



Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wydział Rolnictwa, Ogrodnictwa i Biotechnologii

mgr inż. Karolina Joanna Madajska

**Stabilność plonowania pszenżyta ozimego w zależności od
wybranych czynników agrotechnicznych**

Yield stability of winter triticale depending on selected
agrotechnical factors

Rozprawa doktorska w dziedzinie nauk rolniczych
w dyscyplinie Rolnictwo i Ogrodnictwo
Doctoral thesis in Agricultural sciences
in discipline Agriculture and Horticulture

Promotor:

Prof. UPP dr hab. Zuzanna Sawinska
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Promotor pomocniczy:

dr inż. Tomasz Lenartowicz
Centralny Ośrodek Badania Odmian
Roślin Uprawnych w Słupi Wielkiej

Poznań, 2024

*Składam najserdeczniejsze wyrazy wdzięczności
Pani Prof. UPP dr hab. Zuzannie Sawinskiej,
oraz Panu dr inż. Tomaszowi Lenartowiczowi
za wsparcie i zrozumienie, ogromną życzliwość
oraz sugestie, które stanowiły inspirację do
stworzenia tej pracy.*

*Dziękuję za cenne wskazówki
Panu mgr inż. Andrzejowi Najewskiemu.*

*Pragnę jeszcze osobno wyrazić wdzięczność
mojemu mężowi Sebastianowi za wsparcie
i okazane zrozumienie.*

*„Kiedy czegoś gorąco pragniesz, to cały Wszechświat
działa potajemnie, by udało Ci się to osiągnąć.”*

Paulo Coelho

Spis treści

Streszczenie	3
Summary	5
1. Wstęp	7
2. Cel pracy	9
3. Przegląd literatury	11
4. Materiał i metody badań	17
4.1. Opis doświadczenia	17
4.2. Miejsce realizacji doświadczeń	17
4.3. Układ doświadczalny	18
4.4. Parametry doświadczeń:	18
4.5. Warunki glebowe	19
4.6. Uprawa roli	22
4.7. Poziomy agrotechniki	25
4.8. Nawożenie mineralne	29
4.8.1. Nawożenie azotem	29
4.8.2. Nawożenie makroelementami	31
4.9. Materiał siewny	33
4.10. Termin siewu	33
4.11. Ilość i sposób wysiewu	34
4.12. Zabiegi ochrony roślin	34
4.13. Zbiór	37
4.14. Obserwacje i pomiary polowe	37
4.15. Warunki meteorologiczne	37
4.16. Charakterystyka badanych odmian pszenżyta ozimego wg. COBORU	39
4.17. Energetyczna ocena produkcji pszenżyta ozimego	42
4.18. Ekonomiczna ocena produkcji pszenżyta ozimego	44
4.19. Analiza statystyczna wyników	45
5. Wyniki badań	51

5.1.	Warunki meteorologiczne i przebieg wegetacji	51
5.2.	Wyleganie roślin.....	55
5.3.	Wysokość roślin	59
5.4.1.	Mączniak prawdziwy (<i>Blumeria graminis</i>).....	63
5.4.2.	Rdza żółta (<i>Puccinia striiformis</i>)	67
5.4.3.	Rdza brunatna (<i>Puccinia recondita</i>)	70
5.4.4.	Fuzarioza kłosów (<i>Fusarium spp.</i>).....	74
5.5.	Plon.....	77
5.6.	Masa 1000 ziaren.....	82
6.	Energetyczna ocena produkcji pszenżyta ozimego.....	85
7.	Ekonomiczna ocena produkcji pszenżyta ozimego.....	91
8.	Dyskusja.....	93
9.	Wnioski	109
	Literatura	111
	Spis rysunków	129
	Spis tabel	130

Streszczenie

Wyniki prezentowanych badań nad pszenżytem ozimym zostały uzyskane z doświadczeń polowych zrealizowanych w piętnastu punktach doświadczalnych Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych (COBORU). Badania zostały przeprowadzone w pięciu sezonach wegetacyjnych: 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022, 2022/2023. Doświadczenia zakładano jako dwuczynnikowe odmianowo-agrotechniczne w układzie split-block w dwóch powtórzeniach. Czynnikiem doświadczania były odmiany pszenżyta ozimego ('Avokado', 'Belcanto', 'Carmelo', 'Kasyno', 'Lombardo', 'Meloman', 'Orinoko', 'Porto', 'Sekret', 'Tadeus', 'Temuco', 'Toro', 'Trapero'), oraz poziomy agrotechniki, które różniły się zużyciem środków ochrony roślin oraz nawożeniem azotowym (poziom a₁ – przeciętny, poziom a₂ – wysoki). W przeprowadzonym doświadczeniu określono wielkość plonowania poszczególnych odmian w zależności od zastosowanej technologii oraz wpływu warunków meteorologicznych na wzrost i rozwój roślin z uwzględnieniem podatności na porażenie przez patogeny chorobotwórcze czy skłonność do wylegania. Dla każdej badanej cechy typowano odmianę, która charakteryzowała się najlepszymi parametrami. Przeprowadzono ocenę stabilności plonowania poszczególnych odmian oraz ocenę ryzyka. Wykonano analizę efektywności energetycznej oraz ocenę ekonomiczną opartą na wynikach badań z sezonu wegetacyjnego 2018/2019.

Zaobserwowano wpływ warunków pogodowych na przebieg poszczególnych faz rozwojowych pszenżyta ozimego. Najdłuższy sezon wegetacyjny trwał 291 dni licząc od wschodów roślin do osiągnięcia dojrzałości pełnej i przy wykorzystaniu współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa (*K*) określono go jako dość wilgotny z uwagi na wysokie opady atmosferyczne i niskie średnie dobowe temperatury. Najbardziej odporne na wyleganie okazały się odmiany 'Carmelo' i 'Sekret' na przeciętnym poziomie agrotechniki z kolei na wysokim wszystkie odmiany były podatne na wyleganie. Można przypuszczać, że jest to reakcja na zastosowanie zwiększonej dawki nawożenia azotowego. Najwyższą, a najbardziej stabilną w tej cesze okazała się odmiana 'Avokado', jednak pomimo wysokości nie była najbardziej podatna na wyleganie. Najbardziej odporne odmiany na porażenie przez *Blumeria graminis* to 'Avokado', 'Orinoko', 'Tadeus', 'Toro', na *Puccinia striiformis* 'Avokado', 'Lombardo', 'Orinoko', 'Temuco', 'Toro', na *Puccinia recondita* 'Avokado', 'Belcanto', 'Kasyno', 'Meloman', 'Porto' i 'Trapero', natomiast najmniej odporne na porażenie przez *Fusarium* spp okazały się odmiany 'Toro' i 'Temuco', które wykazywały odporność na inne badane choroby grzybowe. Źródłem zmienności plonu był wpływ środowisk (lokalizacja i rok). Najwyższy średni plon ziarna ze wszystkich lat doświadczeń uzyskano w punkcie doświadczalnym Radostowo (108,9 dt/ha) znajdującym się na północy kraju, natomiast najniższy na południowym wschodzie w miejscowości Dukla (59,7 dt/ha). Najwyższy plon oraz masę tysiąca ziaren rośliny osiągnęły w sezonie wegetacyjnym 2022/2023. Wskaźnik energetyczny na wysokim poziomie agrotechniki był niekorzystny. Wyższy dochód z produkcji uzyskano stosując technologie niskonakładową (poziom intensywności technologii przeciętny).

Słowa kluczowe: pszenżyto ozime, stabilność plonowania, efektywność produkcji.

Summary

The results of the presented research on winter triticale were obtained from field experiments carried out at fifteen experimental points of the Research Center for Cultivar Testing (COBORU). The research was conducted in five growing seasons: 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022, 2022/2023. The experiments were planned as two-factor: in terms of variety and agrotechnical experiments in a split-block design. The experimental factors were winter triticale varieties ('Avokado', 'Belcanto', 'Carmelo', 'Kasyno', 'Lombardo', 'Meloman', 'Orinoco', 'Porto', 'Sekret', 'Tadeus', 'Temuco', 'Toro' and 'Trapero'), and the levels of agrotechnics which differed in the fungicide plant protection program and the level of nitrogen fertilization (level a_1 - average, level a_2 - high). In the experiments carried out, the yield of individual varieties was determined depending on the technology used and the impact of meteorological conditions on the growth and development of plants, taking into account susceptibility to infection by pathogens or tendency to lodging. For each tested feature, the variety with the best parameters was selected. An assessment of the yield stability of individual varieties and a risk assessment was carried out. In addition, an energy efficiency analysis and an economic assessment were performed based on research results from the 2018/2019 growing season.

