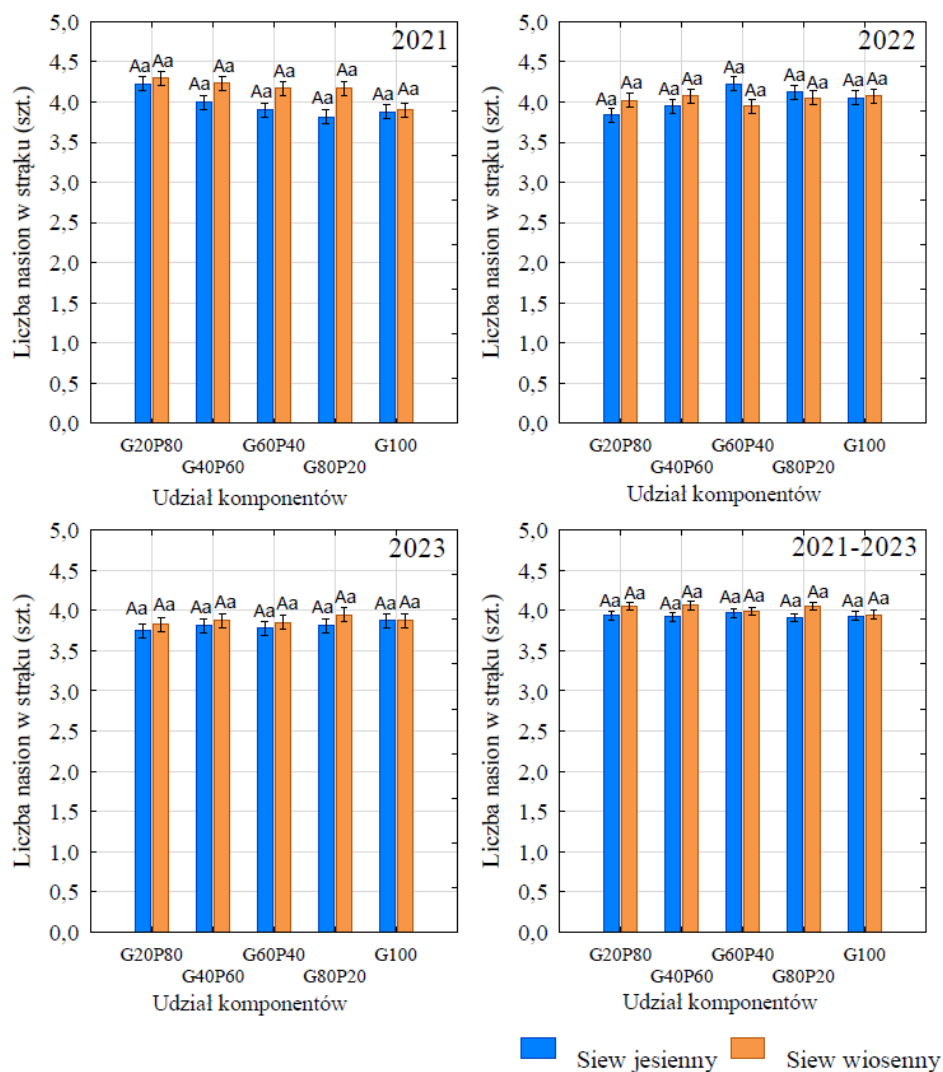
W 2023 roku, strąki grochu zawierały istotnie mniej nasion niż w pozostałych latach doświadczeń.

Tab. 16. Liczba nasion w strąku grochu w siewie czystym i mieszankach z udziałem pszenicy w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	szt.
Termin siewu (T)	Wiosenny	4,0
	Jesienny	3,9
F_{obl}, p 0,72^{ns}		
Udział komponentów (U)	G20P80	4,0
	G40P60	4,0
	G60P40	4,0
	G80P20	4,0
	G100	3,9
F_{obl}, p 0,37^{ns}		
Lata (L)	2021	4,0 ^a
	2022	4,0 ^a
	2023	3,8 ^b
F_{obl}, p 18,85^{***}		
Interakcje: TxUns; TxL*; UxL**		
	Opis statystyczny	
Średnia		4,0
SD		0,2
WZ, %		5,45

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego różnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

W poszczególnych latach badań nie ujawniono istotnego wpływu terminu siewu i udziału komponentów na liczbę nasion w strąku grochu w siewie czystym i mieszankach z pszenicą (Rys. 13).



Rys. 13. Liczba nasion w strąku grochu w siewie czystym i mieszankach z pszenicą w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

5.1.6. Masa tysiąca ziaren zbóż

W latach 2021-2023 MTZ zbóż była zależna od wszystkich czynników badawczych i różniła się także w poszczególnych latach badań (Tab. 17). Średnia MTZ w jesiennym terminie siewu była wyższa o około 10% od MTZ zbóż wysiewanych wiosną. Jęczmień odznaczał się istotnie wyższą MTZ niż pszenica.

Zboża rosnące w mieszankach z grochem cechowała istotnie wyższa MTZ niż z siewów jednogatunkowych. Najniższą wartość badanej cechy odnotowano w pierwszym roku badań, a w ostatnim roku badań była ona większa.

Tab. 17. Masa tysiąca ziaren zbóż (g) w siewie czystym i mieszankach z grochem w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	g
Termin siewu (T)	Wiosenny (zboża jare)	45,55 ^b
	Jesienny (zboża ozime)	50,72 ^a
F_{obl, p} 537,87***		
Gatunek zboża w mieszance (G)	Jęczmień	53,42 ^a
	Pszenica	42,85 ^b
F_{obl, p} 2244,40***		
Udział komponentów (U)	Z100	46,50 ^b
	G20Z80	48,25 ^a
	G40Z60	48,38 ^a
	G60Z40	48,39 ^a
	G80Z20	49,17 ^a
F_{obl, p} 15,63***		
Lata (L)	2021	45,88 ^c
	2022	48,69 ^b
	2023	49,84 ^a
F_{obl, p} 111,23***		
Interakcje: TxG***; TxU***; TxL***; GxU^{ns}; TxU***; TxGxU^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		48,14
SD		7,05
WZ, %		14,64

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; a, b, c – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

MTZ jęczmienia była zależna od terminu siewu, udziału komponentów i roku uprawy (Tab. 18). Jęczmień ozimy uprawiany pojedynczo i w mieszankach z grochem odznaczał się istotnie wyższą MTZ niż jęczmień jary. Jęczmień w siewie czystym miał istotnie niższą MTZ niż jęczmień z mieszanek z 40, 60 i 80% udziałem grochu. MTZ jęczmienia wysiewanego w mieszance z 20% udziałem grochu nie różniła się statystycznie od MTZ jęczmienia z innych kombinacji. W 2022 i 2023 roku MTZ jęczmienia była istotnie wyższa niż w 2021 roku.

Tab. 18. Masa tysiąca ziaren jęczmienia (g) w siewie czystym i mieszankach z udziałem grochu w latach 2021-2023

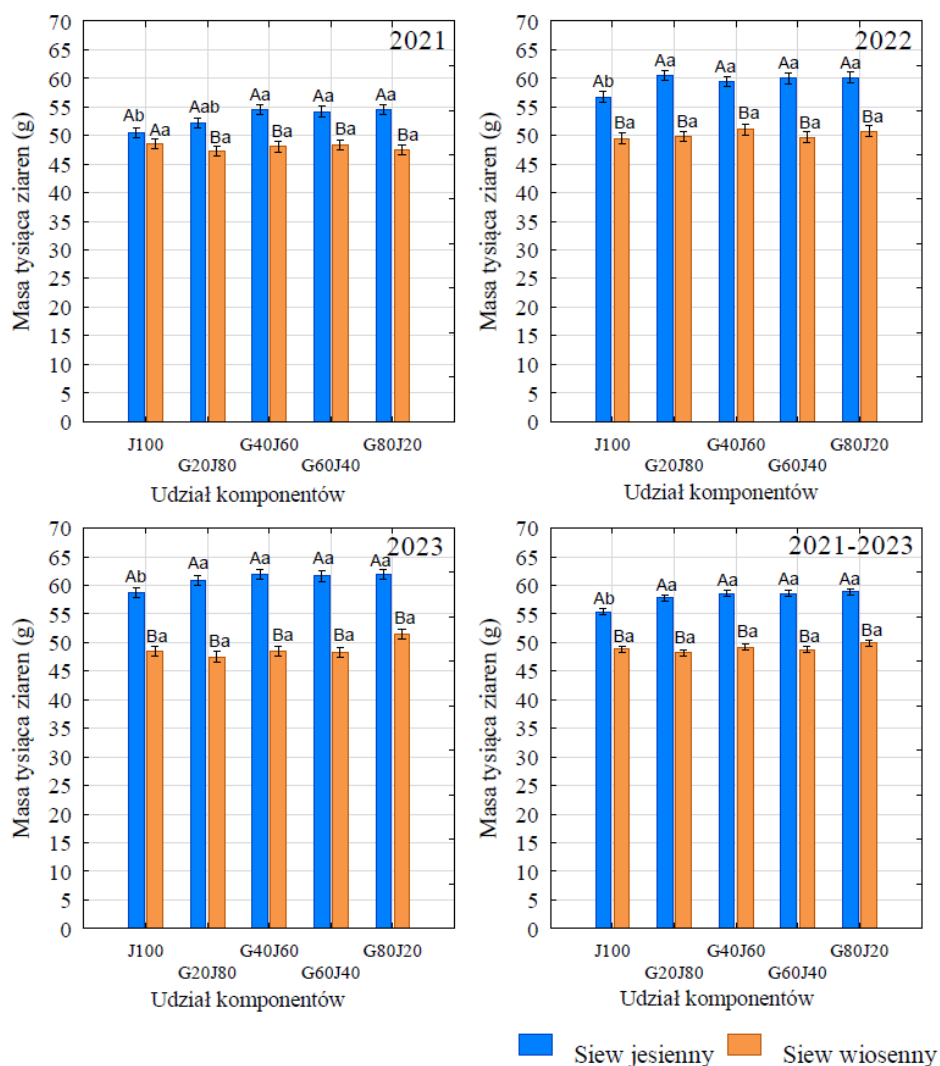
Czynnik	Poziom czynnika	g
Termin siewu (T)	Wiosenny (jęczmień jary)	48,99 ^b
	Jesienny (jęczmień ozimy)	57,84 ^a
F_{obl, p} 727,60***		
Udział komponentów (U)	J100	52,08 ^b
	G20J80	53,3 ^{ab}
	G40J60	53,70 ^a
	G60J40	53,90 ^a
	G80J20	54,39 ^a
F_{obl, p} 5,93***		
Lata (L)	2021	50,56 ^b
	2022	54,78 ^a
	2023	54,92 ^a
F_{obl, p} 75,87***		
Interakcje: TxU**; TxL***; UxL^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		53,42
SD		5,45
WZ, %		10,20

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego różnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

W 2021 roku termin siewu miał istotny wpływ na MTZ jęczmienia w mieszankach z grochem (Rys. 14). Nie miał on jednak istotnego znaczenia w przypadku jęczmienia w siewie czystym. W mieszankach MTZ jęczmienia była wyższa w przypadku siewu jesiennego. W tym terminie siewu jęczmień z mieszanek z 40, 60 i 80% udziałem grochu miał wyższą MTZ od jęczmienia z siewu czystego. Jęczmień uprawiany w mieszance z 20% udziałem grochu nie różnił się pod względem MTZ od jęczmienia z pozostałych mieszanek i siewu czystego. W wiosennym terminie siewu udział komponentów nie miał istotnego wpływu na MTZ jęczmienia.

W 2022 roku jęczmień ozimy w każdej z kombinacji odznaczał się istotnie wyższą MTZ od jęczmienia jarego. Jęczmień ozimy w mieszankach miał wyższą MTZ od jęczmienia w siewie czystym, natomiast w mieszankach z jęczmieniem jarym udział komponentów nie miał istotnego wpływu na tą cechę.

Podobne zależności jak w 2022 roku wystąpiły także w ostatnim roku badań i całym badanym trzyleciu.



Rys. 14. Masa tysiąca ziaren jęczmienia (g) w siewie czystym i mieszankach z grochem w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

MTZ pszenicy w latach 2021-2023 była zależna od terminu siewu, udziału komponentów i lat badań (Tab. 19). Pszenica ozima miała istotnie większą MTZ od pszenicy jarej. Pszenica uprawiana w mieszankach z grochem cechowała się większą MTZ, od pszenicy w siewie czystym. W 2021 roku pszenica miała najniższą MTZ w trakcie badań a najwyższą w 2023 roku.

Tab. 19. Masa tysiąca ziaren pszenicy (g) w siewie czystym i mieszankach z udziałem grochu w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	g
Termin siewu (T)	Wiosenny (pszenica jara)	42,1 ^b
	Jesienny (pszenica ozima)	43,60 ^a
F_{obl, p} 24,41***		
Udział komponentów (U)	P100	40,92 ^b
	G20P80	43,46 ^a
	G40P60	42,86 ^a
	G60P40	43,08 ^a
	G80P20	43,95 ^a
F_{obl, p} 11,80***		
Lata (L)	2021	41,20 ^c
	2022	42,59 ^b
	2023	44,77 ^a
F_{obl, p} 47,22***		
Interakcje: TxU^{ns}; TxL***; UxL^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		42,85
SD		3,71
WZ, %		8,67

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

W 2021 roku zależność MTZ od terminu siewu/formy notowano jedynie w przypadku siewu czystego pszenicy, w którym ziarna pszenicy jarej miały istotnie wyższą MTZ niż ziarna pszenicy ozimej (Rys. 15). W zasiewach jesiennych ziarna pszenicy uprawianej w mieszance z 20% udziałem grochu miały istotnie większą MTZ od pszenicy uprawianej w siewie czystym. Pozostałe mieszanki nie różniły się pod względem tej cechy od pszenicy z siewu czystego i mieszanki z 20% udziałem grochu. W zasiewach wiosennych udział komponentów nie miał istotnego wpływu na MTZ pszenicy.

W 2022 roku MTZ pszenicy była zależna od terminu siewu w przypadku siewu czystego i mieszanki z 60% udziałem grochu. W żadnym z terminów siewu udział komponentów nie miał znaczącego wpływu na opisywaną cechę.

W 2023 roku zaznaczyły się bardzo duże różnice w MTZ pszenicy w zależności od terminu siewu na korzyść zasiewów ozimych. Wartości MTZ pszenicy z mieszanek zimujących z 60 i 80% udziałem grochu były istotnie wyższe niż pszenicy w czystym siewie, a pszenica z mieszanek z 20 i 40% udziałem grochu nie różniły się pod względem tej cechy od pozostałych kombinacji. W zasiewach wiosennych nie obserwowano różnic w MTZ pszenicy pod wpływem udziału komponentów.

Bardzo duża różnica w MTZ pomiędzy terminami siewu w 2023 roku wpłynęła znacząco na średnie tej wartości w badanym trzyleciu, w którym

wykazano interakcję pomiędzy czynnikami badawczymi w kształtowaniu tej cechy. W przypadku siewu czystego i mieszanki z 20% udziałem grochu, termin siewu nie miał istotnego wpływu na MTZ pszenicy, z kolei w pozostałych mieszankach pszenica ozima uzyskała wyższe średnie wartości tej cechy od pszenicy jarej. W ramach jesiennego terminu siewu największą MTZ odznaczała się pszenica w mieszankach z grochem a mniejszą w siewie czystym. Pszenica jara z mieszanki z 20% udziałem grochu miała istotnie większą MTZ niż pszenica w siewie czystym, a pszenica z pozostałych mieszanek nie różniła się pod względem tej cechy od wcześniejszych dwóch kombinacji doświadczalnych.

wysiewanego jesienią. Udział pszenicy w mieszance determinował większą MTN grochu w porównaniu do mieszanek z jęczmieniem. Największą średnią MTN grochu uzyskano w 2021 roku a najniższą w 2023 roku.

Tab. 20. Masa tysiąca nasion grochu (g) w mieszankach i siewach jednogatunkowych w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	g
Termin siewu (T)	Wiosenny	203,34 ^a
	Jesienny	189,97 ^b
F_{obl, p} 248,69***		
Gatunek zboża w mieszance (G)	Jęczmień	193,02 ^b
	Pszenica	200,30 ^a
F_{obl, p} 77,93***		
Udział komponentów (U)	G20Z80	197,54
	G40Z60	195,03
	G60Z40	196,10
	G80Z20	197,06
	G100	197,54
F_{obl, p} 1,22^{ns}		
Lata (L)	2021	210,09 ^a
	2022	200,18 ^b
	2023	179,70 ^c
F_{obl, p} 412,97***		
Interakcje: TxG^{ns}; TxU[*]; TxL^{***}; GxU^{ns}; TxGxU^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		196,66
SD		17,26
WZ, %		8,78

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

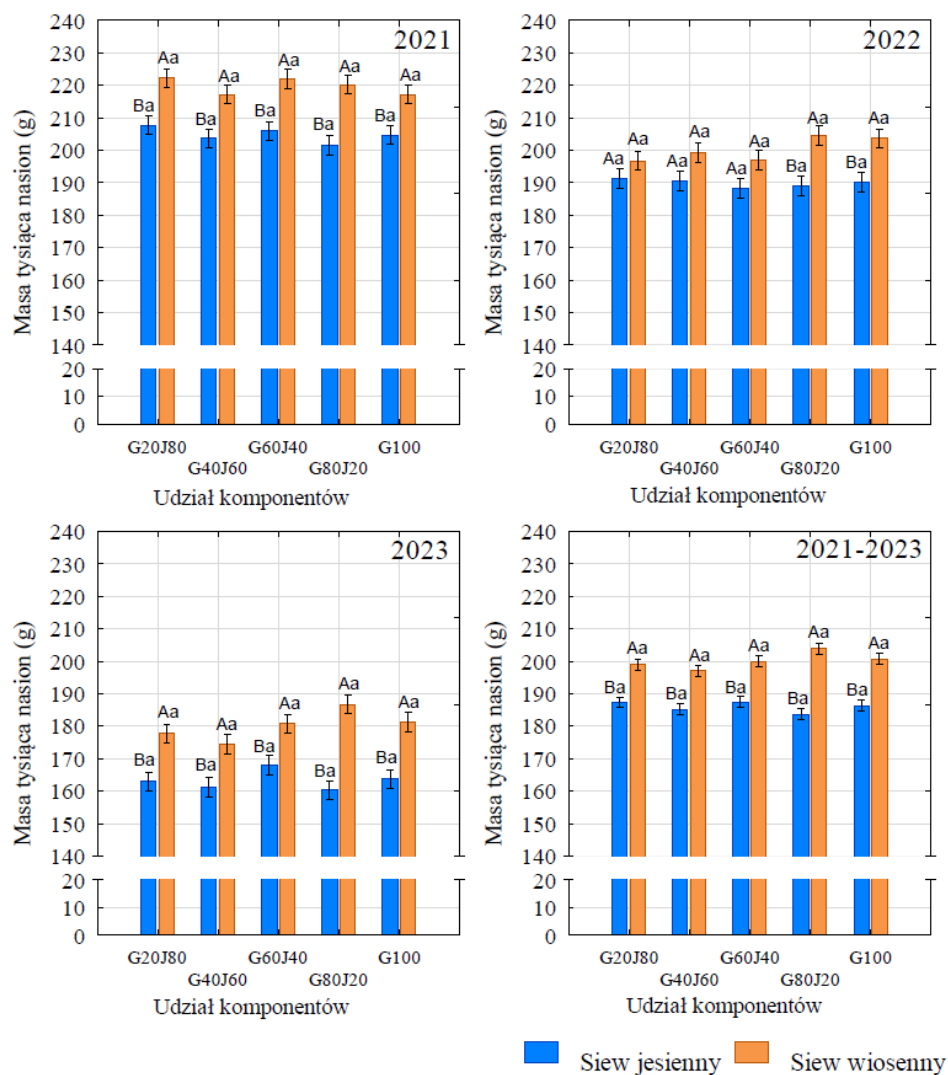
MTN grochu uprawianego w siewie czystym i w mieszankach z jęczmieniem była istotnie zależna od terminu siewu oraz roku uprawy (Tab. 21). Udział komponentów nie miał istotnego wpływu na MTN grochu. Groch z siewu wiosennego miał istotnie wyższą masę tysiąca nasion od grochu wysiewanego jesienią. W 2021 roku groch osiągał najwyższe wartości MTN, a w 2023 roku były one najniższe.

Tab. 21. Masa tysiąca nasion grochu (g) w siewie czystym i mieszankach z udziałem jęczmienia w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	g
Termin siewu (T)	Wiosenny	200,08 ^a
	Jesienny	185,95 ^b
F_{obl, p} 176,08***		
Udział komponentów (U)	G20J80	193,13
	G40J60	191,08
	G60J40	193,67
	G80J20	193,71
	G100	193,50
F_{obl, p} 0,86^{ns}		
Lata (L)	2021	212,28 ^a
	2022	195,05 ^b
	2023	171,73 ^c
F_{obl, p} 486,79***		
Interakcje: TxU^{ns}; TxL*; UxL^{ns}		
	Opis statystyczny	
Średnia		193,02
SD		19,08
WZ, %		9,88

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego różnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

W żadnym z lat badań MTN grochu nie była zależna od udziału komponentów (Rys. 16). Termin siewu miał istotny wpływ na MTN w 2021, w 2023 i całym trzyleciu we wszystkich kombinacjach doświadczenia, a w 2022 roku ujawnił się w mieszance jęczmienia z 80% udziałem grochu i siewie czystym. We wszystkich tych przypadkach MTN grochu była wyższa w siewach wiosennych w porównaniu do siewów jesiennych.



Rys. 16. Masa tysięcy nasion grochu (g) w siewie czystym i mieszankach z jęczmieniem w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

Wyniki analizy wariancji wykazały istotny wpływ terminu siewu i lat badań na MTN grochu z siewu czystego i mieszanek z pszenicą (Tab. 22). Udział grochu w mieszance nie miał istotnego znaczenia w kontekście wartości badanej cechy. Nasiona grochu w siewie wiosennym cechowały się istotnie wyższą MTN

niż nasiona grochu z siewu jesiennego. W 2021 i 2022 roku MTN była podobna, a w 2023 roku wartość tej cechy była istotnie niższa.

Tab. 22. Masa tysiąca nasion grochu (g) w siewie czystym i mieszankach z udziałem pszenicy w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	g
Termin siewu (T)	Wiosenny	206,60 ^a
	Jesienny	193,99 ^b
F_{obl, p} 81,94***		
Udział komponentów (U)	G20P80	201,96
	G40P60	198,98
	G60P40	198,54
	G80P20	200,42
	G100	201,58
F_{obl, p} 0,95^{ns}		
Lata (L)	2021	207,91 ^a
	2022	205,30 ^a
	2023	187,68 ^b
F_{obl, p} 83,27***		
Interakcje: TxU^{ns}; TxL***; UxL^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		200,30
SD		14,40
WZ, %		7,19

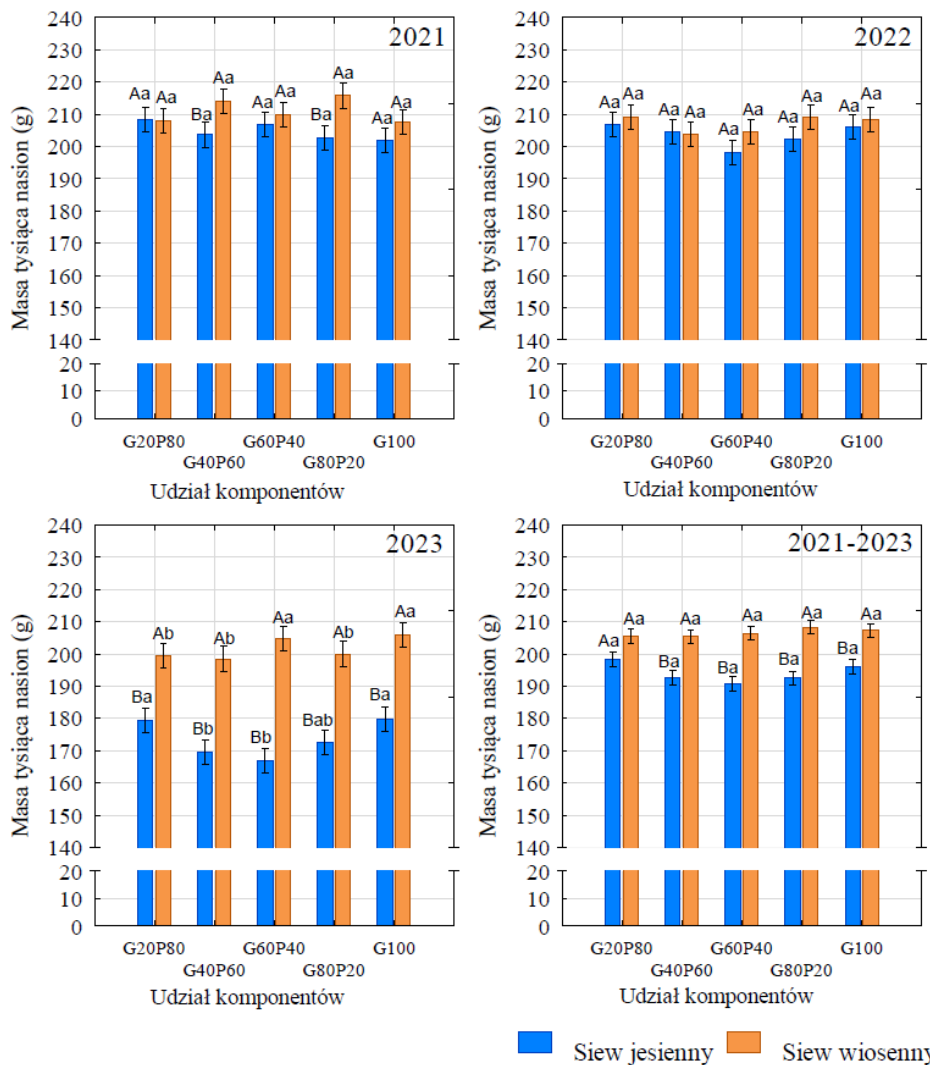
***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

W 2021 roku MTN grochu nie była zależna od udziału komponentów mieszanki, a istotny wpływ terminu siewu uwidocznił się tylko w przypadku grochu pochodzącego z mieszanki o 40 i 80% udziale grochu, gdzie wyższą MTN osiągały nasiona grochu z wiosennego terminu siewu (Rys. 17).

W 2022 roku nie stwierdzono wpływu badanych czynników na MTN grochu.

W 2023 roku wiosenny termin siewu umożliwił uzyskanie istotnie wyższej MTN grochu niż siew jesienny we wszystkich mieszankach i siewie czystym. Wpływ udziału komponentów na MTN potwierdzono w jesiennym terminie siewu. Nasiona grochu z siewu czystego oraz mieszanek z 20 % udziałem grochu miały wyższą MTN niż mieszanka z 40 i 60% udziałem grochu. Mieszanka z 80% udziałem grochu nie różniła się w sposób istotny pod względem MTN grochu od pozostałych kombinacji w tym terminie siewu.

Syntetyczne ujęcie wyników trzyletnich badań wykazało istotny wpływ terminu siewu na MTN grochu w czystym siewie oraz mieszankach z 40, 60 i 80% udziałem grochu. Groch wysiewany wiosną w tych kombinacjach cechował się istotnie wyższą MTN od grochu wysiewanego jesienią. Wpływu udziału komponentów mieszanki na tę cechę nie potwierdzono statystycznie.



Rys. 17. Masa tysiąca nasion grochu (g) w siewie czystym i mieszankach z pszenicą w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, ^{a, b, c} – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; ^{A, B} – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

5.2. PLON

5.2.1. Plon ogólny

Przeprowadzone analizy statystyczne potwierdziły, że niezależnie od gatunku rośliny zbożowej plon był zależny od ilościowego udziału komponentów i terminu siewu (Tab. 23). Gatunek nie miał istotnego znaczenia statystycznego, jakkolwiek występowała istotna interakcja wszystkich badanych czynników kształtowaniu plonu.

Tab. 23. Plon mieszanek i siewów czystych ($t \cdot ha^{-1}$) w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	$t \cdot ha^{-1}$	WZ (%)
Termin siewu (T)	Wiosenny	5,47 ^b	28,98
	Jesienny	6,39 ^a	22,80
F_{obl}, p 86,06***			
Gatunek zboża w mieszance (G)	Jęczmień	6,39	25,61
	Pszenica	5,74	27,95
F_{obl}, p 0,047^{ns}			
Udział komponentów (U)	Z100	7,17 ^a	21,38
	G20Z80	6,74 ^{ab}	20,74
	G40Z60	6,42 ^b	19,08
	G60Z40	5,89 ^{bc}	19,33
	G80Z20	5,05 ^{cd}	21,49
	G100	4,30 ^d	24,33
F_{obl}, p 81,14***			
Lata (L)	2021	5,82 ^b	
	2022	6,47 ^a	
	2023	5,50 ^b	
F_{obl}, p 33,40***			
Interakcje: TxG***; TxU^{ns}; TxL***; GxU^{ns}; TxU^{ns}; TxGxU***			
Opis statystyczny			
Średnia		5,93	
SD		1,59	
WZ, %		26,77	

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego różnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

Plon mieszanek grochu z jęczmieniem i zasiewów czystych w badanych latach był zależny od udziału komponentów, lecz nie różnicował jej termin siewu (Tab. 24). Plon ogólny mieszanek zmniejszał się wraz ze zwiększaniem się udziału grochu w mieszance. Uzyskiwane średnie plony były statystycznie takie same w 2021 i 2023, w których były one istotnie niższe niż w 2022 roku.

Tab. 24. Plon grochu, jęczmienia i mieszanek z ich udziałem ($t \cdot ha^{-1}$) w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	$t \cdot ha^{-1}$	WZ (%)
Termin siewu (T)	Wiosenny	5,90	28,09
	Jesienny	5,93	21,71
F_{obl, p} 0,032^{ns}			
Udział komponentów (U)	J100	7,14 ^a	20,18
	G20J80	6,71 ^{ab}	18,29
	G40J60	6,40 ^b	17,10
	G60J40	5,91 ^{bc}	17,01
	G80J20	5,12 ^{cd}	16,71
	G100	4,24 ^d	25,62
F_{obl, p} 31,62^{***}			
Lata (L)	2021	5,62 ^b	
	2022	6,54 ^a	
	2023	5,60 ^b	
F_{obl, p} 15,68^{***}			
Interakcje: TxU^{**}; TxL^{***}; UxL^{ns}			
Opis statystyczny			
Średnia		5,92	
SD		1,52	
WZ, %		25,61	

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

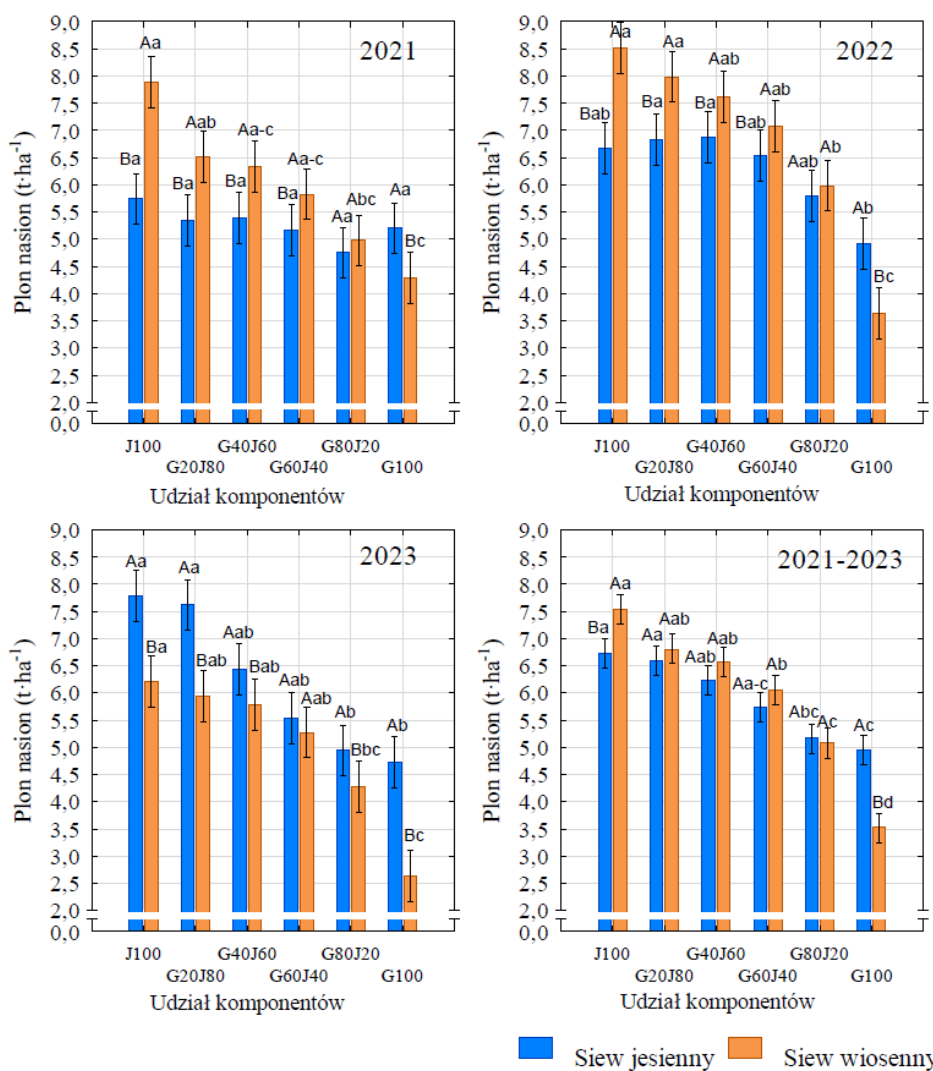
W 2021 roku wystąpiła istotna interakcja pomiędzy terminem siewu i udziałem komponentów w mieszankach w odniesieniu do plonu nasion. Siew jesienny mieszanek z jęczmieniem powodował wyższe plony w porównaniu do siewu jesiennego w przypadku siewu czystego jęczmienia i mieszanek z 20,40 i 60% udziałem grochu podczas gdy w czystym siewie grochu stwierdzono odwrotną zależność (Rys. 18). W przypadku mieszanki z 80% udziałem grochu różnica pomiędzy plonami z siewu wiosennego i jesiennego była nieistotna ze statystycznego punktu widzenia. Udział komponentów w jesiennych zasiewach nie miał istotnego wpływu na plon, natomiast różnice te występowały w siewach wiosennych, w których jęczmień jary wydał istotnie wyższy plon niż groch i mieszanka z 80% jego udziałem. Między poszczególnymi mieszankami jarymi nie obserwowano istotnych różnic statystycznych w plonowaniu.

W 2022 roku czysty zasiew jęczmienia ponownie wykazał wyższe plony przy siewie wiosennym, podobnie jak mieszanki z 20, 40 i 60% udziałem grochu. Plony grochu uprawianego bez roślin towarzyszących były wyraźnie wyższe przy siewie jesiennym w porównaniu do wiosennego co jest wynikiem interakcji badanych czynników. W jesiennym terminie siewu plony jęczmienia i mieszanek nie różniły się w sposób istotny, natomiast były wyższe od plonów grochu. W zasiewach wiosennych także groch wydał niższy plon od jęczmienia i mieszanek z jego udziałem. Jęczmień jary nie różnił się pod względem

plonowania od mieszanek z 20,40 i 60% udziałem grochu, natomiast mieszanka z 80% udziałem tej rośliny plonowała istotnie niżej od jęczmienia jarego i mieszanki z 20% udziałem grochu.

Wyniki plonowania z 2023 roku różniły się statystycznie w zależności od udziału komponentów i terminu siewu mieszanki. Stwierdzono również interakcję tych czynników w kształtowaniu plonu. Czysty zasiew jęczmienia osiągnął wyższy plon przy siewie jesiennym w porównaniu do siewu wiosennego. Jest to odwrotna tendencja w porównaniu do lat poprzednich, gdzie siew wiosenny był bardziej efektywny. Również mieszanki osiągnęły wyższe plony przy siewie jesiennym, z wyjątkiem kombinacji z 60% udziałem grochu. Czysty zasiew grochu osiągnął wyraźnie wyższe plony przy siewie jesiennym w porównaniu do wiosennego. Jęczmień ozimy i mieszanka z 20% udziałem grochu wydały istotnie wyższe plony od grochu w siewie czystym i mieszanki z 80% jego udziałem. Plon mieszanek z 40 i 60% udziałem grochu nie różnił się w sposób istotny od pozostałych kombinacji.

Średnie plony z trzylecia 2021-2023 były zależne od terminu siewu jedynie w przypadku jednogatunkowych zasiewów jęczmienia i grochu. Średnio w latach badań czysty zasiew jęczmienia osiągnął wyższe średnie plony przy siewie wiosennym o 12% w porównaniu do siewu jesiennego, lecz występowały znaczne wahania plonowania w trakcie lat badań. Czysty zasiew grochu plonował wyżej o 40% siewie jesiennym w porównaniu do wiosennego zachowując stabilność plonowania w czasie prowadzenia badań.



Rys. 18. Plon grochu, jęczmienia i mieszanek z ich udziałem ($t \cdot ha^{-1}$) w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają \pm SD, ^{a, b, c} – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; ^{A, B} – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

Termin siewu i udział komponentów w mieszankach z pszenicą w latach 2021-2023 istotnie wpływały na plon nasion (Tab. 25). Plony mieszanek uzyskanych z siewów jesiennych były najczęściej istotnie większe od uzyskanych w warunkach siewów wiosennych, a plon mieszanek malał wraz ze wzrostem udziału grochu w mieszance w porównaniu do siewu czystego pszenicy. Uzyskiwane plony różniły się istotnie w poszczególnych latach.