The results of the conducted research indicate the influence of weather conditions on the course of individual development phases of winter triticale. The longest growing season lasted 291 days from plant emergence to full maturity and concerned the 2020/2021 season. Using the Selyanina hydrothermal coefficient (K), this growing season was determined to be quite humid due to high precipitation and low average daily temperatures. The shortest growing season, counting from the emergence of plants to full maturity, was characterized by the 2018/2019 growing season (280 days), where the average daily temperature was the highest of all the growing seasons examined, and the sum of precipitation was one of the lowest. The 'Carmelo' and 'Sekret' varieties were most resistant to lodging at an average level of agrotechnics, while at a high level all varieties were susceptible to lodging. Based on the analyzes performed, it can be assumed that this is a reaction to the use of an increased dose of nitrogen fertilization. The tallest and most stable variety in this respect was the 'Avokado' variety, which, despite its height, was not most susceptible to lodging. The varieties which were most resistant to infection by *Blumeria graminis* are 'Avokado', 'Orinoko', 'Tadeus', 'Toro', to *Puccinia striiformis* 'Avokado', 'Lombardo', 'Orinoko', 'Temuco', 'Toro', to *Puccinia recondita* 'Avokado', 'Belcanto', 'Kasyno', 'Meloman', 'Porto' and 'Trapero'. The least resistant to infection by fungi of the *Fusarium* genus were the 'Toro' and 'Temuco' cultivars, which were resistant to other fungal diseases tested. The source of yield variability was the influence of environments (location and year). The highest average grain yield from all years of experiments was obtained at the Radostowo experimental site (108.9 dt/ha) located in the north of the country, while the lowest - in the south-east in Dukla (59.7 dt/ha). The highest yield and thousand-grain weight of the plants were achieved in the 2022/2023 growing season. The energy index at a high level of agrotechnics was unfavorable. Higher income from production was achieved by using low-cost technology (average level of technology intensity).

Key words: winter triticale, yield stability, production efficiency.

1. Wstęp

Pszenżyto (*×Triticosecale* Wittmack) rozwinęło się w uniwersalny gatunek zbożowo-paszowy jako substytut pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) w żywieniu zwierząt. Zasadniczo pszenżyto jest konkurencyjne w stosunku do pszenicy pod względem plonu, ale w niektórych okolicznościach może nie dawać tak dużych plonów jak żyto ozime (*Secale cereale* L.). Jakość paszy z pszenżyta jest nieco gorsza od jęczmienia (*Hordeum vulgare* L.), ale lepsza od owsa (*Avena sativa* L.). Celem programów hodowlanych pszenżyta jest głównie poprawa cech, takich jak plon ziarna, biomasa, wysokość rośliny, a także cech, takich jak wczesna dojrzałość i duża masa objętościowa ziarna. Intensywna hodowla i selekcja doprowadziły do bardzo szybkich ulepszeń genetycznych jakości ziarna pszenżyta. Agronomiczne zalety i ulepszone właściwości użytkowe ziaren pszenżyta w porównaniu z pszenicą uzyskane dzięki wysiłkom badawczo-rozwojowym sprawiają, że pszenżyto jest atrakcyjną opcją dla zwiększenia globalnej produkcji żywności, szczególnie w przypadku marginalnych i podatnych na stresy warunków wzrostu. Dostępne w handlu pszenżyto jest prawie zawsze hybrydą drugiej generacji, czyli skrzyżowaniem dwóch rodzajów pszenżyta (pszenżyta pierwotnego). W zależności od odmiany pszenżyto może mniej więcej przypominać jednego ze swoich rodziców. W ostatnich latach zwrócono także uwagę na pszenżyto jako potencjalną roślinę energetyczną, a obecnie prowadzone są badania nad wykorzystaniem biomasy pszenżyta do produkcji bioetanolu. Zainteresowanie tym gatunkiem rozwinęło się jednak głównie wokół dwóch obszarów potencjalnego wykorzystania tego zboża. Pierwszy obszar zainteresowania dotyczy ziarna paszowego, ponieważ okazało się, że jest dobrym źródłem białka, aminokwasów i witaminy B. Zawartość białka w liniach pszenżyta waha się od 10% do 20% w przeliczeniu na suchą masę, czyli więcej niż w przypadku pszenicy. Ponadto jest lepszą paszą dla przeżuwaczy niż inne zboża ze względu na wysoką strawność skrobi. Drugim obszarem zainteresowań ziarnem pszenżyta jest jego opracowanie jako zboża spożywczego, które wykazywałoby unikalne cechy wypiekowe. Jako zboże spożywcze pszenżyto zostało również uznane za odporną roślinę zdolną pomóc w walce z głodem na świecie. Pszenżyto ma potencjał w produkcji chleba i innych produktów spożywczych jednak pomimo tego, że zawartość białka może być wyższa niż w pszenicy, to jednak frakcja gluteniny jest mniejsza. Ponadto większość dostępnych obecnie odmian nie nadaje się do wytworzenia zakwasu. Pszenżyto można uprawiać również ze względu na korzyści dla środowiska. Ma ono

zdolność do wychwytywania składników odżywczych z gleby i ograniczania ich wymywania do wód gruntowych. Odgrywa również ważną rolę jako roślina płodozmianowa m.in. w ograniczaniu występowania szkodników glebowych (np. nicieni). Dlatego pszenżyto jest obiecującą uprawą i cennym zasobem genetycznym do przenoszenia („pomostowych”) pożądanych genów, w szczególności genów odporności na choroby.

2. Cel pracy

W hipotezie badawczej przyjęto, że odmiany pszenżyta ozimego różnią się takimi cechami jak: wysokość plonu ziarna, zdrowotność, a także jakość ziarna. Ponadto przyjęto, że wśród badanych odmian pszenżyta ozimego znajdują się takie, które wykazują istotnie mniejszą podatność na patogeny grzybowe.

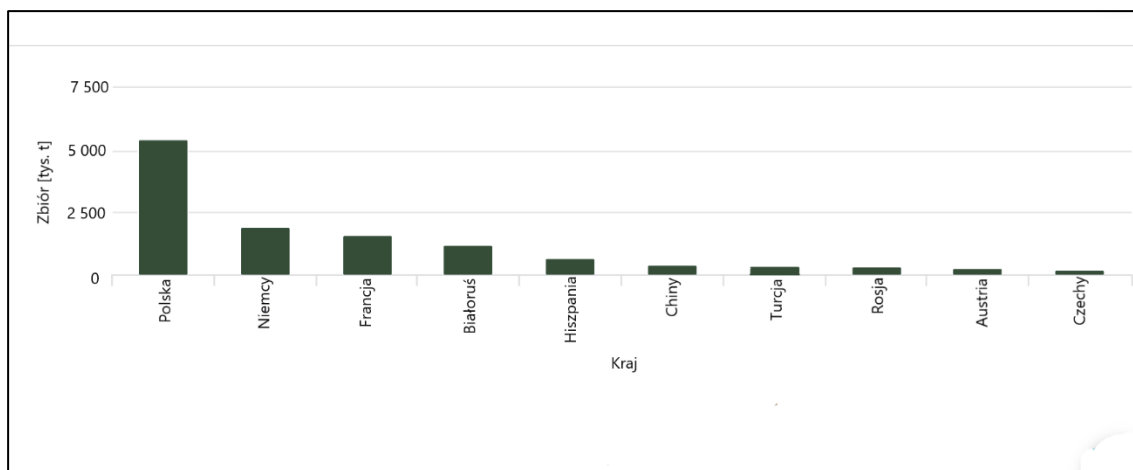
Celem badań była:

- ocena wpływu zmiennej dawki azotu i poziomu ochrony fungicydowej na plon i jego elementy, oraz zdrowotność kilkunastu odmian pszenżyta ozimego,
- ocena efektywności ekonomicznej i energetycznej technologii produkcji ziarna kilkunastu odmian pszenżyta ozimego.