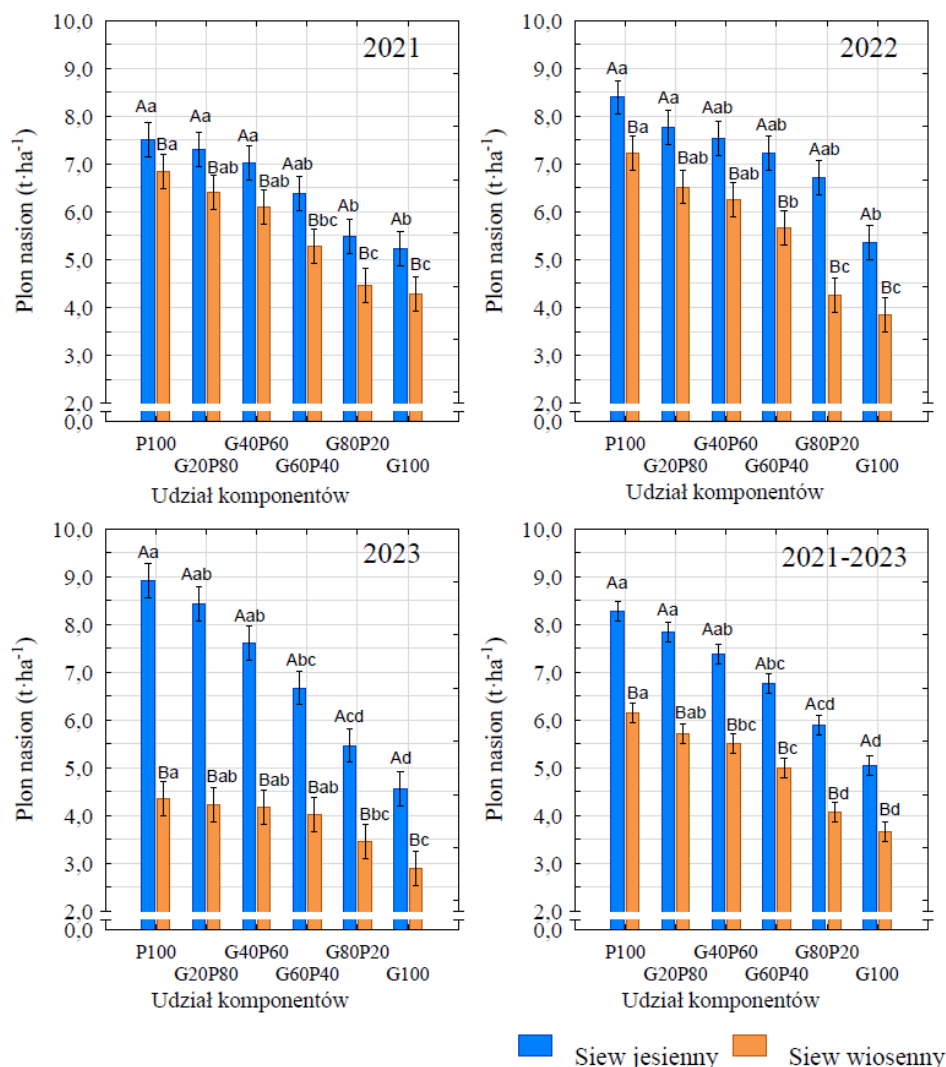
Tab. 25. Plon pszenicy, grochu i mieszanek z ich udziałem ($t \cdot ha^{-1}$) w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	$t \cdot ha^{-1}$	WZ (%)
Termin siewu (T)	Wiosenny	5,02 ^b	26,43
	Jesienny	6,87 ^a	20,89
F_{obl, p} 241,7***			
Udział komponentów (U)	P100	7,21 ^a	22,52
	G20P80	6,78 ^{ab}	22,64
	G40P60	6,44 ^{bc}	20,64
	G60P80	5,87 ^c	21,24
	G80P20	4,98 ^d	25,40
	G100	4,36 ^c	22,81
F_{obl, p} 56,2***			
Lata (L)	2021	6,02 ^b	
	2022	6,39 ^a	
	2023	5,40 ^c	
F_{obl, p} 23,6***			
Interakcje: TxU^{ns}; TxL^{***}; UxL^{ns}			
Opis statystyczny			
Średnia		5,94	
SD		1,66	
WZ, %		27,9	

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego różnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

W 2021 roku wykazano istotny wpływ terminu siewu na plonowanie grochu i jego mieszanek z pszenicą (Rys. 19). Niezależnie od składu mieszanki, wysiew jesienny umożliwił uzyskanie istotnie wyższych plonów niż siew wiosenny. W ramach jesiennego terminu siewu pszenica w czystym siewie i mieszanki z 20 i 40% udziałem grochu, wydały istotnie wyższe plony niż groch wysiewany jesienią i mieszanka z 80% jego udziałem. W przypadku wiosennego terminu siewu plon pszenicy jarej w czystym siewie był istotnie wyższy niż plon mieszanek z 60 i 80% udziałem grochu i grochu w czystym siewie.

Podobnie w 2022 roku wykazano istotny wpływ udziału komponentów oraz terminu siewu na plon nasion. Siew jesienny sprzyjał wyższym plonom zarówno dla czystego zasiewu pszenicy i grochu, jak i dla mieszanek pszenicy z grochem. W przypadku zasiewów jesiennych, pszenica oraz mieszanka z 20% udziałem grochu plonowały istotnie wyżej niż groch uprawiany w siewie czystym. Pszenica jara wydała wyższy plon od mieszanek z 60 i 80% udziałem grochu oraz z siewu czystego grochu.



Rys. 19. Plon pszenicy, grochu i mieszanek z ich udziałem ($t \cdot ha^{-1}$) w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają \pm SD, ^{a, b, c} – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; ^{A, B} – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

Plony nasion w 2023 r. były zależne zarówno od udziału komponentów, jak i terminu siewu. Plony wszystkich kombinacji wysiewanych jesienią były wyraźnie wyższe w porównaniu do siewu wiosennego. W jesiennym terminie siewu pszenica oraz mieszanki z 20, 40 i 60% udziałem grochu wydawały wyższy plon niż czysty zasiew grochu, a mieszanka z 80% udziałem grochu nie

różniła się pod względem plonowania od mieszanki z 60% udziałem grochu i zasiewu jednogatunkowego grochu. W przypadku siewu wiosennego udział grochu w mieszance nie wpływał istotnie na plon a pszenica jara plonowała wyżej niż groch jary i jego mieszanka z 80% udziałem.

W okresie trzech lat wykazano wyraźną przewagę siewu jesiennego mieszanek grochu z pszenicą nad siewem wiosennym, w zakresie uzyskiwanych plonów, niezależnie od udziału komponentów w mieszankach. Czyste zasiewy komponentów mieszanek także plonowały wyżej w jesiennym terminie siewu. Pszenica ozima oraz mieszanki z 20 i 40% udziałem grochu wydawały wyższe plony niż mieszanka z 80% udziałem grochu i groch w jednogatunkowym siewie, której plon nie różnił się statystycznie od mieszanki z 60% udziałem grochu. Pszenica jara i mieszanka z 20% udziałem grochu plonowały istotnie wyżej od mieszanek z 60 i 80% udziałem grochu i jego czystego siewu.

5.2.2. Udział grochu w plonie mieszanek

W trakcie trzyletnich badań udział grochu w plonie mieszanek był zależny od udziału komponentów w wysiewanej mieszance, terminu siewu i gatunku rośliny zbożowej (Tab. 26). Udział grochu w plonie wykazywał także zmienność w latach uprawy. Wyższy udział grochu w mieszance prowadził do wyższego udziału grochu w plonie, a relacja udziału grochu w wysiewanym materiale do udziału w plonie była podobna w mieszankach z 20, 40 i 60% grochu i wynosiła około 1:0,40, natomiast w przypadku mieszanki z 80% udziałem grochu nastąpił wzrost omawianej relacji do 1:0,45. Największy udział grochu w plonie uzyskano w 2021 roku, a istotnie niższe w 2022 i 2023 roku. Siew wiosenny sprzyjał większemu udziałowi grochu w plonie w porównaniu do siewu jesiennego, a w mieszankach z pszenicą stwierdzono wyższy średni udział grochu niż w mieszankach z jęczmieniem.

Tab. 26. Udział grochu w plonie mieszanek (% wag.) w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	% wagowy
Termin siewu (T)	Wiosenny	21,93 ^a
	Jesienny	19,89 ^b
F_{obl, p} 12,08***		
Gatunek zboża w mieszance (G)	Jęczmień	19,94 ^b
	Pszenica	21,88 ^a
F_{obl, p} 11,03***		
Udział komponentów (U)	G20Z80	7,92 ^d
	G40Z60	15,88 ^c
	G60Z40	23,97 ^b
	G80Z20	35,86 ^a
F_{obl, p} 414,67***		
Lata (L)	2021	32,24 ^a
	2022	17,44 ^b
	2023	13,04 ^b
F_{obl, p} 339,09***		
Interakcje: TxG^{ns}; TxU***; TxL***; GxU^{ns}; TxU***; TxGxU^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		20,91
SD		14,79
WZ, %		70,75

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego różnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

Udział grochu w plonie mieszanek z jęczmieniem był zależny od terminu siewu, udziału grochu i roku uprawy (Tab. 27). Mieszanki wysiewane wiosną charakteryzowały się wyższym udziałem grochu niż mieszanki wysiewane jesienią. Wraz ze zwiększaniem udziału grochu w wysiewanej mieszance, zwiększał się jego udział w plonie. W 2021 roku średni udział grochu w plonie mieszanek był ponad dwukrotnie wyższy niż w kolejnych dwóch latach.

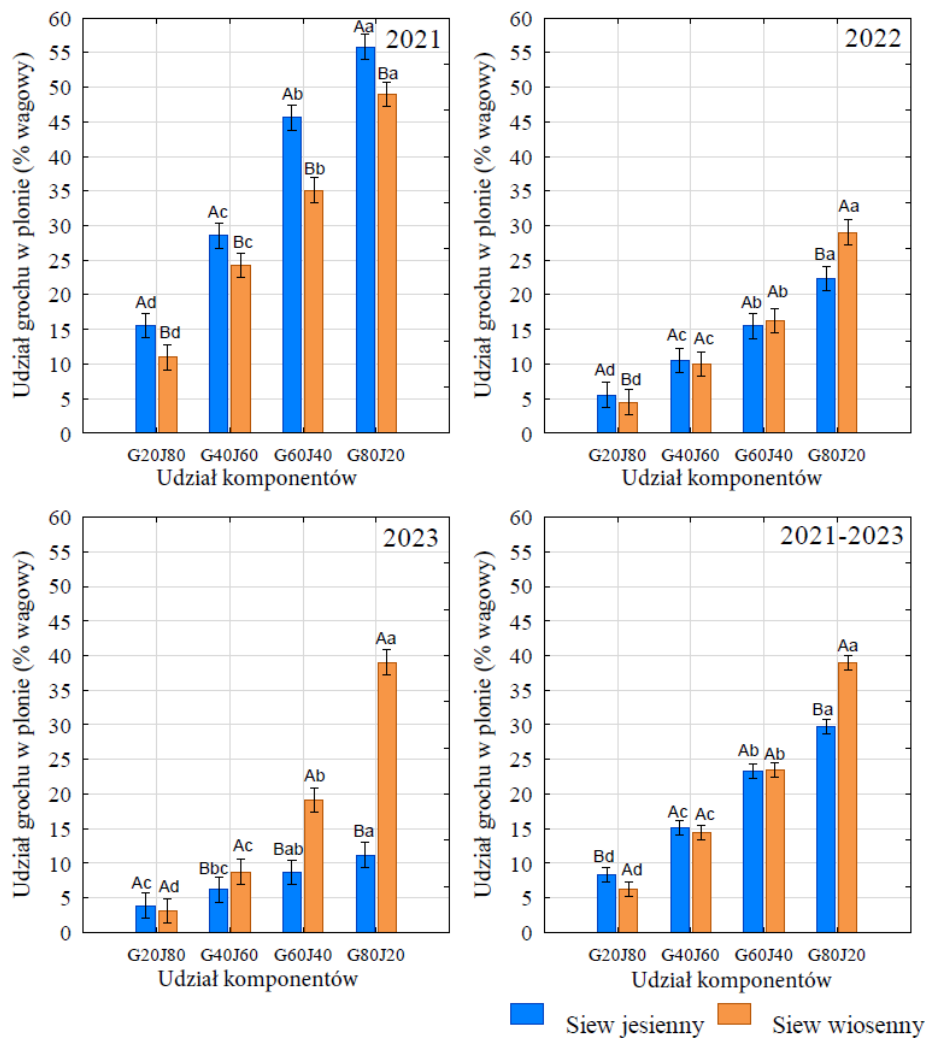
Tab. 27. Udział grochu w plonie mieszanek z jęczmieniem (% wag.) w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	% wagowy
Termin siewu (T)	Wiosenny	20,75 ^a
	Jesienny	19,12 ^b
F_{obl, p} 4,97***		
Udział komponentów (U)	G20J80	7,25 ^d
	G40J60	14,72 ^c
	G60J40	23,39 ^b
	G80J20	34,39 ^a
F_{obl, p} 252,02***		
Lata (L)	2021	33,12 ^a
	2022	14,20 ^b
	2023	12,49 ^b
F_{obl, p} 322,97***		
Interakcje: TxU***; TxL***; UxL***		
Opis statystyczny		
Średnia		19,94
SD		15,39
WZ, %		77,22

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

W każdym roku badań udział grochu w zebranych plonie mieszanek z jęczmieniem był zależny od udziału komponentów mieszanek i terminu siewu (Rys. 20). Wystąpiła także interakcja badanych czynników. W 2021 roku mieszanek wysiewanych jesienią charakteryzowały się wyższym udziałem grochu w plonie niż mieszanek wysiewanych wiosną. Relacja udziału grochu w wysiewanym materiale do udziału w zebranych plonie była zbliżona w poszczególnych mieszanekach w danym terminie siewu i wynosiła średnio 1:0,74 dla mieszanek wysiewanych jesienią i 1:0,59 dla mieszanek wysiewanych wiosną.

W 2022 roku średni udział grochu w plonie mieszanek wysiewanych wiosną był wyższy jedynie w przypadku mieszanek z 80% udziałem grochu. Termin siewu nie miał wpływu na udział grochu w mieszanekach z 40 i 60% jego udziałem, a w mieszanekach z 20% udziałem grochu termin jesienny powodował wyższy jego udział w plonie. Udział grochu w plonie rósł wraz ze zwiększaniem jego udziału w materiale siewnym, utrzymując relację około 1:0,25 dla wszystkich mieszanek z wyjątkiem wysiewanej wiosną z najwyższym udziałem grochu w wysiewanym materiale, gdzie relacja udziału grochu w wysiewanym materiale do udziału grochu w plonie była większa.



Rys. 20. Udział grochu w plonie mieszanek z jęczmieniem (% wag.) w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

W 2023 roku wzrost udziału grochu w plonie w mieszanekach wysiewanych jesienią był słabszy niż w przypadku mieszanek wysiewanych wiosną. Zaobserwowano dużą dysproporcję pomiędzy tymi samymi mieszankami z 60 i 80% udziałem grochu wysiewanymi wiosną i jesienią, na korzyść wiosennych zasiewów. Udział grochu w plonie mieszanek wysiewanych jesienią był najniższy spośród wszystkich lat badań. Termin siewu różnicował udział grochu w plonie w przypadku mieszanek z 40,60 i 80% udziałem, gdzie korzystniejszy

był wiosenny termin siewu. W przypadku mieszanek wysiewanych jesienią, najwyższy udział grochu w plonie uzyskano w mieszance z 80% udziałem grochu, a najniższy w mieszance z 20% udziałem grochu. Mieszanka z 40% udziałem grochu nie różniła się istotnie pod względem tej cechy zarówno od mieszanki z 20 jak i 60% udziałem grochu. Z kolei mieszanka z 60% udziałem grochu nie różniła się statystycznie ze względu na udział grochu w plonie od mieszanek z 40 i 80% udziałem.

W latach 2021-2023 istotny wpływ terminu siewu uwidocznił się w przypadku mieszanek jęczmienia z 20 i 80% udziałem grochu. Jesienny termin siewu mieszanki z 20% udziałem grochu wpływał istotnie na wyższy udział grochu w plonie, z kolei w przypadku mieszanki z 80% udziałem grochu korzystniejszy był wiosenny termin siewu. W przypadku każdego z terminu siewów istotnie na udział grochu w plonie mieszanki wpływał udział komponentów. Wraz ze zwiększaniem udziału grochu w wysiewanym materiale wzrastał jego udział w plonie, jednak nie w sposób proporcjonalny do udziału w materiale siewnym.

Udział grochu w plonie mieszanek z pszenicą w latach 2021-2023 był zależny od terminu siewu, udziału grochu w mieszance, a także różnił się w latach badań (Tab. 28). Siew wiosenny był korzystniejszy pod względem udziału grochu w plonie w porównaniu do siewu jesiennego. Udział grochu w plonie mieszanek wzrastał wraz ze zwiększaniem jego udziału w materiale siewnym, utrzymując stosunek około 1:0,42 w mieszankach z 20, 40 i 60% udziałem w czasie wysiewu, a w przypadku mieszanki z 80% udziałem grochu, relacja udziału w materiale siewnym do udziału w plonie wynosiła 1:0,46. W 2021 roku udział grochu w plonie był najwyższy a najniższy w 2023 roku.

Tab. 28. Udział grochu w plonie mieszanek z pszenicą (% wag.) w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	% wagowy
Termin siewu (T)	Wiosenny	23,10 ^a
	Jesienny	20,66 ^b
F_{obl, p} 7,12**		
Udział komponentów (U)	G20P80	8,59 ^d
	G40P60	17,05 ^c
	G60P40	24,56 ^b
	G80P20	37,32 ^a
F_{obl, p} 178,69***		
Lata (L)	2021	31,37 ^a
	2022	20,68 ^b
	2023	13,59 ^c
F_{obl, p} 128,35***		
Interakcje: TxU***; TxL***; UxL***		
Opis statystyczny		
Średnia		21,88
SD		14,18
Współczynnik zmienności, WZ, %		64,81

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ns – brak istotnego działania czynnika; a, b, c – ta sama litera oznacza brak istotnego różnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

Udział grochu w plonie mieszanek z pszenicą był zależny od jego udziału w wysiewanym materiale we wszystkich latach badań (Rys. 21). W 2021 roku udział grochu w zbieranym plonie, niezależnie od składu mieszanki siewnej był najwyższy spośród wszystkich lat badań. Termin siewu w tym roku nie różnicował w sposób istotny udziału grochu w plonie mieszanek. W wiosennym terminie siewu najwyższy udział grochu w plonie uzyskano w mieszance z 80% udziałem grochu, a mniejsze w obiektach z 60 i 40% udziałem grochu, które nie różniły się od siebie w sposób istotny. Mieszanka z 20% udziałem grochu w wysiewanym materiale cechowała się najniższym udziałem grochu w plonie. W mieszankach wysiewanych jesienią udział grochu w plonie wzrastał istotnie wraz z każdym zwiększeniem udziału grochu w wysiewanym materiale.

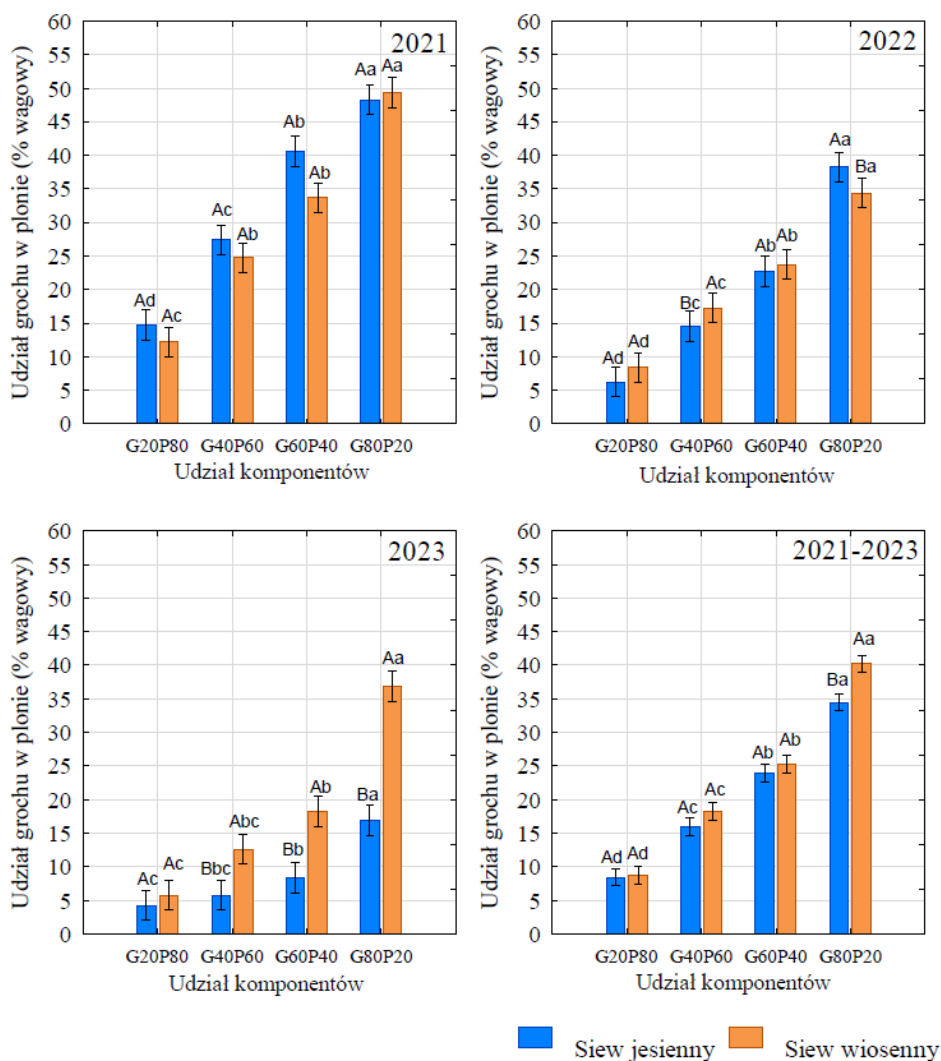
W 2022 roku termin siewu mieszanek miał istotny wpływ na udział grochu w mieszankach z 40 i 80% udziałem grochu. W przypadku mieszanki z 40% udziałem grochu termin wiosenny skutkował większym udziałem grochu w plonie, a w mieszance z 80% udziałem grochu to termin jesienny był korzystniejszy. Udział grochu w wysiewanym materiale w sposób istotny różnicował udział grochu w plonie w obu terminach siewu w podobny sposób, gdzie jego udział wzrastał wraz z każdym zwiększeniem udziału grochu w wysiewanym materiale.

W 2023 udział grochu w plonie był zależny od terminu siewu w przypadku mieszanek z 40, 60 i 80% udziałem grochu. Wiosenny termin siewu skutkował około dwukrotnie większym udziałem grochu w plonie niż w przypadku

jesiennego terminu siewu poszczególnych mieszanek poza mieszanką z 20% udziałem grochu w materiale siewnym. Udział komponentów w wysiewanym materiale miał istotny wpływ na udział grochu w plonie w obu terminach siewu. W wiosennym terminie siewu najwyższy udział grochu w plonie uzyskano w mieszance z 80% udziałem grochu. Mieszanka z 60% udziałem grochu nie różniła się w sposób istotny od mieszanki z 40% udziałem grochu pod względem udziału grochu w plonie. Najniższy udział grochu w plonie uzyskano w mieszance z 20% grochu, w której nie różnił się on pod względem statystycznym od mieszanki z 40% udziałem grochu. Takie same zależności pomiędzy mieszankami występowały w jesiennym terminie siewu.

Średnio w latach 2021-2023 termin siewu różnicował udział grochu w plonie mieszanek z pszenicą jedynie w przypadku mieszanek z 80% udziałem grochu, gdzie to wiosenny termin siewu powodował wyższy udział grochu w zbieranym materiale. Zależności pomiędzy mieszankami w obu terminach siewu były takie same. Udział grochu w plonie wzrastał wraz ze zwiększaniem jego udziału w materiale siewnym, uwidaczniając istotne różnice pomiędzy wszystkimi poziomami czynnika.

W każdym roku badań niezależnie od terminu siewu udział grochu w plonie wzrastał wraz ze zwiększeniem jego udziału w wysiewanym materiale. Proporcjonalnie przyrosty te były największe w 2021 w mieszankach wysiewanych wiosną, a najmniejsze w 2023 roku w mieszankach wysiewanych jesienią.



Rys. 21. Udział grochu w plonie mieszanek z pszenicą (% wag.) w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

5.3. ZAWARTOŚĆ I PLON BIAŁKA

5.3.1. Zawartość białka w nasionach grochu

Zawartość białka w nasionach grochu z mieszanek i siewu czystego była zależna od terminu siewu i gatunku zboża w mieszance (Tab. 29). Uzyskiwane wartości różniły się także w latach badań. Jesienny termin siewu sprzyjał

uzyskiwaniu wyższej zawartości białka w nasionach grochu. W mieszankach z jęczmieniem groch uzyskiwał wyższą zawartość białka niż w mieszankach z pszenicą. Udział grochu w mieszance nie miał istotnego wpływu na zawartość białka w nasionach tego gatunku. W 2023 roku zawartość białka w nasionach grochu była istotnie wyższa niż w pozostałych dwóch latach.

Tab. 29. Zawartość białka w nasionach grochu z plonu mieszanek (%) w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	%
Termin siewu (T)	Wiosenny	22,47 ^b
	Jesienny	23,39 ^a
F_{obl}, p 34,39***		
Gatunek zboża w mieszance (G)	Jęczmień	23,09 ^a
	Pszenica	22,77 ^b
F_{obl}, p 4,11*		
Udział komponentów (U)	G20Z80	22,69
	G40Z60	22,77
	G60Z40	22,82
	G80Z20	23,06
	G100	23,33
F_{obl}, p 2,18^{ns}		
Lata (L)	2021	22,26 ^b
	2022	22,12 ^b
	2023	24,42 ^a
F_{obl}, p 89,13***		
Interakcje: TxG^{ns}; TxU^{ns}; TxL^{ns}; GxU^{ns}; TxU^{ns}; TxGxU^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		22,93
SD		1,74
WZ, %		7,60

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

Zawartość białka w nasionach grochu uprawianego w mieszankach z jęczmieniem była zależna w sposób istotny od terminu wysiewu (Tab. 30). Wyższą zawartość białka notowano przy jesiennym terminie wysiewu. Udział grochu w mieszance nie wpływał istotnie na zawartość białka w nasionach grochu, a jego zawartość w grochu z siewu czystego nie różniła się od zawartości w grochu pochodzącego z mieszanek. Zawartość białka w nasionach grochu była taka sama średnio w 2021 i 2022 roku, a w ostatnim roku badań była ona istotnie wyższa niż w poprzednich latach badań.

Tab. 30. Zawartość białka w nasionach grochu w plonie mieszanek z jęczmieniem (%) w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	%
Termin siewu (T)	Wiosenny	22,56 ^b
	Jesienny	23,62 ^a
F_{obl, p} 25,32***		
Udział komponentów (U)	G20J80	22,94
	G40J60	23,29
	G60J40	22,88
	G80J20	22,96
	G100	23,40
F_{obl, p} 1,02^{ns}		
Lata (L)	2021	22,46 ^b
	2022	22,41 ^b
	2023	24,41 ^a
F_{obl, p} 39,50***		
Interakcje: TxU^{ns}; TxL^{ns}; UxL^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		23,09
SD		1,62
WZ, %		7,02

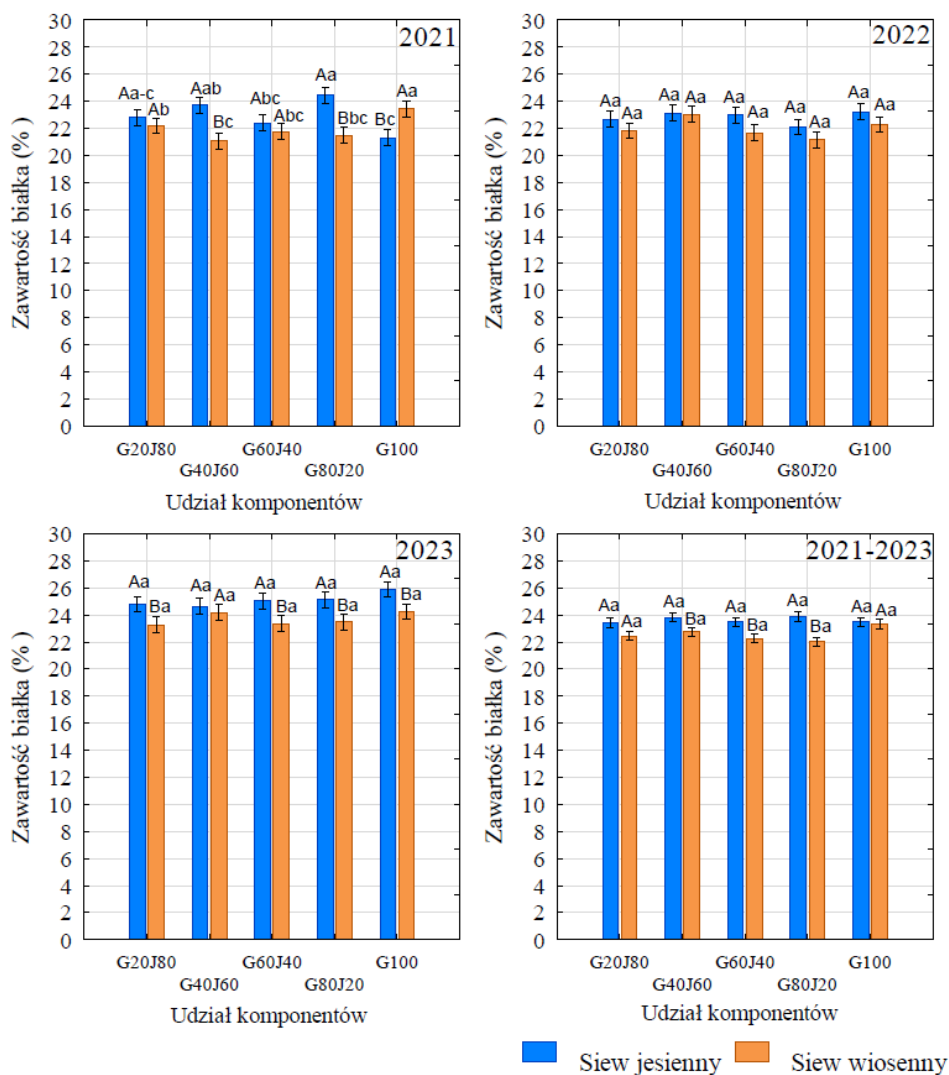
***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

W 2021 roku średnia zawartość białka w nasionach grochu pochodzącego z mieszanek z jęczmieniem była zależna zarówno od terminu siewu jak i udziału komponentów w mieszance (Rys. 22). Wiosenny termin siewu skutkował wyższą niż w warunkach siewu jesiennego zawartością białka jedynie w przypadku grochu w czystym siewie. W mieszankach z 40 i 80% udziałem grochu wyższą zawartość białka osiągnęto w warunkach jesiennego terminu siewu. W przypadku jesiennego terminu siewu najwyższą zawartością białka cechował się groch z mieszanki z 80% jego udziałem, a najniższą zawartością białka w nasionach odznaczał się groch z siewu czystego. Groch w pozostałych mieszankach uzyskiwał zawartość białka pomiędzy wartościami skrajnymi.

W 2022 roku żaden z badanych czynników nie miał istotnego wpływu na zawartość białka w nasionach grochu.

W 2023 jesienny termin siewu skutkował wyższą zawartością białka w mieszankach z 20, 60 i 80% udziałem grochu oraz w zasiewie czystym. Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy mieszankami w żadnym z terminów siewu.

Dla średniej z lat badań korzystniejszy pod względem zawartości białka w nasionach grochu był jesienny termin siewu w mieszankach z 40, 60 i 80% udziałem grochu, natomiast udział komponentów w mieszance nie różnicował tej cechy w żadnym z terminów siewu.



Rys. 22. Zawartość białka w nasionach grochu w plonie mieszanek z jęczmieniem (%) w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

Zawartość białka w nasionach grochu w plonie mieszanek z pszenicą była zależna od terminu wysiewu mieszanki (Tab. 31). Wyższą zawartością białka charakteryzowały się nasiona grochu wysiewanego jesienią. Zawartość białka w nasionach grochu nie różniła się w sposób istotny w poszczególnych

mieszańkach z pszenicą i czystej uprawie grochu. Badana cecha była zmienna w latach i w 2023 roku przyjmowała wyższe wartości niż w 2021 i 2022 roku.

Tab. 31. Zawartość białka w nasionach grochu w plonie mieszanek z pszenicą (%) w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	%
Termin siewu (T)	Wiosenny	22,37 ^b
	Jesienny	23,17 ^a
F_{obl, p} 25,32***		
Udział komponentów (U)	G20P80	22,44
	G40P60	23,24
	G60P40	22,77
	G80P20	23,15
	G100	23,26
F_{obl, p} 1,02^{ns}		
Lata (L)	2021	22,05 ^b
	2022	22,84 ^b
	2023	24,43 ^a
F_{obl, p} 39,50***		
Interakcje: TxU^{ns}; TxL^{ns}; UxL^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		22,77
SD		1,85
WZ, %		8,11

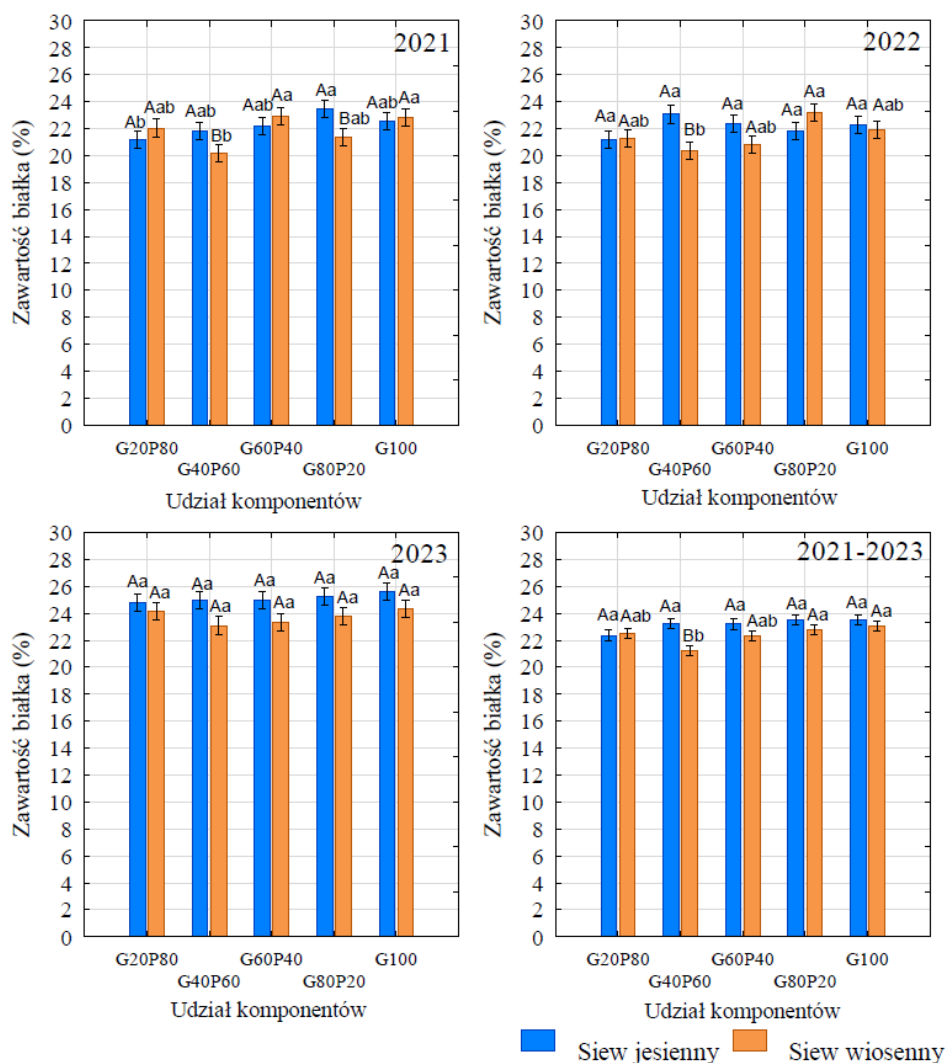
***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

W 2021 zawartość białka w nasionach grochu była istotnie zależna od terminu siewu tylko w przypadku mieszanek z 40 i 80% udziałem grochu, w którym jesienny termin siewu umożliwił uzyskanie wyższej zawartości białka w porównaniu do wiosennego terminu siewu. W pozostałych kombinacjach czynnik ten nie miał wpływu na tę cechę (Rys. 23). W przypadku zasiewów jesiennych zawartość białka grochu pochodzącego z mieszanki z 80% jego udziałem był istotnie wyższy od zawartości w grochu w mieszance z 20% udziałem. Mieszanka jara z 60% udziałem grochu i czysty zasiew tego gatunku powodowały istotnie wyższą zawartość białka w nasionach grochu niż w mieszance z 40% udziałem tego gatunku.

W 2022 roku termin siewu wpływał istotnie na zawartość białka w grochu w mieszance z 40% jego udziałem, w której była ona wyższa w nasionach z siewu jesiennego niż z siewu wiosennego. W pozostałych mieszańkach nie stwierdzono wpływu terminu siewu na tę cechę. Ponadto w zasiewach jesiennych udział komponentów nie wpływał istotnie na zawartość białka w nasionach grochu a w zasiewach wiosennych stwierdzono taki wpływ. Groch z mieszanki z 80% jego udziałem cechował się istotnie wyższą zawartością białka niż w mieszance z 40% udziałem.

W 2023 roku zawartość białka w nasionach grochu nie była różnicowana w sposób istotny przez żaden z czynników.

Średnio w latach 2021-2023 jesienny termin wysiewu powodował istotnie wyższą zawartość białka jedynie w nasionach grochu mieszanki o 40% udziale grochu. Zawartość białka w nasionach grochu była zależna od jego udziału w mieszance tylko w przypadku siewu wiosennego, w którym groch w mieszance z 40% jego udziałem charakteryzował się istotnie niższą zawartością białka w nasionach niż w mieszance 80% udziałem grochu i siewie czystym, a w pozostałych mieszankach nie różnił się istotnie pod względem tej cechy.



Rys. 23. Zawartość białka w nasionach grochu w plonie mieszanek z pszenicą (%) w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

5.3.2. Zawartość białka w ziarnach zbóż

Zawartość białka w ziarnach zbóż pochodzących z siewu czystego i mieszanek z grochem była zależna w sposób istotny od terminu siewu, gatunku zboża, udziału grochu w mieszance i roku uprawy (Tab. 32). Ziarna z obiektów wysiewanych wiosną charakteryzowało się wyższą zawartością białka niż

z siewów jesiennych. Istotnie wyższą zawartość białka gromadziła w ziarnach pszenica w porównaniu z jęczmieniem. Ziarna z czystych siewów zbóż miały najniższą zawartość białka, a wartość tej cechy rosła wraz ze zwiększaniem udziału grochu w mieszance.