3. Przegląd literatury

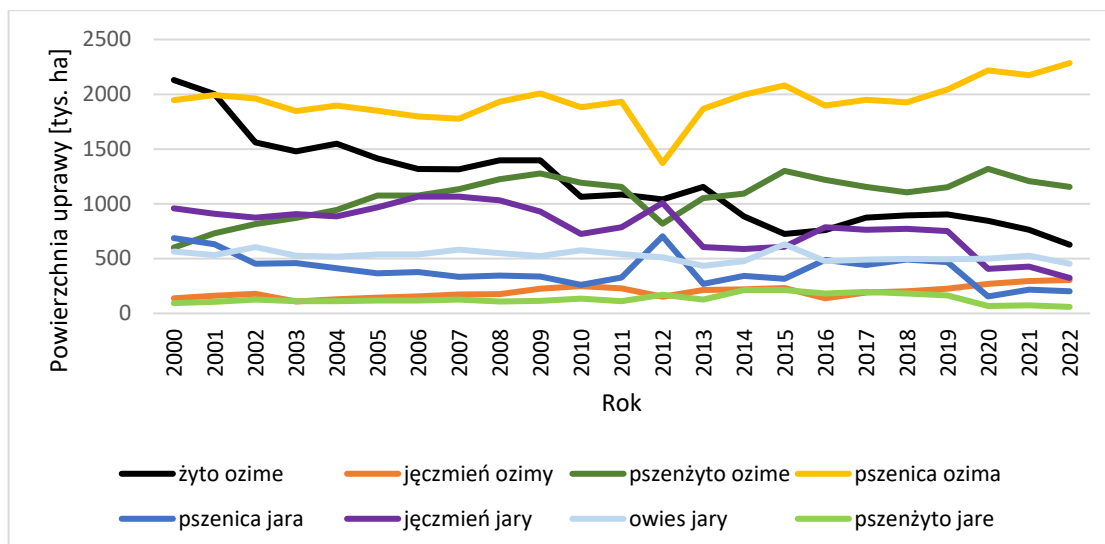
Historia pszenżyta sięga 1876 roku, kiedy to Alexander Stephen Wilson – botanik amator w swojej szklarni użył pyłku żyta do zapłodnienia kwiatów pszenicy. Wyhodowane rośliny były interesujące dla biologów, lecz nie dla rolników, ponieważ skrzyżowana roślina nie mogła sama się rozmnażać. Dopiero w 1891 roku niemiecki botanik Wilhelm Rimpau odnalazł pierwszą naturalną hybrydę pszenicy i żyta, która była częściowo płodna. Przełom nastąpił w 1937 roku kiedy botanicy odkryli, że alkaloid kolchicyna (substancja znasion zimowita jesiennego), może podwoić liczbę chromosomów w nowych tworzących się komórkach. W 1983 roku szwedzki genetyk Arne Müntzing zastosował kolchicynę do mieszańców pszenżyta w wyniku czego zostały przekształcone w rośliny wytwarzające żywotne nasiona. Powstała nowa roślina \times *Triticosecale* – od *Triticum aestivum* L. (pszenica) i *Secale cereale* L. (żyto). Pierwszym autorem nazwy naukowej był niemiecki botanik Ludwig Wittmack opisując nazwę botaniczną bez opisu taksonomicznego. Uzupełniła to francuski botanik Aimee Antoinette Camus, która została uznana za autora pełnego opisu taksonomicznego z podaniem nazwy naukowej. Nazwa jednostki taksonomicznej brzmi \times *Triticosecale* Wittm. ex A. Camus (Kiss i Videki 1971, Silvey 1987, Ammar i Mergoun 2004, Drzewiecki i in. 2008, Labudda i in. 2011, Arendt i Zannini 2013).

Pszenżyto stało się pierwszym wyprodukowanym przez człowieka ziarnem zbóż, które łączy najlepsze cechy obojga rodziców a mianowicie wysoki plon pszenicy oraz trwałość żyta. Obecnie na świecie uprawia się prawie 3 miliony hektarów pszenżyta w tym największy udział w zbiorach ma Polska (rys. 1). Łącznie od połowy lat 70 wprowadzono na rynek 200 odmian w 36 krajach. Pracę nad pszenżytem w krajowych hodowlach rozpoczęto w XIX wieku. Pierwszą odmianę o nazwie ‘Kruszynkowskie’ zarejestrowano w Polsce przed wybuchem II wojny światowej. W 1982 roku do Rejestru Odmian Oryginalnych wpisano ozimą formę pszenżyta o nazwie ‘Lasko’ wyhodowaną w Poznańskiej Hodowli Roślin (Arseniuk i in. 2003, Ammar i Mergoun 2004, Arendt i Zannini 2013). Wysokowydajne odmiany pszenżyta ozimego zostały wyhodowane głównie w Polsce rozszerzając swoją działalność na większość systemów opartych na zbożach w Europie oraz na całym świecie zajmując około 70-80% powierzchni upraw (Jaśkiewicz 2017).



Rys. 1. Zbiory pszenżyta w roku 2022 w dziesięciu najbardziej znaczących krajach pod tym względem (źródło: Food and Agriculture Organization, 2024)

Aktualnie w Krajowym rejestrze Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych znajduje się 76 odmian. Formy ozime reprezentuje 55 odmian i większość, bo aż 42 powstało w polskich ośrodkach hodowli. Formy jare reprezentuje 21 odmian, wszystkie są odmianami rodzimymi (COBORU 2023). We Wspólnotowym Katalogu Roślin Rolniczych (CCA) zarejestrowane są 63 polskie odmiany co stanowi około 17% wszystkich ogólnie zarejestrowanych odmian. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS 2024), pszenżyto ozime zaraz po pszenicy ozimej zajmuje największą powierzchnię uprawy w Polsce, wyprzedzając znajdujące się na trzecim miejscu żyto ozime. Wynika to z większej popularności z uwagi na wysokie plonowanie na słabszych glebach. Natomiast pszenżyto jare zajmuje najmniejszą powierzchnię uprawy w kraju. Wykazuje ono większą wrażliwość na warunki pogodowe w okresie wegetacji (rys. 2) (Dmowski i in. 2000, Raszka 2002, Santiveri i Romagosa 2004, Ścigalska i Łabuz 2008).



Rys. 2. Powierzchnia uprawy zbóż w Polsce w latach 2000-2022
(źródło: Główny Urząd Statystyczny, 2024)

Pszenżyto jest głównie wykorzystywane jako pasza dla zwierząt. Rosnące zapotrzebowanie na zasoby żywnościowe doprowadziło do wzrostu zainteresowania rozwojem pszenżyta w tym wyhodowanie odmian odpowiednich do pieczenia. Od ubiegłego stulecia pszenżyto cieszy się dużym zainteresowaniem jako potencjalna roślina energetyczna. Prowadzone są badania nad wykorzystaniem biomasy tej rośliny do produkcji bioenergii (Mergoum i in. 2004, Barnett 2006, McGoverin i in. 2011, Bielski i in. 2015b, Zhu 2018).

Potencjał produkcyjny pszenżyta tkwi w konkurencyjności w stosunku do uprawy z innymi zbożami w szczególności na glebach słabszych i możliwości uprawy w technologiach niskonakładowych (Mut i Gülümser 2005, Cichy i in. 2008, Dogan i in. 2009, Mergoum i in. 2009, Bassau i in. 2011). Pszenżyto ozime najlepiej rozwija się i plonuje na glebach pszennych oraz żytnych bardzo dobrych i dobrych przy odczynie lekko kwaśnym bądź zbliżonym do obojętnego (Kuś i in. 1992, Noworolnik i Jaśkiewicz 2018). Pszenżyto ozime ma duże wymagania co do przedplonu z uwagi na podatność na choroby. Jednak dobry przedplon zapewnia również ochronę gleby przed erozją, zwiększenie aktywności biologicznej oraz wymywaniu azotanów w głąb gleby (Kościelniak i Dreczka 2009, Jaśkiewicz i Podolska 2011). Rzepak ozimy oraz rośliny bobowate grubonasienne są jednymi z najlepszych jako przedplon w uprawie pszenżyta (Skrzyczyński i in. 1992, Zajac i in. 2006, Szpunar-Krok 2011). Jednak jak podaje Ścigalska (2007) w dobrych warunkach środowiska i zastosowaniu odpowiedniej agrotechniki można je także uprawiać w zmianowaniach o dużym udziale zbóż.

Pszenżyto uznawane jest za roślinę o średnich wymaganiach cieplnych. Kiełkowanie może rozpocząć się przy temperaturze około 2-6°C przy czym jako optymalną określono w przedziale od 10 do 25°C (Ford i in. 1984, Wojcieszka i Gontarczuk 1989). Odpowiednia temperatura dla wzrostu i plonowania pszenżyta ozimego znajduje się w zakresie od 15 do 25°C. To temperatura powietrza stanowi główny czynnik tempa rozwoju (Xinyou i in. 1995, Porter i Gawith 1999, Weikai i Hunt 1999). Jak twierdzi Makowiecki i Mączka (1993) oraz Koziara (1996) wysokość temperatury w okresie jesienno-zimowym wpływa na ostateczną wielkość plonu ziarna. Ciepła jesień i wyższe od przeciętnych temperatury w fazie krzewienia wpływają na plonowanie tego gatunku. Zahamowanie wzrostu w okresie jesiennym rozpoczyna się wcześniej niż w przypadku żyta, jednak wiosenne ruszenie wegetacji rozpoczyna się wcześniej niż w przypadku pszenicy. Natomiast dojrzewanie przypada w zbliżonym terminie do pszenicy, zatem suma temperatur niezbędna w okresie wegetacji jest wyższa niż dla żyta (Mazurek i Mazurek 1990, Wojcieszka i Gontarczuk 1989). Pszenżyto ozime osiąga dojrzałość woskową na terenie Polski do 31 lipca (Kalbarczyk 2005).

Większe zainteresowanie uprawą pszenżyta przyczyniło się do wzrostu powierzchni uprawy, jednak co za tym idzie również do zwiększenia porażenia przez patogeny chorobotwórcze, które zaadaptowały się do gatunku (Rudnicki 2014). Pszenżyto było uznawane za roślinę wysoce odporną na większość chorób (Łacicowa i Kiecana 1986, Kramek i Kociuba 2014). Jak podkreśla Silvey (1987) odporność roślin na patogeny chorobotwórcze zmienia się w różnym stopniu z upływem lat. Jak zauważył Korbas (1999) oraz Szwejkowski i Kurowski (2003) coraz więcej patogenów atakuje liście i kłosa pszenżyta ozimego, a w szczególności podstawy źdźbeł. Na porażenie roślin wpływ mają warunki pogodowe czy zastosowany przedplon, natomiast w mniejszym stopniu dawka i forma nawożenia oraz ochrona przed zachwaszczeniem (Czuba 1988, Kurowski i in. 1990, Woźniak 2001). Jak podkreśla Feuillet i Keller (1998) oraz Czajkowski i in. (2013) najskuteczniejszą metodą ograniczania porażenia pszenżyta jest przede wszystkim wprowadzenie odmian z genetycznie uwarunkowaną odpornością.

Coraz częściej obserwuje się nasilenie porażenia pszenżyta ozimego przez rdzę brunatną (*Puccinia recondita*) oraz mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis*) (Arseniuk i in. 1993, Arseniuk i Czembor 1991, Filoda 2009, Strzembicka 2007, Wakuliński i in. 2007, Rosentrater i Evers 2018). Świadczy to o załamaniu odporności pszenżyta na porażenie przez te choroby (Jańczak i Pawlak 2002, Wakuliński i in. 2007, Filoda 2009). Do chorób, które najczęściej występują w uprawach pszenżyta ozimego

możemy również zaliczyć fuzariozę kłosów powodowaną przez grzyby z rodzaju *Fusarium* spp. oraz rdzę żółtą (*Puccinia striiformis*). Porażanie roślin przez patogeny chorobotwórcze może prowadzić do istotnych strat plonu oraz pogorszenie jego jakości (Fones i in. 2020). W celu ograniczenia występowania infekcji stosuje się zabiegi środkami ochrony roślin do jakich należą fungicydy. Ważna jest prawidłowa agrotechnika oraz dobór odmian wykazujących się dobrą odpornością (Kaniuczak 2010, Bertelsen i in. 2001, Lemańczyk 2011). Jednak jak podaje Fisher i in. (2018) patogeny zbóż rozwijają odporność na substancje czynne zawarte w środkach ochrony roślin. Dodatkowo należy zwrócić uwagę, że stosowanie powyższych środków chemicznych nie pozostaje obojętne dla środowiska, które zostaje zanieczyszczone poprzez pozostałości substancji czynnych w glebie (Maciaszek i Gworek 2004, Bacmaga i in. 2004, Nowak i in. 2015, Spence i in. 2020).

Podstawą uzyskania wysokich plonów jest zapewnienie roślinom jak najlepszych warunków do wzrostu i rozwoju (Barczak i in. 2006). Jak twierdzi Galantini i in. (2000), Sekeroglu i Yilmaz (2001), Nieróbca (2004), Knapowski i in. (2009), Dekić (2014) oraz Ravier i in. (2017) nawożenie mineralne zwłaszcza azotem jest określane jako główny czynnik plonotwórczy. Jednak jak zauważa Rudnicki (2014), Alaru i in. (2003) oraz Ketterings i in. (2015) pszenżyto posiada wysokie zdolności do pozyskiwania azotu, dlatego wysoce istotne jest odpowiednie pokrycie zapotrzebowania na ten składnik do uzyskania wysokiego dobrej jakości plonu nie zapominając o właściwym podziale zaprojektowanych wcześniej dawek i aplikacji w odpowiednich terminach. Azot przyczynia się do zwiększenia krzewistości i masy ziaren a także zawartości białka w roślinie, ale jego niedostatek może skutkować obniżeniem plonu. Z kolei nadmiar azotu w glebie może powodować nadmierny wzrost organów wegetatywnych, zwiększać podatność na wyleganie i porażenie przez choroby oraz opóźniać dojrzewanie (Ceglińska i in. 2005, Sułek i in. 2007, Pecio 2014).

Porównując wyniki plonowania z doświadczeń porejestrowych COBORU oraz z bazy GUS można zauważyć, że w produkcji rolniczej wysokość plonów stanowi około 50% niż plony zebrane z doświadczalnictwa. Wpływa na to niewykorzystanie w pełni potencjału plonotwórczego pszenżyta, który wynika z różnicy stosowania poziomu agrotechniki w doświadczeniach oraz w narodowej produkcji. Uproszczenia w zmianowaniu oraz mały udział nasion kwalifikowanych w zasiewach wpływa na poziom plonowania (Arseniuk i Oleksiak 2011). Prace hodowlane nad pszenżytem skupiają się głównie na poprawie odporności na wyleganie i lepszego plonowania

w warunkach stresowych (Maćkowiak 2003, Nalepa 2003). W celu prawidłowego ukierunkowania hodowli istotne jest poznanie reakcji pszenżyta na warunki środowiskowe (Starczewski i in. 2000). Badania interakcji genotypowo-środowiskowej zostały dość szeroko opisane dla takich gatunków jak pszenica (Jankowski i in. 2006, Mądry i in. 2006, Drzazga i in. 2009, Iwańska i in. 2009, Rajfura i Mądry 2001, Weber i Zalewski 2006, Weber i in. 2011), żyto (Bujak i Dopierała 2007, Dopierała i in. 2003) owies (Banaś i in. 2023), jęczmień (Bujak i in. 2003), jednak niewiele jest prac w tej tematyce dotyczących pszenżyta. Z uwagi na coraz mniejsze możliwości zwiększania plonów poprzez zabiegi agrotechniczne zwraca się uwagę na genetyczne możliwości roślin w osiągnięciu wysokiego plonowania oraz stabilność plonowania w zmiennych warunkach klimatycznych. Zdaniem Dmowskiego i in. (2001) oraz Kryńskiej i in. (1997) większy wpływ na plon i jego składowe mają warunki pogodowe występujące podczas wegetacji aniżeli kompleks glebowy i odmiany oraz sposób nawożenia azotem.

Uprawa roli to pracochłonny oraz energochłonny element agrotechniki. Zmusza to do szukania nowych technologii uprawy przy jednoczesnym poszanowaniu środowiska naturalnego (Pudełko i in. 1996, Derpsch 2007, Orzech i in. 2003, Święcicki i in. 2011).

Technologia, która zapewni wysoką efektywność produkcji przy niskich nakładach pozwoli zrekompensować niskie ceny płodów rolnych przy wysokich cenach środków produkcji (Adamska i Paczkowski 1999, Szpunar-Krok 2011).

Również wprowadzenie zintegrowanej ochrony roślin wymusza poszukiwanie nowych możliwości zabiegów o charakterze ekologicznym do agrotechniki (Paluch i in. 2012).