Tab. 32. Zawartość białka w ziarnach zbóż z mieszanek i siewów czystych (%) w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	%
Termin siewu (T)	Wiosenny	12,58 ^a
	Jesienny	12,42 ^b
F_{obl, p} 5,01*		
Gatunek zboża w mieszance (G)	Jęczmień	11,78 ^b
	Pszenica	13,22 ^a
F_{obl, p} 22,66***		
Udział komponentów (U)	Z100	10,47 ^e
	G20Z80	12,18 ^d
	G40Z60	12,73 ^c
	G60Z40	13,19 ^b
	G80Z20	13,94 ^a
F_{obl, p} 248,00***		
Lata (L)	2021	12,37 ^b
	2022	11,96 ^c
	2023	13,17 ^a
F_{obl, p} 248,00***		
Interakcje: TxG***; TxU***; TxL***; GxU*; TxU***; TxGxU***		
Opis statystyczny		
Średnia		12,50
SD		1,92
WZ, %		15,35

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ns – brak istotnego działania czynnika; a, b, c – ta sama litera oznacza brak istotnego różnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

Wykazano istotny wpływ wszystkich badanych czynników na zawartość białka w ziarnach jęczmienia z siewu czystego i mieszanek z grochem (Tab. 33). Cecha ta zależała także od roku uprawy. Wyższe zawartości białka uzyskały ziarna w siewach jesiennych, a w mieszankach jego zawartość rosła wraz ze zwiększaniem udziału grochu. Ziarna z siewu czystego charakteryzowały się najniższymi zawartościami białka. W 2023 roku ziarna cechowały się najwyższymi zawartościami białka, a najniższe wartości zanotowano w 2022 roku.

Tab. 33. Zawartość białka w ziarnach jęczmienia z mieszanek i siewu czystego (%) w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	%
Termin siewu (T)	Wiosenny (jęczmień jary)	11,07 ^b
	Jesienny (jęczmień ozimy)	12,49 ^a
F_{obl, p} 162,91***		
Udział komponentów (U)	J100	9,25 ^c
	G20J80	11,45 ^d
	G40J60	12,11 ^c
	G60J40	12,63 ^b
	G80J20	13,46 ^a
F_{obl, p} 146,02***		
Lata (L)	2021	11,47 ^b
	2022	11,12 ^c
	2023	12,75 ^a
F_{obl, p} 78,82***		
Interakcje: TxU***; TxL***; UxL*		
Opis statystyczny		
Średnia		11,78
SD		2,0
WZ, %		16,95

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

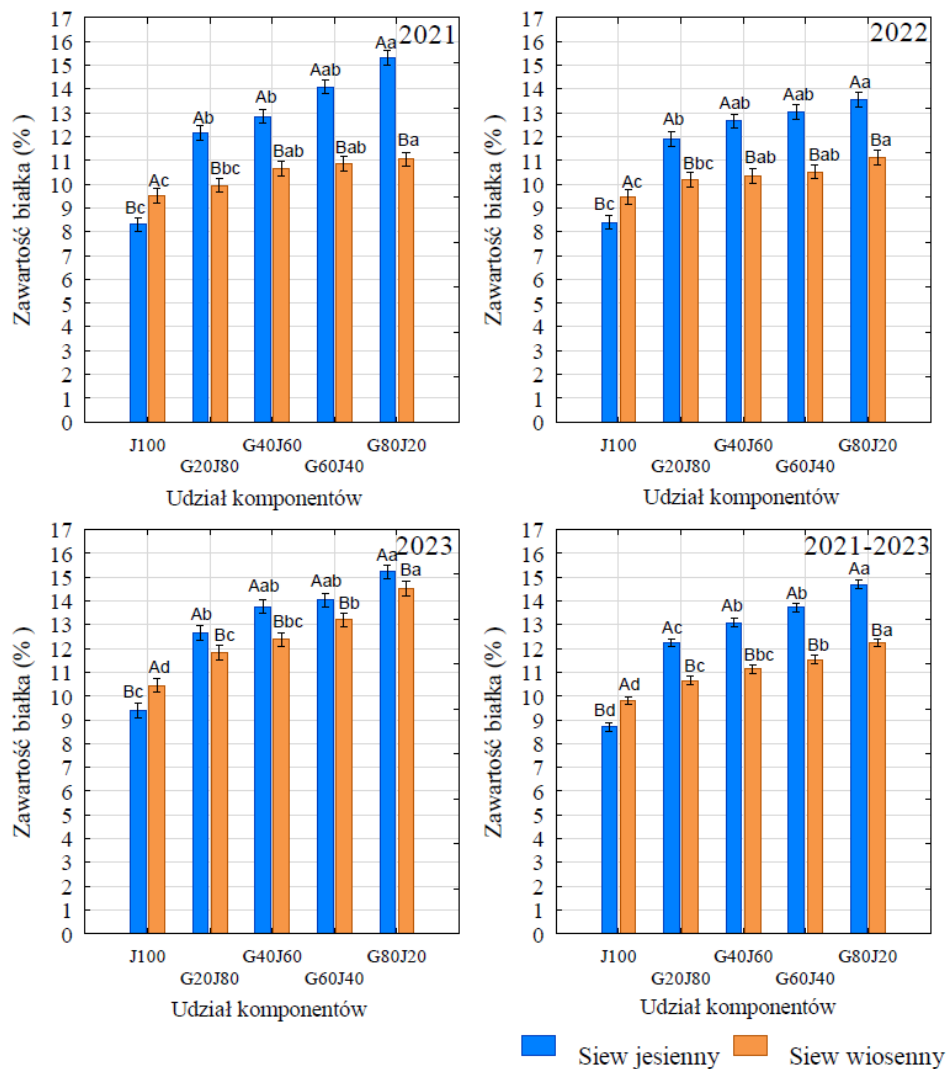
W 2021 roku zawartość białka w ziarnach jęczmienia pochodzącego z siewu czystego i mieszanek z grochem była zależna od terminu wysiewu i udziału komponentów (Rys. 24). Stwierdzono interakcję pomiędzy czynnikami doświadczenia w odniesieniu do zawartości białka. Ziarna z mieszanek zawierały istotnie wyższą zawartość białka przy siewach jesiennych niż przy wiosennych. W przypadku czystego siewu zależność ta była odwrotna. Takie same zależności występowały także w pozostałych dwóch latach badań. Ziarna z czystego zasiewu jęczmienia ozimego zawierały znacznie mniej białka niż ziarna z mieszanek. Zawartość białka w ziarnach jęczmienia jarego, uprawianego w siewie czystym, nie różniła się od ziarna tej rośliny pochodzącego z mieszanki z 20% udziałem grochu. W przypadku siewów jesiennych, obserwowano spadek zawartości białka wraz ze zwiększaniem udziału jęczmienia w mieszance, jednak statystycznie mieszanki z 20, 40 i 60% udziałem grochu nie różniły się od siebie.

W 2022 roku, zawartość białka w ziarnach jęczmienia ozimego w mieszance z 80% zawartością grochu różniła się w sposób istotny tylko od mieszanki z 20% udziałem grochu i siewu czystego jęczmienia, którego zawartość białka była najniższa spośród wszystkich obiektów. Takie same zależności wystąpiły również w przypadku jęczmienia jarego wysiewanego z grochem.

W 2023 roku zawartość białka w ziarnach jęczmienia ozimego była najwyższa w mieszance z 80% udziałem grochu i różniła się w sposób istotny od zawartości białka w nasionach z mieszanki z 20% udziałem grochu i siewu

czystego jęczmienia. Jęczmień jary z mieszanki z najwyższym udziałem grochu również charakteryzował się najwyższą zawartością białka spośród pozostałych wariantów z jęczmieniem wysiewanym wiosną. Obserwowano tendencję do zmniejszania się zawartości białka w ziarnach jęczmienia, wraz ze zwiększaniem jego udziału w mieszance.

Średnio w latach 2021-2023 zawartość białka była istotnie wyższa w mieszankach zimujących niż w mieszankach wysiewanych wiosną. Jęczmień z siewów czystych odznaczał się najniższą zawartością białka, ale spośród nich większą zawartością białka cechował się jęczmień jary. Spośród mieszanek wysiewanych wiosną istotnie najwyższą zawartością białka odznaczał się jęczmień w mieszance w 80% udziałem grochu. W mieszankach ozimych z 40 i 60 % udziałem grochu jęczmień zawierał podobną zawartość białka, istotnie wyższą niż w mieszance z 20% udziałem grochu i zasiewie czystym, lecz istotnie niższą niż w mieszance z 80% udziałem grochu.



Rys. 24. Zawartość białka w ziarnach jęczmienia z plonu mieszanek i siewu czystego (%) w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

Zawartość białka w ziarnach pszenicy w latach 2021-2023 była zależna w sposób istotny od terminu wysiewu mieszanek i udziału komponentów (Tab. 34). Występowała także zmienność tej cechy w latach prowadzenia badań. Wyższymi zawartościami białka w ziarnach charakteryzowała się pszenica jara niż pszenica ozima. Wraz ze zwiększaniem się udziału pszenicy w mieszance,

spadała zawartość białka w ziarnach. Najniższe wartości występowały w siewie czystym pszenic. Istotnie wyższe zawartości białka notowano w 2023 roku, a najniższe w 2022 roku.

Tab. 34. Zawartość białka w ziarnach pszenicy z mieszanek i siewu czystego (%) w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	%
Termin siewu (T)	Wiosenny (pszenica jara)	14,10 ^a
	Jesienny (pszenica ozima)	12,34 ^b
F_{obl}, p 321,76***		
Udział komponentów (U)	P100	11,70 ^d
	G20P80	12,90 ^c
	G40P60	13,35 ^b
	G60P40	13,74 ^a
	G80P20	14,41 ^a
F_{obl}, p 86,65***		
Lata (L)	2021	13,27 ^b
	2022	12,80 ^c
	2023	13,60 ^a
F_{obl}, p 22,98***		
Interakcje: TxU***; TxL***; UxL*		
Opis statystyczny		
Średnia		13,22
SD		1,54
WZ, %		11,61

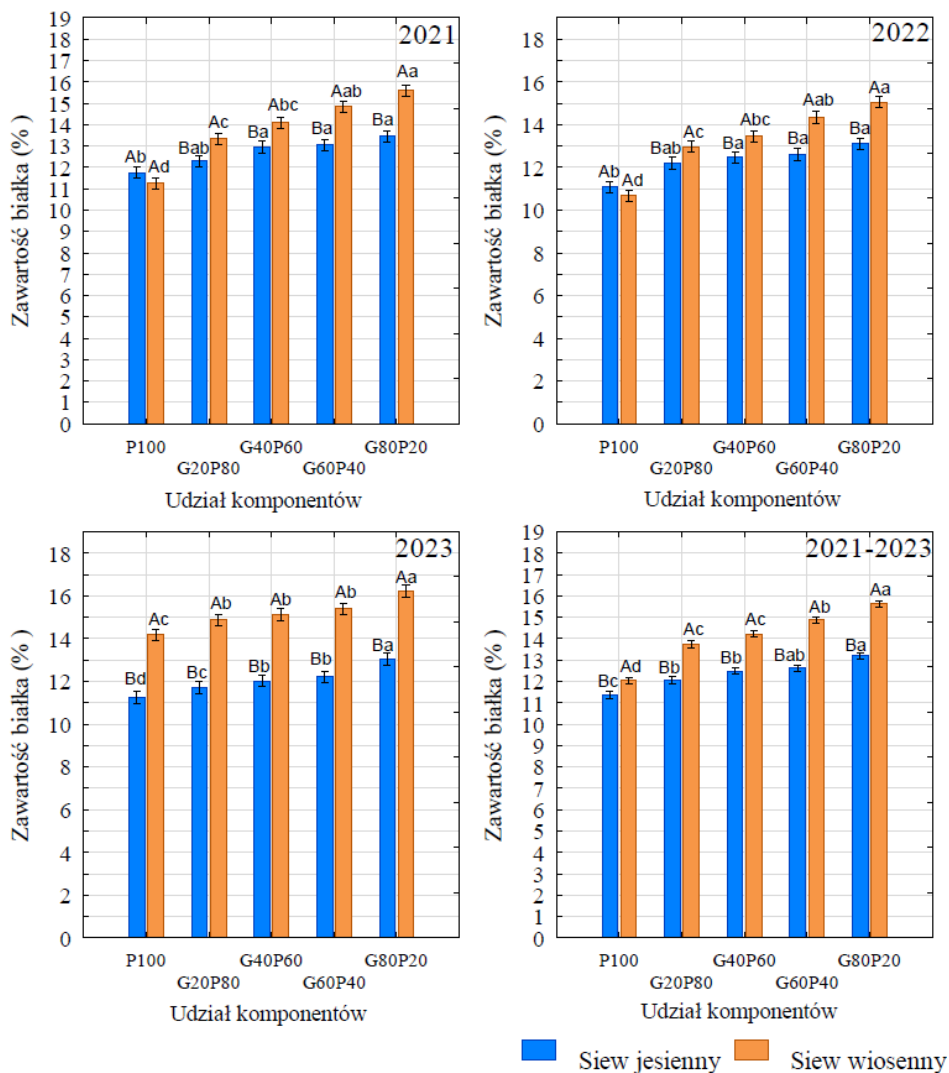
***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ns – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

W latach 2021 i 2022 wyższą zawartością białka charakteryzowało się ziarno pszenicy jarej w mieszanekach z grochem niż pszenicy ozimej w takich samych mieszanekach (Rys. 25). W przypadku siewu czystego pszenicy nie stwierdzono istotnych różnic w zawartości białka w zależności od formy pszenicy. W mieszanekach wysiewanych wiosną najwyższą zawartość białka występowała w pszenicy z mieszanki z 80% udziałem grochu. Zawartość białka w pszenicy z mieszanki z 60% udziałem grochu nie różniła się w sposób istotny od mieszanki z 40 i 80% udziałem grochu. W przypadku mieszanek ozimych, zawartość białka w pszenicy nie różniła się w sposób istotny pomiędzy kombinacjami. Ziarno z czystego zasiewu pszenicy zawierało mniej białka od pszenicy z mieszanek z 40, 60 i 80% udziałem grochu.

W 2023 roku zawartość białka we wszystkich obiektach z pszenicą jarą była istotnie wyższa od kombinacji z pszenicą ozimą. Zawartość białka w pszenicy pochodzącej z mieszanki zimującej z 80% udziałem grochu była istotnie wyższa od pozostałych mieszanek i siewu czystego z jesiennego terminu siewu. Z kolei pszenica z mieszanek z 40 i 60% udziałem grochu charakteryzowała się wyższą zawartością białka od mieszanki z 20% udziałem grochu i siewu czystego

pszenicy, która w tym obiekcie miała istotnie najniższą zawartość białka w ziarnach. Pszenica z mieszanek wysiewanych wiosną z 80% udziałem grochu zawierała istotnie więcej białka niż pozostałe obiekty wysiewane wiosną. Pszenica jara z mieszanki zawierającej 40% udział grochu charakteryzowała się podobną zawartością białka co mieszanki z 20 i 60% udziałem grochu. Zasiew czysty pszenicy jarej zawierał większe ilości białka od pszenicy ozimej.

Średnio w latach 2021-2023 pszenica jara charakteryzowała się wyższymi zawartościami białka niż pszenica ozima niezależnie od udziału komponentów. Najwyższe zawartości białka notowano w ziarnach pszenicy z mieszanki z najwyższym udziałem grochu a najniższe w czystym zasiewie pszenicy. Pszenica z mieszanki zimującej z 80% udziałem grochu zawierała podobną koncentrację białka co pszenica wysiewana z 60% udziałem grochu. Mieszanki z 20, 40 i 60% udziałem grochu nie wpływały w sposób istotny na różnice w zawartości białka w pszenicy. Czysty zasiew pszenicy charakteryzował się istotnie niższymi zawartościami białka w ziarnach od ziaren z mieszanek.



Rys. 25. Zawartość białka w ziarnach pszenicy z plonu mieszanek i siewu czystego (%) w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

5.3.3. Plon białka

Analizy statystyczne wykazały, że plon białka był zależny od wszystkich badanych czynników (Tab. 35). Jesienny termin siewu sprzyjał uzyskaniu wyższego plonu białka. Z mieszanek z udziałem pszenicy uzyskiwano wyższe

plony białka niż z mieszanek z jęczmieniem. Najwyższy plon białka uzyskano z siewów czystych grochu. Plony białka z mieszanek nie różniły się w sposób istotny pomiędzy sobą, ale były istotnie wyższe niż plon białka uzyskany z czystych siewów zbóż. Uzyskiwane plony były takie same w 2021 i 2022 roku, a w 2023 roku były one istotnie niższe niż we wcześniejszych latach.

Tab. 35. Plon białka mieszanek i siewów czystych ($t \cdot ha^{-1}$) w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	$t \cdot ha^{-1}$
Termin siewu (T)	Wiosenny	0,80 ^b
	Jesienny	0,96 ^a
F_{obl, p} 110,51***		
Gatunek zboża w mieszance (G)	Jęczmień	0,84 ^b
	Pszenica	0,91 ^a
F_{obl, p} 22,66***		
Udział komponentów (U)	Z100	0,74 ^c
	G20Z80	0,87 ^b
	G40Z60	0,91 ^b
	G60Z40	0,90 ^b
	G80Z20	0,86 ^b
	G100	1,00 ^a
F_{obl, p} 21,27***		
Lata (L)	2021	0,90 ^a
	2022	0,91 ^a
	2023	0,82 ^b
F_{obl, p} 14,30***		
Interakcje: TxG***; TxU***; TxL***; GxU*; TxU***; TxGxU*		
Opis statystyczny		
Średnia		0,88
SD		0,19
WZ, %		21,62

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ns – brak istotnego działania czynnika; a, b, c – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

Plon białka był istotnie zależny od termin siewu i udziału komponentów w mieszankach z jęczmieniem w latach 2021-2023 (Tab. 36). Plony białka uzyskane z nasion mieszanek wysiewanych jesienią były statystycznie większe od plonów uzyskanych w siewie wiosennym. Pod względem statystycznym plony białka z poszczególnych mieszanek nie różniły się od siebie. W mieszankach uzyskano istotnie wyższy plon białka z hektara w porównaniu do zasiewu czystego jęczmienia, natomiast najwyższe plony białka otrzymywano z grochu uprawianego w czystym siewie. Uzyskiwane plony nie były zależne od roku badań.

Tab. 36. Plon białka z nasion grochu, jęczmienia i ich mieszanek ($t \cdot ha^{-1}$) w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	$t \cdot ha^{-1}$
Termin siewu (T)	Wiosenny	0,80 ^b
	Jesienny	0,88 ^a
F_{obl, p} 15,41***		
Udział komponentów (U)	J100	0,66 ^c
	G20J80	0,82 ^b
	G40J60	0,87 ^b
	G60J40	0,87 ^b
	G80J20	0,85 ^b
	G100	0,99 ^a
F_{obl, p} 16,29***		
Lata (L)	2021	0,84
	2022	0,87
	2023	0,82
F_{obl, p} 1,54^{ns}		
Interakcje: TxU^{ns}; TxL***; UxL^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		0,84
SD		0,19
WZ, %		22,02

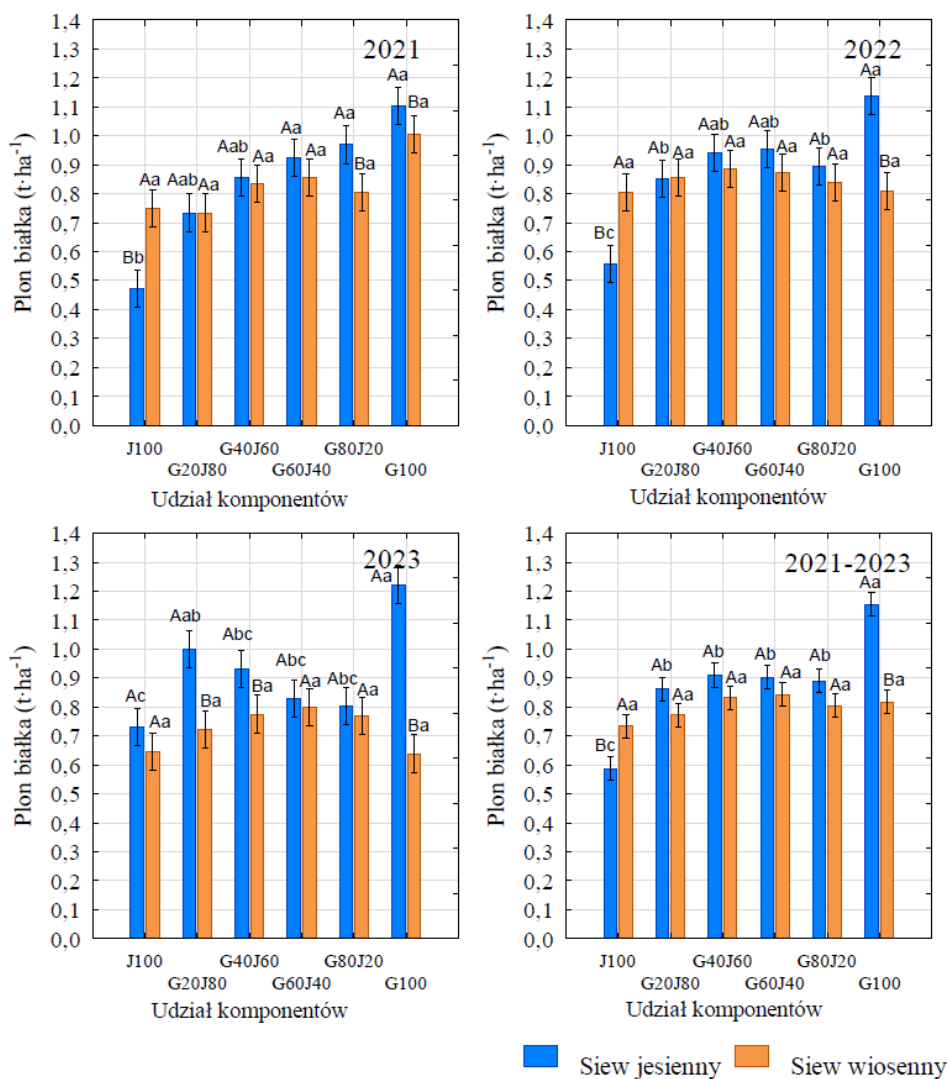
***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego różnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

Plon białka z nasion z zasiewów czystych jęczmienia i grochu, oraz ich mieszanek w 2021 roku był zależny od terminu siewu (Rys. 26). Stwierdzono również interakcję między czynnikami badawczymi w kształtowaniu tej cechy. W jęczmieniu uprawianym w czystym siewie termin wiosenny skutkowało wytworzeniem większego plonu białka niż siew jesienny, z kolei w mieszance z 80% udziałem grochu i groch wysiewany w siewie czystym generował wyższe plony białka w warunkach siewu jesiennego. W przypadku siewów wiosennych udział komponentów nie wpływał istotnie na plon białka w żadnym z badanych lat. W zasiewach jesiennych wyższe plony białka uzyskiwano z grochu i jego mieszanek z jęczmieniem, niż z samego jęczmienia.

W 2022 roku plony białka badanych mieszanek nie były zależne od terminu ich wysiewu. Różnice występowały tylko w zasiewach czystych obu gatunków, w których plon białka z ziarna jęczmienia ozimego był o 31% niższy niż z jęczmienia jarego, z kolei groch wysiewany jesienią uzyskał wyższy plon białka o około 30% w porównaniu do grochu wysiewanego wiosną. W jesiennym terminie siewu plony białka z nasion mieszanek nie różniły się od siebie w sposób istotny, ale były wyższe od plonu białka z jęczmienia ozimego. Najwyższy plon białka uzyskano z jesiennego, czystego siewu grochu i nie różnił się on w sposób istotny od plonu białka mieszanek z 40 i 60% udziałem grochu.

W 2023 roku termin siewu w sposób istotny różnicował uzyskany plon białka w siewie czystym grochu i mieszankach z 20 i 40% udziałem grochu. We wszystkich tych kombinacjach jesienny termin siewu był korzystniejszy pod względem plonu białka od terminu wiosennego. Plon białka w czystym zasiewie grochu był wyższy o 90% dla siewu jesiennego w porównaniu do siewu wiosennego. W jesiennym terminie siewu istotnie wyższy plon białka uzyskano z zasiewu czystego grochu i mieszanki z 20% jego udziałem, która nie różniła się w sposób istotny pod względem plonu białka także od pozostałych mieszanek grochu z jęczmieniem. Najniższy plon białka uzyskano w tym terminie z siewu czystego jęczmienia ozimego i nie różnił się on statystycznie od plonu białka mieszanek z 40, 60 i 80% udziałem grochu.

Na podstawie przeprowadzonych badań w latach 2021-2023 można stwierdzić, że termin siewu miał istotny wpływ na średnie plony białka z nasion tylko w przypadku czystych zasiewów komponentów tworzących mieszanki jęczmienia z grochem. W przypadku jęczmienia wyższe plony białka uzyskiwano w wiosennym terminie siewu, a groch wydawał wyższy plon białka gdy był wysiewany jesienią. Poszczególne mieszanki nie różniły się w sposób istotny między sobą w danym terminie siewu pod względem plonu białka.



Rys. 26. Plon białka z nasion grochu, jęczmienia i ich mieszanek (t·ha⁻¹) w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

W badaniu przeprowadzono jednowymiarowe testy istotności dla plonów białka mieszanek z udziałem pszenicy w latach 2021–2023, analizując wpływ terminu siewu oraz udziału komponentów na uzyskane plony białka. Analizy potwierdziły, że każdy z badanych czynników miał bezpośredni wpływ na uzyskiwane plony białka, i nie występowała między nimi interakcja (Tab. 37).

Średnie plony białka z siewu jesiennego były o ponad 20% wyższe od plonów białka uzyskanych z mieszanek wysiewanych wiosną. Z siewu czystego grochu uzyskano istotnie wyższy plon białka z nasion niż z ziarna pszenicy, natomiast z mieszanki z 40% udziałem grochu uzyskiwano istotnie wyższy plon białka od zasiewu czystego pszenicy. Mieszanki z 20 i 60% udziałem grochu nie różniły się pod względem plonów białka od zasiewów czystych pszenicy i grochu, a mieszanka z 80% grochu wydawała istotnie niższy plon białka od zasiewu grochu. Badane mieszanki pszenicy z grochem nie różniły się między sobą pod względem uzyskiwanego plonu białka.

Tab. 37. Plon białka z nasion grochu, pszenicy i mieszanek z ich udziałem ($t \cdot ha^{-1}$) w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	$t \cdot ha^{-1}$
Termin siewu (T)	Wiosenny	0,80 ^b
	Jesienny	1,03 ^a
F_{obl, p} 125,46***		
Udział komponentów (U)	P100	0,83 ^c
	G20P80	0,92 ^{abc}
	G40P60	0,94 ^{ab}
	G60P40	0,92 ^{abc}
	G80P20	0,86 ^{bc}
	G100	1,01 ^a
F_{obl, p} 6,73***		
Lata (L)	2021	0,97 ^a
	2022	0,95 ^a
	2023	0,82 ^b
F_{obl, p} 20,63***		
Interakcje: TxU^{ns}; TxL^{**}; UxL^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		0,91
SD		0,19
WZ, %		20,57

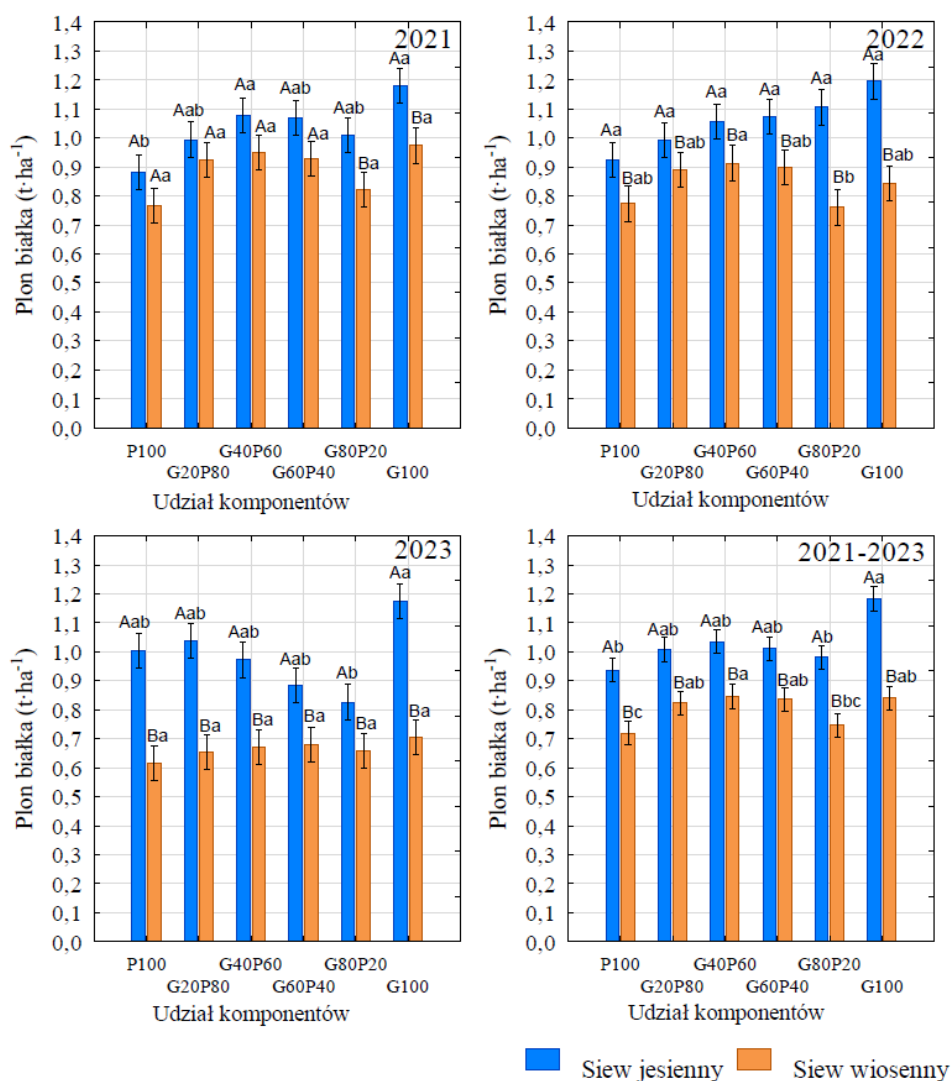
***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

W 2021 roku jesienny termin siewu skutkował wytworzeniem istotnie większego niż z terminu wiosennego plonu białka w przypadku mieszanki pszenicy z 80% udziałem grochu i jego siewu czystego (Rys. 27). W pozostałych kombinacjach nie stwierdzono istotnego statystycznie wpływu terminu siewu na tę cechę. W jesiennym terminie siewu najwyższy plon białka uzyskano z siewu czystego grochu, a istotnie niższy z pszenicy. Plon białka z nasion mieszanek (poza G40P60) nie różnił się istotnie od plonu z siewów czystych obydwu gatunków. Plon białka z pszenicy ozimej był jednak istotnie niższy od plonu białka mieszanki z 40% udziałem grochu i czystego zasiewu grochu.

W 2022 roku plon białka pszenicy, grochu i ich mieszanek był zależny od terminu siewu. Siew jesienny był korzystniejszy dla gromadzenia plonu białka od siewu wiosennego we wszystkich badanych poziomach czynnika. W przypadku zasiewów jesiennych udział komponentów nie miał istotnego wpływu na plon białka. W przypadku mieszanek wysiewanych wiosną mieszanka z 40% udziałem grochu wydała plon białka wyższy niż mieszanka z 80% udziałem grochu, a pozostałe kombinacje nie różniły się między sobą względem tej cechy.

Wyniki analizy plonów białka w 2023 roku wykazały, że zarówno udział komponentów, jak i termin siewu miały istotny wpływ na plony białka z nasion. Najwyższe plony uzyskano przy siewie jesiennym, niezależnie od proporcji grochu i pszenicy w mieszance. Siew jesienny umożliwił uzyskanie wyższych o 25% do 67% plonów białka w porównaniu do siewu wiosennego. Najwyższy plon białka uzyskiwano z jesiennego zasiewu czystego grochu, a najniższy plon białka produkowała mieszanka z 80% udziałem grochu. Pozostałe kombinacje nie różniły się istotnie pod tym względem od wartości skrajnych. Plony białka z zasiewów wiosennych nie były zależne od udziału grochu w mieszance.

W syntetycznym zestawieniu wyników z trzech lat badań, plon białka był zależny zarówno od terminu siewu jak i udziału komponentów mieszanki. Z siewów jesiennych uzyskiwano wyższe plony białka niż z siewów wiosennych. W jesiennym terminie siewu najwyższe plony białka uzyskiwano z zasiewu czystego grochu. Najniższe plony białka wśród jesiennego terminu siewu generowały zasiewy samej pszenicy i mieszanki z 80% udziałem grochu. Plon białka pozostałych mieszanek wysiewanych jesienią nie różnił się statystycznie od plonu białka uzyskiwanego przez inne obiekty. W ramach wiosennego terminu siewu najwyższy plon białka gromadziły mieszanki z 40, 60 i 20% udziałem grochu, oraz groch w czystym siewie. Mieszanka z 80% udziałem grochu gromadziła pośredni plon białka, który nie różnił się statystycznie ani od plonu białka mieszanek z 20 i 60% udziałem grochu a także od pszenicy w siewie czystym, która gromadziła najniższy plon białka.



Rys. 27. Plon białka z nasion grochu, pszenicy i mieszanek z ich udziałem ($t \cdot ha^{-1}$) w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają \pm SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

5.4. DYNAMIKA PRZYROSTU SUCHEJ MASY KOMPONENTÓW W MIESZANKACH

W latach 2021-2023 przeprowadzono badania przebiegu gromadzenia suchej masy przez jęczmień uprawiany w siewie jednogatunkowym oraz

w mieszankach z grochem o różnych proporcjach w zasiewach jesiennych i wiosennych. W obserwacjach zasiewów jesiennych zauważono, że wpływ udziału grochu w mieszankach na przyrost suchej masy jęczmienia był zmienny w latach (Rys. 28).

W mieszance G80J20 jęczmień ozimy wykazywał najwyższe przyrosty suchej masy. W 2021 roku wzrost był łagodniejszy a łączna zgromadzona sucha masa mniejsza niż w latach 2022 i 2023, gdy zaobserwowano większą dynamikę. Szczególnie w 2023 roku jęczmień osiągał wysokie wartości suchej masy już we wczesnych fazach wzrostu.

Przyrosty suchej masy jęczmienia w mieszance G60J40 były również wysokie, choć nieco niższe niż w G80J20. W 2022 i 2023 roku dynamika wzrostu jęczmienia w tej mieszance była wyraźniejsza niż w 2021, co sugeruje wpływ korzystniejszych warunków środowiskowych.

Jęczmień w mieszankach G40J60, G20J80 i czystym zasiewie osiągał podobne przyrosty suchej masy, niższe niż w mieszankach z wyższym udziałem grochu, szczególnie w okresie od trzeciej dekady czerwca do końca wegetacji. W 2022 przyrosty suchej masy jęczmienia w mieszance G40J60 były dużo dynamiczniejsze w okresie od początku czerwca w porównaniu do roślin z mieszanki G20J80 i roślin z czystych siewów jęczmienia, których przyrosty były bardziej jednostajne przez zasadniczą część wegetacji. W 2023 podobnie jak w 2021 roku przyrosty suchej masy jęczmienia w mieszance G40J60 były mniej dynamiczne i zbliżone do jęczmienia w mieszance G20J80 i czystym zasiewie.

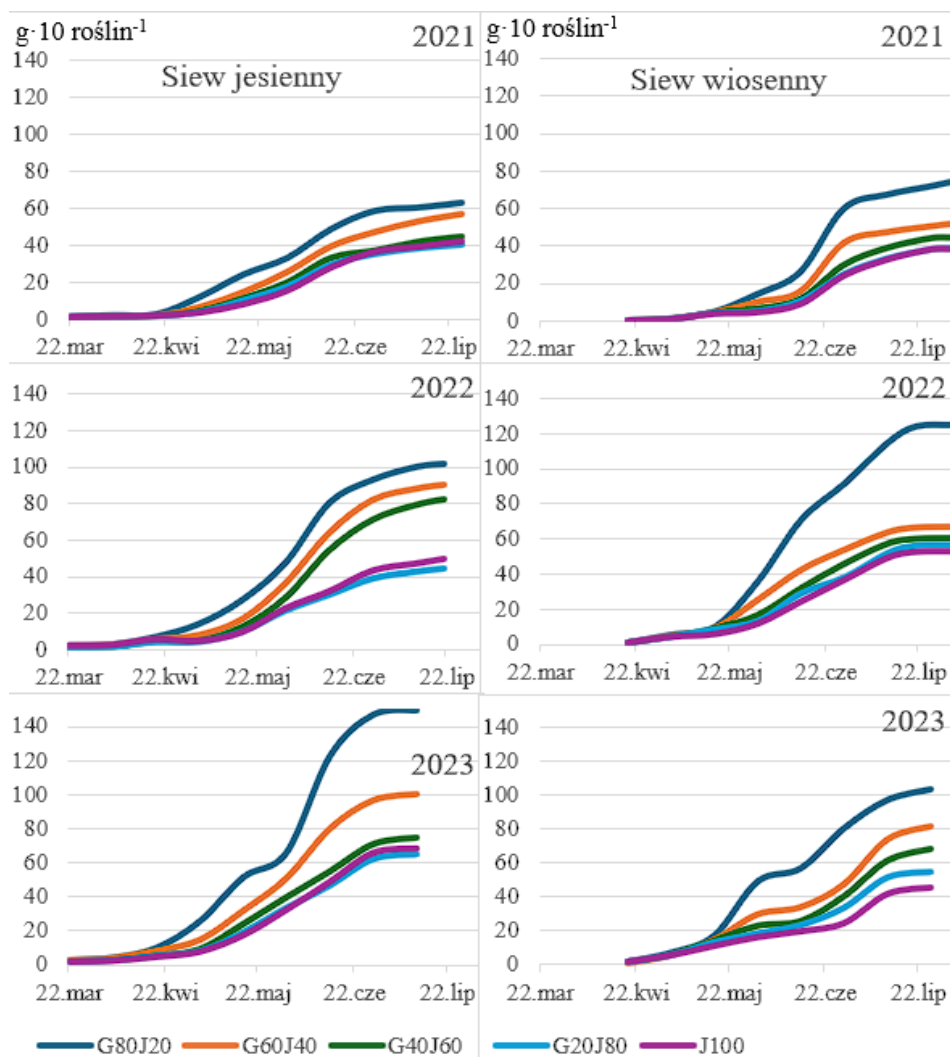
W zasiewach wysiewanych wiosną również obserwowano pozytywny wpływ grochu na przyrosty suchej masy jęczmienia, choć efekty te były mniej wyraźne niż w zasiewach ozimych.