4. Materiał i metody badań

4.1. Opis doświadczenia

Podstawą pracy doktorskiej są wyniki uzyskane z doświadczeń polowych zrealizowanych w punktach doświadczalnych należących do Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych (COBORU). Badania przeprowadzono w sezonach wegetacyjnych: 2018-2019, 2019-2020, 2020-2021, 2021-2022, 2022-2023 a ich przedmiotem było pszenżyto ozime (*x Triticosecale* Wittmack). Doświadczenia były realizowane w ramach Porejestrowego Doświadczalnictwa Odmianowego (PDO) zgodnie z *Metodyką badania wartości gospodarczej odmian dla zbóż* sporządzonej przez COBORU. Do analizy wybrano odmiany z ciągłością badań w ostatnich pięciu sezonach wegetacyjnych w tych samych punktach doświadczalnych.

4.2. Miejsce realizacji doświadczeń

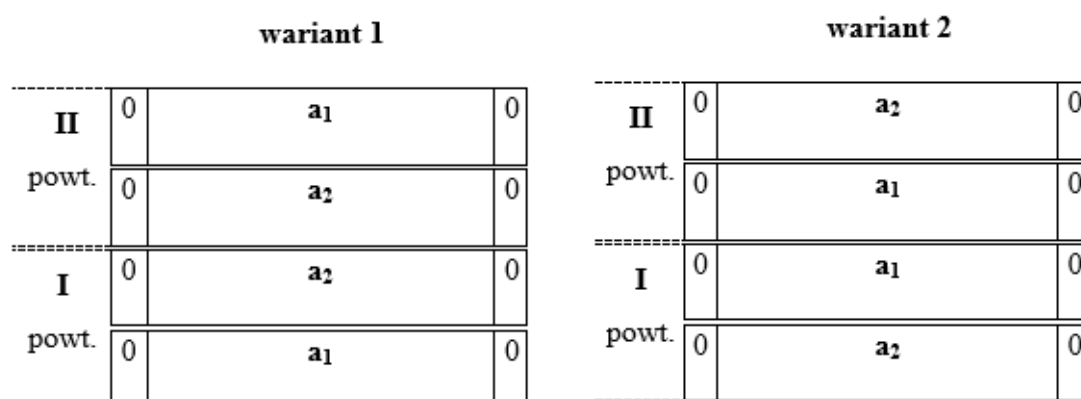
Doświadczenia były realizowane w piętnastu punktach doświadczalnych (stacjach lub zakładach COBORU) po jednym w każdym województwie z wyjątkiem świętokrzyskiego. Poniższa mapa przedstawia rozmieszczenie doświadczeń na terenie kraju (rys. 3).



Rys. 3. Rozmieszczenie doświadczeń z pszenżytem ozimym z podziałem na rejony przyjęte w ocenie odmian zbóż

4.3. Układ doświadczalny

Doświadczenie realizowane było jako dwuczynnikowe odmianowo-agrotechniczne. Każde doświadczenie zostało założone w układzie pasów prostopadłych (split-block), w którym obiekty zostały rozmieszczone według układu 1-rozkładalnego. W celu zmniejszenia zmienności glebowej zastosowano wariant czteropasowy, tzn. licząc każdy poziom czynnika nieodmianowego, jako oddzielny pas. W doświadczeniach stosowano schemat doświadczalny, którego warianty przedstawiono poniżej (rys. 4).



Rys. 4. Warianty rozmieszczenia poziomów czynnika nieodmianowego

źródło: metodyka COBORU (2020)

Rozłozowanie powtórzeń i numeracji poletek odbyło się przy użyciu automatycznej procedury systemu EKP-WGO.

4.4. Parametry doświadczeń:

- liczba pasów - 4
- liczba powtórzeń – 2
- szerokość poletka – 1,5 m
- długość poletka do siewu (z przecięgnięciami po 1m) – 13 m
- powierzchnia poletka do siewu – 19,5 m²
- długość poletka brutto/do zbioru – 11 m
- powierzchnia poletka brutto/do zbioru – 16,5 m²
- liczba poletek ochronnych na początku i końcu pasa – 1

- szerokość ścieżki między poletkami – 0,3 m

- szerokość ścieżki między pasami – 2 m

4.5. Warunki glebowe

Poniższa tabela 1 przedstawia warunki glebowe, w jakich były prowadzone doświadczenia, uwzględniając typ gleby, rodzaj gleby oraz klasę bonitacyjną.

Tabela 1. Charakterystyka warunków glebowych doświadczeń

Lp.	Punkt doświadczalny	Typ gleby	Rodzaj gleby	Klasa bonitacyjna
1.	Chrzastowo	gleby brunatne właściwe	glina lekka	IIIa
2.	Dukla	gleby brunatne wylugowane i kwaśne	glina średnia	IVb
3.	Głubczyce	gleby brunatne właściwe	gleby lessowe i lessowate lekkie i średnie	II
4.	Kościelna Wieś	gleby brunatne wylugowane i kwaśne	glina średnia	IIIa
5.	Marianowo	gleby brunatne właściwe	glina lekka	IIIb
6.	Pawłowice	gleby biellicowe i pseudobiellicowe	glina lekka	IIIb
7.	Radostowo	czarna ziemia właściwa	iły pylaste	II
8.	Rarwino	gleby biellicowe i pseudobiellicowe	glina lekka	IVa
9.	Seroczyn	gleby biellicowe i pseudobiellicowe	piaski gliniaste lekkie	IIIb
10.	Sulejów	gleby brunatne właściwe	piaski gliniaste mocne	IIIb
11.	Świebodzin	gleby brunatne wylugowane i kwaśne	piaski gliniaste lekkie	IIIa
12.	Tarnów	gleby biellicowe i pseudobiellicowe	glina ciężka	IIIa
13.	Uhnin	gleby biellicowe i pseudobiellicowe	glina lekka	IVa
14.	Węgrzce	gleby brunatne właściwe	iły pylaste	II
15.	Wróćkowo	gleby brunatne właściwe	glina lekka	III b

Doświadczenia zakładano na glebach brunatnych właściwych, bielcowych lub pseudobielcowych oraz glebie brunatnej wyługowanej lub kwaśnej, tylko jedno doświadczenie zostało założone na czarnej ziemi właściwej. Dominowała klasa bonitacyjna IIIb później IIIa.

Każdego roku przed założeniem doświadczenia pobierano próbki glebowe w celu dokonania oznaczenia pH (1M KCL) w glebie oraz zawartości przyswajalnych makroelementów – fosforu (P, P₂O₅), potasu (K, K₂O) i magnezu (Mg, MgO) w celu określenia potrzeb nawożenia w danym doświadczeniu. Analizy chemiczne określające zasobność gleby były wykonywane przez Stacje Chemiczno-Rolnicze. Wyniki badań dla poszczególnych punktów doświadczalnych zostały przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2. Właściwości chemiczne gleby