Jęczmień jary mieszance G80J20 osiągał najwyższe przyrosty wśród zasiewów wysiewanych wiosną, zwłaszcza w 2022 roku, kiedy dynamika wzrostu była szczególnie wysoka w okresie od trzeciej dekady maja. Jęczmień jary w tej mieszance gromadził w roku 2021 i 2022 większe ilości suchej masy niż jęczmień ozimy w takiej samej mieszance.

Przyrosty suchej masy jęczmienia jarego w mieszance G60J40 były tak zbliżone do jęczmienia G80J20 jak w mieszankach ozimych. Gromadzenie suchej masy w tych mieszankach było większe od mieszanek z niższym udziałem grochu i siewu czystego, ale nie występowały tak duże różnice jak w zasiewach ozimych. Wzrost jęczmienia był bardziej stabilny, z nieco większą dynamiką w 2022 roku.

W mieszankach G40J60 i G20J80 jęczmień wykazywał umiarkowane przyrosty. Dynamika wzrostu była równomierna, bez gwałtownych skoków. W latach 2021 i 2022 mieszanki te cechowały się podobnymi, niskimi przyrostami jak jęczmień w czystym siewie, który cechował się najniższymi przyrostami suchej masy, z powolnym wzrostem na przestrzeni całego okresu wegetacji.

Zmniejszanie udziału jęczmienia przy wyższym udziale grochu korzystnie wpływało na gromadzenie suchej masy jęczmienia. Efekty te były jednak mniej intensywne niż w zasiewach ozimych. Największe przyrosty suchej masy notowano w czerwcu i lipcu, co wskazuje na przesunięcie okresu intensywnego wzrostu w stosunku do zasiewów ozimych.



Rys. 28. Dynamika przyrostu suchej masy jęczmienia ozimego i jarego w siewie czystym i mieszankach z grochem w latach 2021-2023

Zróznicowanie przyrostów suchej masy pszenicy zauważono we wszystkich trzech latach w zależności od udziału grochu w mieszance oraz warunków panujących w danym roku. Różnice te były szczególnie widoczne w okresach intensywnego wzrostu (Rys. 29).

Pszenica ozima w mieszance G80P20 osiągała najwyższe przyrosty suchej masy. W 2021 roku wzrost był dynamiczny w okresie od maja do lipca, jednak przyrosty były bardziej rozłożone w czasie niż w kolejnych latach. W 2022 roku zaobserwowano jeszcze bardziej intensywny wzrost, z najwyższymi przyrostami występującymi wcześniej niż w poprzednim roku. W 2023 roku wystąpiły największe przyrosty, a dynamika wzrostu utrzymywała się przez dłuższy czas.

W mieszance G60P40 przyrosty suchej masy pszenicy były również dość wysokie w porównaniu do mieszanek z niższym udziałem grochu, ale zróżnicowane między latami. W 2021 roku wzrost był umiarkowany, z intensyfikacją w czerwcu. W 2022 roku dynamika wzrostu była większa, a maksymalne przyrosty pojawiły się wcześniej. W 2023 roku przyrosty były jeszcze wyższe, a wzrost pszenicy bardziej dynamiczny, zwłaszcza od początku maja.

Pszenica w mieszance G40P60 wykazywała umiarkowane przyrosty suchej masy, z niewielkimi różnicami między latami. W 2021 roku wzrost był dość równomierny przez większość sezonu wegetacyjnego. W 2022 roku dynamika nieco wzrosła w okresie od maja do końca czerwca. Podobny przebieg gromadzenia suchej masy wystąpił w 2023 roku z bardziej wyraźnym wzrostem w końcówce maja.

Pszenica w mieszance G20P80 cechowała się najniższymi przyrostami wśród mieszanek z grochem, jednak również tutaj zauważono różnice między latami. W 2021 roku wzrost był równomierny i umiarkowany. W 2022 roku przyrosty były nieco wyższe, a w 2023 roku dynamika przyrostów suchej masy wzrosła w okresie wiosennym, prowadząc do większych przyrostów niż w poprzednich latach.

Pszenica ozima uprawiana w siewie czystym wykazywała najniższe przyrosty, z niewielkimi zmianami między latami. Wzrost był równomierny, ale mniej dynamiczny niż w mieszankach z grochem. W latach 2022 i 2023 dynamika i suma zgromadzonej suchej masy przez pszenicę w siewie czystym była podobna jak w mieszance G20P80. W 2023 roku zauważono nieco większą dynamikę wzrostu w porównaniu do poprzednich lat podobnie jak w pozostałych obiektach.

W zasiewach wiosennych również zaobserwowano wpływ udziału grochu i warunków rocznych na przyrosty suchej masy pszenicy, choć różnice były mniej wyraźne niż w zasiewach ozimych.

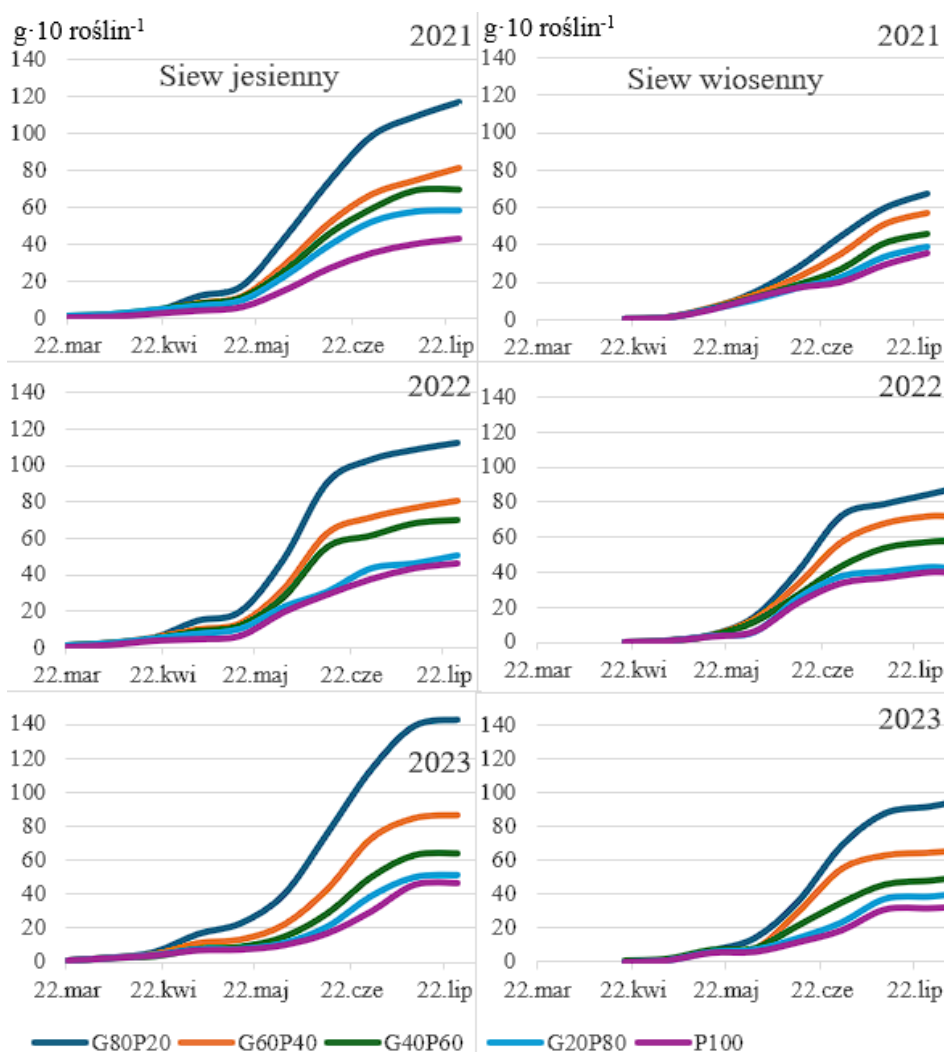
W 2021 roku przyrosty pszenicy jarej w mieszance G80P20 były umiarkowane, z największym wzrostem od początku lipca. W 2022 roku wzrost był znacznie bardziej dynamiczny, szczególnie w czerwcu i lipcu, prowadząc do wyższych przyrostów niż w pozostałych latach. W 2023 roku dynamika wzrostu była większa niż w 2022 roku, co skutkowało wyższymi przyrostami.

Przyrosty pszenicy jarej w mieszance G60P40 były nieco wyższe w 2022 roku niż w 2021, z bardziej dynamicznym wzrostem w okresie wiosennym.

W 2023 roku tempo wzrostu do końca czerwca było podobne jak w 2022 roku po czym nastąpiło zakończenie gromadzenia suchej masy.

W mieszankach G40P60 i G20P80 przyrosty były umiarkowane we wszystkich latach. W 2022 roku zaobserwowano nieco większą dynamikę wzrostu i wyższe przyrosty w porównaniu do pozostałych lat.

Przyrosty suchej masy pszenicy w siewie czystym były najniższe i wykazywały niewielkie różnice między latami. W 2022 roku wzrost był nieco bardziej dynamiczny, podobnie jak w innych obiektach.



Rys. 29. Dynamika przyrostu suchej masy pszenicy ozimej i jarej w siewie czystym i mieszankach z grochem w latach 2021-2023

W zasiewach jesiennych zaobserwowano, że tendencje gromadzenia suchej masy przez groch w mieszankach z jęczmieniem były różne w zależności od udziału komponentów w mieszance oraz warunków pogodowych panujących w poszczególnych latach (Rys. 30).

Groch uprawiany w siewie czystym osiągał najwyższe przyrosty suchej masy. Wzrost był stabilny i intensywny, szczególnie w okresach sprzyjających warunków pogodowych. W latach 2021 i 2022 intensywne przyrosty biomasy grochu w siewie czystym następowały w krótszym czasie, trwającym od końca maja do połowy czerwca, podczas gdy w 2023 okres gromadzenia biomasy rozpoczął się już w kwietniu, przez co był dłuższy i mniej intensywny.

W 2021 roku tempo zgromadzenia biomasy przez groch wysiewany w różnych mieszankach jesienią było zbliżone, ale suma zgromadzonej suchej masy nieznacznie malała wraz z zwiększaniem udziału jęczmienia.

W 2022 roku groch w mieszankach z jęczmieniem ozimym osiągał znacznie mniejsze przyrosty suchej masy względem grochu w siewie czystym. Silne ograniczenie jego wzrostu następowało już w mieszance z najmniejszym udziałem jęczmienia i rosło wraz z zwiększaniem udziału jęczmienia ozimego. Groch w mieszance G80J20 zgromadził niemal trzykrotnie, a w mieszance G20J80 czterokrotnie mniejszą biomasę niż groch w siewie czystym.

W 2023 roku intensywne przyrosty suchej masy przez groch w siewie czystym rozpoczęły i zakończyły się wcześniej niż w pozostałych latach, ale zgromadzona sucha masa była mniejsza. Groch w mieszankach był zdominowany przez udział jęczmienia i jego przyrosty były bardzo małe. Dodatkowo w odróżnieniu od pozostałych lat, ogólna sucha masa grochu w mieszance G20J80 była nieznacznie większa niż w pozostałych mieszankach, które zgromadziły podobną ilość suchej masy.

Zwiększanie udziału jęczmienia w mieszance skutkowało stopniowym zmniejszaniem przyrostów suchej masy grochu w latach 2021 i 2022. Różnice w gromadzeniu suchej masy między poszczególnymi mieszankami były znacznie mniejsze niż w przypadku zbóż.

W zasiewach wiosennych wpływ jęczmienia na przyrosty suchej masy grochu był również zauważalny, choć dynamika wzrostu była ogólnie mniejsza niż w zasiewach ozimych.

Groch wysiewany wiosną w siewie czystym osiągał przyrosty niższe niż w zasiewach ozimych. W 2022 roku dynamika wzrostu była większa niż w 2021, a w 2023 roku gromadzenie suchej masy grochu było mniejsze i bardziej rozłożone w czasie. Okres gromadzenia biomasy zaczynał się później i trwał krócej.

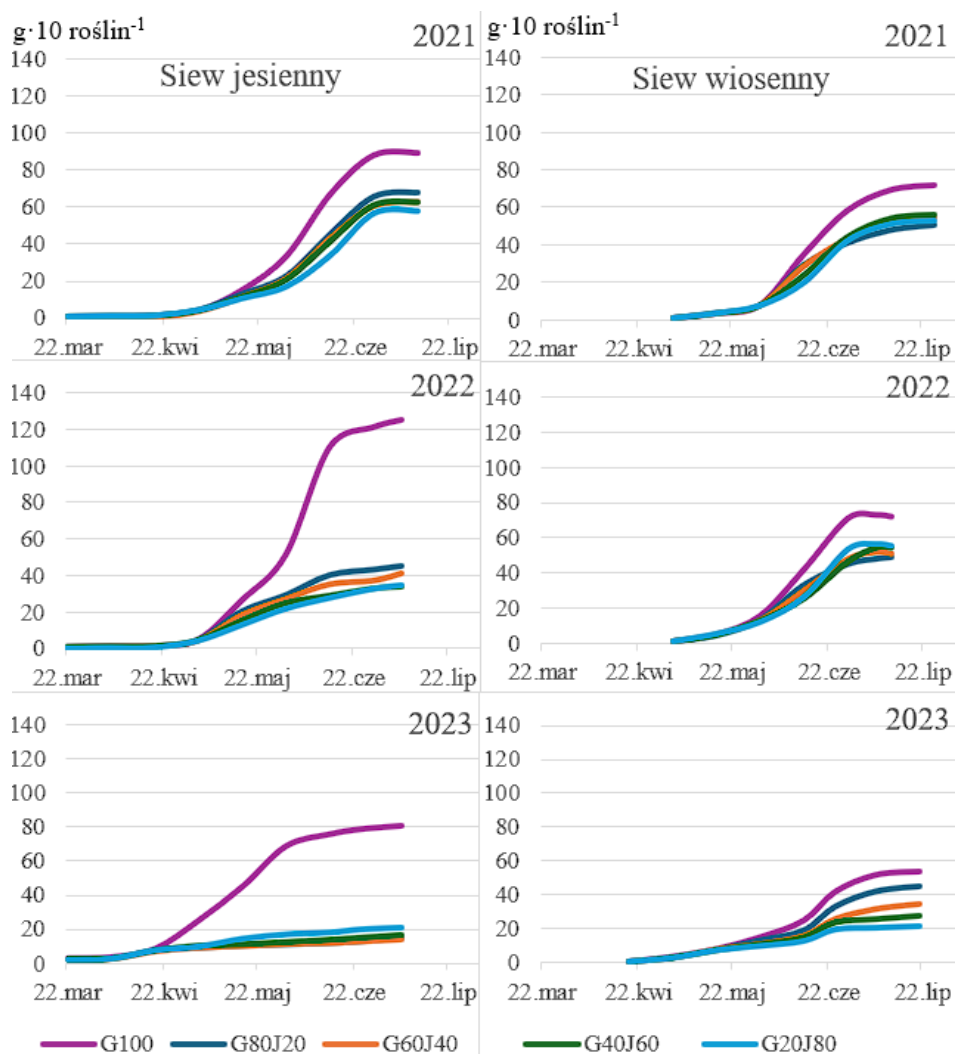
Pomiędzy poszczególnymi mieszankami obserwowano podobną dynamikę i sumę zgromadzonej biomasy przez groch.

W 2021 roku zgromadzona ilość suchej masy przez groch w mieszankach z jęczmieniem jarym była nieco niższa jak w zasiewach ozimych, a różnice

pomiędzy masą zgromadzoną przez groch w zależności od udziału komponentów były mniejsze. Największą biomasę zgromadził groch w mieszance G40J60 a najmniejszą w mieszance G80J20, a różnica wynosiła około 10%. Sucha masa zgromadzona przez groch w siewie czystym była wyższa od mieszanek, ale niższa o około 25% od grochu wysiewanego jesienią.

W 2022 roku groch w wiosennych mieszankach z jęczmieniem zgromadził podobną ilość suchej masy jak w 2021 roku, ale nastąpiło to w krótszym czasie. Była to ilość suchej masy wyższa od ich jesiennych odpowiedników, głównie dzięki intensywnemu przyrostowi od połowy do końca czerwca, podczas gdy groch zimujący był już dojrzały. Mimo to, sucha masa grochu jarego w czystym siewie była niższa niż wysiewanego jesienią o około 75%.

W 2023 roku za sprawą warunków niesprzyjających rozwojowi zbóż jarych, od połowy czerwca nastąpił znaczny wzrost suchej masy grochu, szczególnie w mieszankach G80J20 i G60J40 gdzie utrzymywał się do końca wegetacji. Doszło do pewnego zróżnicowania dynamiki gromadzenia suchej masy pomiędzy mieszankami, gdzie wraz ze zwiększaniem udziału jęczmienia, malała dynamika i suma zgromadzonej suchej masy. Największą ilość suchej masy zgromadził groch w czystym siewie.



Rys. 30. Dynamika przyrostu suchej masy grochu wysiewanego jesienią i wiosną w siewie czystym i mieszankach z jęczmieniem w latach 2021-2023

W zasiewach jesiennych stwierdzono, że obecność pszenicy w mieszankach wpływała na dynamikę wzrostu grochu, a efekty te różniły się w zależności od udziału pszenicy oraz warunków panujących w poszczególnych latach (Rys. 31).

Groch wysiewany jesienią w czystym siewie osiągał najwyższe przyrosty suchej masy we wszystkich latach badań. Wzrost był intensywny, zwłaszcza w okresie od połowy maja do połowy czerwca, a w 2023 roku od trzeciej dekady kwietnia.

W 2021 roku groch w mieszankach z pszenicą ozimą do połowy maja gromadził podobne ilości suchej masy, a od tego momentu następowało

różnicowanie względem grochu w siewie czystym. Wraz ze wzrostem udziału zboża w mieszance, malała ilość gromadzonej suchej masy przez groch, choć różnice pomiędzy poszczególnymi mieszankami nie były znaczące.

W 2022 roku dynamika gromadzenia biomasy przez groch w czystym siewie i mieszankach była podobna do końca maja. W dalszej części przyrosty suchej masy przez groch w mieszankach były łagodne, a zwiększanie udziału zboża w mieszance wiązało się z niższymi przyrostami. Groch w siewie czystym znacznie intensywniej gromadził suchą masę od początku czerwca, osiągając finalnie dwukrotnie większą ilość suchej masy niż groch w mieszankach G80P20 i G60P40 oraz trzykrotnie wyższą suchą masę niż groch w mieszance G20P80.

W 2023 roku przyrosty suchej masy grochu w siewie czystym rozpoczęły się od trzeciej dekady kwietnia i trwały do połowy czerwca. Konkurencja z pszenicą ozimą sprawiła, że przyrosty grochu w mieszankach były bardzo małe, a groch w mieszance G20P80 zgromadził wyższą suchą masę od pozostałych mieszanek. Najniższą ilość suchej masy zgromadził groch w mieszance G80P20. Sucha masa zgromadzona przez groch w mieszankach była od 2,5 do niemal 5 krotnie niższa od masy zgromadzonej przez groch w czystym siewie.

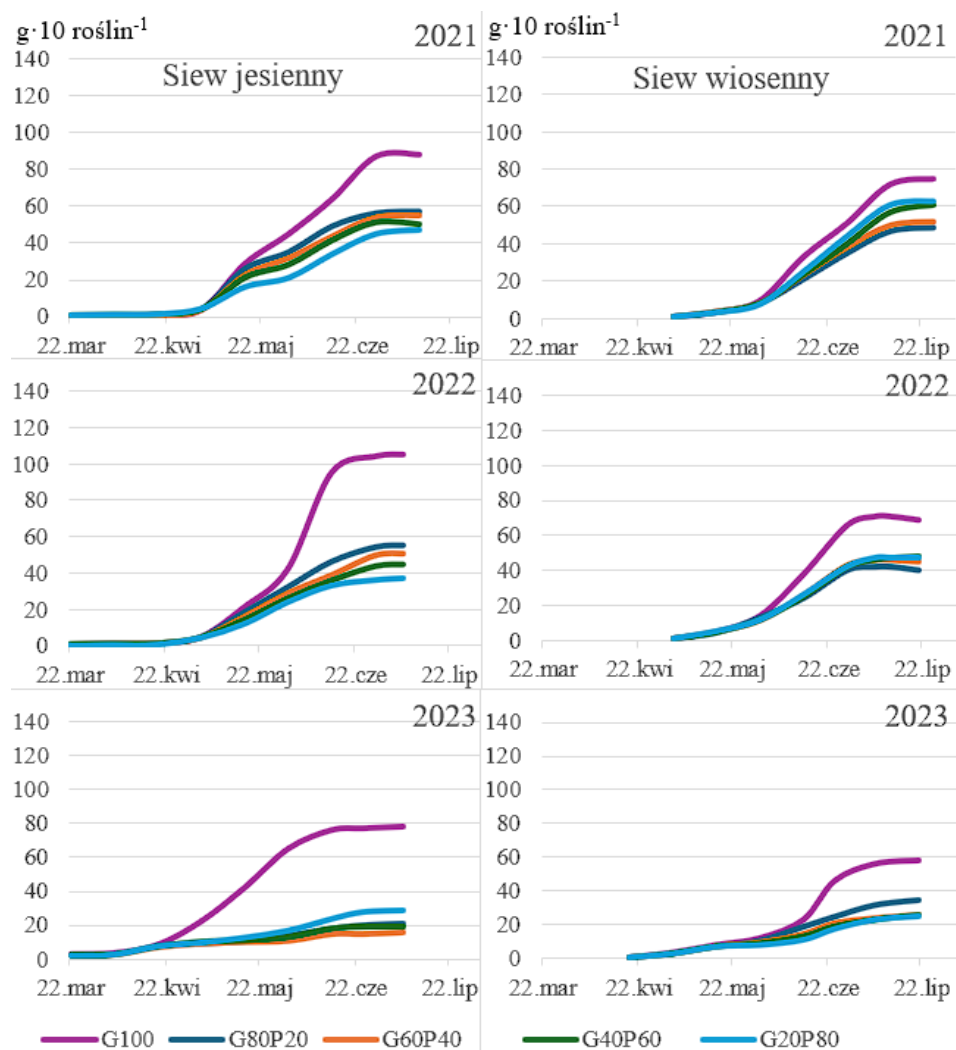
W zasiewach wiosennych wpływ pszenicy na wzrost grochu był również widoczny, choć dynamika wzrostu w mieszankach przebiegała w odmienny sposób niż w mieszankach ozimych.

W 2021 roku dynamika gromadzenia biomasy przez groch w czystym siewie przebiegała podobnie jak w zasiewach jesiennych, ale rozpoczęła się później, w efekcie czego rośliny zgromadziły mniejszą ilość suchej masy. W mieszankach wiosennych przyrost suchej masy grochu przebiegał dynamiczniej niż w zasiewach jesiennych, a różnice w porównaniu z grochem w siewie czystym były mniejsze. Wśród mieszanek nastąpił odmienny wpływ udziału komponentów na ilość zgromadzonej biomasy niż w zasiewach jesiennych i wraz ze zwiększaniem udziału zboża w mieszance rosła ilość zgromadzonej suchej masy.

W 2022 roku groch wysiewany wiosną w siewie czystym osiągał wyższe przyrosty suchej masy niż w mieszankach, szczególnie w okresie od początku czerwca. Na początku lipca zaobserwowano szybkie zakończenie okresu gromadzenia suchej masy, a opady przeplatane wysokimi temperaturami doprowadziły do samoistnego otwierania się strąków w wyniku czego doszło do niewielkiego zmniejszenia ilości suchej masy przed zbiorem. Mieszanki rozwijały się w podobnym tempie gromadząc podobną ilość biomasy, przy czym w mieszance z największym udziałem grochu, ubytek biomasy przed zbiorem był większy niż w pozostałych mieszankach.

W 2023 roku rozpoczęcie dynamicznego przyrostu suchej masy przez groch nastąpiło później o dwa tygodnie niż w poprzednich latach, bo dopiero w okresie od początku trzeciej dekady czerwca i trwało bardzo krótko, bo tylko do początku lipca. Uzyskana ilość suchej masy była niższa niż w pozostałych latach. Wzrost suchej masy w mieszankach był niższy niż grochu w siewie czystym. Groch

w mieszankach z pszenicą jarą konkurował lepiej niż z pszenicą ozimą, ale gorzej niż z jęczmieniem jarym, w wyniku czego zgromadził niższą ilość suchej masy szczególnie w mieszankach G80P20 i G60P40.



Rys. 31. Dynamika przyrostu suchej masy grochu wysiewanego jesienią i wiosną w siewie czystym i mieszankach z pszenicą w latach 2021-2023

5.5. MASA AZOTU ZGROMADZONA W BIOMASIE NADZIEMNEJ ROŚLIN

Masa azotu zgromadzonego w roślinach w trakcie wegetacji była istotnie zależna od wszystkich badanych czynników, a także zmieniała się w latach uprawy (Tab. 38). Rośliny wysiewane jesienią gromadziły większą masę azotu w swoich częściach nadziemnych niż rośliny wysiewane wiosną. Mieszanki z udziałem pszenicy charakteryzowały się większą masą zgromadzonego azotu niż mieszanki z jęczmieniem. Masa azotu zgromadzonego w biomacie nadziemnej mieszanek nie była zależna od udziału grochu, ale była wyższa niż w zbożach i niższa niż w grochu z zasiewów jednogatunkowych. W latach 2021 i 2022 średnia masa zgromadzonego w roślinach azotu była podobna i istotnie wyższa niż w 2023 roku.

Tab. 38. Masa zgromadzonego azotu w biomacie nadziemnej roślin w mieszankach i siewach jednogatunkowych ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$
Termin siewu (T)	Wiosenny	162,05 ^b
	Jesienny	182,54 ^a
F_{obl, p} 58,42***		
Gatunek zboża w mieszance (G)	Jęczmień	162,25 ^b
	Pszenica	182,34 ^a
F_{obl, p} 56,15***		
Udział komponentów (U)	Z100	140,01 ^c
	G20Z80	168,30 ^b
	G40Z60	178,59 ^b
	G60Z40	179,28 ^b
	G80Z20	173,18 ^b
	G100	194,28 ^a
F_{obl, p} 30,26***		
Lata (L)	2021	178,50 ^a
	2022	175,87 ^a
	2023	162,52 ^b
F_{obl, p} 13,60***		
Interakcje: TxG^{ns}; TxU***; TxL^{ns}; GxU***; TxU***; TxGxU*		
Opis statystyczny		
Średnia		172,30
SD		34,16
WZ, %		19,83

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

Masa azotu zgromadzona przez jęczmień, groch i ich mieszanki była zależna od wszystkich badanych czynników i roku badań (Tab. 39). W mieszankach z jęczmieniem i siewach czystych gatunków korzystniejszy pod względem

gromadzenia azotu był jesienny termin siewu. Poszczególne mieszanki nie różniły się między sobą pod względem masy gromadzonego azotu, natomiast jęczmień w czystym siewie gromadził mniejszą masę azotu niż mieszanki, a groch w czystym siewie gromadził najwięcej azotu w biomase nadziemnej. W roku 2021 i 2022 masa zgromadzonego azotu przez rośliny była podobna i większa niż w 2023 roku.

Tab. 39. Masa zgromadzonego azotu w biomase nadziemnej roślin grochu i jęczmienia w mieszankach i siewach jednogatunkowych ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$
Termin siewu (T)	Wiosenny	151,95 ^b
	Jesienny	172,55 ^a
F_{obl, p} 28,48***		
Udział komponentów (U)	J100	122,51 ^c
	G20J80	153,55 ^b
	G40J60	165,79 ^b
	G60J40	169,69 ^b
	G80J20	169,00 ^b
	G100	192,95 ^a
F_{obl, p} 24,27***		
Lata (L)	2021	165,78 ^a
	2022	165,76 ^a
	2023	155,20 ^b
F_{obl, p} 3,33*		
Interakcje: TxU***; TxL^{ns} UxL*		
Opis statystyczny		
Średnia		162,25
SD		35,7
WZ, %		22,01

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

W 2021 rośliny pobrane z jesiennych mieszanek i zasiewów czystych grochu gromadziły większą masę azotu w częściach nadziemnych niż rośliny z zasiewów wiosennych, a w przypadku siewu czystego jęczmienia wpływ terminu siewu był odwrotny (Rys. 32).

W ramach jesiennego terminu siewu najwyższą masę azotu zgromadziły rośliny grochu uprawianego w siewie czystym i była to masa podobna statystycznie do mieszanek G60P40 i G80P20. Żadne mieszanki nie różniły się między sobą pod względem masy zgromadzonego azotu, ale w wartościach bezwzględnych można dostrzec trend zwiększania się jego masy wraz z zwiększaniem udziału grochu w mieszance. Jęczmień ozimy uprawiany w siewie czystym zgromadził najniższą masę azotu.

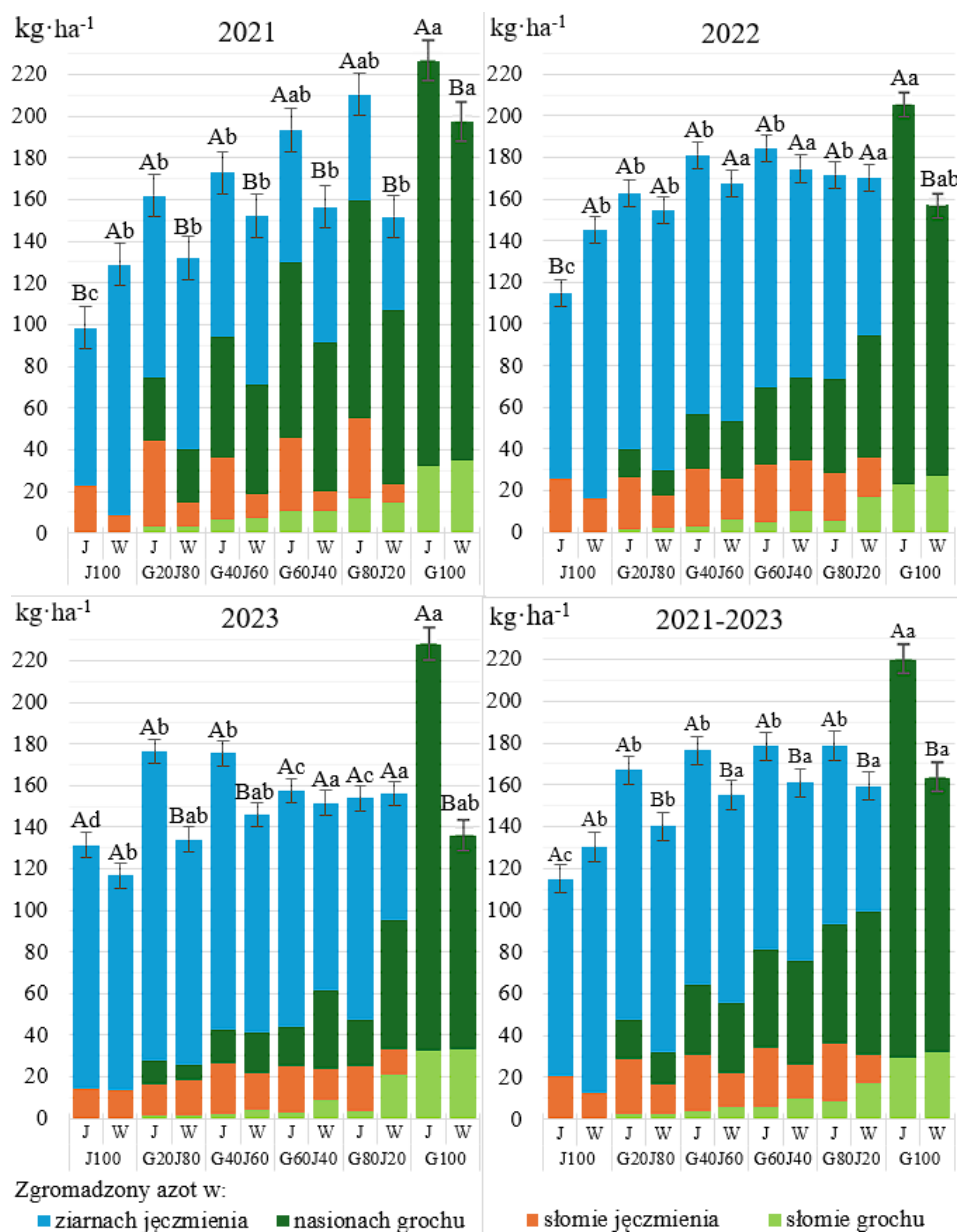
W przypadku wiosennych zasiewów rośliny grochu z zasiewów jednogatunkowych zgromadziły najwyższą masę azotu, a mieszanki i czysty

zasiew jęczmienia jarego istotnie niższą i nieróżniącą się między sobą. Mieszanki wysiewane wiosną i czysty zasiew jęczmienia gromadziły mniejszą masę azotu w nasionach grochu i słomie jęczmienia, niż w przypadku zasiewów jesiennych. Masa azotu w słomie grochu była podobna w ramach tych samych kombinacji wiosennych i jesiennych.

W 2022 roku obserwowano istotny wpływ terminu siewu na masę zgromadzonego azotu w przypadku czystych siewów jęczmienia i grochu. Wiosenny termin umożliwił uzyskanie większej masy zgromadzonej azotu w jęczmieniu, a jesienny termin siewu determinował większą masę azotu przez groch. W przypadku jesiennego terminu siewu najwięcej azotu gromadził groch w czystym siewie. Istotnie niższą masę azotu zgromadziły mieszanki a czysty zasiew jęczmienia jarego zgromadził najniższą masę azotu. W przypadku zasiewów wiosennych, największą masę azotu zgromadziły mieszanki G40J60, G60J40, G80J20 oraz czysty zasiew grochu, który nie różnił się statystycznie również od mieszanki G20J80 i siewu czystego jęczmienia.

W 2023 roku wpływ terminu siewu na masę zgromadzonego azotu był widoczny dla czystych zasiewów grochu i mieszanek G20J80 i G40J60, gdzie jesienny termin siewu sprzyjał gromadzeniu większej masy azotu. W ramach jesiennego terminu siewu najwyższą masę azotu gromadził groch w czystym siewie. Istotnie mniej gromadziły mieszanki G20J80 i G40J60, a jeszcze mniej mieszanki G60J40 i G80J20. Istotnie najniższą masę azotu zgromadził jęczmień ozimy w czystym siewie. W przypadku wiosennego terminu siewu najwięcej azotu zgromadziły wszystkie mieszanki i groch w czystym siewie. Jęczmień jary zgromadził istotnie najmniej azotu, ale wartość ta nie różniła się statystycznie od mieszanek G20J80, G40J60 i grochu w czystym siewie.

Średnio dla lat 2021-2023 jesienny termin siewu sprzyjał wyższemu gromadzeniu azotu w mieszankach i czystym siewie grochu. W ramach jesiennego terminu siewu groch gromadził znacznie więcej azotu od mieszanek i czystego siewu jęczmienia. Mieszanki z siewu jesiennego nie różniły się między sobą pod względem masy zgromadzonego azotu, która była istotnie wyższa niż z jęczmienia w czystym siewie. W przypadku mieszanek wysiewanych wiosną groch w czystym siewie, mieszanki G40P60, G60P40 i G80P20 gromadziły największą masę azotu. Mieszanka G20P80 i czysty siew jęczmienia gromadziły istotnie mniej azotu. Jęczmień w siewie czystym i mieszankach wiosennych gromadził mniejszą masę azotu w słomie niż jęczmień ozimy, natomiast groch gromadził nieznacznie większą masę azotu w słomie w przypadku siewów wiosennych. Masa zgromadzonego azotu w częściach generatywnych roślin była zmienna w latach, w zależności od udziału nasion w plonie.



Rys. 32. Masa zgromadzonego azotu w biomacie nadziemnej roślin grochu i jęczmienia w mieszankach i siewach jednogatunkowych ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają \pm SD, Oznaczenia terminów siewu: J – jesienny, W – wiosenny, ^{a, b, c} – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; ^{A, B} – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

W latach 2021-2023 masa azotu zgromadzonego we wszystkich częściach nadziemnych grochu, pszenicy i ich mieszanek była zależna od terminu siewu i udziału komponentów mieszanki, a także zmieniała się w latach (Tab. 40). Jesienny termin siewu determinował wyższą masę gromadzonego azotu. Największą masę azotu gromadził czysty zasiew grochu oraz mieszanki G20P80, G40P60 i G60P40. Mieszanka G80P20 gromadziła niższą masę azotu, ale podobną do mieszanki G20P80. Czyste zasiewy pszenicy gromadziły najniższą masę azotu. W latach 2021 i 2022 rośliny gromadziły wyższą masę azotu w częściach nadziemnych niż w roku 2023.

Tab. 40. Masa zgromadzonego azotu w biomacie nadziemnej roślin grochu i pszenicy w mieszankach i siewach jednogatunkowych ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$
Termin siewu (T)	Wiosenny	172,14 ^b
	Jesienny	192,54 ^a
F_{obl, p} 29,99***		
Udział komponentów (U)	P100	157,52 ^c
	G20P80	183,05 ^{ab}
	G40P60	191,38 ^a
	G60P40	189,12 ^a
	G80P20	177,36 ^b
	G100	195,62 ^a
F_{obl, p} 9,08***		
Lata (L)	2021	191,21 ^a
	2022	185,97 ^a
	2023	169,84 ^b
F_{obl, p} 11,92*		
Interakcje: TxU**; TxL^{ns} UxL^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		182,34
SD		29,38
WZ, %		16,11

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

Masa azotu zgromadzonego przez rośliny z mieszanek grochu z pszenicą i siewy jednogatunkowe w 2021 roku była zależna od terminu siewu i składu gatunkowego mieszanki (Rys. 33).

Rośliny z jesiennego siewu czystego grochu zgromadziły największą masę azotu spośród wszystkich obiektów, a ponad 86% jego sumy zostało zgromadzone w nasionach. Groch wysiewany jesienią zgromadził nieznacznie większą masę azotu w słomie niż groch wysiewany jesienią, ale masa azotu zgromadzona w nasionach była o 27% niższa. Rośliny z czystych siewów pszenicy ozimej i jarej zgromadziły podobną masę azotu w nadziemnych częściach roślin. Wśród mieszanek, wpływ terminu siewu, a więc i formy

pszenicy na masę zgromadzonego azotu uwidocznił się tylko w przypadku mieszanki G40P60, gdzie siew jesienny sprzyjał wyższemu gromadzeniu azotu. Pozostałe mieszanki w obu terminach nie różniły się między sobą w zakresie badanej cechy.