Lp.	Punkt doświadczalny	Sezon wegetacyjny																			
		2018/2019				2019/2020				2020/2021				2021/2022				2022/2023			
		pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
			mg/kg				mg/kg				mg/kg				mg/kg				mg/kg		
1	Chrzastowo	6,0	23,0	23,5	5,5	5,8	31,0	25,6	3,1	6,3	26,0	25,6	7,7	6,3	29,0	22,2	7,5	5,4	14,5	15,6	3,3
2	Dukla	6,2	15,2	25,1	8,1	6,3	31,4	33,0	7,9	6,7	24,9	28,0	6,6	6,7	13,7	26,0	9,7	6,1	10,6	31,0	10,1
3	Głubczyce	6,2	17,7	35,6	21,3	6,7	30,1	25,2	22,0	6,9	31,3	21,9	13,0	6,9	28,5	25,7	15,4	6,2	15,7	19,6	15,4
4	Kościelna Wieś	6,4	37,0	28,7	7,4	6,1	39,2	38,3	7,7	5,7	26,1	29,2	5,9	5,7	12,6	26,8	8,2	6,2	8,0	22,0	11,5
5.	Marianowo	5,7	27,5	19,2	4,2	6,0	17,4	11,1	2,9	6,5	17,5	11,4	4,4	6,5	18,4	15,7	3,3	5,5	14,4	15,6	2,4
6.	Pawłowice	6,3	13,7	17,7	11,7	6,5	12,8	9,9	12,3	6,5	17,1	6,9	11,1	6,5	10,4	6,4	13,1	6,7	16,9	38,4	10,7
7.	Radostowo	6,9	21,7	24,6	9,6	6,5	19,9	30,7	7,6	6,8	21,5	29,0	11,4	6,8	28,4	53,0	10,1	6,8	33,5	60,8	7,4
8.	Rarwino	5,9	24,6	17,8	4,6	6,7	15,8	5,4	1,7	5,7	18,5	17,5	3,1	5,7	12,0	19,7	2,2	6	14,1	16,8	4,2
9.	Seroczyn	6,7	23,5	12,5	5,6	5,5	18,6	9,5	3,9	5,6	16,6	12,5	3,2	5,6	23,3	15,5	6,0	6,5	20,7	12,5	5,7
10.	Sulejów	6,1	18,8	18,4	9,4	6,5	23,3	18,9	8,5	6,5	24,1	25,8	9,9	6,5	21,8	21,1	9,6	6,4	19,7	9,1	9,1
11.	Świebodzin	4,7	16,2	18,5	4,8	6,7	24,0	20,9	4,9	5,0	24,6	22,7	4,4	5,0	16,1	19,9	4,2	6,4	17,5	21,4	7,6
12.	Tarnów	6,3	41,0	6,6	13,5	6,1	14,7	27,0	13,4	6,3	14,1	23,0	13,4	6,3	26,5	27,0	12,0	6,4	21,4	27,0	10,6
13.	Uhnin	6,4	21,5	12,9	8,4	5,4	29,2	21,0	8,3	5,1	14,0	13,1	2,8	5,1	19,4	18,4	5,4	6,2	17,1	13,8	9,4
14.	Węgrzce	6,5	21,0	26,0	10,3	6,2	26,1	28,0	10,9	6,3	23,3	24,0	8,1	6,3	21,6	23,5	16,6	6,3	21,1	28,5	7,4
15.	Wróćkowo	6,2	20,0	25,0	7,8	6,5	22,3	21,0	9,1	6,0	26,8	34,0	9,6	6,0	27,4	22,0	5,7	6,6	15,5	21,0	8,4

Najczęściej stosowanym przedplonem dla doświadczeń z pszenżytem był rzepak ozimy i rośliny bobowate grubonasienne. Stosowano również rośliny zbożowe, w jednym punkcie doświadczalnym (Głubczyce) buraki cukrowe. W tabeli 3 zostały zawarte szczegółowe informacje dotyczące przedplonów w punktach doświadczalnych.

Tabela 3. Przedplon

Lp.	Punkt doświadczalny	Sezon wegetacyjny				
		2018/2019	2019/2020	2020/2021	2021/2022	2022/2023
1.	Chrzastowo	pszenica ozima	rzepak ozimy	rzepak ozimy	rzepak ozimy	rzepak ozimy
2.	Dukla	jęczmień jary	jęczmień jary	pszenica ozima	pszenica ozima	rzepak ozimy
3.	Głubczyce	burak cukrowy	burak cukrowy	burak cukrowy	burak cukrowy	burak cukrowy
4.	Kościelna Wieś	groch siewny	rzepak ozimy	rzepak ozimy	rzepak ozimy	rzepak ozimy
5.	Marianowo	groch siewny	groch siewny	groch siewny	groch siewny	pszenica jara
6.	Pawłowice	groch siewny	owies jary	owies jary	rzepak ozimy	owies jary
7.	Radostowo	rzepak ozimy	rzepak ozimy	rzepak ozimy	rzepak ozimy	rzepak ozimy
8.	Rarwino	łubin wąskolistny	łubin wąskolistny	łubin wąskolistny	łubin wąskolistny	łubin wąskolistny
9.	Seroczyn	gorczyca biała	groch siewny	groch siewny	groch siewny	groch siewny
10.	Sulejów	rzepak ozimy	rzepak ozimy	rzepak ozimy	rzepak ozimy	rzepak ozimy
11.	Świebodzin	rzepak ozimy	jęczmień jary	pszenica ozima	jęczmień jary	jęczmień jary
12.	Tarnów	rzepak ozimy	rzepak ozimy	rzepak ozimy	rzepak ozimy	rzepak ozimy
13.	Uhnin	rzepak jary	łubin żółty	rzepak jary	rzepak ozimy	rzepak ozimy
14.	Węgrzce	rzepak ozimy	rzepak ozimy	rzepak ozimy	rzepak ozimy	rzepak ozimy
15.	Wróćkowo	owies jary	rzepak ozimy	bobik	rzepak ozimy	owies jary

4.6. Uprawa roli

Rodzaj oraz liczba uprawek późniwych uzależniona była od przedplonu, kultury roli i zwięzłości gleby, a także przebiegu choroby. Głębokość orki siewnej wynosiła 20-25 cm. Kierunek wykonania był równoległy do pasów doświadczenia, a prostopadle do poletek. Rodzaj i częstotliwość uprawek przedsięwnych każdorazowo uzależniano od stanu roli. Zabiegi agrotechniczne oraz terminy, w jakich zostały wykonane w poszczególnych punktach doświadczalnych przedstawia tabela 4.

Tabela 4. Zabiegi agrotechniczne oraz terminy ich wykonania

Rok wykonania	Rodzaj zabiegu	Punkty doświadczalne														
		Chrzastowo	Dukla	Głubczyce	Kościelna Wieś	Marianowo	Pawłowice	Radostowo	Rarwino	Seroczyn	Sulejów	Świebodzin	Tarnów	Uhnin	Węgrzce	Wróćkowo
2018	podorywka				27.08	10.08	25.07									
	gruberowanie											20.08				
	agregat uprawowy	10.08							20.08					16.08		06.08
	orka	12.09	10.09	19.09	21.09	06.09	12.08	20.09	20.09	28.08	07.09	05.09	14.09	13.09	11.09	16.09
	bronowanie		11.09					21.09								17.09
	wałowanie							26.09								
	agregat uprawowy	27.09	18.09	19.09	25.09	21.09	04.10	04.10	24.09	29.08	14.09	28.09	17.09	25.09	18.09	17.09
agregat uprawowy		01.10							12.09	25.09	01.10		27.09			
2019	podorywka				12.08	13.08	23.07									
	gruberowanie											29.07				
	agregat uprawowy	07.08						27.08						29.08		05.08
	talerzowanie								20.08		23.07					
	orka	15.09	13.09	18.09	19.09	04.09	05.09	07.10	18.09	23.08	10.09	27.08	17.09	11.09	25.09	06.09
	bronowanie		16.09					07.10								07.09
	agregat uprawowy	20.09	24.09	21.09	23.09	18.09	24.09		26.09	04.09	17.09	06.09	19.09	19.09	26.09	11.09
wałowanie			23.09				08.10									
2020	gruberowanie											14.08				
	agregat uprawowy		26.09					14.10		13.09		16.09		23.09		12.09
	podorywka				11.09									29.08		
	talerzowanie	12.09	28.08						20.08		03.08					
	agregat uprawowy					13.08	18.09	05.08								13.09
	orka	14.09	23.09	22.09	18.09	22.08		03.09	18.09	26.08	07.09	01.09	21.09	16.09	14.09	16.09
	bronowanie							04.09							23.09	16.09
	agregat uprawowy	23.09	29.09	23.09	22.09	28.09		30.09	20.09	11.09	16.09	09.09	22.09	16.09	05.10	17.09
agregat uprawowy		05.10							14.09	17.09	11.09	09.10	23.09			
agregat uprawowy		06.10														

c.d. Tabela 4. Zabiegi agrotechniczne oraz terminy ich wykonania

Rok wykonania	Rodzaj zabiegu	Punkty doświadczalne														
		Chrząstowo	Dukla	Głubczyce	Kościelna Wieś	Marianowo	Pawłowice	Radostowo	Rarwino	Seroczyn	Sulejów	Świebodzin	Tarnów	Uhnin	Węgrzce	Wróćkowo
2021	podorywka				13.09		31.07			09.08				29.08		
	bronowanie									27.08						
	talerzowanie		21.08						25.08	30.08	29.07		23.08			
	agregat uprawowy	03.08				16.08		09.08								13.08
	agregat uprawowy	13.09														
	orka	18.09	15.09	21.09	20.09	13.09	20.09	13.09	17.09	07.09	13.09	23.09	30.09	16.09	22.09	21.09
	talerzowanie			27.09												
	bronowanie		20.09						15.09						29.09	23.09
	agregat uprawowy	25.09	23.09	28.09	23.09	22.09	23.09	01.10	22.09	08.09	23.09	27.09	01.10	22.09	30.09	23.09
	agregat uprawowy		28.09							14.09		29.09		27.09		
wałowanie															27.09	
2022	gruberowanie											01.09				
	podorywka				07.09		11.08				16.09			01.08		17.08
	agregat uprawowy					18.08		16.08								
	talerzowanie	25.07	30.08						31.08							
	orka	12.09	06.10	23.09	16.09	15.09	13.09	15.09	16.09	30.08	16.09	09.09	18.09	05.09	21.09	15.09
	bronowanie		07.10					15.09							27.09	15.09
	agregat uprawowy	28.09	08.10		22.09	20.09	23.09	05.10	28.09	13.09	22.09		30.09	19.09	28.09	
	talerzowanie			26.09								21.09				16.09
agregat uprawowy		10.10	30.09						14.09	03.10	29.09		23.09		17.09	

4.7. Poziomy agrotechniki

Doświadczenia prowadzono na dwóch poziomach agrotechniki: przeciętnym (a_1) i wysokim (a_2). Poniższa tabela 5 przedstawia różnice w rodzajach zabiegu pomiędzy poziomami.

Tabela 5. Zabiegi różnicujące poziomy agrotechniki

Lp.	Rodzaj zabiegu	Poziom agrotechniki	
		przeciętny (a_1)	wysoki (a_2)
1	Nawożenie azotem (kg N/ha)	+	$a_1 + 40$
2	Stosowanie regulatorów wzrostu		+
3	Stosowanie fungicydów: a) pierwszy zabieg (ochrona podstawy źdźbła i liści) b) drugi zabieg (ochrona liści i kłosa)		+ +
4	Nawożenie dolistne nawozem wieloskładnikowym		+

Źródło: metodyka COBORU (2020)

Wysoki poziom agrotechniki różnił się od przeciętnego zastosowaniem wyższego o 40 kg/ha nawożenia azotem.

Regulatory wzrostu były stosowane, kiedy wszystkie rośliny znajdowały się w tej samej fazie rozwojowej i miały na celu ochronę przed wyleganiem. Dawka była często dzielona na różne terminy. W poszczególnych przypadkach z uwagi na występowanie suszy lub zły stan roślin rezygnowano z zabiegu. Regulatory wzrostu stosowane były od marca do maja. Dokładne terminy przedstawia tabela 6.

Zabiegi fungicydowe były stosowane w dwóch terminach, z czego pierwszy miał na celu wyeliminowanie łamliwości podstawy źdźbła i choroby liści, natomiast drugi przeciwko chorobom liści i kłosa (w fazie kłoszenia bądź później). Drugi zabieg wykonywano inną substancją aktywną niż w preparacie użytym w pierwszym terminie. Do wykonania zabiegów korzystano z zalecanych przez MRiRW środków ochrony roślin odpowiednich dla pszenżyta ozimego zgodnie z etykietą stosowania. Tabela 7 przedstawia częstotliwość stosowanych zabiegów wykonanych na założonych doświadczeniach. Na poziomie a_2 stosowano również nawożenie dolistne preparatami wieloskładnikowymi. W przypadku niesprzyjających warunków atmosferycznych (np. susza), pomijano stosowanie preparatów. Ilość zabiegów oraz ich terminy przedstawia tabela 8.

Tabela 6. Terminy stosowania regulatorów wzrostu

Rok wykonania zabiegu	Wyszczególnienie	Chrząstowo	Dukla	Głubczyce	Kościelna Wieś	Marianowo	Pawłowice	Radostowo	Rarwino	Seroczyn	Sulejów	Świebodzin	Tarnów	Uhnin	Węgrzce	Wróclikowo
		data														
2019	- pierwszy zabieg	24.04	26.04	01.04	17.04	30.04	05.04	24.04	04.04	25.04		17.04	02.05	26.04	26.04	29.04
	- drugi zabieg			16.04												
	- trzeci zabieg			25.04												
2020	- pierwszy zabieg	24.04	05.05	11.03	20.04	30.04	06.04	07.05	04.04	08.05	20.04	20.04	28.03	23.04	24.04	27.04
	- drugi zabieg			19.03						13.05	13.05	06.04				
	- trzeci zabieg			29.04												
2021	- pierwszy zabieg	07.05		31.03	28.04	28.04	12.04	07.05	19.04	14.05	20.04	28.04	29.04	30.04	11.05	11.05
	- drugi zabieg			28.04								20.05	17.05			
	- trzeci zabieg			11.05												
2022	- pierwszy zabieg	09.05	20.05	14.04	25.04	09.05	12.04	02.05	04.05	06.05	09.05	28.04	22.04	29.04	10.05	05.05
	- drugi zabieg			04.05									11.05			
	- trzeci zabieg			09.05												
2023	- pierwszy zabieg	04.05	16.05	12.04	21.04	28.04	11.04	12.05	18.04	05.05	01.05	05.05	11.05	20.04	28.04	25.04
	- drugi zabieg		23.05	21.04			12.05									
	- trzeci zabieg			09.05												

Tabela 7. Terminy stosowania fungicydów

Rok wykonania zabiegu	Wyszczególnienie	Chrząstowo	Dukla	Głubczyce	Kościelna Wieś	Marianowo	Pawłowice	Radostowo	Rarwino	Seroczyn	Sulejów	Świebodzin	Tarnów	Uhin	Węgrzce	Wróclikowo
		data														
2019	- pierwszy zabieg	15.04	18.04	01.04	26.04	30.04	09.04	24.04	30.04	08.04	11.04	17.04	03.04	25.04	25.04	18.04
	- drugi zabieg	30.04	04.06	25.04	29.05	27.05	07.05	07.06	17.06	27.05	18.05	14.05	08.05		31.05	22.05
2020	- pierwszy zabieg	14.04	27.04	11.03	17.04	30.04	08.04	07.05	30.04	07.04	09.04	20.04	06.04	24.04	23.04	10.04
	- drugi zabieg	08.05	08.06	29.04	15.05	04.06	23.04	15.06	17.06	02.06	18.05	13.05	07.05	18.05	20.05	27.05
2021	- pierwszy zabieg	05.05	11.05	31.03	23.04	10.05	27.04	07.05	02.07	20.04	12.05	28.04	29.04	05.05	10.05	29.04
	- drugi zabieg	25.05	18.06	11.05	01.06	31.05	12.05	10.06		07.06	01.06	20.05	17.05	18.05	09.06	01.06
2022	- pierwszy zabieg	06.05	09.05	14.04	22.04	10.05	21.04	02.05	04.05	25.04	30.04	28.04	22.04	04.05	30.05	26.04
	- drugi zabieg	17.05	03.06	09.05	24.05	03.06	13.05	15.06	28.06	31.05	16.05		11.05	20.05		25.05
2023	- pierwszy zabieg	27.04	28.04	12.04	20.04	20.04	13.04	12.05	18.04	18.04	01.05	05.05	21.04	17.04	28.04	24.04
	- drugi zabieg	24.05	14.06	09.05	26.05	22.05	23.05	13.06	20.06	26.05	25.05		11.05	04.05	26.05	15.05

Tabela 8. Terminy stosowania nawozów dolistnych wieloskładnikowych

Rok wykonania	Wyszczególnienie	Chrząstowo	Dukla	Głubczyce	Kościelna Wieś	Marianowo	Pawłowice	Radostowo	Rarwino	Seroczyn	Sulejów	Świebodzin	Tarnów	Uhin	Węgrzce	Wróćkowo
		data														
2019	- pierwszy zabieg	15.04	18.04	01.04	26.04	30.04	09.04	24.04	06.05	08.04	11.04		03.04	23.05	25.04	18.04
	- drugi zabieg	30.04	04.06	25.04	29.05	27.05	06.05	07.06	17.06	27.05	18.05		08.05		31.05	22.05
2020	- pierwszy zabieg	14.04	27.04	11.03	15.05	30.04	27.03	07.05		07.04	09.04	20.04	06.04	24.03	23.04	10.04
	- drugi zabieg	08.05	08.06	29.04		04.06	23.04	15.06		20.05	18.05	13.05	07.05	12.05	20.05	27.05
2021	- pierwszy zabieg	05.05	11.05	31.03	23.04	10.05	27.04	07.05		20.04	12.05		17.05	05.05	10.05	29.04
	- drugi zabieg	25.05	18.06		01.06	31.05		10.06		05.05	25.05			18.05	09.06	14.05
	- trzeci zabieg									07.06	01.06					01.06
2022	- pierwszy zabieg	06.05	09.05	02.03	22.04	10.05	28.03	02.05	13.04	25.04	30.04	01.04	22.04	04.05		26.04
	- drugi zabieg		03.06	06.04	24.05	03.06	10.05	15.06	16.05	31.05	16.05		11.05	20.05		11.05
	- trzeci zabieg			14.04												25.05
2023	- pierwszy zabieg	27.04	28.04	12.04	20.04	19.04	13.04	12.05	18.04	18.04	01.05	05.05	21.04	17.04		24.04
	- drugi zabieg	24.05	14.06		26.05		04.05	13.06		26.05	25.05	12.05	11.05	04.05		15.05