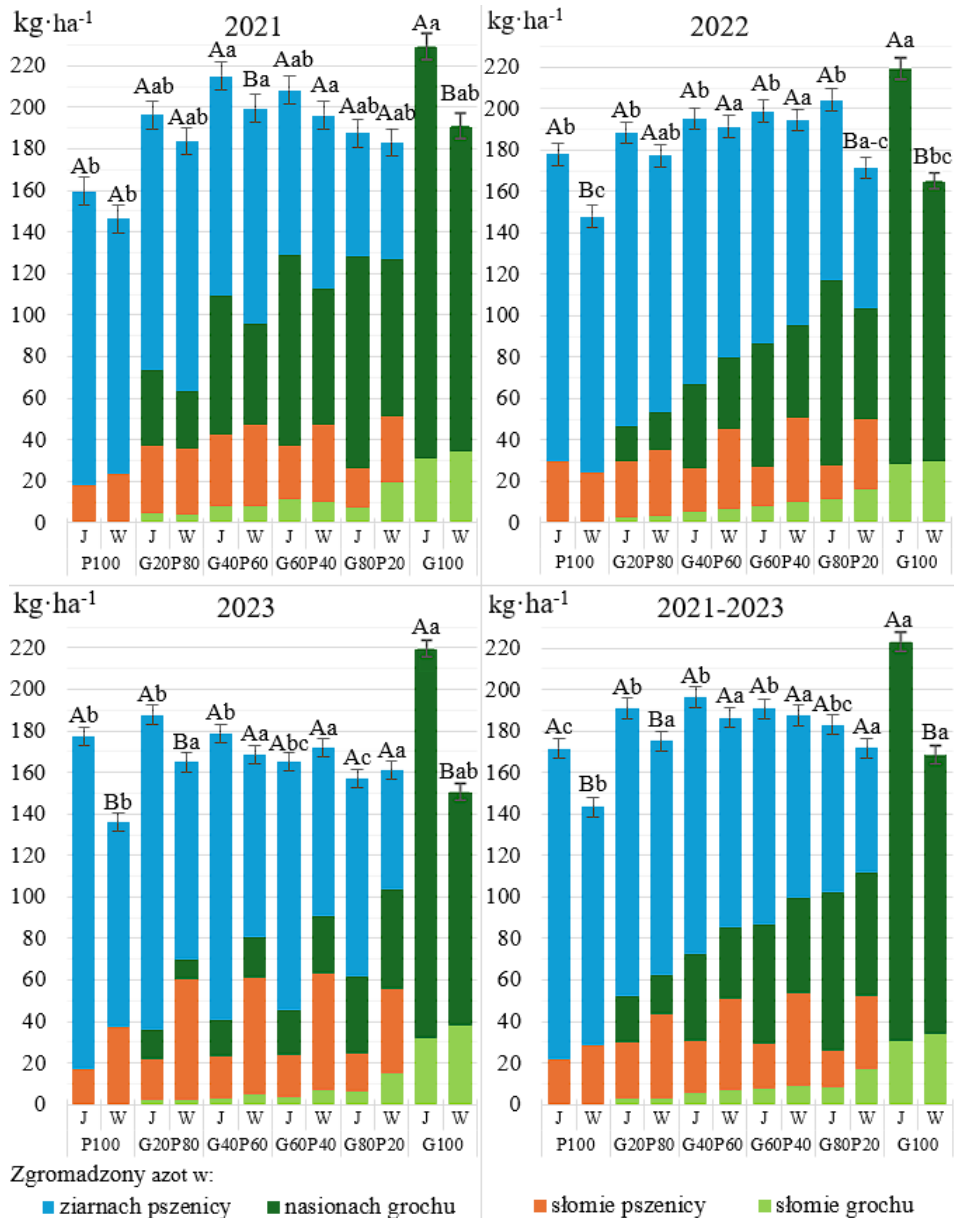
W zasiewach wiosennych najwyższą masą zgromadzonego azotu odznaczały się mieszanki G40P60 i G60P40. Podobną masę azotu zgromadziły pozostałe mieszanki i czysty siew grochu, które z kolei nie różniły się statystycznie pod względem tej cechy od pszenicy jarej w czystym siewie. Warto podkreślić jednak, że masa zgromadzonego azotu w poszczególnych częściach roślin różniła się w zależności od mieszanki. W zasiewach jesiennych, groch gromadził więcej azotu w nasionach niż w obiektach wysiewanych wiosną, przy podobnej dla obu terminów siewu masie azotu w słomie roślin, stanowiąc niewielką część masy z sumy zgromadzonego składnika. Masa azotu gromadzona przez nasiona pszenicy ozimej i jarej była podobna w obrębie danej mieszanki. Zauważono także mniejszą masę zgromadzoną w słomie pszenicy w jesiennych mieszankach G80P20 i G60P40 niż w mieszankach z niższym udziałem grochu, a także niż w mieszankach wysiewanych wiosną.

W 2022 roku jesienny termin determinował wyższą masę zgromadzonego azotu przez rośliny tylko w przypadku siewu czystego pszenicy, mieszanki G80P20 i siewu czystego grochu. W ramach jesiennego terminu siewu najwyższą masę azotu zgromadził groch w czystym siewie, a pozostałe kombinacje odznaczały się istotnie niższymi wartościami, które nie różniły się od siebie w sposób istotny. W przypadku zasiewów wiosennych największą masę azotu zgromadziły mieszanki G40P60 i G60P40 a najmniejszą pszenica w siewie czystym. Mieszanki wysiewane jesienią gromadziły więcej azotu w częściach generatywnych, a mniej w częściach wegetatywnych od ich wiosennych odpowiedników z wyjątkiem mieszanki G20P80.

W roku 2023 zasiewy czyste grochu, pszenicy oraz mieszanka G20P80, gromadziły większą masę azotu przy siewie jesiennym w porównaniu do wiosennego, a w przypadku pozostałych mieszanek termin siewu nie miał istotnego wpływu na wartość tej cechy. W ramach jesiennego terminu siewu czysty zasiew grochu zgromadził największą masę azotu w swoich organach nadziemnych, a mniejszą masę gromadziły zasiew czysty pszenicy i mieszanki G20P80 i G40P60. Mieszanka G60P40 ze statystycznego punktu widzenia gromadziła podobną masę azotu co pozostałe mieszanki i czysty siew pszenicy, a najmniejszą masę azotu zgromadziła mieszanka G80P20. W przypadku siewu wiosennego największą masę azotu gromadziły mieszanki, wśród których nie występowały istotne statystyczne różnice. Groch zgromadził pośrednią masę azotu między mieszankami, a siewem czystym pszenicy, z najmniejszą masą zgromadzonego azotu. W tym roku mieszanki wysiewane wiosną gromadziły znacznie więcej azotu w słomie pszenicy niż mieszanki jesienne, a była to także znacznie większa masa niż w latach poprzednich.

Średnio w latach 2021-2023 jesienny termin siewu sprzyjał wyższemu gromadzeniu azotu w mieszankach i siewie czystym grochu. W ramach

jesiennego terminu siewu groch cechował się najwyższą masą zgromadzonego azotu. Istotnie niższą masę gromadziły mieszanki, które nie różniły się pod względem tej cechy między sobą, a najmniejszą masę azotu zgromadziły rośliny z czystego siewu pszenicy ozimej. W przypadku siewów wiosennych, groch zgromadził podobną ilość azotu co mieszanki uzyskując wartości wyższe niż pszenica jara w siewie czystym. Masa gromadzonego azotu w nasionach pszenicy ozimej w mieszankach była wyższa niż w pszenicy wysiewanej wiosną, ale zawartość azotu w słomie była większa w pszenicy wysiewanej wiosną. Podobnie groch wysiewany jesienią gromadził większą masę azotu w nasionach a mniejsze w słomie niż groch wysiewany wiosną.



Rys. 33. Masa zgromadzonego azotu w biomacie nadziemnej roślin grochu i pszenicy w mieszankach i siewach jednogatunkowych ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają \pm SD. Oznaczenia terminów siewu: J – jesienny, W – wiosenny, a^b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

5.6. WSKAŹNIKI PRODUKCYJNE

5.6.1. Leaf Area Index (LAI)

Wartości LAI dla mieszanek grochu ze zbożami w latach 2021-2023 były zależne od gatunku zboża w mieszance, udziału komponentów mieszanki i roku badań (Tab. 41). Termin siewu nie wpływał na wartość tej cechy. Mieszanki z jęczmieniem charakteryzowały się wyższym LAI niż mieszanki z pszenicą. Zwiększanie udziału grochu w mieszance powodowało wzrost LAI. Mieszanka z 80% udziałem miała istotnie większy LAI od mieszanek z 40 i 20% udziałem grochu, a mieszanka z 60% udziałem grochu charakteryzowała się istotnie większym LAI od mieszanki z 20% udziałem grochu. Czysty zasiew grochu uzyskiwał najwyższy LAI, a czyste zasiewy zbóż najniższy. W latach 2021 i 2022 średnie wartości LAI były podobne, a w 2023 istotnie niższe niż w latach poprzednich.

Tab. 41. Leaf Area Index mieszanek i siewów czystych w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	LAI
Termin siewu (T)	Wiosenny	4,15
	Jesienny	4,26
F_{obl}, p 2,25^{ns}		
Gatunek zboża w mieszance (G)	Jęczmień	4,34 ^a
	Pszenica	4,07 ^b
F_{obl}, p 12,35^{***}		
Udział komponentów (U)	Z100	3,43 ^e
	G20Z80	3,81 ^d
	G40Z60	4,09 ^{cd}
	G60Z40	4,26 ^{bc}
	G80Z20	4,62 ^b
	G100	5,01 ^a
F_{obl}, p 37,21^{***}		
Lata (L)	2021	4,61 ^a
	2022	4,54 ^a
	2023	3,47 ^b
F_{obl}, p 94,13^{***}		
Interakcje: TxG^{ns}; TxU^{ns}; TxL^{***}; GxU^{ns}; LxU^{**}; TxGxU^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		4,20
SD		1,13
WZ, %		26,91

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; a, b, c – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

LAI mieszanek z jęczmieniem i siewów czystych w latach 2021-2023 był zależny od udziału grochu i roku uprawy, natomiast termin siewu nie miał

wpływu na tę cechę (Tab. 42). Groch uprawiany w siewie czystym cechował się najwyższym LAI i nie różnił się w sposób istotny od mieszanki z 80% udziałem grochu. Żadne mieszanki nie różniły się pomiędzy sobą w sposób istotny pod względem LAI. Czysty zasiew jęczmienia odznaczał się najniższymi wartościami LAI, które były podobne do mieszanki z 20% udziałem grochu. W 2023 roku LAI mieszanek z jęczmieniem i siewów czystych był istotnie niższy niż we wcześniejszych latach.

Tab. 42. Leaf Area Index mieszanek z udziałem jęczmienia i siewów czystych w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	LAI
Termin siewu (T)	Wiosenny	4,32
	Jesienny	4,36
F_{obl}, p 0,16^{ns}		
Udział komponentów (U)	J100	3,64 ^c
	G20J80	4,09 ^{bc}
	G40J60	4,31 ^b
	G60J40	4,33 ^b
	G80J20	4,55 ^{ab}
	G100	5,12 ^a
F_{obl}, p 12,06^{***}		
Lata (L)	2021	4,68 ^a
	2022	4,63 ^a
	2023	3,71 ^b
F_{obl}, p 29,81^{***}		
Interakcje: TxU^{ns}; TxL^{***}; UxL^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		4,34
SD		1,07
WZ, %		24,68

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; a, b, c – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

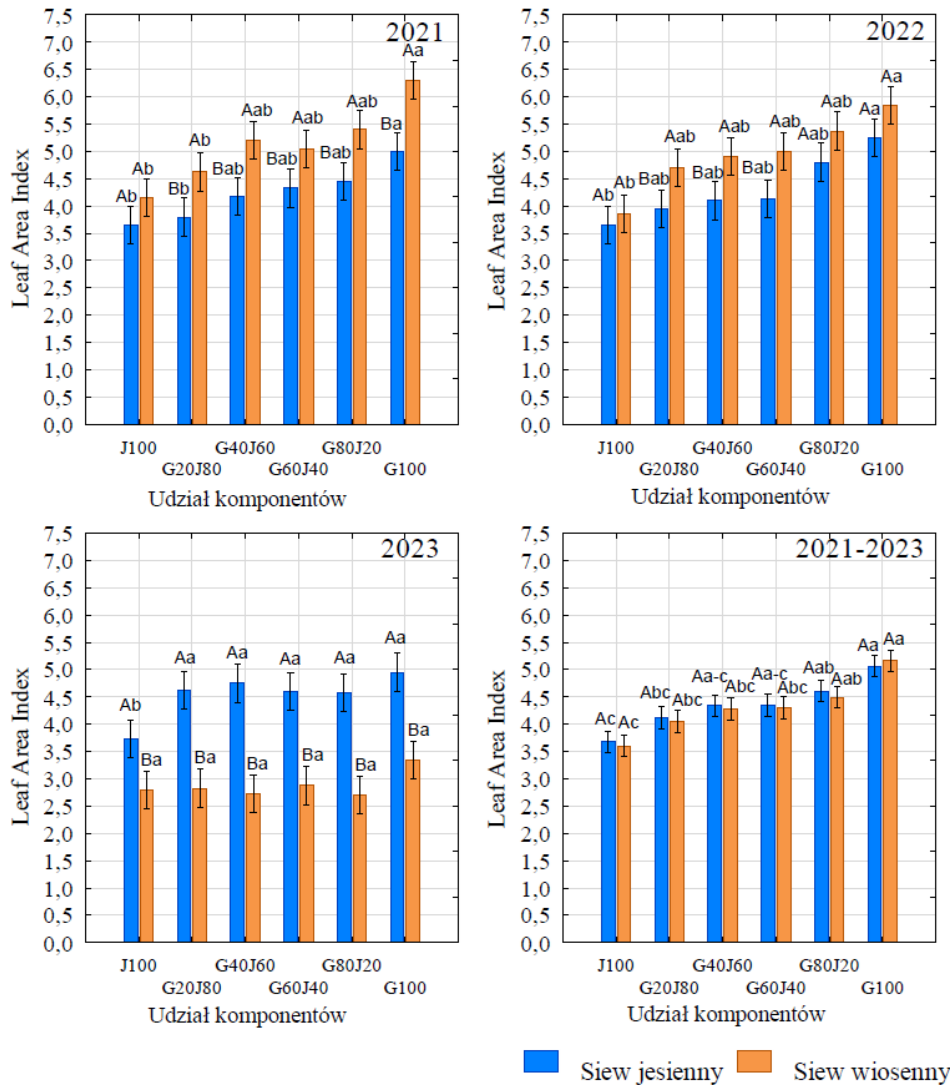
W 2021 roku groch i wszystkie mieszanki wysiewane wiosną odznaczały się istotnie wyższym LAI niż ich zimujące odpowiedniki. (Rys. 34). W przypadku jęczmienia, termin siewu nie miał wpływu na tę cechę. W ramach każdego z terminów siewu zależności między kombinacjami były identyczne i kształtowały się w taki sposób, że groch cechował się najwyższym LAI i nie różnił się pod tym względem od mieszanek z 40, 60 i 80% udziałem grochu. Czyste zasiewy jęczmienia cechowały się najniższym LAI, który pod względem statystycznym nie różnił się w sposób istotny od LAI mieszanek.

W 2022 roku wpływ terminu siewu na LAI uwidocznił się w mieszankach z 20, 40 i 60% udziałem grochu, gdzie korzystniejszy był termin wiosenny. W ramach każdego z terminów siewu istotne różnice w zakresie LAI występowały jedynie pomiędzy grochem a jęczmieniem w siewie czystym, gdzie

groch cechował się istotnie wyższym wskaźnikiem. LAI mieszanek nie różnił się w sposób istotny między sobą ani od siewów czystych grochu i jęczmienia.

W 2023 roku wpływ terminu siewu na LAI uwidocznił się we wszystkich kombinacjach i w odróżnieniu od poprzednich lat, wyższe wartości występowały w zasiewach jesiennych. W ramach wiosennego terminu siewu nie występowały istotne różnice pomiędzy różnymi poziomami udziału komponentów. W jesiennym terminie siewu, jęczmień ozimy cechował się istotnie niższym LAI niż pozostałe warianty.

Średnio w latach 2021-2023 termin siewu nie miał wpływu na LAI. W obu terminach siewu najwyższym LAI cechował się groch, który w siewach wiosennych nie różnił się od mieszanki z 80% udziałem grochu, a w przypadku zasiewów jesiennych, nie wykazano istotnych różnic pomiędzy grochem a mieszankami z 40, 60 i 80% udziałem tej rośliny. W żadnym z terminów nie uwidoczniły się istotne różnice w LAI pomiędzy poszczególnymi mieszankami. Jęczmień jary i ozimy cechowały się istotnie mniejszym LAI niż mieszanki z 80% udziałem grochu i siewy czyste grochu.



Rys. 34. Leaf Area Index mieszanek z jęczmieniem i zasiewów jednogatunkowych w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, ^{a, b, c} – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; ^{A, B} – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

W latach 2021-2023 LAI mieszanek z pszenicą był zależny od udziału komponentów i roku uprawy (Tab. 43). Groch uprawiany w siewie czystym i mieszanka z 80% jego udziałem odznaczały się istotnie wyższym wskaźnikiem od pozostałych kombinacji. Mieszanka z 60% udziałem miała istotnie wyższy

LAI od mieszanki z 20% udziałem i pszenicy uprawianej w siewie czystym, które nie różniły się między sobą w sposób istotny. Mieszanka z 40% udziałem grochu nie różniła się pod względem statystycznym w zakresie LAI od mieszanek z 20 i 60% jego udziałem. W 2023 roku średnia wartość LAI była istotnie niższa niż w 2021 i 2022 roku.

Tab. 43. Leaf Area Index mieszanek z udziałem pszenicy i siewów czystych w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	LAI
Termin siewu (T)	Wiosenny	3,98
	Jesienny	4,16
F_{obl, p} 3,41^{ns}		
Udział komponentów (U)	P100	3,22 ^d
	G20P80	3,54 ^{cd}
	G40P60	3,87 ^{bc}
	G60P40	4,20 ^b
	G80P20	4,70 ^a
	G100	4,91 ^a
F_{obl, p} 29,86^{***}		
Lata (L)	2021	4,54 ^a
	2022	4,45 ^a
	2023	3,23 ^b
F_{obl, p} 73,10^{***}		
Interakcje: TxU^{**}; TxL^{***}; UxL[*]		
Opis statystyczny		
Średnia		4,54
SD		1,04
WZ, %		22,91

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

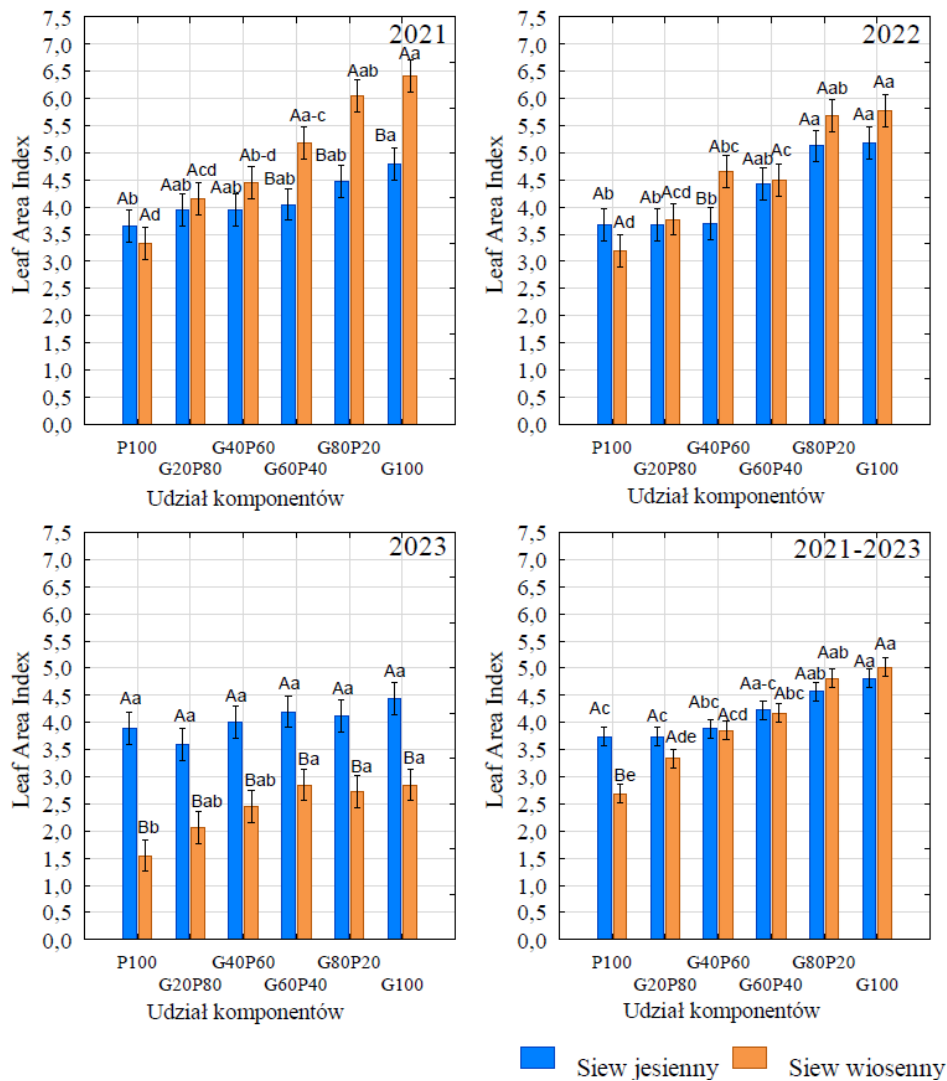
W 2021 roku wiosenny termin siewu umożliwił uzyskanie wyższej wartości LAI mieszanek pszenicy z 60 i 80% udziałem grochu, a także siewu czystego grochu (Rys. 35). W pozostałych przypadkach nie stwierdzono istotnych różnic w LAI pod wpływem terminu siewu. W ramach wiosennego terminu siewu najwyższą wartością LAI odznaczał się czysty zasiew grochu, który nie różnił się istotnie od mieszanek z 60 i 80% udziałem grochu. Wśród mieszanek, istotne różnice występowały jedynie pomiędzy mieszanką z 20% a 80% udziałem grochu, a korzyść mieszanki z wyższym udziałem. Pszenica jara w czystym siewie miała najniższy LAI, który nie różnił się istotnie od mieszanek z 20 i 40% udziałem grochu. W przypadku zasiewów zimujących, istotne różnice w zakresie LAI występowały jedynie pomiędzy siewami czystymi komponentów na korzyść grochu.

W 2022 roku terminu siewu różnicował LAI tylko w przypadku mieszanki z 40% udziałem grochu, powodując wyższą wartość w wiosennym terminie

siewu. Najwyższą wartością LAI wśród mieszanek wysiewanych wiosną odznaczał się groch, który nie różnił się istotnie od mieszanki z 80% udziałem grochu. Mieszanka z 40% udziałem grochu nie różniła się istotnie pod względem LAI od pozostałych mieszanek, z kolei mieszanka z 20% udziałem grochu miała podobny statystycznie LAI co pszenica jara w czystym siewie i mieszanki z 40 i 60% udziałem grochu. Wśród jesiennych zasiewów najniższym LAI odznaczała się pszenica ozima wraz z mieszankami z 20, 40 i 60% udziałem grochu. Natomiast groch wysiewany jesienią miał wyższe LAI, które nie różniło się statystycznie od wskaźnika mieszanek z 60 i 80% udziałem grochu.

W 2023 roku wszystkie kombinacje jesienne cechowały się istotnie wyższym LAI niż ich wiosenne odpowiedniki. Nie notowano istotnych statystycznie różnic pomiędzy poziomami udziału komponentów w jesiennym terminie siewu, a pszenica jara uprawiana w siewie czystym miała LAI istotnie niższy od mieszanek z 60 i 80% udziałem grochu oraz siewu czystego. Żadne mieszanki nie różniły się istotnie od siebie ani grochu pod względem wysokości LAI.

Średnio w latach 2021-2023 różnice LAI pod wpływem terminu siewu obserwowano tylko w przypadku czystych siewów pszenicy, na korzyść formy ozimej. W ramach jesiennego terminu siewu mieszanka z 80% udziałem grochu charakteryzowała się istotnie wyższym LAI od siewu czystego pszenicy oraz mieszanki z 20% udziałem grochu. Mieszanka z 60% udziałem grochu nie różniła się istotnie pod względem LAI od pozostałych mieszanek. W ramach wiosennego terminu siewu groch oraz mieszanka z 80% udziałem tej rośliny, odznaczały się istotnie wyższą wartością LAI niż pszenica ozima oraz jej mieszanki z 20 i 40% udziałem grochu. Najniższymi wartościami LAI cechowały pszenica jara uprawiana w siewie czystym oraz mieszanka z 20% udziałem grochu.



Rys. 35. Leaf Area Index mieszanek grochu siewnego z pszenicą i zasiewów jednogatunkowych w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

5.6.2. Harvest Index (HI)

HI był zależny od terminu siewu, gatunku zboża w mieszance, udziału grochu w mieszance oraz roku uprawy. Wystąpiła także interakcja między wszystkimi czynnikami doświadczenia (Tab. 44). Mieszanki i pojedyncze komponenty wysiewane jesienią charakteryzowały się wyższym HI niż mieszanki wysiewane wiosną. Udział jęczmienia w mieszankach skutkowało wyższym HI niż w mieszankach z pszenicą. Spośród wszystkich poziomów udziału komponentów groch odznaczał się najwyższym HI, a czyste siewy zbóż miały niższy wskaźnik od grochu, ale wyższy od mieszanek. Najniższe wartości omawianej cechy występowały w mieszankach z 40, 60 i 80% udziałem grochu. Wartość HI była najwyższa w 2022 roku na najniższa w 2023 roku.

Tab. 44. Harvest Index mieszanek i siewów czystych w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	HI (%)
Termin siewu (T)	Wiosenny	46,96 ^b
	Jesienny	51,47 ^a
F_{obl, p} 444,47***		
Gatunek zboża w mieszance (G)	Jęczmień	50,35 ^a
	Pszenica	48,08 ^b
F_{obl, p} 112,88***		
Udział komponentów (U)	Z100	50,60 ^b
	G20Z80	48,91 ^c
	G40Z60	47,91 ^{cd}
	G60Z40	47,46 ^d
	G80Z20	47,12 ^d
	G100	53,31 ^a
F_{obl, p} 81,67***		
Lata (L)	2021	49,63 ^b
	2022	52,06 ^a
	2023	45,96 ^c
F_{obl, p} 275,25***		
Interakcje: TxG***; TxU**; TxL***; GxU*; TxGxU***		
Opis statystyczny		
Średnia		49,22
SD		5,99
WZ, %		12,17

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ns – brak istotnego działania czynnika; a, b, c – ta sama litera oznacza brak istotnego różnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

Wśród mieszanek z jęczmieniem, HI, był zależny od udziału grochu w mieszance i roku uprawy, ale nie różnił się w zależności od terminu siewu. Występowały również interakcje badanych czynników w kształtowaniu tego wskaźnika (Tab. 45). Groch uprawiany w siewie czystym cechował się najwyższym HI spośród wszystkich kombinacji, istotnie niższy był on

w jęczmieniu uprawianym w czystym siewie, a najniższy w mieszankach z 60 i 80% udziałem grochu. W 2022 roku występowały najwyższe wartości HI, a najniższe stwierdzono w 2023 roku.

Tab. 45. Harvest Index mieszanek z udziałem jęczmienia w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	HI (%)
Termin siewu (T)	Wiosenny	50,10
	Jesienny	50,61
F_{obl}, p 3,88^{ns}		
Udział komponentów (U)	J100	52,11 ^b
	G20J80	50,36 ^c
	G40J60	49,24 ^{cd}
	G60J40	48,65 ^d
	G80J20	48,11 ^d
	G100	53,63 ^a
F_{obl}, p 45,14^{***}		
Lata (L)	2021	50,18 ^b
	2022	53,56 ^a
	2023	47,33 ^c
F_{obl}, p 190,63^{***}		
Interakcje: TxU^{***}; TxL^{***}; UxL^{***}		
Opis statystyczny		
Średnia		50,35
SD		5,25
WZ, %		10,42

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego różnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

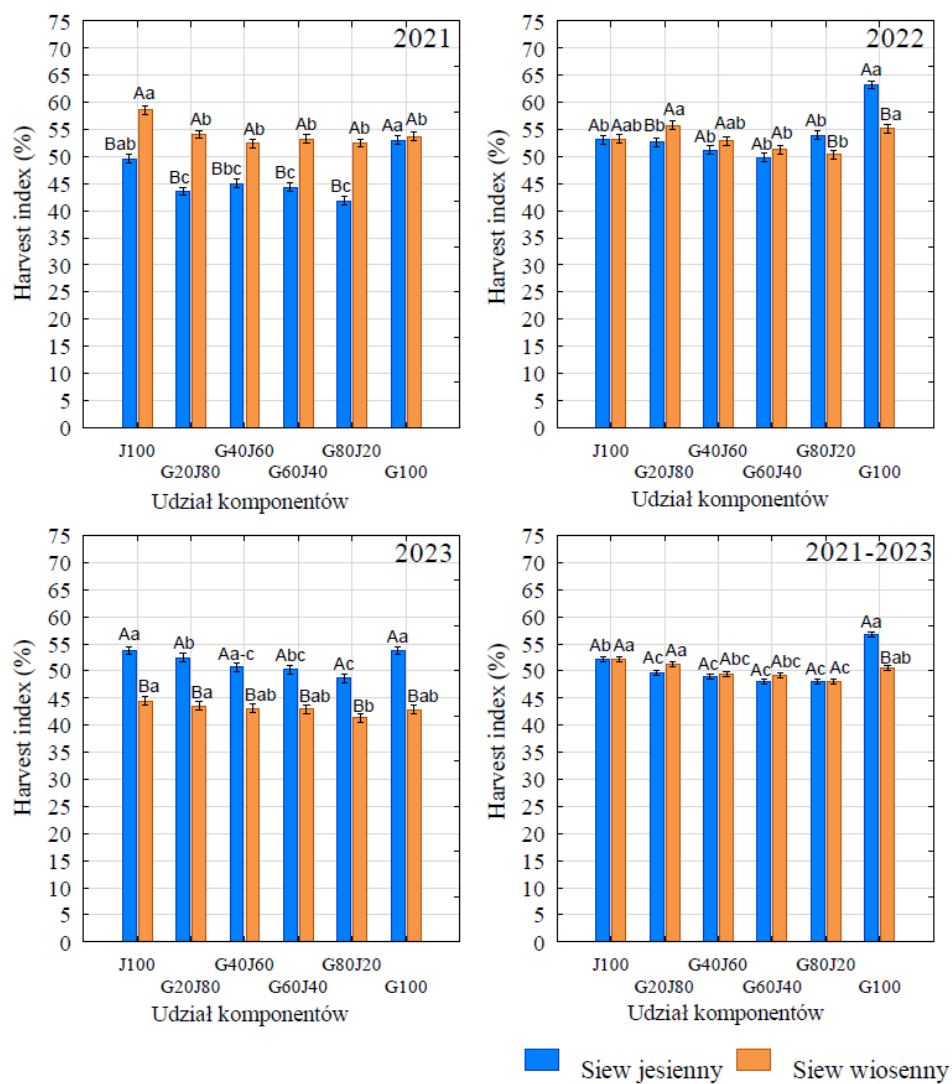
W 2021 roku wpływ terminu siewu na wielkość HI wystąpił we wszystkich mieszankach oraz w jęczmieniu uprawianym w siewie czystym (Rys. 36). W obiektach tych rośliny wysiewane wiosną charakteryzowały się wyższym HI. W ramach jesiennego terminu siewu, groch cechował się wyższym HI od mieszanek, a jęczmień uzyskał HI podobny do grochu i mieszanki z 40% udziałem grochu. Mieszanki zimujące nie różniły się pomiędzy sobą w zakresie tej cechy. W przypadku siewu wiosennego, pszenica jara osiągnęła wyższy HI od pozostałych kombinacji.

W 2022 roku różnicowanie HI w wyniku zastosowanych czynników było mniejsze. Termin siewu różnicował tę cechę tylko w przypadku grochu oraz mieszanek z 20 i 80% jego udziałem. Mieszanka wysiewana wiosną z niższym udziałem grochu cechowała się wyższym HI, a groch i mieszanka z 80% udziałem grochu osiągały wyższy HI w siewie jesiennym. Mieszanka wysiewana wiosną z 20% udziałem grochu oraz groch wysiewany wiosną miały istotnie wyższy HI od mieszanek z 60 i 80% udziałem grochu, i nie różniły się pod tym względem od pozostałych kombinacji w ramach wiosennego terminu siewu.

W przypadku jesiennego terminu, groch zimujący cechował się wyższym HI od pozostałych poziomów czynnika.

W 2023 roku we wszystkich poziomach udziału komponentów jesienny termin siewu determinował wyższy HI niż wiosenny termin siewu. W ramach jesiennego terminu siewu, jęczmień i groch charakteryzowały się najwyższymi wartościami HI, a najniższymi mieszanka z 80% udziałem grochu. Wśród mieszanek najwyższym HI cechowała się mieszanka z 20% udziałem grochu. W wiosennym terminie siewu najwyższe wartości HI występowały w pszenicy jarej oraz mieszance z 20% udziałem grochu, z kolei najniższą wartością HI cechowała się mieszanka z 80% udziałem grochu. Pozostałe kombinacje nie różniły się w sposób istotny od wartości skrajnych.

Średnio w latach 2021-2023 jesienny termin siewu umożliwił uzyskanie istotnie na wyższej wartości HI tylko w przypadku grochu uprawianego w siewie czystym, a w pozostałych kombinacjach termin siewu nie miał wpływu na tę cechę. W jesiennym terminie siewu najwyższym HI odznaczał się groch. Jęczmień miał istotnie niższy HI od grochu, ale wyższy od wszystkich mieszanek, które nie różniły się w sposób istotny między sobą. Spośród obiektów wysiewanych wiosną, najwyższym HI charakteryzował się jęczmień jary oraz mieszanka z 20% udziałem grochu, a istotnie niższym mieszanka z 80% udziałem grochu.



Rys. 36. Harvest Index mieszanek z jęczmieniem i siewów jednogatunkowych w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

Wśród mieszanek grochu z pszenicą i siewów czystych HI był zależny od terminu siewu, udziału komponentów oraz roku uprawy (Tab. 46). Także interakcje badanych czynników wpływały na zróżnicowanie HI. Jesienny termin

siewu determinował wyższe wartości HI niż wiosenny. Groch cechował się wyższym HI od pszenicy, a ta od mieszanek z 40, 60 i 80% udziałem grochu. 2022 rok sprzyjał najwyższemu HI, a najniższy uzyskano w 2023 roku.

Tab. 46. Harvest Index mieszanek z udziałem pszenicy i siewów jednogatunkowych w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	HI (%)
Termin siewu (T)	Wiosenny	43,83 ^b
	Jesienny	52,33 ^a
F_{obl, p} 629,59***		
Udział komponentów (U)	P100	49,08 ^b
	G20P80	47,46 ^{bc}
	G40P60	46,58 ^c
	G60P40	46,26 ^c
	G80P20	46,12 ^c
	G100	52,99 ^a
F_{obl, p} 40,54***		
Lata (L)	2021	49,09 ^b
	2022	50,56 ^a
	2023	44,59 ^c
F_{obl, p} 112,45***		
Interakcje: TxU***; TxL***; UxL*		
Opis statystyczny		
Średnia		48,08
SD		6,47
WZ, %		13,46

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

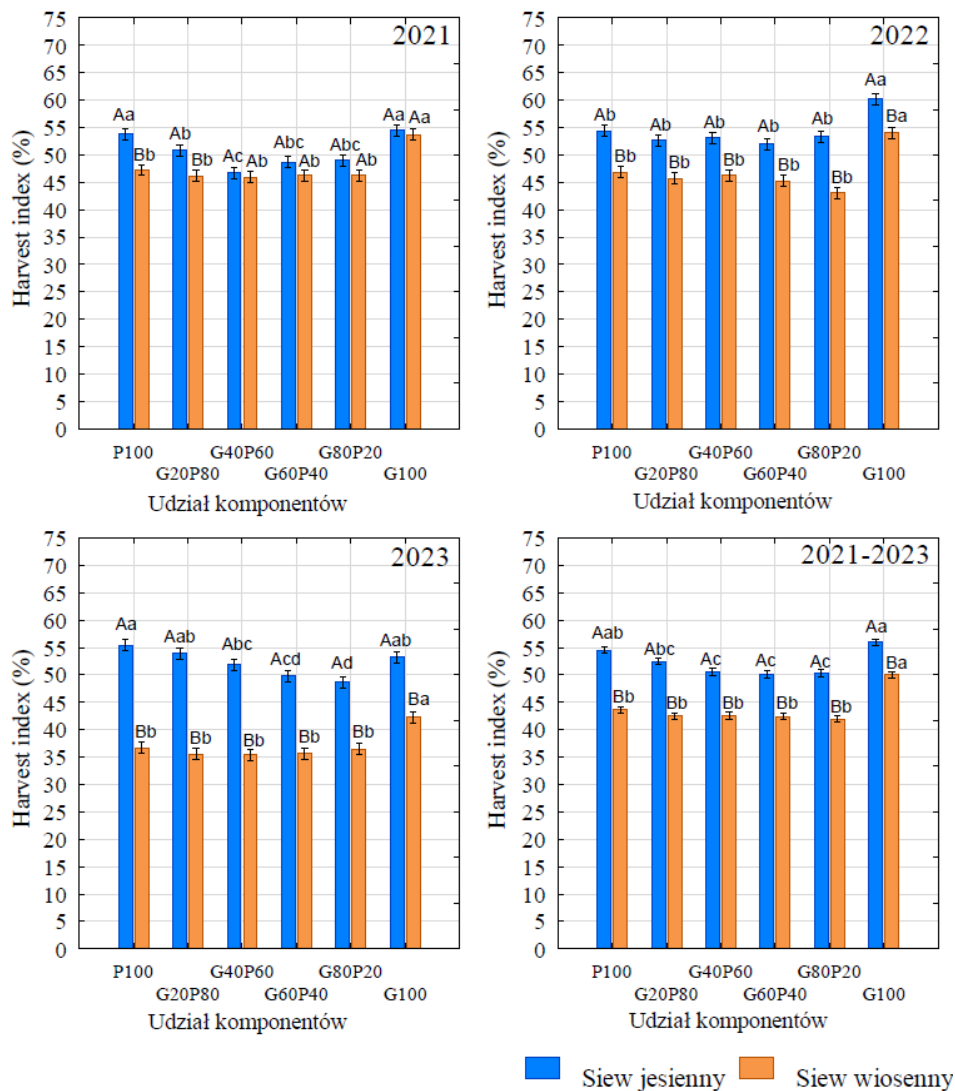
W 2021 roku wykazano zależność HI od terminu siewu dla czystego siewu pszenicy oraz mieszanki z 20% udziałem grochu (Rys. 37). Jesienny termin siewu w tych przypadkach umożliwił uzyskanie wyższej wartości HI. W ramach jesiennego terminu siewu pszenica i groch odznaczały się wyższym HI od mieszanek, a mieszanka z 20% udziałem grochu miała istotnie wyższy HI od mieszanki z 40% udziałem grochu. Wysiewany wiosną groch w siewie czystym miał wyższy HI od pozostałych obiektów z siewów wiosennych.

W 2022 roku jesienny termin siewu owocował wyższym HI we wszystkich analizowanych przypadkach. W poszczególnych terminach siewu to obiekty z grochem w czystym siewie miały wyższy HI od pozostałych poziomów czynnika.

W 2023 roku ponownie jesienny termin siewu sprzyjał wyższemu HI we wszystkich obiektach. Istotne różnice w HI obiektów wysiewanych jesienią obserwowano pomiędzy pszenicą a mieszankami z 40, 60 i 80% udziałem grochu na korzyść pszenicy, a groch miał wyższy HI od mieszanek z 60 i 80% udziałem

grochu. W przypadku siewu wiosennego, groch cechował się wyższym HI od mieszanek i pszenicy w czystym siewie.

Średnio w badanym trzyleciu jesienny termin siewu umożliwił uzyskanie wyższych wartości HI w porównaniu z siewem wiosennym. Wśród jesiennych kombinacji najwyższym HI cechował się groch, a najniższym mieszanka, które nie różniły się od siebie statystycznie pod względem badanej cechy.



Rys. 37. Harvest Index mieszanek z pszenicą i zasiewów jednogatunkowych w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

5.6.3. Land Equivalent Ratio (LER)

LER mieszanek grochu z jęczmieniem w latach 2021-2023 nie wykazał istotnej zależności od badanych czynników (Tab. 47). Żaden z poziomów czynników nie wpływał na znaczącą poprawę średniej efektywności mieszanek

w porównaniu do upraw czystych, choć wartość bezwzględna LER w mieszankach jesiennych była nieco wyższa niż w wiosennych.

Tab. 47. Land Equivalent Ratio mieszanek z jęczmieniem w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	LER
Termin siewu (T)	Wiosenny	0,95
	Jesienny	0,99
F_{obl, p} 2,36^{ns}		
Udział komponentów (U)	G20J80	0,99
	G40J60	1,00
	G60J40	0,98
	G80J20	0,91
F_{obl, p} 2,02^{ns}		
Lata (L)	2021	0,95
	2022	1,01
	2023	0,94
F_{obl, p} 2,36^{ns}		
Interakcje: TxU^{ns}; TxL^{***}; UxL^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		0,97
SD		0,15
WZ, %		15,57

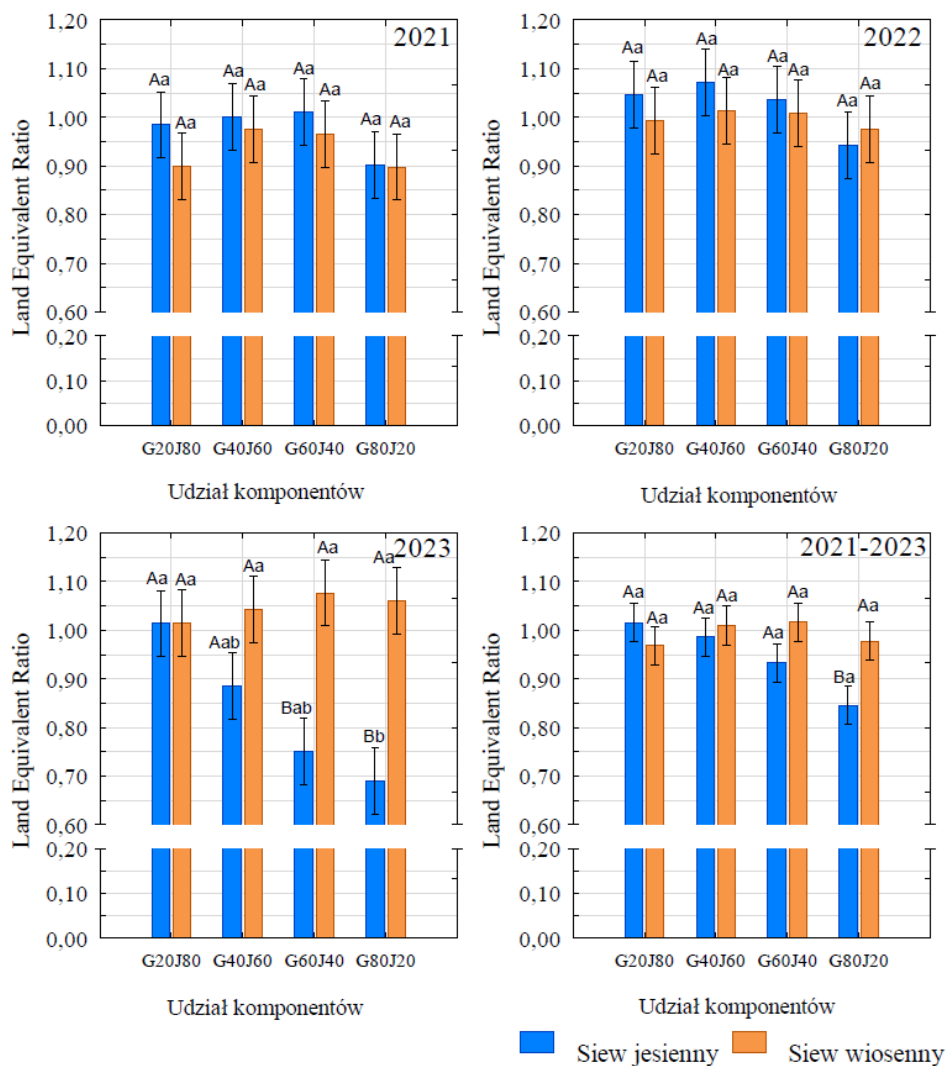
***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; a, b, c – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

W latach 2021 i 2022 LER mieszanek grochu z jęczmieniem nie był zależny od terminu siewu i udziału komponentów (Rys. 38). Wartości cechy powyżej 1,0 osiągnęły mieszanki zimujące z 40 i 60 % udziałem grochu w 2021 roku, a także mieszanki zimujące z 20,40 60% udziałem grochu oraz mieszanki wysiewane wiosną z 40 i 60% udziałem grochu w 2022 roku. Wydajność pozostałych mieszanek była mniejsza niż uprawy każdego z gatunków mieszanki osobno.

W 2023 roku wpływ na LER mieszanek miał termin siewu oraz udział komponentów w jesiennym terminie siewu. Mieszanki wysiewane wiosną z 40, 60 i 80 % udziałem grochu osiągnęły istotnie wyższe wartości współczynnika niż te same mieszanki z siewu jesiennego. Wszystkie mieszanki wysiewane wiosną osiągnęły wartość wskaźnika LER powyżej 1,0. W przypadku jesiennego terminu siewu najwyższą wartość LER osiągnęła mieszanka z 20% udziałem grochu. Była to jedyna wartość powyżej 1,0 dla tego terminu siewu. Kolejne dwie mieszanki – z 40 i 60% udziałem grochu nie różniły się w sposób istotny od pozostałych mieszanek. Najniższą wartość LER uzyskała mieszanka zimująca z 80% udziałem grochu.

Średnio w latach 2021-2023 efektywność mieszanek była wyższa od rozdzielnej uprawy każdego z gatunków tylko w przypadku zimującej mieszanki z 20% udziałem grochu oraz mieszanek wysiewanych wiosną z 40 i 60% udziałem grochu. Istotne różnice ze względu na termin siewu obserwowano tylko

w przypadku mieszanki z 80% udziałem grochu, gdzie korzystniejszy był wiosenny termin siewu. Udział komponentów nie miał istotnego wpływu na wartość LER w żadnym z terminów siewu.



Rys. 38. Land Equivalent Ratio mieszanek z jęczmieniem w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

LER mieszanek pszenicy z grochem w latach 2021-2023 nie był zależny od terminu siewu i roku uprawy, jednak istotny wpływ na jego wartość miał

udział komponentów mieszanki (Tab. 48). W obiekcie z 80% udziałem grochu stwierdzono istotnie niższy LER niż w pozostałych mieszankach.

Tab. 48. Land Equivalent Ratio mieszanek z pszenicą w latach 2021-2023

Czynnik	Poziom czynnika	LER
Termin siewu (T)	Wiosenny	0,94
	Jesienny	0,95
F_{obl}, p 0,55^{ns}		
Udział komponentów (U)	G20P80	1,00 ^a
	G40P60	0,99 ^a
	G60P40	0,95 ^a
	G80P20	0,86 ^b
F_{obl}, p 9,05^{***}		
Lata (L)	2021	0,98
	2022	0,94
	2023	0,93
F_{obl}, p 1,64^{ns}		
Interakcje: TxU^{ns}; TxL^{***}; UxL^{ns}		
Opis statystyczny		
Średnia		0,95
SD		0,12
WZ, %		13,04

***, **, * – istotność na poziomie 0,001; 0,01; 0,05; ^{ns} – brak istotnego działania czynnika; ^{a, b, c} – ta sama litera oznacza brak istotnego zróżnicowania cechy w kolumnie dla danego czynnika.

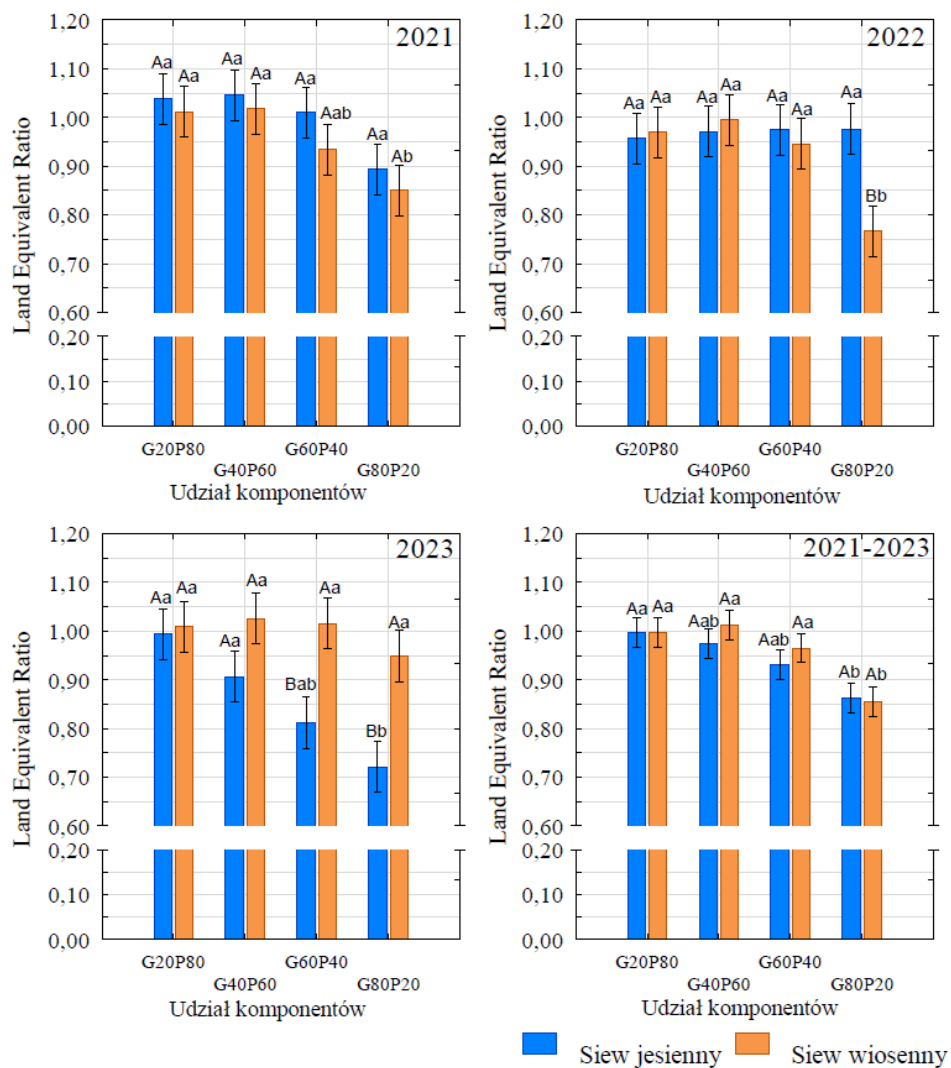
W 2021 roku LER nie był zależny od terminu siewu mieszanki z pszenicą, a udział komponentów miał wpływ na tę cechę tylko w przypadku wiosennego terminu siewu, w którym mieszanki z 20 i 40% udziałem grochu charakteryzowały się wyższym LER niż mieszanka z 80% udziałem grochu (Rys. 39).

W 2022 roku LER był wyższy w przypadku jesiennego terminu siewu w mieszance z 80% udziałem grochu, a w pozostałych przypadkach nie był zależny od terminu siewu. Udział komponentów mieszanki miał wpływ na LER tylko w przypadku mieszanek wysiewanych wiosną, w których mieszanka z 80% udziałem grochu odznaczała się niższym LER niż pozostałe mieszanki.

W 2023 roku wpływ terminu siewu na LER uwidocznili się w przypadku mieszanek z 60 i 80% udziałem grochu, gdzie wyższymi wartościami odznaczały się mieszanki wysiewane wiosną. Wpływ udziału komponentów mieszanki różnicował LER w mieszankach zimujących, w których mieszanki z 20 i 40% udziałem grochu cechował wyższy LER niż mieszankę z 80% udziałem grochu.

Synteza trzyletnich wyników nie uwidoczniała zależności LER od terminu siewu, a udział komponentów miał wpływ na wielkość wskaźnika w obu terminach siewu. W przypadku mieszanek wysiewanych wiosną, kombinacja z 80% udziałem grochu odznaczała się istotnie niższym LER niż pozostałe

mieszanki. Z kolei zimujące mieszanki z 20% udziałem grochu miały istotnie wyższy LER niż mieszanka z 80% udziałem tej rośliny.



Rys. 39. Land Equivalent Ratio mieszanek z pszenicą w latach 2021-2023

Wąsy na słupkach oznaczają +/- SD, a, b, c – dane oznaczone różnymi małymi literami w obrębie danego terminu siewu różnią się istotnie w wyniku wpływu składu mieszanki, przy $p < 0,05$; A, B – dane oznaczone różnymi dużymi literami w obrębie danego składu mieszanki różnią się istotnie w wyniku wpływu terminu siewu, przy $p < 0,05$

6. Dyskusja wyników

Przeprowadzone doświadczenia ze zróżnicowanym udziałem pszenicy, jęczmienia i grochu w mieszankach na przestrzeni lat 2021-2023, potwierdzają znaną z literatury wysoką zimotrwałość pszenicy ozimej (Janicki i Brzostowicz, 2006), dającą podstawę do stosowania jej jako komponentu mieszanki z zimującym grochem. Niskie ubytki obsady pszenicy po zimie (1,24%-3,57%) są zgodne z wcześniejszymi wynikami badań, które wskazują, że pszenica ozima jest odporna na zimowe warunki, a zgromadzone oligosacharydy w korzeniach odgrywają kluczową rolę w przetrwaniu ujemnych temperatur i późniejszym wzroście (Zabotina i in., 2003). Zgodnie z badaniami Xin i in. (2022) odpowiednio dobrana obsada roślin poprawia rozkład korzeni, co przyczynia się do lepszego pobierania wody i składników odżywczych, szczególnie z górnej warstwy o głębokości do 40 cm. Obsada grochu była bardziej podatna na ubytki zimowe, szczególnie w 2022 roku, kiedy straty wyniosły 13,82% w mieszankach z pszenicą i 14,96% w mieszankach z jęczmieniem. Te wyniki są zbliżone z wcześniejszymi badaniami Pelzera i in. (2016) nad mieszankami grochu i pszenicy, które wskazują, że groch, ze względu na delikatniejszą strukturę, jest bardziej podatny na zmienne warunki zimowe. Jednocześnie jednak mieszanki grochu i zbóż wykazują lepsze wykorzystanie zasobów gleby i zapewniają korzyści wynikające z interakcji międzygatunkowych, co może częściowo kompensować większe ubytki obsady grochu. W przypadku jęczmienia ozimego, straty po zimie były nieco większe niż w pszenicy, co jest zgodne z wcześniejszymi wynikami badań nad zimotrwałością, które pokazują, że współczesne odmiany jęczmienia dobrze radzą sobie w trudnych warunkach zimowych, ale nadal jęczmień jest bardziej podatny na wymarzenie w porównaniu do innych zbóż ozimych (Ferrante i in., 2021). W 2022 roku stwierdzono większe ubytki obsady zarówno dla grochu, jak i jęczmienia w porównaniu do pszenicy, co może wynikać z trudniejszych warunków pogodowych tego roku polegających na powtarzających się procesach zamarzania i odmarzania roślin na początku wegetacji wiosennej. Niemniej jednak, zgodność obsady pszenicy i jęczmienia z założeniami była bardzo wysoka, przekraczając 90% w każdym roku dla obu gatunków, co świadczy o stabilności wyników.

Badania wykazały, że obsada kłosów była istotnie wyższa w zasiewach jednogatunkowych, co jest zgodne z wynikami badań nad efektywnością mieszanek Salinas-Roco i in., (2024). Wyniki te potwierdzają, że obniżanie się obsady kłosów nie było proporcjonalne do zmniejszania udziału zboża w mieszance, co jest charakterystyczne przy konkurencji między roślinami o światło i składniki odżywcze i wpływa to na niższy współczynnik krzewienia w gęstszych zasiewach. Stopień redukcji obsady kłosów wraz ze zmniejszaniem udziału komponentu zbożowego był podobny w obu formach jęczmienia i wynosił średnio 11, 23, 38 i 59% odpowiednio przy zmniejszaniu udziału ziaren zbóż w materiale siewnym o 20, 40, 60 i 80% w stosunku do normy wysiewu

jęczmienia w siewie czystym. W przypadku pszenicy występowały większe różnice pomiędzy formami i redukcja wynosiła około 4, 19, 34 i 54% w pszenicy ozimej oraz 16, 27, 48 i 62% w pszenicy jarej przy zmniejszaniu jej udziału w wysiewanej mieszance odpowiednio o 20, 40, 60 i 80%. Mieszanki zbóż z roślinami strączkowymi mogą poprawiać efektywność wykorzystania zasobów, ale jednocześnie powodować większą konkurencję między roślinami, co wpływa na strukturę plonu (Mamine i Farès, 2020).

Wyniki dotyczące kształtowania zależności liczby strąków na roślinie wskazują na istotny wpływ terminu siewu, co potwierdzają badania przeprowadzone przez Neugschwandtner i in. (2019b), w których podkreślano przewagę jesiennego siewu nad wiosennym w zakresie tej cechy. W cytowanych wyżej badaniach wykazano, że rośliny grochu wysiewane jesienią mają lepsze warunki do akumulacji biomasy, co przekłada się na większą liczbę strąków na roślinie, i jest zbliżone z badaniami własnymi. Warunki te obejmują dłuższy okres wegetacji oraz lepsze wykorzystanie zimowej wilgoci glebowej, co sprzyja rozwojowi roślin w późniejszych fazach. Udział roślin współrzędnych w mieszankach powodował istotne obniżenie liczby strąków grochu, co jest zgodne z badaniami Zająca i in. (2013), którzy również zauważyli, że współrzędne uprawy często prowadzą do konkurencji między roślinami, co skutkuje mniejszą liczbą strąków na roślinie w porównaniu do uprawy monogatunkowej. W niniejszych badaniach pszenica w mieszankach z grochem miała szczególnie negatywny wpływ na liczbę strąków, co można wyjaśnić intensywną konkurencją o wodę i składniki odżywcze, między tymi gatunkami. Wyliczona na potrzeby porównania obsada strąków na jednostce powierzchni jako iloczyn obsady grochu i liczby strąków na roślinie, zmniejszała się intensywniej w porównaniu do zmniejszania udziału grochu w wysiewanym materiale. Redukcja obsady strąków grochu w mieszankach wysiewanych wiosną wynosiła średnio 44, 58, 72 i 86% odpowiednio przy zmniejszeniu liczby nasion grochu w materiale siewnym o 20, 40, 60 i 80%. W mieszankach z gatunkami ozimymi redukcja obsady strąków na skutek konkurencji w łanie była większa i wynosiła 58, 68, 79 i 89% odpowiednio w mieszankach jęczmienia ozimego z 80, 60, 40 i 20% udziałem grochu, oraz 48, 62, 72, 87% w mieszankach pszenicy ozimej z 80, 60, 40 i 20% udziałem grochu. Różnice w liczbie strąków na roślinie pomiędzy czystym siewem grochu a mieszankami były bardziej widoczne w latach 2022 i 2023, gdy panowały mniej korzystne warunki pogodowe, co wskazuje na możliwą rolę współzawodnictwa międzygatunkowego. Jak zauważono w badaniach Živanov i in. (2018), w mieszankach roślin strączkowych zboża mogą ograniczać dostęp do zasobów, co prowadzi do zmniejszenia liczby strąków na roślinie, szczególnie w latach o optymalnych warunkach dla intensywnego wzrostu.

Jesienny termin siewu sprzyjał większej liczbie ziaren w kłosie w porównaniu do wiosennego, co zdaniem Neugschwandtner i in. (2015) wynika z dłuższego okresu wegetacji i lepszego wykorzystania dostępnych zasobów, takich jak woda i składniki mineralne. W badaniach własnych potwierdzono, że

udział grochu w mieszance prowadzi do zwiększenia liczby ziaren w kłosie zbóż, co jest zbieżne z wynikami Cowden i in. (2020), którzy wykazali, że obecność grochu w mieszankach zbożowych wpływa na poprawę żyzności gleby poprzez dostarczanie azotu, co skutkuje zwiększoną liczbą ziaren w kłosie. W badaniach własnych, zarówno w pszenicy jak i w jęczmieniu, najlepsze wyniki uzyskano w mieszankach z 80% udziałem grochu, co potwierdza synergiczny efekt upraw współrzędnych.

Badania przeprowadzone przez Lithourgidis i in. (2011b) dotyczące mieszanek zbożowo-strączkowych wykazały, że interakcje między roślinami mogą wpływać na plonowanie, ale wpływ proporcji komponentów w mieszance na liczebność nasion w strąkach nie zawsze jest istotny. To znajduje potwierdzenie w prezentowanych wynikach, gdzie udział grochu w mieszance nie miał istotnego wpływu na tę cechę. Również termin wysiewu nie powodował istotnych zmian w liczbie nasion w strąku. Wysoka stabilność liczby nasion w strąku grochu, jak wykazano w wynikach, może sugerować, że cecha ta jest warunkowana genetycznie i zachowuje stabilność pomimo zmieniających się warunków środowiskowych (Monti i in., 2016).

Jesienny termin siewu prowadził do zwiększenia masy tysiąca ziaren zbóż średnio o około 10% w porównaniu z siewem wiosennym. Większe różnice wynoszące około 18% występowały w przypadku jęczmienia, a mniejsze, wynoszące 3,6% w przypadku pszenicy. Wyniki te są zgodne z obserwacjami innych autorów, którzy wskazują, że wcześniejszy termin siewu sprzyja lepszemu rozwojowi systemu korzeniowego i efektywniejszemu wykorzystaniu dostępnych zasobów wody i składników pokarmowych, co przekłada się na wyższy plon i lepszą jakość ziarna (Yau i in., 2011). Wyższa MTZ jęczmienia w porównaniu z pszenicą może być związana z różnicami genetycznymi między gatunkami, ich reakcją na warunki środowiskowe a także zmiennością odmianową. Jęczmień, a szczególnie odmiany dwurzędowe charakteryzuje się zazwyczaj większym ziarnem, co potwierdzają wcześniejsze badania Wang i in. (2019) oraz listy opisowe odmian (COBORU, 2024b). Ponadto, uprawa zbóż w mieszankach z grochem pozytywnie wpłynęła na MTZ w porównaniu z siewem czystym. Może to wynikać z efektu allelopatii oraz synergicznego oddziaływania międzygatunkowego, gdzie groch, jako roślina bobowata, wzbogaca glebę w azot, co korzystnie wpływa na wzrost i rozwój zbóż (Jensen i in., 2020). Analiza wpływu udziału komponentów w mieszance wykazała, że zwiększenie udziału grochu do 40-80% skutkowało istotnym wzrostem MTZ jęczmienia. Sugeruje to, że wyższy udział roślin bobowatych w mieszance może poprawiać dostępność azotu dla zbóż poprzez symbiozę grochu z bakteriami brodawkowymi (Bedoussac i Justes, 2010a). Wpływ ten był bardziej wyraźny w terminie jesiennym. W przypadku pszenicy, podobnie jak dla jęczmienia, odnotowano wyższą MTZ w siewie jesiennym oraz w mieszankach z grochem na co mogło wpłynąć wykorzystanie dostępnych zasobów i zmniejszenie presji chorób i szkodników (Lithourgidis i in., 2011a). Warto zauważyć, że współczynnik zmienności dla MTZ był stosunkowo niski zarówno dla jęczmienia

(10,20%), jak i pszenicy (8,67%), co wskazuje na stabilność tej cechy w badanych warunkach. MTZ ozimych form jęczmienia i pszenicy były bardziej zmienne w latach badań niż form jarych, co można powiązać z zależnościami występującymi pomiędzy ustaloną wcześniej liczbą ziaren w kłosie oraz opadami w fazie ich wypełniania. Interakcja tych cech przy specyficznych warunkach w danym roku mogła wpływać na zróżnicowanie cechy. MTZ jest istotna z punktu widzenia produkcji rolniczej, gdyż umożliwia przewidywalność plonów i jakości ziarna w różnych warunkach uprawy (Farooq i in., 2011).

Wyższa MTN grochu w siewie wiosennym może być związana z korzystniejszymi warunkami termicznymi i świetlnymi podczas okresu wypełniania nasion. Wyższa wartość tej cechy jest też ujemnie skorelowana z liczbą strąków na roślinie, co przy mniejszej ich liczbie w wiosennym terminie siewu umożliwiało roślinom efektywniejsze zwiększanie masy nasion. Obecność pszenicy w mieszance pozytywnie wpływała na MTN grochu w porównaniu z jęczmieniem. Może to wynikać z różnic w konkurencyjności tych zbóż względem grochu. Hauggaard-Nielsen i in. (2008) wskazują, że w mieszankach strączkowo-zbożowych wybór gatunku zboża ma istotny wpływ na wzajemne oddziaływanie międzygatunkowe i efektywność wykorzystania zasobów. Brak istotnego wpływu udziału grochu w mieszance na MTN sugeruje, że w badanym zakresie proporcji komponentów nie występowała nadmierna konkurencja międzygatunkowa, która mogłaby ograniczać wzrost i rozwój grochu, lub związana była z redukcją innych elementów struktury plonu.

Wyższe plony uzyskane z mieszanek wysiewanych jesienią w porównaniu do wysiewanych wiosną, szczególnie z udziałem pszenicy, mogą być związane z korzystniejszymi warunkami środowiskowymi dla wzrostu i rozwoju roślin ozimych. Rośliny wysiewane jesienią mają możliwość ukorzenienia się przed zimą, co sprzyja ich dynamicznemu rozwojowi na wiosnę i efektywniejszemu wykorzystaniu zasobów glebowych (Neugschwandtner i in., 2015). W przypadku mieszanek z jęczmieniem nie zaobserwowano istotnych różnic w średnich plonach między terminami siewu dla całego okresu badań, ale w poszczególnych latach występowały istotne różnice, co może wynikać z negatywnej reakcji jęczmienia ozimego na opóźniony termin siewu na co zwracają uwagę Mirosavljević i in. (2018). Potwierdza to fakt, że w 2023 roku, gdy okres wegetacji jesiennej był znacznie dłuższy jęczmień ozimy wytworzył więcej rozkrzewień niż w poprzednich latach, co pozwoliło uzyskać wyższe plony z jesiennego terminu siewu niż z wiosennego, odmiennie niż miało to miejsce w 2021 i 2022 roku, gdy to jęczmień i jego mieszanki wysiewane wiosną plonowały wyżej. W przypadku mieszanek z pszenicą ozimą, która ma większy potencjał do skutecznego krzewienia się wiosną w porównaniu do jęczmienia ozimego (Koprna i in., 2021), plony mieszanek i zasiewów czystych były w każdym roku badań wyższe z obiektów wysiewanych jesienią, w porównaniu do wysiewanych wiosną. Stwierdzono bardzo istotne zmniejszenie plonu nasion mieszanki wraz ze zwiększaniem udziału grochu w wysiewanym materiale. Najwyższe plony uzyskano w siewach czystych zbóż, a najniższe w siewach

czystych grochu. Niezależnie od gatunku zboża plony mieszanek malały wraz ze zwiększaniem udziału grochu, a najwyższe plony wydawały mieszanki z pszenicą ozimą, niższe z jęczmieniem jarym, następnie z jęczmieniem ozimym, a najniższe plony uzyskiwano z mieszanek z udziałem pszenicy jarej. Może to wynikać z różnic w potencjale plonotwórczym między zbożami a grochem oraz z konkurencji o zasoby między komponentami mieszanki. Zboża charakteryzują się zazwyczaj wyższym potencjałem plonotwórczym i większą zdolnością konkurencyjną w porównaniu do roślin strączkowych (Yu i in., 2016). Ponadto, groch jest bardziej wrażliwy na niekorzystne warunki środowiskowe, co może wpływać na obniżenie jego plonu w mieszankach (Pelzer i in., 2012).

Przeprowadzone badania wykazały istotny wpływ udziału grochu w wysiewanej mieszance, terminu siewu oraz gatunku rośliny zbożowej na udział grochu w plonie mieszanek. Wzrost udziału grochu w wysiewanej mieszance prowadził do zwiększenia jego udziału w plonie, co potwierdza wcześniejsze obserwacje naukowców. Hauggaard-Nielsen i Jensen (2001) stwierdzili, że zwiększenie udziału roślin strączkowych w mieszance zbożowo-strączkowej skutkuje wyższym udziałem tych roślin w końcowym plonie. Badania własne wykazały relację udziału grochu w wysiewanym materiale do udziału w plonie około 1:0,39 dla mieszanek z 20, 40 i 60% grochu, przy czym w mieszance z 80% udziałem grochu relacja ta wzrosła do 1:0,45. Podobne zależności zaobserwowali Ibrahim i in. (2014), wskazując na bardziej niż proporcjonalny wzrost udziału roślin strączkowych w plonie przy wysokim ich udziale w mieszance w porównaniu do mieszanek z niższym udziałem grochu.

Termin siewu okazał się istotnym czynnikiem wpływającym na udział grochu w plonie. Siew wiosenny sprzyjał większemu udziałowi grochu w plonie w porównaniu do siewu jesienno. Jest to zgodne z obserwacjami Lithourgidis i in. (2011a), którzy stwierdzili, że terminy siewu mogą znacząco wpływać na konkurencyjność między komponentami mieszanki, a tym samym na strukturę plonu. Może się to wiązać z mniejszą dominacją zbóż jarych niż ozimych. Potwierdza to obserwowana w latach badań zależność, że im większe było gromadzenie suchej masy przez zboża w mieszance tym mniej suchej masy gromadził groch i udział nasion w plonie również był mniejszy. Gromadzona masa przez zboża jare była mniejsza, i tym samym groch lepiej z nimi konkurował o zasoby, zwiększając udział nasion w plonie w porównaniu do mieszanek wysiewanych jesienią.

Gatunek rośliny zbożowej również wpływał na udział grochu w plonie. Mieszanki z pszenicą generowały wyższy średni udział grochu niż mieszanki z jęczmieniem. Może to wynikać z różnic w konkurencyjności tych zbóż względem grochu. Według Bedoussac i Justes (2010a), pszenica jest mniej konkurencyjna wobec roślin strączkowych niż jęczmień, co pozwala grochowi na lepszy rozwój i większy udział w plonie.

Zmienność udziału grochu w plonie w poszczególnych latach badań może być związana z warunkami pogodowymi. Najwyższy udział grochu uzyskano w 2021 roku, gdy plony ogólne mieszanek były najmniejsze. Jednocześnie

najniższy udział grochu występował w roku najlepszym pod względem plonowania mieszanek, co pokazuje niską zdolność do konkurencji ze zbożami w sprzyjających warunkach środowiska. Jak wskazują Staniak i in. (2014), warunki środowiskowe mają kluczowe znaczenie dla sukcesu upraw mieszanek, wpływając na interakcje międzygatunkowe. Interakcje między badanymi czynnikami (termin siewu, udział komponentów) podkreślają złożoność wpływu agrotechniki na plonowanie mieszanek a ich zrozumienie jest kluczowe dla optymalizacji upraw mieszanek zbożowo-strączkowych. Wysoki współczynnik zmienności udziału grochu w plonie mieszanki w latach badań wskazuje na dużą niestabilność jakości plonu w zależności od warunków pogodowych.

W prowadzonych badaniach uzyskano wyższą zawartość białka w nasionach grochu przy jesiennym terminie siewu, co jest zgodne z wynikami Prusińskiego i Borowskiej (2023), którzy stwierdzili, że jesienny termin siewu może sprzyjać lepszym warunkom wilgotnościowym w momencie rozwoju nasion, co przekłada się na efektywniejsze pobieranie azotu i akumulację białka w nasionach.

Różnice w zawartości białka w nasionach grochu w zależności od gatunku zboża w mieszance mogą wynikać z odmiennej konkurencyjności zbóż względem grochu. Jęczmień ma niższy współczynnik transpiracyjny oraz jest mniej konkurencyjny w pobieraniu azotu i zacienienia sąsiednich roślin niż pszenica, przez co zużywa mniej wody, oraz pozwala roślinom grochu na lepsze wykorzystanie dostępnych zasobów i wyższą syntezę białka (Blum, 1985; Bedoussac i Justes, 2011). Ponadto, interakcje allelopatyczne między roślinami mogą wpływać na metabolizm azotu i akumulację białka w roślinach (Rice, 1992).

Brak istotnego wpływu udziału grochu w mieszance na zawartość białka w jego nasionach sugeruje, że skład procentowy mieszanki nie jest kluczowym czynnikiem determinującym tę cechę i jest ona bardziej zależna od warunków środowiskowych i agrotechnicznych niż od proporcji komponentów w mieszance.

Istotnie wyższa zawartość białka w ziarnach pszenicy w porównaniu z jęczmieniem wchodzącymi w skład mieszanek jest zgodna z wynikami Shewry i Halford (2002), którzy wskazali, że pszenica generalnie charakteryzuje się wyższą zawartością białka w ziarnach niż jęczmień, co wynika z różnic genetycznych oraz metabolizmu azotu u tych gatunków. Jensen (1996) podkreśla, że wzrost zawartości białka w ziarnach zbóż wraz ze zwiększaniem udziału grochu w mieszance może być efektem lepszego wykorzystania azotu przez zboża w systemie mieszanym, poprzez zmniejszającą się liczbę roślin zbożowych przy niezmiennych się zasobach azotu w glebie, ale nie ma dowodów na to, że groch może zwiększać dostępność tego pierwiastka dla roślin zbożowych w mieszance. Zmienność zawartości białka w latach badań może być związana z różnymi warunkami pogodowymi, szczególnie opadami i temperaturami w krytycznych fazach rozwoju roślin. Triboi i Triboi-Blondel (2002) wskazali, że warunki środowiskowe w okresie nalewania ziarna mają

istotny wpływ na zawartość białka w ziarnach zbóż. Analizy zawartości białka w ziarnach jęczmienia wykazały, że wyższe wartości uzyskano w siewach jesiennych, a zawartość białka rosła wraz ze zwiększaniem udziału grochu w mieszance. Zawartość białka w poszczególnych gatunkach zbóż była ujemnie skorelowana z plonem ziarna, co jest zależnością dobrze zbadaną przez innych autorów (Kibite i Evans, 1984; Simmonds, 1995; Blanco i in., 2012). Corre-Hellou i Crozat (2005) stwierdzili, że w mieszankach jęczmienia z grochem jęczmień może korzystać z azotu uwalnianego przez groch, co prowadzi do wyższej zawartości białka w ziarnach jęczmienia. W przypadku pszenicy wyższą zawartość białka stwierdzono w siewach wiosennych. Może to wynikać z krótszego okresu wegetacji i intensywniejszego metabolizmu azotu w wyższych temperaturach. Otteson i in. (2007) zauważyli, że późniejszy termin siewu pszenicy może skutkować wyższą zawartością białka w ziarnach ze względu na skrócony okres nalewania ziarna, co zwiększa koncentrację białka. Erekul i Köhn (2006), także stwierdzili, że pszenica jara ma tendencję do wyższej zawartości białka w ziarnach w porównaniu z ozimą (COBORU, 2024b) ze względu na różnice w przebiegu wegetacji i warunkach środowiskowych.

Wyższe plony białka uzyskane z mieszanek z udziałem pszenicy ozimej w porównaniu z mieszankami z jęczmieniem ozimym mogą wynikać między innymi z różnic w charakterystyce tych gatunków. Pszenica ozima, mająca dłuższy okres wegetacji, może efektywniej wykorzystywać dostępne zasoby środowiskowe, co potwierdzają badania Peltonen-Sainio i in. (2009). Plon białka jest wypadkową dwóch składowych – plonu ogólnego i zawartości białka w ziarnach lub nasionach. W mieszankach na wielkość plonu białka wpływ ma dominujący komponent, który w tym przypadku stanowiły zboża. Pszenica w porównaniu do jęczmienia charakteryzowała się wyższymi plonami o wyższej zawartości białka, co tłumaczy wyższy plon białka uzyskiwany przez mieszanki grochu z pszenicą. Ponadto, pszenica może lepiej reagować na udział grochu w mieszankach, co przekłada się na wyższy plon białka (Bedoussac i Justes, 2011).

Najwyższe plony białka uzyskano z czystych siewów grochu, co jest zgodne z wynikami innych badań wskazujących na wysoką zawartość białka w nasionach roślin strączkowych (Jensen, 1996; Köpke i Nemecek, 2010). Niska zdolność do konkurencji grochu ze zbożami powodowała nieproporcjonalny spadek udziału grochu w mieszankach w porównaniu do roślin z czystych siewów, co skutkowało znacząco niższym plonem białka szczególnie w mieszankach z wyższym udziałem grochu w porównaniu do mieszanek z niższym udziałem grochu w latach sprzyjających dla wzrostu danego gatunku i formy zboża. Jednak uprawa grochu w mieszankach zbożowych przynosi korzyści agronomiczne, takie jak zwiększenie stabilności plonowania mieszanek i lepsze wykorzystanie dostępnych zasobów (Hauggaard-Nielsen i in., 2008).

Brak istotnych różnic w plonach białka między różnymi mieszankami tych samych form średnio w latach sugeruje, że w zakresie badanych udziałów grochu (20–80%) mieszanki te mają podobny potencjał produkcyjny. Nie potwierdzają

tego jednak wyniki poszczególnych lat, gdzie występowały przeciwstawne zależności w takich samych konfiguracjach udziału komponentów mieszanek. Uwidoczniło się to szczególnie w mieszankach zimujących w latach 2021 i 2023 w przypadku jęczmienia i w latach 2022 i 2023 w przypadku pszenicy. Może to wynikać z efektu komplementarności międzygatunkowej, gdzie różne gatunki w mieszance efektywnie wykorzystują i reagują na zmienne zasoby środowiska (Lithourgidis i in., 2011a). Mieszanki wysiewane wiosną wykazywały niższe niż wysiewane jesienią, ale stabilniejsze plony białka w zależności od zmieniających się warunków atmosferycznych. Wyższe plony białka z mieszanek w porównaniu z czystymi siewami zbóż w większości z lat potwierdzają korzyści płynące z uprawy mieszanek strączkowo-zbożowych w kontekście zwiększenia zawartości białka w plonie (Bedoussac i Justes, 2010b).

Plon białka mieszanek z jęczmieniem był zależny od terminu siewu i udziału komponentów. W literaturze podkreśla się, że jęczmień może być mniej konkurencyjny w mieszankach z roślinami strączkowymi w porównaniu z pszenicą, co wpływa na strukturę plonu i zawartość białka (Hauggaard-Nielsen i in., 2001b). Potwierdzają to uzyskane wyniki, gdzie w mniej sprzyjających warunkach do rozwoju jęczmienia ozimego w 2021 roku plon białka zwiększał się wraz ze zwiększaniem udziału grochu, natomiast w roku 2023, kiedy występowały bardzo dobre warunki do wzrostu jęczmienia ozimego, plon białka malał, na skutek zwiększania udziału grochu. Średnio w latach siew jesienny okazał się korzystniejszy dla uzyskania wyższych plonów białka, poparty powtarzalnymi wynikami w latach dla mieszanek z 60 i 80% udziałem grochu, ale także znaczącymi różnicami na korzyść siewu jesiennego w 2023 roku przy barku istotnych różnic w pozostałych latach w mieszankach z 20 i 40% udziałem grochu. Takie reakcje Kashevarov i in. (2021) wyjaśniają wydajniejszym wykorzystywaniem zasobów środowiska do budowania biomasy przez zboża i zagłuszaniem słabszych roślin strączkowych.

W przypadku mieszanek z pszenicą stwierdzono, że zarówno termin siewu, jak i udział komponentów miały istotny wpływ na plon białka. Wyższe plony białka z siewów jesiennych mogą być efektem dłuższego okresu wegetacji, co sprzyja akumulacji biomasy i białka (Agegnehu i in., 2006). Optymalny udział grochu w mieszance z pszenicą, który zapewniał najwyższy plon białka, wynosił 40%, co jest zgodne z wynikami innych badań sugerujących, że umiarkowany udział roślin strączkowych w mieszance może maksymalizować efektywność wykorzystania zasobów (Dhima i in., 2007). Proporcja ta okazała się najbardziej stabilna pod względem plonu białka biorąc pod uwagę trzyletni okres badań dla obu terminów siewu.

Stwierdzono również, że w okresie badań plony białka mieszanek z jęczmieniem nie były zależne od zmiennych warunków w latach, podczas gdy plony białka mieszanek z pszenicą jarą były niższe w 2023 roku. Wskazuje to na większą stabilność plonowania mieszanek z jęczmieniem w obu formach oraz pszenicą ozimą w zmiennych warunkach pogodowych, co może być istotne z punktu widzenia praktyki rolniczej (Weih i in., 2021).

Badania nad dynamiką gromadzenia suchej masy jęczmienia i pszenicy w mieszankach z grochem wykazały, że największe przyrosty biomasy zbóż występowały w mieszance z największym udziałem grochu co jak uważa Mariotti i in. (2009) jest związane z niższą konkurencją wewnątrzgatunkową na skutek mniejszego zagęszczenia roślin, większą zdolnością konkurencyjną zbóż w pobieraniu składników oraz ograniczaniem zasobów świetlnych mniej konkurencyjnej roślinie współrzędnej. Wobec tego obserwowana w większości przypadków malejąca ilość gromadzonej suchej masy przez zboża wraz ze zwiększaniem ich udziału w mieszance może być spowodowana wzrostem konkurencji wewnątrzgatunkowej przy ograniczonych zasobach glebowych przede wszystkim w azot (Layek i in., 2018). Pozostała zmienność występująca w poszczególnych latach może wynikać z różnych warunków plwiotermicznych które mogły wpływać na wydajność biologiczną mieszanki, szczególnie w fazach intensywnego wzrostu (Zhang i in., 2019). Późniejsze rozpoczęcie gromadzenia suchej masy przez pszenicę jarą i łagodniejszy jej przebieg w stosunku do jęczmienia zaowocowało bardziej proporcjonalnymi różnicami w sumie zgromadzonej masy przez rośliny w poszczególnych mieszankach. Zdaniem Sobkowicza (2003) znaczne różnice pomiędzy okresami intensywnego wzrostu i dojrzewania różnych gatunków mieszanki jakie miały miejsce w przypadku pszenicy jarej i grochu prowadzi do mniejszej konkurencji międzygatunkowej, dzięki zróżnicowaniu czasu korzystania z zasobów środowiska. Groch w mieszankach ze zbożami charakteryzował się mniejszymi zdolnościami konkurencyjnymi co potwierdza większa ilość gromadzonej masy przez rośliny w siewie czystym niż w mieszankach z jęczmieniem i pszenicą w obu terminach siewu. Podobne wnioski co do dominacji zbóż nad grochem sformułowali Arlauskienė i in. (2011). Groch w mieszankach lepiej konkurował ze zbożami w latach 2021 i 2022, gdy warunki wilgotnościowe były bardziej sprzyjające. W 2023, gdy niemal trzydekadowy brak opadów na przełomie maja i czerwca ograniczył wzrost jęczmienia jarego, po nadejściu opadów groch w poszczególnych mieszankach lepiej z nim konkurował o czym świadczy większe zróżnicowanie zgromadzonej masy w zależności od udziału komponentów. Reakcja w mieszankach z pszenicą jarą była odmienna, gdzie groch nie był tak konkurencyjny, ze względu na to, że okres posuchy nie wystąpił w krytycznym okresie rozwoju dla pszenicy jarej, co po raz kolejny potwierdza tezę Sobkowicza (2003) o znaczeniu zróżnicowania okresów intensywnego wzrostu komponentów mieszanki w kształtowaniu ich zdolności konkurencyjnych. Groch wysiewany jesienią wcześniej rozpoczął gromadzenie suchej masy i gromadził większe jej ilości od grochu wysiewanego wiosną, co jest zbieżne z wynikami produkcyjnymi innych gatunków jarych wysiewanych jesienią (Wenda-Piesik i Wasilewski, 2015; Wyzińska i Grabiński, 2018).

W przeprowadzonych badaniach wykazano, że ilość azotu zgromadzonego przez jęczmień, pszenicę, groch oraz ich mieszanki była istotnie zależna od terminu siewu, składu gatunkowego mieszanki oraz warunków panujących

w poszczególnych latach badań. Wyniki te są zgodne z doniesieniami innych autorów, którzy podkreślają wpływ czynników agrotechnicznych i środowiskowych na gospodarkę azotową roślin (van Kessel i Hartley, 2000; Govindasamy i in., 2023). Wpływ terminu siewu na ilość zgromadzonego azotu ujawniał się jedynie w określonych warunkach i przypadkach, od których zależała konkurencyjność poszczególnych gatunków w mieszance. Jesienią 2020 roku rośliny weszły szybciej w okres spoczynku zimowego w efekcie czego zboża zimowały w fazie 2-3 liści i nie rozpoczęły krzewienia. Wiosną proces ten w przypadku jęczmienia jest ograniczony (Koprna i in., 2021), a wzrost wiosenny był spowolniony w wyniku czego groch zimujący miał lepsze warunki do rozwoju, co zaowocowało wysokim jego udziałem i większą ilością azotu zgromadzonego w 2021 roku w mieszankach jesiennych niż wiosennych. W pozostałych latach, gdy rozwój jesienny zbóż był bardziej zaawansowany i tym samym rośliny dynamiczniej rozpoczynały rozwój wiosenny, pozycja konkurencyjna grochu zimującego była słabsza i jego udział w zgromadzonym azocie w mieszance był mniejszy niż jęczmienia. Jest to zgodne z doniesieniami literaturowymi o zróżnicowanych zdolnościach konkurencyjnych komponentów mieszanek w zależności od warunków środowiskowych (Annicchiarico i in., 2019). Średnio w latach mieszanki z pszenicą gromadziły większą ilość azotu ogólnego w swoich organach, a jesienny termin siewu również umożliwiał wyższe gromadzenia azotu w roślinach. Zboża w mieszankach gromadziły większe ilości azotu w słomie, co jest efektem większej jej masy w porównaniu do słomy grochu. Jęczmień ozimy gromadził w słomie większe ilości azotu niż jęczmień jary, z kolei w przypadku pszenicy występowała odwrotna zależność. Ma to związek z różnicami związanymi z translokacją azotu z organów wegetatywnych do ziaren w określonych warunkach pogodowych podczas zróżnicowanych faz rozwojowych różnych gatunków i form (Xu i in., 2006; Pržulj i Momčilović, 2001). Jesienny wysiew grochu skutkował w każdym roku badań podobną, wysoką ilością zgromadzonego azotu, co w porównaniu z bardziej zmiennymi i niższymi wartościami w przypadku grochu wysiewanego wiosną, może świadczyć o jego stabilności w różnych warunkach pogodowych.

Wyższe wartości wskaźnika LAI w badanych mieszankach z jęczmieniem w porównaniu z pszenicą mogą wynikać z różnic w architekturze roślin oraz tempie wzrostu obu gatunków zbóż. Jęczmień często charakteryzuje się szybszym tempem wzrostu i większą powierzchnią liści w początkowych fazach rozwojowych w porównaniu z pszenicą (Afrasiabian i in., 2021). Ponadto, jęczmień może tworzyć korzystniejsze warunki dla wzrostu grochu w mieszance, co przekłada się na wyższy LAI całej mieszanki (Eskandari i Ghanbari, 2010).

Zwiększanie udziału grochu w mieszance prowadziło do wzrostu LAI, co jest zgodne z wynikami innych badań (Mahon, 1990; Yang i in., 2018). Groch jako roślina strączkowa, charakteryzuje się większą powierzchnią asymilacyjną w porównaniu z zbożami (Giunta i in., 2009). W mieszankach z większym udziałem grochu dochodzi do zwiększenia całkowitej powierzchni liściowej, co

skutkuje wyższym LAI. Jest to istotne z punktu widzenia efektywności fotosyntezy i potencjalnego plonowania (Yang i in., 2018).

Najwyższe wartości LAI w czystych zasiewach grochu mogą być wynikiem braku konkurencji o zasoby z innymi gatunkami. Groch ma zdolność do efektywnego wykorzystania dostępnych zasobów, szczególnie azotu, dzięki symbiozie z bakteriami brodawkowymi (Fustec i in., 2010). W czystych zasiewach grochu rośliny mogą w pełni wykorzystać swój potencjał wzrostu, co przekłada się na większą powierzchnię asymilacyjną. Niższe wartości LAI w czystych zasiewach zbóż wynikają z gęstości siewu oraz charakterystyki morfologicznej zbóż, które mają węższe liście i mniejszą powierzchnię asymilacyjną na jednostkę powierzchni w porównaniu z roślinami strączkowymi (Lithourgidis i in., 2011a).

Znacząco niższe wartości LAI roślin wysiewanych wiosną w 2023 roku, w porównaniu z wcześniejszymi latami mogą być związane z niekorzystnymi warunkami pogodowymi, takimi jak temperatury przekraczające 30°C w czerwcu i długi bezopadowy okres w krytycznych fazach roślin od trzeciej dekady maja do drugiej dekady czerwca, które wpłynęły negatywnie na wzrost wegetatywny i rozwój roślin, co obserwowali także w swoich badaniach Trnka i in. (2014). Warunki środowiskowe mają kluczowe znaczenie dla kształtowania LAI, a stresy abiotyczne mogą prowadzić do ograniczenia wzrostu liści i obniżenia wartości LAI (Royo i in., 2004).

Brak istotnego wpływu terminu siewu na LAI średnio w badanych latach sugeruje, że zarówno siew wiosenny, jak i jesienny mogą być efektywne dla uprawy mieszanek grochu ze zbożami w kontekście rozwoju powierzchni liściowej. Jest to zgodne z wynikami badań przeprowadzonych przez (Corre-Hellou i in., 2006), którzy stwierdzili, że termin siewu nie zawsze ma istotny wpływ na rozwój LAI w mieszankach strączkowo-zbożowych, choć może wpływać na inne parametry plonowania.

W latach 2021 i 2022 wpływ terminu siewu na LAI był zauważalny w niektórych kombinacjach, jednak ogólnie termin siewu nie miał istotnego wpływu na tę cechę. W 2023 roku jednak wyższe wartości LAI odnotowano w zasiewach jesiennych, co może wskazywać na lepsze warunki wzrostu roślin wysiewanych jesienią. Warunki klimatyczne, takie jak opady i temperatura, mogą różnie wpływać na rozwój roślin w zależności od terminu siewu (Olesen i in., 2004).

W przypadku mieszanek z pszenicą, podobnie jak z jęczmieniem, zwiększenie udziału grochu w mieszance prowadziło do wzrostu LAI. Wysoki LAI w mieszankach z dużym udziałem grochu może przyczyniać się do zwiększenia efektywności fotosyntezy i potencjalnie wyższego plonowania (Corre-Hellou i in., 2011). Niemniej jednak, w 2023 roku wszystkie kombinacje jesienne miały wyższy LAI niż ich wiosenne odpowiedniki, co jednoznacznie potwierdza wpływ warunków środowiskowych w danym roku na rozwój roślin.

Wyższe wartości HI w siewach jesiennych w porównaniu z wiosennymi mogą być związane z korzystniejszymi warunkami wzrostu roślin w okresie

jesiennie-zimowym. Dłuższy okres wegetacji roślin wysiewanych jesienią pozwala na lepsze wykorzystanie dostępnych zasobów wodnych i składników pokarmowych, prowadząc do wyższej efektywności akumulacji biomasy i plonu ziarna (López-Bellido i in., 2004). Ponadto, wcześniejszy siew może skutkować lepszym rozwojem systemu korzeniowego, co zwiększa zdolność roślin do pobierania wody i składników pokarmowych (Rasmussen i Thorup-Kristensen, 2016).

Wyższy HI w mieszankach z jęczmieniem w porównaniu z mieszankami z pszenicą może wynikać z różnic w fizjologii i architekturze tych gatunków. Jęczmień charakteryzuje się krótszym okresem wegetacji i szybszym tempem wzrostu, co może prowadzić do bardziej efektywnego wykorzystania zasobów w mieszance z grochem (Hauggaard-Nielsen i in., 2001b). Ponadto, jęczmień może gorzej konkurować z grochem o światło i składniki pokarmowe w porównaniu z pszenicą, co sprzyja lepszemu plonowaniu obu komponentów (Bedoussac i Justes, 2010b). Nie bez znaczenia pozostaje genetyczne uwarunkowanie jęczmienia do tworzenia krótszej słomy niż pszenica, oraz oplewienie ziarna, które wpływają na relację plonu do całkowitej zgromadzonej biomasy (Travis, 1996).

Najwyższe wartości HI obserwowane w czystych siewach grochu są zgodne z literaturą, która wskazuje, że rośliny strączkowe często mają wyższy HI ze względu na większy udział plonu nasion w całkowitej biomacie (Jensen, 1996; Gurmu i in., 2022; Manzoor i in., 2021; Amanullah i in., 2019). Niskie wartości HI w mieszankach z wysokim udziałem grochu (40–80%) mogą wynikać z efektu konkurencji międzygatunkowej, gdzie intensywne konkurencja o zasoby prowadzi do zmniejszenia efektywności przekształcania biomasy w plon nasion (Dhima i in., 2007).

Wpływ roku uprawy na HI, z najwyższymi wartościami w 2022 roku i najniższymi w 2023 roku, potwierdza znaczenie warunków pogodowych dla plonowania roślin. Warunki klimatyczne, takie jak temperatura i opady, mają kluczowe znaczenie dla wzrostu i rozwoju roślin, a tym samym wpływają na HI (Peltonen-Sainio i in., 2009). 2022 rok charakteryzował się bardziej optymalnymi warunkami dla wzrostu roślin, podczas gdy w 2023 roku wystąpiły czynniki stresowe takie jak wysoka temperatura powietrza wraz z niedoborami wody, które negatywnie wpłynęły na wartość HI.

HI mieszanek z jęczmieniem był zależny od udziału grochu w mieszance i roku uprawy, ale nie różnił się w zależności od terminu siewu. Brak wpływu terminu siewu na HI w mieszankach z jęczmieniem może sugerować, że jęczmień jest bardziej elastyczny w adaptacji do różnych terminów siewu w kontekście efektywności przekształcania biomasy w plon ziarna (Anil i in., 1998). Z kolei zależność HI od udziału grochu może być wynikiem zmiany dynamiki konkurencji międzygatunkowej w mieszance. Wysoki udział grochu może prowadzić do zwiększonej konkurencji o światło i składniki pokarmowe, co negatywnie wpływa na HI (Hauggaard-Nielsen i in., 2006).

W mieszankach z pszenicą stwierdzono, że HI był zależny od terminu siewu, udziału komponentów oraz roku uprawy. Wyższy HI w siewach jesiennych może być związany z lepszym wykorzystaniem zasobów przez pszenicę ozimą w dłuższym okresie wegetacji (López-Bellido i in., 2004). Pszenica może bardziej konkurować z grochem niż jęczmień, co wpływa na efektywność wykorzystania biomasy (Bedoussac i Justes, 2011). Wysoki HI w czystych siewach grochu i pszenicy wskazuje na ich zdolność do efektywnej alokacji biomasy do organów generatywnych, podczas gdy mieszanki z wysokim udziałem grochu mogą mieć niższy HI ze względu na konkurencję międzygatunkową (Lithourgidis i in., 2011b).

W 2021 roku w mieszankach z pszenicą wykazano, że jesienny termin siewu determinował wyższą wartość HI w czystym siewie pszenicy oraz w mieszance z 20% udziałem grochu. Sugeruje to, że przy niskim udziale grochu pszenica dominuje w mieszance, a wcześniejszy siew sprzyja jej efektywnemu wzrostowi i plonowaniu (Agegnehu i in., 2006). W przypadku wyższych udziałów grochu, konkurencja może ograniczać efektywność pszenicy, co wpływa na obniżenie HI (Dhima i in., 2007; Grčak i in., 2022).

Różnice w HI między latami badań podkreślają wpływ zmienności środowiskowej na efektywność produkcji. Wysoki HI w 2022 wynika z korzystnych warunków pogodowych, takich jak umiarkowane temperatury i optymalne opady, które sprzyjają zarówno wzrostowi biomasy, jak i formowaniu plonu roślin (Simona i Ciulca, 2013). Niski HI w 2023 roku może wynikać z niekorzystnych warunków, takich jak susza czy wysokie temperatury w kluczowych fazach rozwojowych roślin (Hlaváčová i in., 2018).

Przeprowadzone badania nad LER mieszanek grochu z jęczmieniem oraz pszenicą w latach 2021–2023 wykazały, że LER nie był istotnie zależny od badanych czynników agrotechnicznych, takich jak termin siewu i udział komponentów w mieszance. Wartości LER oscylowały wokół 1,0; co sugeruje, że efektywność uprawy mieszanek była zbliżona do sumy efektywności upraw czystych komponentów, i może wynikać z braku synergistycznych efektów międzygatunkowych w mieszance (Mead i Willey, 1980). W badaniach Hauggaard-Nielsen i in. (2001a) wykazano, że LER w mieszankach grochu z jęczmieniem często przekracza wartość 1,0; co sugeruje korzyści z uprawy mieszanej. Jednak w badaniach własnych efekty nie były wyraźnie widoczne.

W roku 2023 stwierdzono istotny wpływ terminu siewu i udziału komponentów na LER w mieszankach grochu z jęczmieniem. Mieszanki wysiewane wiosną z wyższym udziałem grochu (40%, 60%, 80%) osiągnęły wartości LER powyżej 1,0; co oznacza korzyści z uprawy mieszanej w tym konkretnym roku i warunkach. Przebieg warunków atmosferycznych w tym roku był niekorzystny dla roślin jarych, co prawdopodobnie obniżyło zdolności konkurencyjne jęczmienia względem grochu, pozostawiając bardziej sprzyjające warunki do rozwoju gatunku strączkowego. Przemawia za tym fakt wysokiego udziału grochu w plonie tej mieszanki. Zgodnie z badaniami Peltonen-Sainio i in.

(2009), zmienność warunków klimatycznych między latami może znacząco wpływać na produktywność roślin.

W przypadku mieszanek grochu z pszenicą istotny wpływ na LER miał udział komponentów. Mieszanka z 20% udziałem grochu osiągała wartości LER bliskie 1,0 lub wyższe w każdym roku, podczas gdy mieszanka z 80% udziałem grochu miała istotnie niższą produktywność szczególnie w roku sprzyjającemu wysokim plonom pszenicy ozimej. Może to wynikać z intensywnej konkurencji o zasoby między grochem a pszenicą przy wysokim udziale grochu, co negatywnie wpływa na efektywność wykorzystania dostępnej przestrzeni (Dhima i in., 2007). Bedoussac i Justes (2011) sugerują, że zrównoważony udział komponentów w mieszance jest kluczowy dla osiągnięcia synergistycznych efektów. Wyraźna dominacja zbóż w mieszance ograniczała produktywność grochu, skutkując niższym udziałem w plonie, przy jednoczesnym braku pełnej kompensacji plonu pszenicy w zmniejszonej obsadzie co skutkowało niższymi wartościami LER.

Warto również zauważyć, że w niektórych przypadkach mieszanki osiągały wartości LER powyżej 1,0; co wskazuje na potencjał zwiększenia efektywności wykorzystania zasobów w określonych warunkach. Dalsze badania nad optymalizacją proporcji komponentów, terminem siewu oraz dostosowaniem do warunków środowiskowych mogą przyczynić się do zwiększenia korzyści płynących z uprawy mieszanek.

7. WNIOSKI

1. Jesienny termin siewu mieszanek grochu z jęczmieniem i pszenicą istotnie zwiększał liczbę strąków na roślinie oraz liczbę ziaren w kłosie w porównaniu z siewem wiosennym, ale nie miał wpływu na liczbę nasion w strąku. MTZ jęczmienia i pszenicy w jesiennych mieszankach była istotnie wyższa niż w wiosennych, a w przypadku MTN grochu obserwowano odwrotną zależność. Obsada kłosów jęczmienia była wyższa w mieszankach wysiewanych wiosną, a pszenicy w wysiewanych jesienią.
2. Wraz ze zwiększaniem udziału grochu w mieszance malał plon nasion, a plon białka nie ulegał istotnym zmianom. W przypadku mieszanek wysiewanych jesienią plon białka był większy niż w czystych zasiewach zbóż, ale mniejszy niż w czystych zasiewach grochu.
3. Mieszanki z udziałem pszenicy dawały wyższe plony nasion i białka niż mieszanki z jęczmieniem.
4. Plony mieszanek wysiewanych jesienią były bardziej stabilne w latach badań niż plony mieszanek jarych.
5. Jesienny termin siewu mieszanek grochu z pszenicą skutkował wyższym plonem ogólnym w porównaniu z siewem wiosennym, natomiast w przypadku mieszanek z jęczmieniem wpływ terminu siewu na plonowanie mieszanek był zależny od warunków agrometeorologicznych w poszczególnych latach badań.
6. Zwiększenie udziału grochu w mieszance prowadziło do zwiększenia jego udziału w plonie, jednak wzrost ten był mniejszy od wzrostu udziału grochu w materiale siewnym.
7. Wiosenny termin siewu sprzyjał większemu udziałowi grochu w plonie mieszanek w porównaniu do jesiennego, a w mieszankach z pszenicą stwierdzono wyższy średni udział grochu w plonie niż w mieszankach z jęczmieniem, co sugeruje lepszą konkurencyjność grochu w tych mieszankach.
8. Zmienność udziału grochu w plonie w poszczególnych latach badań potwierdza znaczenie warunków pogodowych i środowiskowych w kształtowaniu efektywności grochu w mieszankach ze zbożami.
9. Groch wysiewany w mieszankach ze zbożami jesienią odznaczał się niższymi przyrostami suchej masy niż groch wysiewany wiosną szczególnie w latach sprzyjających rozwojowi zbóż. Jednak przyrosty suchej masy grochu wysiewanego jesienią w siewie czystym były wyższe niż wysiewanego wiosną, co wskazuje na trudniejsze warunki konkurencji ze zbożami ozimymi.
10. Masa azotu gromadzona w organach nadziemnych roślin była większa w przypadku jesiennego terminu siewu, a mieszanki z pszenicą gromadziły większą masę azotu niż mieszanki z jęczmieniem. Udział komponentów nie różnicował masy azotu zgromadzonego w roślinach

mieszanek z jęczmieniem, a w przypadku mieszanek z pszenicą największą masę azotu gromadziły rośliny w obiektach G20P80, G40P60 i G60P40. Groch wysiewany jesienią zawsze gromadził największą masę azotu.

11. W prowadzonych badaniach mieszanki niezależnie od terminu siewu uzyskiwały średnie wartości LER równe lub niższe niż 1,0 co oznacza gorszą produktywność w stosunku do siewów czystych.

8. LITERATURA

1. Afrasiabian Y., Noory H., Mokhtari A., Razavi Nikoo M., Pourshakouri F., Haghighatmehr P. 2021. Effects of spatial, temporal, and spectral resolutions on the estimation of wheat and barley leaf area index using multi- and hyper-spectral data (case study: Karaj Iran). *Precision Agriculture*, 22(2), 384–403.
2. Agegnehu G., Ghizaw A., Sinebo W. 2006. Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. *European Journal of Agronomy*, 25(3), 202–207.
3. Amanullah, Khan N., Khan M., Khalid S., Asif I., Al Tawaha A.R. 2019. Wheat biomass and harvest index increases with integrated use of phosphorus, zinc and beneficial microbes under semiarid climates. *Journal Of Microbiology Biotechnology and Food Sciences*, 9, 242–247.
4. Andrzejewska J., Marciniak J., Skinder Z., Skotnicka E. 2003. Wartość gospodarcza ozimych rodów hodowlanych grochu siewnego (*Pisum sativum* L.) w warunkach regionu Kujawsko-Pomorskiego. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura*, 4, 5–15.
5. Anil L., Park J., Phipps R. H., Miller F.A. 1998. Temperate intercropping of cereals for forage: a review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. *Grass and Forage Science*, 53(4), 301–317.
6. Annicchiarico P., Collins R., Ron A.M., Firmat C., Litrico I., Hauggaard-Nielsen H. 2019. Do we need specific breeding for legume-based mixtures? *Advances in Agronomy*, 157, 141–215.
7. ARiMR. 2024. Powierzchnie upraw w gminach, <https://rejestrupraw.arimr.gov.pl/>, dostęp 04.12.2024.
8. Arlauskienė A., Maikštėnienė S., Šarūnaitė L., Kadžiulienė Z., Deveikyte I., Žekaitė V., Česnulevičienė R. 2011. Competitiveness and productivity of organically grown pea and spring cereal intercrops. *Zemdirbyste–Agriculture*, 98, 339–348.
9. Bagheri M., Santos C.S., Rubiales D., Vasconcelos M.W. 2023. Challenges in pea breeding for tolerance to drought: Status and prospects. *Annals of Applied Biology*, 183(2), 108–120.
10. Baigorri H. Antolín M.C. Sánchez-Díaz M. 1999. Reproductive response of two morphologically different pea cultivars to drought. *European Journal of Agronomy*, 10, 119–128.
11. Bányai J., Karsai I., Balla K., Kiss T., Bedő Z., Láng L. 2014. Heat stress response of wheat cultivars with different ecological adaptation. *Cereal Research Communications*, 43, 413–425.
12. Bedoussac L., Justes E. 2010a. Dynamic analysis of competition and complementarity for light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat–winter pea intercrop. *Plant and Soil*, 330, 37–54.

13. Bedoussac L., Justes E. 2010b. The efficiency of a durum wheat–winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth. *Plant and Soil*, 330, 19–35.
14. Bedoussac L., Justes E. 2011. A comparison of commonly used indices for evaluating species interactions and intercrop efficiency: Application to durum wheat–winter pea intercrops. *Field Crops Research*, 124(1), 25–36.
15. Bedoussac L., Matura M., Dehant, E, Hemptinne J.L., Justes E. 2008. Is durum wheat–winter pea intercropping efficient to reduce pests and diseases? *Italian Journal of Agronomy*, 3(3), 637–638.
16. Bilalis D., Karkanis A., Angelopoulou F., Travlos I., Antoniadis A., Ntatsi G., Lazaridi E., Savvas D. 2015. Effect of organic and mineral fertilization on root growth and mycorrhizal colonization of pea crops (*Pisum sativum* L.). *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj–Napoca. Horticulture*, 72, 288–294.
17. Blanco A., Mangini G., Gadaleta A. 2012. Relationships between grain protein content and grain yield components through quantitative trait locus analyses in a recombinant inbred line population derived from two elite durum wheat cultivars. *Molecular Breeding*, 30(1), 79–92.
18. Blum A. 1985. Photosynthesis and transpiration in leaves and ears of wheat and barley varieties. *Journal of Experimental Botany*, 36(3), 432–440.
19. Bojarszczuk J., Książak J. 2020. Analiza dynamiki zmian uprawy rodzimych gatunków roślin strączkowych w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 62(16), 203–219.
20. Borowiecki J., Książak J. 2000. Rośliny strączkowe w mieszankach ze zbożami w produkcji pasz. *Postępy Nauk Rolniczych*, 2, 89–100.
21. Boudreau M.A. 2013. Diseases in intercropping systems. *Annual Review of Phytopathology*, 51, 499–519.
22. Bourion V., Laguerre G., Depret G., Voisin A.S., Salon C., Duc G. 2007. Genetic variability in nodulation and root growth affects nitrogen fixation and accumulation in pea. *Annals of Botany*, 100, 589–598.
23. Bozoglu H., Peksen E., Peksen A., Gulumser A. 2007. Determination of the yield performance and harvesting periods of fifteen pea (*Pisum sativum* L.) cultivars sown in autumn and spring. *Pakistan Journal of Botany*, 39, 2017–2025.
24. Buraczyńska D., Ceglarek F. 2009. Plon i skład chemiczny nasion mieszanek strączkowo–zbożowych. *Fragmenta Agronomica*, 3, 15–24.
25. Canadian Grain Commission. 2022. Quality of western Canadian peas 2022, <https://www.grainscanada.gc.ca/en/grain-research/export-quality/pulses/peas/2022/03-production.html>, dostęp 04.12.2024.

26. Carr P.M., Horsley R.D., Poland W.W. 2004. Barley, oat, and cereal-pea mixtures as dryland forages in the northern Great Plains. *Agronomy Journal*, 96(3), 677–684.
27. Castel T., Lecomte C., Richard Y., Lejeune-Hénaut I., Larmure A. 2017. Frost stress evolution and winter pea ideotype in the context of climate warming at a regional scale. *Oilseeds and fats crops and lipids*, 24 (1), 1–9.
28. Ceglarek F., Buraczyńska D., Płaza A., Rudziński R. 2004. Wpływ udziału komponentów mieszanek bobiku z pszenicą jarą na plon i zawartość związków chemicznych w biomacie mieszanek. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio E Agricultura*, 59(3), 1139–1146.
29. Červenski J, Danojević D, Savić A. 2017. Chemical composition of selected winter green pea (*Pisum sativum* L.) genotypes, *Journal of the Serbian Chemical Society*, 82, 1–10.
30. Chen C, Miller P, Muehlbauer F, Neill K, Wichman D, McPhee K. 2006. Winter pea and lentil response to seeding date and micro- and macro-environments. *Agronomy Journal*, 98, 1655–1663.
31. COBORU. 2024a. Lista opisowa odmian. Słupia Wielka. Rośliny rolnicze. Zboża, 17–124.
32. COBORU. 2024b. Lista opisowa odmian. Słupia Wielka. Rośliny rolnicze. Bobowate Soja Wiechlinowate Inne pastewne, 22–27.
33. Corre-Hellou G., Crozat Y. 2005. Assessment of root system dynamics of species grown in mixtures under field conditions using herbicide injection and ¹⁵N natural abundance methods: a case study with pea, barley and mustard. *Plant and Soil*, 276(1–2), 177–192.
34. Corre-Hellou G., Dibet A., Hauggaard-Nielsen H., Crozat Y., Gooding M., Ambus P., Dahlmann C., von Fragstein P., Pristeri A., Monti M., Jensen E.S. 2011. The competitive ability of pea-barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability. *Field Crops Research*, 122, 264–272.
35. Corre-Hellou G., Fustec J., Crozat Y. 2006. Interspecific competition for soil N and its interaction with N₂ fixation leaf expansion and crop growth in pea-barley intercrops. *Plant and Soil*, 282, 195–208.
36. Cowden R.J., Shah A., Lehmann L., Kiær L., Henriksen C.B., Ghaley B.B. 2020. Nitrogen fertilizer effects on pea-barley intercrop productivity compared to sole crops in Denmark. *Sustainability*, 12(22), 9335.
37. Crews T.E., Peoples M.B. 2004. Legume versus fertilizer sources of nitrogen: Ecological tradeoffs and human needs. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 102, 279–297.
38. Czerwińska-Kayzer D., Jerzak M., Krzysztofiak P. 2016. Rynek rodzimych roślin strączkowych w Polsce a bezpieczeństwo kraju

- w zakresie białka roślinnego. Zagadnienia Doradztwa Rolniczego, 4, 26–35.
39. Dahl W.J., Foster L.M., Tyler R.T. 2012. Review of the health benefits of peas (*Pisum sativum* L.). *British Journal of Nutrition*, 108(1), 3–10.
 40. Dhima K.V., Lithourgidis A.S., Vasilakoglou I.B., Dordas C.A. 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research*, 100(2–3), 249–256.
 41. Divéky-Ertsey A., Gál I., Madaras K., Pusztai P., Csambalik L. 2022. Contribution of pulses to agrobiodiversity in the view of EU protein strategy. *Stresses*, 2, 90–112.
 42. Donald C.M. 1962. In search of yield. *Journal of Australian Institute of Agricultural Sciences*, 28, 171–178.
 43. Dorneanu M. 2017. Intensive farming versus agriculture environmentally sustainable. *Quality – Access to Success*, 18(2), 195–197.
 44. Duchene O., Vian J., Celette F. 2017. Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 240, 148–161.
 45. Dzieżyc J., Nowak L., Panek K., 1987. Dekadowe wskaźniki potrzeb opadowych roślin uprawnych w Polsce. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 314, 11–33.
 46. Dzwonkowski W. 2016. Analiza sytuacji na krajowym rynku pasz białkowych w kontekście ewentualnego zakazu stosowania materiałów paszowych GMO. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 18(3), 47–52.
 47. Erekul O., Köhn, W. 2006. Effect of weather and soil conditions on yield components and bread-making quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and winter triticale (\times *Triticosecale* Wittmack) varieties in North–East Germany. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192(6), 452–464.
 48. Eskandari H., Ghanbari A. 2010. Environmental resource consumption in wheat (*Triticum aestivum*) and bean (*Vicia faba*) intercropping systems. *Journal of Cleaner Production*, 18(8), 787–795.
 49. Fageria N.K., Baligar V.C. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*, 88, 97–185.
 50. Faligowska A, Kalembasa S, Kalembasa D, Panasiewicz K, Szymańska G, Ratajczak K, Skrzypczak G. 2022. The nitrogen fixation and yielding of pea in different soil tillage systems. *Agronomy*, 12(2), 352.
 51. FAO. 2024. Crops and livestock products. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>, dostęp 04.12.2024.
 52. Farooq M., Bramley H., Palta J. A., Siddique K.H.M. 2011. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(6), 491–507.

53. Ferrante A., Cullis B.R., Smith A.B., Able J.A. 2021. A multi-environment trial analysis of frost susceptibility in wheat and barley under Australian frost-prone field conditions. *Frontiers in Plant Science*, 12, 722637.
54. Florek J. 2017. Możliwości wykorzystania roślin strączkowych do produkcji pasz w Polsce. *Roczniki naukowe stowarzyszenia ekonomistów rolnictwa i agrobiznesu*, XIX (4), 40–45.
55. Fustec J., Lesuffleur F., Mahieu S., Cliquet J.B. 2010. Nitrogen rhizodeposition of legumes. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(1), 57–66.
56. Gąsiorowska B., Koc G., Buraczyńska D., Struk K. 2011 Wpływ warunków pogodowych na plonowanie zbóż uprawianych w rolniczej stacji doświadczalnej w Zawadach. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 6, 91–99.
57. Ghaley B.B., Hauggaard-Nielsen H., Høgh-Jensen H., Jensen E.S. 2005. Intercropping of wheat and pea as influenced by nitrogen fertilization. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 73, 201–212.
58. Giunta F., Pruneddu G., Motzo R. 2009. Radiation interception and biomass and nitrogen accumulation in different cereal and grain legume species. *Field Crops Research*, 111(2–3), 111–118.
59. Gollner G., Starz W., Friedel J.K. 2019. Crop performance, biological N fixation and pre-crop effect of pea ideotypes in an organic farming system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 115(3), 391–405.
60. Govindasamy P., Muthusamy S., Bagavathiannan M., Mowrer J., Jagannadham P.T., Maity A., Halli H., Sujayanad G.K., Vadivel R., Das T.K., Raj R., Pooniya V., Babu S., Rathore S., Muralikrishnan L., Tiwari G. 2023. Nitrogen use efficiency—a key to enhance crop productivity under a changing climate. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1121073.
61. Goyal K., Singh N., Jindal S., Kaur R., Goyal A., Awasthi R. 2022. Kjeldahl method. *Advanced Techniques of Analytical Chemistry*, 1, 105–112.
62. Górski R., Płaza A., Rudziński R., Rosa R. 2022. Effects of mixed plantings of field pea in conjunction with spring triticale harvested at different growth stages on total nitrogen and exogenous amino acids concentrations in green fodder. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 66(4), 336–348.
63. Grčak M., Grčak D., Jevtić, R., Lalošević M., Župunski V., Orbović B., Knežević D. 2022. Variation of harvest index of wheat and triticale in monocrops and intercrops system of cultivation. *Genetika*, 54, 1235–1248.
64. Grela E.R., Czech A. 2019. Pasze alternatywne w odniesieniu do soi genetycznie modyfikowanej w żywieniu zwierząt. *Wiadomości Zootechniczne*, 2, 66–77.

65. Grudnik P. 2012. Energochłonność skumulowana produkcji grochu zielonego na konserwy. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 4, 121–129.
66. Gurmu G.N., Mulisa T.B., Gemechu A.L., Amena K.G., Terfa G.N. 2022. Evaluation of field pea (*Pisum sativum* L.) varieties for yield and yield-related traits. *Sarhad Journal of Agriculture*, 38(4), 1219–1227.
67. GUS 2010. Wyniki produkcji roślinnej w 2009 r., GUS, Warszawa, 45–72.
68. GUS 2011. Wyniki produkcji roślinnej w 2010 r., GUS, Warszawa, 42–73.
69. GUS 2012. Wyniki produkcji roślinnej w 2011 r., GUS, Warszawa, 44–74.
70. GUS 2013. Wyniki produkcji roślinnej w 2012 r., GUS, Warszawa, 42–72.
71. GUS 2014. Wyniki produkcji roślinnej w 2013 r., GUS, Warszawa, 41–73.
72. GUS 2015. Wyniki produkcji roślinnej w 2014 r., GUS, Warszawa, 45–70.
73. GUS 2016. Wyniki produkcji roślinnej w 2015 r., GUS, Warszawa, 43–72.
74. GUS 2017. Wyniki produkcji roślinnej w 2016 r., GUS, Warszawa, 46–71.
75. GUS 2018. Wyniki produkcji roślinnej w 2017 r., GUS, Warszawa, 44–74.
76. GUS 2019. Produkcja upraw rolnych i ogrodnich w 2018 r., GUS, Warszawa, tab. 29–50.
77. GUS 2020. Produkcja upraw rolnych i ogrodnich w 2019 r., GUS, Warszawa, tab. 29–50.
78. GUS 2021. Produkcja upraw rolnych i ogrodnich w 2020 r., GUS, Warszawa, tab. 29–50.
79. GUS 2022. Produkcja upraw rolnych i ogrodnich w 2021 r., GUS, Warszawa, tab. 29–50.
80. GUS 2023. Produkcja upraw rolnych i ogrodnich w 2022 r., GUS, Warszawa tab. 29–50.
81. GUS 2024. Produkcja upraw rolnych i ogrodnich w 2023 r., GUS, Warszawa, tab. 37–42.
82. Hauggaard-Nielsen H., Ambus P., Jensen E.S. 2001a. Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea–barley intercropping. *Field Crops Research*, 70(2), 101–109.
83. Hauggaard-Nielsen H., Ambus P., Jensen E.S. 2001b. Temporal and spatial distribution of roots and competition for nitrogen in pea–barley intercrops—a field study employing 32P technique. *Plant and Soil*, 236(1), 63–74.
84. Hauggaard-Nielsen H., Andersen M. K., Jørnsgaard B., Jensen E. S. 2006. Density and relative frequency effects on competitive interactions

- and resource use in pea–barley intercrops. *Field Crops Research*, 95(2–3), 256–267.
85. Hauggaard-Nielsen H., Jensen E. S. 2005. Facilitative root interactions in intercrops. *Plant and Soil*, 274, 237–250.
 86. Hauggaard-Nielsen H., Jensen E.S. 2001. Evaluating pea and barley cultivars for complementarity in intercropping at different levels of soil N availability. *Field Crops Research*, 72, 185–196.
 87. Hauggaard-Nielsen H., Jørnsgaard, B., Kinane J., Jensen E. S. 2008. Grain legume–cereal intercropping: The practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 23(1), 3–12.
 88. Higgins A., Prestwidge D., Stirling D., Yost J. 2010. Forecasting maturity of green peas: An application of neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70(1), 151–156.
 89. Hlaváčová M., Klem K., Rapantová B., Novotná K., Urban O., Hlavinka P., Smutná P., Horáková V., Škarpa P., Pohanková E., Wimmerová M., Orsag M., Jurečka F., Trnka M. 2018. Interactive effects of high temperature and drought stress during stem elongation, anthesis and early grain filling on the yield formation and photosynthesis of winter wheat. *Field Crops Research*, 221, 182–195.
 90. Ibrahim M., Ayub M., Maqbool M., Nadeem S., Haq T., Hussain S., Ali A., Lauriault L.M. 2014. Forage yield components of irrigated maize–legume mixtures at varied seed ratios. *Field Crops Research*, 169, 140–144.
 91. Janicki W.K., Brzóstowicz A., 2006. Influence of increased CO₂ concentrations on frost resistance of winter cereals. *Acta Agrophysica*, 7(2), 355–361.
 92. Jasińska Z. Kotecki A. (red.) 2003. *Szczegółowa uprawa roślin*, II, 48–64. Wydawnictwo Akademii Rolniczej Wrocław.
 93. Jensen E.S. 1996. Grain yield, symbiotic N₂ fixation and interspecific competition for inorganic N in pea–barley intercrops. *Plant and Soil*, 182(1), 25–38.
 94. Jensen E.S., Carlsson G., Hauggaard-Nielsen H. 2020. Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: a global–scale analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(5), 1–9.
 95. Jensen E.S., Peoples M. B., Boddey R.M., Gresshoff P.M., Hauggaard-Nielsen H., Alves B.J.R., Morrison M.J. 2012. Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(2), 329–364.
 96. Jukanti A.K., Gaur P.M., Gowda C.L.L., Chibbar R.N. 2012. Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): a review. *British Journal of Nutrition*, 108(1), 11–26.

97. Kashevarov N.I., Sadokhina T.A., Bakshaev D.Y. 2021. Competitive ability of components in mixed agrocenoses of fodder grain crops. *Siberian Herald of Agricultural Science*, 51(1), 42–50.
98. Khatun M, Sarkar S, Era F.M., Islam A.K.M.M., Anwar M.P., Fahad S., Datta R., Islam A.K.M.A. 2021. Drought stress in grain legumes: Effects tolerance mechanisms and management. *Agronomy*, 11(12), 2374.
99. Kibite S., Evans L.E. 1984. Causes of negative correlations between grain yield and grain protein concentration in common wheat. *Euphytica*, 33(3), 801–810.
100. Klein A., Houtin H., Rond C., Marget P., Jacquin F., Boucherot K., Huart M., Rivière N., Boutet G., Lejeune-Hénaut I., Burstin J. 2014. QTL analysis of frost damage in pea suggests different mechanisms involved in frost tolerance. *Theoretical and Applied Genetics*, 127(6), 1319–1330.
101. Knott C.M., Belcher S.J. 1998. Optimum sowing dates and plant populations for winter peas (*Pisum sativum*). *Journal of Agricultural Science*, 131, 449–454.
102. Köpke U., Nemecek T. 2010. Ecological services of faba bean. *Field Crops Research*, 115(3), 217–233.
103. Koprna R., Humplik J.F., Spisek Z., Bryksova M., Zatloukal M., Mik V., Novak O., Nisler J., Dolezal K. 2021. Improvement of tillering and grain yield by application of cytokinin derivatives in wheat and barley. *Agronomy*, 11, 67.
104. Kotecki A., Kozak M. 2020. „Groch” [W:] *Uprawa Roślin*, Tom III, Kotecki A.(red.), 95–120. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.
105. Kozak M., Malarz W., Kotecki A. 2012. „Współrzędna uprawa roślin strączkowych ze zbożami” [W:] *Rośliny strączkowe w rolnictwie integrowanym*, Kotecki A.(red.), 21–28. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.
106. Kozak M., Wojciechowski W., Cwiertaniewska M., Białkowska M. 2014. Zdrowotność pszenżyta jarego w mieszankach zbożowo-strączkowych. *Progress in Plant Protection*, 54(1), 9–13.
107. Książak J. 2007. Wybrane elementy agrotechniki mieszanek roślin strączkowych ze zbożami uprawianych na nasiona. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 9, 171–186.
108. Książak J., Bojarszczuk J. 2016. Tendencje zmian produkcji i wykorzystania roślin pastewnych w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 47(21), 167–191.
109. Książak J., Staniak M., Stalenga J., 2023. Restoring the importance of cereal–grain legume mixtures in low–input farming systems. *Agriculture*, 13, 341.
110. Laudadio V., Tufarelli V. 2010. Growth performance and carcass and meat quality of broiler chickens fed diets containing micronized–

- dehulled peas (*Pisum sativum* cv. Spirale) as a substitute of soybean meal. *Poultry Science*, 89(7), 1537–43.
111. Layek J., Das A., Mitran T., Nath C., Meena R., Yadav G.S., Shivakumar B., Kumar S., Lal R. 2018. Cereal+legume intercropping: an option for improving productivity and sustaining soil health. *Legumes for Soil Health and Sustainable Management*, 347–386.
 112. Lithourgidis A.S., Dordas C.A., Damalas C.A., Vlachostergios D.N. 2011a. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian Journal of Crop Science*, 5(4), 396–410.
 113. Lithourgidis A.S., Vlachostergios D.N., Dordas C.A., Damalas C.A. 2011b. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea–cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy*, 34(4), 287–294.
 114. López-Bellido R.J., López-Bellido L., López-Bellido F.J. 2004. Chickpea response to tillage and soil residual nitrogen in a continuous rotation with wheat. II. Soil nitrate, N uptake and influence on wheat yield. *Field Crops Research*, 88(2), 201–210.
 115. Mahon J.D. 1990. Photosynthetic carbon dioxide exchange, leaf area, and growth of field–grown pea genotypes. *Crop Science*, 30(5), 1093–1098.
 116. Mamine F, Farès M. 2020. Barriers and Levers to Developing Wheat–Pea Intercropping in Europe: A Review. *Sustainability*, 12(17), 6962.
 117. Manzoor M., Gul S., Bibi S., Gul I., Akbar A., Ali I., Rehman G.B., 2021. Harvest index of pea plant and soil properties influenced by a two–year amendment of biocarbons under municipal wastewater irrigation in arid climate. *Applied Ecology and Environmental Research*, 19, 2111–2132.
 118. Mariotti M., Masoni A., Ercoli L., Arduini I. 2009. Above- and below-ground competition between barley, wheat, lupin and vetch in a cereal and legume intercropping system. *Grass and Forage Science*, 64(4), 401–412.
 119. Marschner P., 2012. *Marschner’s Mineral Nutrition of Higher Plants*, Third edition. Academic Press, London, United Kingdom, 178–189.
 120. Mead R., Willey R.W. 1980. The concept of a “land equivalent ratio” and advantages in yields from intercropping. *Experimental Agriculture*, 16(3), 217–228.
 121. Mikic A., Mihailovic V., Cupina B., Dordevic V., Milic D., Duc G., Stoddard F.L., Lejeune-Hémaut, I., Marget P., Hanocq E. 2011. Achievements in breeding autumn–sown annual legumes for temperate regions with emphasis on the continental Balkans. *Euphytica*, 180, 57–67.
 122. Miroslavljević, M., Momčilović, V., Maksimović, I., Putnik-Delić, M., Brbaklić, L., Pržulj, N. 2018. Effect of sowing date on dry matter accumulation in two–rowed winter barley. *Selekcija i Semearstvo*, 24, 1–9.
 123. Miśniakiewicz, M., Łuczak, J., Maruszewska N. 2021. Improvement of organic farm assessment procedures on the example of organic farming

- in Poland—recommendations for organic farming in Poland. *Agronomy*, 11, 1560.
124. Monti M., Pellicanò A., Santonoceto C., Preiti G., Pristeri A., 2016. Yield components and nitrogen use in cereal–pea intercrops in Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 196, 379–388.
 125. Mun S., Zachmann J., Chongtham I.R., Dhamala N.R., Hartung J., Jensen E.S., Carlsson G. 2023. Yield stability and weed drymatter in response to field–scale soil variability in pea–oat intercropping. *Plant and Soil*, 1–20.
 126. Naeiny A., Mesgaran M. D., Vakili A., Ebrahimi H. 2019. Milk production and composition, and intake of Holstein lactating cows fed diets with partial substitution of soybean meal with flaked field pea. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 9(1), 45–50.
 127. Najewski A. 2022. „Pszonica zwyczajna ozima” [W:] Wyniki porejestrowych doświadczeń odmianowych, Zych J. (red.), Centralny Ośrodek Badania Roślin Uprawnych, Słupia Wielka, 31–53.
 128. Naudin C., Aveline A., Corre-Hellou G., Dibet A., Jeuffroy M.H., Crozat Y. 2009. Agronomic analysis of the performance of spring and winter cereal–legume intercrops in organic farming. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 3, 17–28.
 129. Nemeskéri, E., Molnár, K., Vígh, R., Nagy J., Dobos A. 2015. Relationships between stomatal behaviour, spectral traits and water use and productivity of green peas (*Pisum sativum* L.) in dry seasons. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37, 1–16.
 130. Neugschwandtner R.W., Bernhuber A., Kammlander S., Wagentristl H., Klimek-Kopyra A., Kaul H.P. 2020. Yield structure components of autumn– and spring–sown pea (*Pisum sativum* L.). *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil and Plant Science*, 70(2), 109–116.
 131. Neugschwandtner R.W., Bernhuber A., Kammlander S., Wagentristl H., Klimek-Kopyra A., Kaul H.P. 2019a. Agronomic potential of winter grain legumes for Central Europe: Development, soil coverage and yields. *Field Crops Research*, 241, 107576.
 132. Neugschwandtner R.W., Bernhuber A., Kammlander S., Wagentristl H., Klimek-Kopyra A., Kaul H.P. 2019b. Yield structure components of autumn– and spring–sown pea (*Pisum sativum* L.). *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil and Plant Science*, 70(2), 109–116.
 133. Neugschwandtner R.W., Böhm, K., Hall R., Kaul H.P. 2015. Development, growth, and nitrogen use of autumn– and spring–sown facultative wheat. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B — Soil and Plant Science*, 65, 6–13.
 134. Neugschwandtner R.W., Kaul H.P., Moitzi G., Klimek-Kopyra A., Losák T., Wagentristl H. 2021. A low nitrogen fertilizer rate in oat–pea intercrops does not impair N₂ fixation. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B — Soil and Plant Science*, 71, 182–190.

135. Obour A.K., Simon L.M., Holman J.D., Carr P.M., Schipanski M., Fonte S., Ghimire R., Nleya T., Blanco-Canqui H. 2021. Cover crops to improve soil health in the North American Great Plains. *Agronomy Journal*, 113, 4590–4604.
136. Olesen J.E., Hansen E.M., Berntsen J., Christensen S., Møller Hansen E. 2004. Simulation of above-ground suppression of competing species and competition tolerance in winter wheat varieties. *Field Crops Research*, 89(2–3), 263–280.
137. Osorio E.E., Davis A.R., Bueckert R.A. 2022. High temperatures disturb ovule development in field pea (*Pisum sativum* L.). *Botany*, 100, 47–61.
138. Otteson B.N., Mergoum M., Ransom J.K. 2007. Seeding rate and nitrogen management effects on spring wheat yield and yield components. *Agronomy Journal*, 99(6), 1615–1621.
139. Pankou C., Lithourgidis A., Dordas C. 2021. Effect of irrigation on intercropping systems of wheat (*Triticum aestivum* L.) with pea (*Pisum sativum* L.). *Agronomy*, 11(2), 283.
140. Parihar A.K., Hazra K.K., Lamichaney A., Dixit G.P., Singh D., Singh A.K., Singh N.P. 2022. Characterizing plant trait(s) for improved heat tolerance in field pea (*Pisum sativum* L.) under subtropical climate. *International Journal of Biometeorology*. 66, 1267–1281.
141. Peltonen-Sainio P., Jauhiainen L., Laurila I. P. 2009. Cereal yield trends in northern European conditions: Changes in yield potential and its realization. *Field Crops Research*, 110(1), 85–90.
142. Pelzer E., Bazot M., Guichard L., Jeuffroy M.H. 2016. Crop management affects the performance of a winter pea–wheat intercrop. *Agronomy Journal*, 108(3), 1–12.
143. Pelzer E., Bazot M., Makowski D., Corre-Hellou G., Naudin C., Rifai M. A., Baranger E., Bedoussac L., Biarnès, V., Boucheny P., Carrouée B., Dorvillez D., Foissy D., Gaillard B., Guichard L., Mansard M.C., Omon B., Prieur L., Yvergniaux M., Justes E., Jeuffroy M. 2012. Pea–wheat intercrops in low–input conditions combine high economic performances and low environmental impacts. *European Journal of Agronomy*, 40, 39–53.
144. Pelzer E., Hombert N., Jeuffroy M.H., Makowski D., 2014. Meta-analysis of the effect of nitrogen fertilization on annual cereal–legume intercrop production. *Agronomy Journal*, 106(5), 1775–1786.
145. Peoples M.B., Brockwell J., Herridge D.F., Rochester I.J., Alves B.J.R., Urquiaga S., Boddey R.M., Dakora F.D., Bhattarai S., Maskey S.L., Sampet C., Rerkasem B., Khan D.F., Hauggaard-Nielsen H., Jensen E.S. 2009. The contributions of nitrogen–fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis*, 48, 1–17.
146. Płaza A., Gąsiorowska B., Cybulska A., Rzążewska E., Górski R. 2018. Zachwaszczenie i plonowanie mieszanek łubinu wąskolistnego z żytem

- jarym uprawianych na zieloną masę. *Progres in Plant Protection*, 58(4), 241–246.
147. Podgórska-Lesiak M., Sobkowicz P., Lejman A. 2011. Dynamika pobierania i wykorzystanie azotu w mieszankach jęczmienia jarego z grochem siewnym. *Fragmenta Agronomica*, 28(3), 100–111.
 148. Podleśny J. 2005. Rośliny strączkowe w Polsce– perspektywy uprawy i wykorzystanie nasion. *Acta Agrophysica* 6(1), 213–224.
 149. Podleśny J., Bieniaszewski T. 2012. Ocena plonowania grochu siewnego (*Pisum sativum* L.) w różnych rejonach Polski. *Fragmenta Agronomica* 29(4), 125–135.
 150. Prusiński J. 2016. Overwintering and yield of winter cultivars of field pea Assas and white lupine Orus. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 19(4), 1–17.
 151. Prusiński J., Borowska M. 2023. Wpływ odmiany i terminu siewu na przezimowanie i plonowanie grochu siewnego (*Pisum sativum* L.) w województwie kujawsko–pomorskim. *Agronomy Science*, 78(4), 47–61.
 152. Pržulj N., Momčilović V. 2001. Genetic variation for dry matter and nitrogen accumulation and translocation in two–rowed spring barley: I. Dry matter translocation. *European Journal of Agronomy*, 15(3), 241–254.
 153. Rasmussen I., Thorup-Kristensen K. 2016. Does earlier sowing of winter wheat improve root growth and N uptake. *Field Crops Research*, 196, 10–21.
 154. Rice E.L. 1992. Allelopathic effects on nitrogen cycling. W: Rizvi S.J.H., Rizvi V. (red.). *Allelopathy*, 31–58.
 155. Roland W.S.U., Pouvreau L., Curran J., van de Velde F., De Kok P. 2017. Flavor aspects of pulse ingredients. *Cereal Chemistry*, 94(1), 58–65.
 156. Royo C., Aparicio N., Blanco R., Villegas D. 2004. Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, 20(4), 419–430.
 157. Rudnicki F., Kotwica K. 1994. Wartość przedplonowa pszenżyta jarego, łubinu żółtego i ich mieszanek dla pszenicy ozimej. *Fragmenta Agronomica*. 2(42), 19–24.
 158. Rudnicki F., Kotwica K. 2007. Oddziaływanie konkurencyjne między zbożami jarymi i łubinami w mieszankach oraz efekty produkcyjne uprawy mieszanek na glebie kompleksu żytnie go bardzo dobrego. *Fragmenta Agronomica*, 4, 145–152.
 159. Salinas-Roco S., Morales-González A., Espinoza S., Pérez-Díaz R., Carrasco B., del Pozo A., Cabeza R.A. 2024. N₂ fixation, N transfer, and Land Equivalent Ratio (LER) in grain legume–wheat intercropping: impact of n supply and plant density. *Plants*, 13(7), 991.

160. Schillinger W.F. 2017. Winter pea: promising new crop for Washington's dryland wheat-fallow region. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5(43), 1–5.
161. Schulze J., Temple G., Temple S. J., Beschow H., Vance C.P. 2006. Nitrogen fixation by white lupin under phosphorus deficiency. *Annals of Botany*, 98(4), 731–740.
162. Selyaninov G.T. 1928. About climate agricultural estimation. *Proceedings on Agricultural Meteorology*, 20, 165–177.
163. Shewry P.R., Halford N.G. 2002. Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany*, 53(370), 947–958.
164. Simmonds N. 1995. The relation between yield and protein in cereal grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 67(3), 309–315.
165. Simon A., Rusu T., Chetan F., Chetan C., Moraru P. 2018. Impact of minimum tillage systems in conservation of water in the soil in the case of pea crops. *AgroLife Scientific Journal*, 7(1), 115–122.
166. Simona V., Ciulca S. 2013. Analysis of the breeding potential for harvest index in winter barley hybrids. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 17, 303–306.
167. Singh B., Singh J.P., Shevkani K., Singh N., Kaur A. 2017. Bioactive constituents in pulses and their health benefits. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 858–870.
168. Skinder Z., Sypniewski S., Wilczewski E. 1997. Plonowanie ozimej formy grochu siewnego w regionie Pomorza i Kujaw. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 446, 165–169.
169. Skowera B., Puła J. 2004. Skrajne warunki pluwiometryczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971–2000, *Acta Agrophysica*, 3(1), 171–177.
170. Skrzypek A., 2022. Pszenica zwyczajna jara. [W:] Wyniki porejestrowych doświadczeń odmianowych, Zych J. (red.), Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych, Słupia Wielka, 2022, 28–39.
171. Smith L., Houdijk J., Homer D., Kyriazakis I. 2013. Effects of dietary inclusion of pea and faba bean as a replacement for soybean meal on grower and finisher pig performance and carcass quality. *Journal of Animal Science*, 91(8), 3733–3741.
172. Sobkowicz P. 2003. Konkurencja międzygatunkowa w jarych mieszankach zbożowych. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Rozprawy CXCV*, 5–105.
173. Sosnowska D., Sobiczewski P., Zbytek Z., Czembor J.H. 2016. Integrated plant production – benefits and prospects. *Progress In Plant Protection*, 56(1), 114–119.

174. Soufan W., Al-Suhaibani N.A. 2021. Optimizing yield and quality of silage and hay for pea–barley mixtures ratio under irrigated arid environments. *Sustainability*, 13(24), 13621.
175. Srinivasan C.S., Irz X., Shankar B. 2006. An assessment of the potential consumption impacts of WHO dietary norms in OECD countries. *Food Policy*, 31(1), 53–77.
176. Staniak M., Księżak J., Bojarszczuk J. 2014. Mixtures of legumes with cereals as a source of feed for animals. [W:] *Organic Agriculture Towards Sustainability*, Pilipavicius V.(red.), 123–145.
177. Ślósarz W. 2017. Zmiany w dopłatach bezpośrednich w 2017 roku. MODR Karniowice, 3–10.
178. Tafesse E.G., Warkentin T.D., Bueckert R.A. 2019. Canopy architecture and leaf type as traits of heat resistance in pea. *Field Crops Research*, 241, 107561.
179. Thorup-Kristensen K., Magid J., Jensen L.S. 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Advances in Agronomy*, 79, 227–302.
180. Tran C.T., Becker H.C., Horneburg B. 2022. Agronomic performance of normal–leafed and semi–leafless pea (*Pisum sativum* L.) genotypes. *Crop Science*, 62, 1430–1442.
181. Travis A., Murison S., Hirst D., Walker K., Chesson A. 1996. Comparison of the anatomy and degradability of straw from varieties of wheat and barley that differ in susceptibility to lodging. *The Journal of Agricultural Science*, 127(1), 1–10.
182. Triboi E., Triboi-Blondel A.M. 2002. Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem—invited paper. *European Journal of Agronomy*, 16(3), 163–186.
183. Trnka M., Rötter R.P., Ruiz-Ramos M., Kersebaum K.C., Olesen J.E., Žalud Z., Semenov M. A. 2014. Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. *Nature Climate Change*, 4(7), 637–643.
184. Tsialtas I.T., Baxevanos D., Vlachostergios D.N., Dordas C., Lithourgidis A. 2018. Cultivar complementarity for symbiotic nitrogen fixation and water use efficiency in pea–oat intercrops and its effect on forage yield and quality. *Field Crops Research*, 226, 28–37.
185. Urbatzka P., Graß R., Schüler C., Schliephake U., Trautz D., Heß J. 2008. Grain yield of different winter pea genotypes in pure and mixed stands. 16th IFOAM Organic World Congress 16.6 – 20.6. 2008 in Modena, Italia, Volume 1, Organic crop production, 372–376.
186. Urbatzka P., Graß R., Thorsten H., Schüler C., Trautz D., Heß J. 2011. Grain yield and quality characteristics of different genotypes of winter pea in comparison to spring pea for organic farming in pure and mixed stands. *Organic Agriculture*, 1, 187–202.
187. Ustawa z dnia 22 lipca 2006 r. o paszach (Dz. U. 2006 poz. 1045).

188. Ustawa z dnia 22 listopada 2018 r. o zmianie ustawy o paszach (Dz. U. 2018 poz. 2430).
189. Ustawa z dnia 27 września 2024 r. o zmianie ustawy o paszach (Dz. U. 2024 poz. 1558).
190. Vályi-Nagy M., Kristó I., Tar M., Rácz A., Szentpéteri L., Irmes K., Kovács G. P., Ladányi M. 2024. Competition Indices and Economic Benefits of Winter Wheat and Winter Peas in Mixed Cropping. *Agronomy*, 14(4), 786.
191. van Kessel C., Hartley C. 2000. Agricultural management of grain legumes: has it led to an increased in nitrogen fixation? *Field Crop Research*, 65, 165–181.
192. Voisin A.S., Guéguen, J., Huyghe C., Jeuffroy M.H., Magrini M.B., Meynard J.M., Mougé C., Pellerin S., Pelzer E. 2014. Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 361–380.
193. Wang N., Daun J.K. 2004. The chemical composition and nutritive value of Canadian pulses. *Canadian Grain Commission Report*, 19–29.
194. Wang Q., Sun G., Ren X., Du B., Cheng Y., Wang Y., Sun D. 2019. Dissecting the genetic basis of grain size and weight in barley (*Hordeum vulgare* L.) by QTL and comparative genetic analyses. *Frontiers in Plant Science*, 10, 469.
195. Weih M., Karley A., Newton A., Kiær L., Scherber C., Rubiales D., Adam E., Ajal L., Brandmeier J., Pappagallo S., Villegas–Fernandes A., Reckling M., Tavoletti S. 2021. Grain yield stability of cereal–legume intercrops is greater than sole crops in more productive conditions. *Agriculture*, 11(3), 255.
196. Wenda-Piesik A., Wasilewski P. 2015. Reakcja pszenicy jarej ‘Monsun’ i żyta jarego ‘Bojko’ na późnojesienne terminy siewu. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 580, 149–159.
197. Willey R.W., Rao M.R. 1980. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Experimental Agriculture*, 16, 117–125.
198. Wiśniewska M., Boros D., Zych J. 2020. Wartość pokarmowa wybranych mieszanek zbóż jarych z roślinami bobowatymi grubonasiennymi. *Biuletyn IHAR*, 289, 51–62.
199. Wnuk A., Górny A.G., Bocianowski J., Kozak M., 2014. Visualizing harvest Index in crops. *Communications in Biometry and Crop Science*, 8, 48–59.
200. Wojciechowski W., Werwińska M. 2016. Plonowanie i wartość nawozowa międzyplonów ścierniskowych uprawianych zgodnie z zasadami programu rolnośrodowiskowego. *Fragmenta Agronomica* 33(2), 103–109.
201. Wyzińska M., Grabiński J. 2018. The influence of autumn sowing date on the productivity of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Research for Rural Development*, 2, 35–41.

202. Xin Y., Chen G., Wu Q., Liang X., Zhai Y. 2022. Effects of planting density on root spatial and temporal distribution and yield of winter wheat. *Agronomy*, 12(12), 3014.
203. Xu Z., Yu Z., Wang D. 2006. Nitrogen translocation in wheat plants under soil water deficit. *Plant and Soil*, 280(1–2), 291–303.
204. Yang C., Fan Z., Chai Q. 2018. Agronomic and economic benefits of pea/maize intercropping systems in relation to N fertilizer and maize density. *Agronomy*, 8(4),52.
205. Yau S., Nimah M., Farran M. 2011. Early sowing and irrigation to increase barley yields and water use efficiency in Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, 98(12), 1776–1781.
206. Yu Y., Stomph T., Makowski D., Zhang L., van der Werf W. 2016. A meta-analysis of relative crop yields in cereal/legume mixtures suggests options for management. *Field Crops Research*, 198, 269–279.
207. Yu Y., Stomph T.J., Makowski D., van der Werf W. 2015. Temporal niche differentiation increases the land equivalent ratio of annual intercrops: a meta-analysis. *Field Crops Research*, 184, 133–144.
208. Zabortina O., Aiupova D., Toroshchina T., Zabortin A. 2003. Involvement of oligosaccharides in adaptation of winter wheat seedlings to sub-zero temperatures. *Biology Bulletin*, 30(5), 464–467.
209. Zajac T., Oleksy A., Stokłosa A., Klimek-Kopyra A., Kulig B. 2013. The development competition and productivity of linseed and pea-cultivars grown in a pure sowing or in a mixture. *European Journal of Agronomy*, 44, 22–31.
210. Zhang Y., Duan Y., Nie J., Yang J., Ren J., van der Werf W., Evers J., Zhang J., Su Z., Zhang L. 2019. A lack of complementarity for water acquisition limits yield advantage of oats/vetch intercropping in a semi-arid condition. *Agricultural Water Management*, 225, 105778.
211. Živanov D., Savić A., Katanski S., Karagić Đ., Milošević B., Milić D., Đorđević V., Vujić S., Krstić Đ., Čupina B. 2018. Intercropping of field pea with annual legumes for increasing grain yield production. *Zemdirbyste-Agriculture*, 105(3), 235–242.
212. Zotikov V.I., Vilyunov S.D. 2021. Present-day breeding of legumes and groat crops in Russia. *Vavilovskii Zhurnal Genet Selektcii*, 25(4), 381–387.

STRESZCZENIE

Ocena efektywności uprawy zimujących mieszanek strączkowo-zbożowych w zależności od składu gatunkowego i udziału komponentów

mgr inż. Radosław Nowicki

Słowa kluczowe: zasiewy mieszane, uprawa współrzędna, termin siewu, bioróżnorodność, udział komponentów, groch zimujący, białko roślinne

Mieszanki strączkowo-zbożowe stanowią element rolnictwa zrównoważonego, pozwalający uzyskać korzyści środowiskowe i ekonomiczne. Większa stabilność plonowania, mniejsza presja agrofagów, niższe zapotrzebowanie na nawozy azotowe i płony z wyższą koncentracją białka to niektóre z zalet i powodów, dla których rolnicy wybierają mieszanki strączkowo-zbożowe zamiast wysiewu osobno gatunków do produkcji pasz treściwych i objętościowych. Postęp w hodowli roślin za sprawą którego pojawiły się w doborze odmian zimujące w warunkach Polski formy grochu, umożliwił tworzenie mieszanek ze zbożami ozimymi, które hipotetycznie mogą mieć wyższy potencjał plonowania od mieszanek jarych.

W celu weryfikacji tego założenia oraz oceny efektywności, wydajności i różnic w rozwoju poszczególnych komponentów niezbadanych do tej pory mieszanek zimujących grochu z jęczmieniem oraz grochu z pszenicą w porównaniu do mieszanek jarych, wykonano w latach 2020-2023 ściśle doświadczenie polowe. Czynniki doświadczenia stanowiły: I – termin siewu (jesienny i wiosenny), II – gatunek rośliny zbożowej w mieszance (jęczmień lub pszenica) oraz III – udział komponentów mieszanki (0%-100%; 20%-80%; 40%-60%; 60%-40%; 80%-20%; 100%-0%). Cele szczegółowe doświadczenia obejmowały ustalenie optymalnej proporcji wysiewanych komponentów zimujących mieszanek, zapewniających najwyższy plon białka, ustalenie masy azotu gromadzonego w części nadziemnej przez różne mieszanki oraz określenie

różnic w dynamice i wielkości gromadzenia suchej masy pomiędzy różnymi formami uprawy.

Przeprowadzone badania wykazały, że jesienny termin siewu wpływał na zwiększenie liczby strąków, obsady kłosów pszenicy i liczby ziaren w kłosie jęczmienia i pszenicy, w porównaniu do wiosennego terminu siewu mieszanek. Masa tysiąca ziaren zbóż w mieszankach zimujących również była wyższa niż w wysiewanych wiosną mieszankach, a masa tysiąca nasion grochu była wyższa w mieszankach wysiewanych wiosną. Bez względu na gatunek zboża w mieszance, jej plon nasion malał wraz ze zwiększaniem udziału grochu, ale plon białka nie ulegał istotnym zmianom. Plony białka mieszanek zimujących były znacznie wyższe niż wysiewanych wiosną, szczególnie w przypadku obiektów z udziałem pszenicy. Plony białka z mieszanek były większe niż z czystych siewów zbóż, jednak mniejsze niż z grochu wysiewanego jesienią. Plony mieszanek wysiewanych jesienią charakteryzowały się wyższą stabilnością w latach badań niż w przypadku zasiewów wiosennych, ale głównie za sprawą zbóż, ponieważ udział grochu w mieszankach wysiewanych jesienią zmieniał się w zależności od warunków agrometeorologicznych, podobnie jak w mieszankach wysiewanych wiosną. Zboża ozime stanowiły dla grochu większą konkurencję niż zboża jare, co objawiało się niższym udziałem w plonie grochu w latach sprzyjających rozwojowi zbóż ozimych. Potwierdzają to także obserwowane niższe przyrosty i gorsza dynamika gromadzenia suchej masy przez groch wysiewany w mieszankach zimujących, niż w wysiewanych wiosną. Mieszanki wysiewane jesienią gromadziły większe ilości azotu w swoich organach nadziemnych niż wysiewane wiosną, ale zależało to także od gatunku rośliny zbożowej w mieszance i roku. Niezmiennie w każdym roku badań groch wysiewany jesienią gromadził istotnie wyższą masę azotu od pozostałych obiektów. Ze względu na przeważającą masę słomy zbóż nad masą słomy grochu w mieszankach, stanowiła ona większość zasobów azotu gromadzonego w słomie mieszanek, szczególnie w mieszankach wysiewanych jesienią.

SUMMARY

Evaluation of the efficiency of cultivation winter legume-cereal mixtures depending on the species and the share of components

MSc Radoslaw Nowicki

Key words: mixed stands, intercropping, sowing date, biodiversity, mixing ratio, winter-pea, plant protein

Legume-cereal mixtures are an element of sustainable agriculture, providing both environmental and economic benefits. Increased yield stability, reduced pest pressure, reduced demand for nitrogen fertilizers, and higher protein concentrations in the yield are some of the advantages that motivate farmers to choose legume-cereal mixtures instead of sowing individual species to produce both concentrated and bulky feeds. Progress in plant breeding, which introduced winter pea cultivars suitable for Polish conditions, has enabled the creation of mixtures with winter cereals. Such mixtures may hypothetically have a higher yield potential than their spring-sown counterparts.

To verify this assumption and to assess the efficiency, productivity, and developmental differences of the individual components in previously untested winter pea mixtures with barley and with wheat, as compared to spring mixtures, a field experiment was conducted from 2020 to 2023. The experimental factors were: (I) sowing date (autumn and spring), (II) cereal species in the mixture (barley or wheat), and (III) mixture component ratios (0%-100%; 20%-80%; 40%-60%; 60%-40%; 80%-20%; 100%-0%). The specific objectives included determining the optimal proportions of winter mixture components to achieve the highest protein yield, quantifying the amount of nitrogen accumulated in the above-ground parts of various mixtures, and identifying differences in the dynamics and magnitude of dry matter accumulation between different cultivation forms.

The study results showed that autumn sowing increased the number of pea pods, wheat ear density, and the number of grains per ear in both barley and wheat

compared to spring sowing of mixtures. The thousand-grain weight of cereals in winter mixtures was also higher than in spring mixtures. Conversely, the thousand-grain weight of peas was higher in spring-sown mixtures. Regardless of the cereal species, total seed yield decreased with increasing pea proportions; however, the protein yield did not change significantly. Protein yields from winter mixtures were significantly higher than those from spring mixtures, especially in treatments involving wheat. Although protein yields from mixtures exceeded those of pure cereal sowings, they were lower than those of autumn-sown pure pea stands. Yields of autumn-sown mixtures were more stable over the study years than those of spring-sown mixtures, mainly due to the cereals. The pea proportion in autumn-sown mixtures varied with agrometeorological conditions, like the mixtures sown in spring. Winter cereals were more competitive against peas than spring cereals, resulting in a lower pea share in the yield during years favorable for winter cereal development. This competitiveness also explains the observed reduced growth and less favorable dynamics of dry mass accumulation by peas in winter mixtures compared to those in spring mixtures. Autumn-sown mixtures accumulated greater amounts of nitrogen in their aboveground organs than spring-sown mixtures, although this also depended on the cereal species and the specific year. Consistently, across all study years, peas sown in autumn accumulated significantly more nitrogen than the other treatments. Due to the predominance of cereal straw over pea straw in the mixtures, cereal straw accounted for the majority of nitrogen resources in the straw fraction, particularly in autumn-sown mixtures.