4.8. Nawożenie mineralne

4.8.1. Nawożenie azotem

Wysoki poziom agrotechniki różnił się od przeciętnego zastosowaniem wyższego nawożenia azotem (+ 40 kg/ha). Nawożenie azotem było uzależnione od przedplonu, gleby, przebiegu pogody czy stanu roślin przy założeniu, że optymalny poziom nawożenia to taki, w którym uzyskać można maksymalny w danych warunkach plon ziarna z całego doświadczenia. W tabeli 9 przedstawiono orientacyjne, najczęściej stosowane dawki nawożenia azotem zależnie od kompleksu rolniczej przydatności gleby przy przeciętnym poziomie agrotechniki.

Tabela 9. Dawki azotu zależne od kompleksu gleby

Gatunek	Kompleks przydatności rolniczej gleb						
	1, 2	3, 4, 8	5	6, 7, 9	10	11	12, 13
Pszonżyto ozime	60-100	70-110	80-120	90-120	60-90	70-100	70-110

Źródło: metodyka COBORU (2020)

Zaplanowaną dawkę nawożenia dzielono na dwie lub więcej części i stosowano w różnych terminach. Przed siewem na gorszych stanowiskach i przy opóźnieniu terminu siewu stosowano nawożenie 15-30 kg. Podstawowe nawożenie azotowe stosowano: w czasie ruszania wegetacji, początku strzelania w źdźbło, pełni strzelania w źdźbło. Stosowanie kolejnych dawek nawożenia było uzależnione od stanu roślin i przebiegu pogody. Nawozy azotowe były wysiewane za pomocą siewnika wzdłuż pasów doświadczenia lub dolistnie w formie oprysku. Tylko w sezonie wegetacyjnym 2019/2020 i 2020/2021 nie wykonano nawożenia w fazie strzelania w źdźbło. Najwięcej nawozów azotowych zastosowano w sezonie wegetacyjnym 2018/2019, najmniej w sezonach 2021/2022 i 2022/2023 natomiast spośród wszystkich punktów doświadczalnych w całym okresie badań najwyższe nawożenie stosowano w miejscowości Radostowo, a najmniejsze w Kościelnej Wsi. Szczegółowe dawki zastosowanego nawożenia azotem przedstawia tabela 10.

Tabela 10. Nawożenie mineralne azotem w poszczególnych sezonach wegetacyjnych z podziałem na punkty doświadczalne

Lp.	Punkt doświadczalny	Sezon wegetacyjny																			
		2018/2019				2019/2020				2020/2021				2021/2022				2022/2023			
		0	I	II	III	0	I	II	III	0	I	II	III	0	I	II	III	0	I	II	III
kg/ha																					
1.	Chrzastowo	24	50	30		12	50	30		24	50	30		24	50	30		24	50	30	
2.	Dukla	20	40	20	20	20	40	30		20	40	30		20	40	20		20	40	20	
3.	Głubczyce	16	30	63		16	63			18	68			18	67			18	67		
4.	Kościelna Wieś		70			15	50			15	50			15	50			15	50		
5.	Marianowo	12	40	50		12	40	50		15	40	50		18	40	40		18	40	40	
6.	Pawłowice	18	40	30		24	60			18	40	30		18	40	30		18	40	30	
7.	Radostowo	24	70	50		24	70	50			60	60			70	50			70	50	
8.	Rarwino		50	30			50	30			50	30			87				87		
9.	Seroczyn	15	50	30		18	50	30		15	50	30		15	50	30		15	50	30	
10.	Sulejów	15	50	46	30	16	58	36		15	60	70		15	22	40	30	15	22	40	30
11.	Świebodzin	15	48	39		15	51	34		28	68	17		18	64	48		18	64	48	
12.	Tarnów	24	50	26		18	50	30		18	50	30		14	52	30		14	52	30	
13.	Uhnin	18	40	40		18	50	60		18	50	40		18	50	40		18	50	40	
14.	Węgrzce	12	40	40		9	40	50		9	40	50		11	40	40		11	40	40	
15.	Wróćkowo		50	30			50	20			50	20		17	40	20		17	40	20	

Termin nawożenia azotem: 0 – przedsięwzięcie, I – w czasie ruszania wegetacji, II – początek strzelania w żdźbło, III – pełnia strzelania w żdźbło

4.8.2. Nawożenie makroelementami

Wielkość dawek nawożenia fosforem i potasem zależne było od zasobności gleby w poszczególnych doświadczeniach z pszenżytem ozimym. Przyjętą dawkę nawożenia stosowano pod cały blok doświadczenia. Kierunek wysiewu nawozów był równoległy do pasa poletek pod orkę siewną (pod pług). Poniższa tabela przedstawia dawki nawozów fosforowych i potasowych stosowane w zależności od zasobności gleby.

Tabela 11. Stosowanie dawek nawozów fosforowych i potasowych a zasobność gleby

Zasobność gleby	Dawka (kg czystego składnika na 1ha)	
	P ₂ O ₅	K ₂ O
Bardzo niska	100	120
Niska	80	100
Średnia	60	90
Wysoka	40	70
Bardzo wysoka	20	20

Źródło: metodyka COBORU (2020)

Dawki nawozów wapniowych ustalano w oparciu o wyniki badań ze Stacji Chemiczno-Rolniczej. Wybór nawozu wapniowego uwzględniał kategorię agronomiczną gleby oraz zasobności w magnez. Na gleby ciężkie stosowano nawozy wapniowe tlenkowe, na gleby lekkie i średnie – nawozy wapniowe węglanowe lub węglanowo-tlenkowe. Na gleby ubogie w magnez odpowiednie do kategorii agronomicznej nawozy wapniowo-magnezowe.

Nawożenie magnezem wykonywano według zapotrzebowania w poszczególnych sezonach wegetacyjnych w miejscowościach: Chrzastowo, Głubczyce, Seroczyn i Świebodzin natomiast nawozy wapniowe w miejscowościach Sulejów, Głubczyce, Świebodzin, Uhnin i Tarnów.

Najwyższe nawożenie fosforowo-potasowe stosowano w sezonie wegetacyjnym 2018/2019, natomiast najmniejsze w sezonie 2019/2020. Natomiast spośród wszystkich punktów doświadczalnych w całym okresie badań najwyższe nawożenie stosowano w miejscowości Pawłowice a najmniejsze w Węgrzicach. Szczegółowe dawki nawożenia przedstawia tabela 12.

Tabela 12. Nawożenie fosforem, potasem, magnezem i wapniem

Lp.	Punkt doświadczalny	Sezony wegetacyjne																			
		2018/2019				2019/2020				2020/2021				2021/2022				2022/2023			
		P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Ca	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Ca	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Ca	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Ca	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Ca
		kg/ha																			
1.	Chrzastowo	60	90			30	45			60	90			60	90			60	90	5	
2.	Dukla	60	60			60	60			60	60			60	60			60	60		
3.	Głubczyce	70	120	18		40	79	26	750	46	75	25		46	100	15		46	100	12	
4.	Kościelna Wieś	50	80			40	96			40	96			40	96			40	96		
5.	Marianowo	40	60			30	45			30	85			36	102			36	102		
6.	Pawłowice	60	90			80	120			60	90			60	90			60	90	3	
7.	Radostowo	60	90			60	90			60	90			60	90			60	90		
8.	Rarwino	20	70			40	100			40	70			60	70			60	70		
9.	Seroczyn	45	90	6		60	90	25		45	90	22		45	90	21		45	90	15	
10.	Sulejów	50	75		2800	52	78		4200	50	75		3650	50	75		3150	50	75		3920
11.	Świebodzin	50	75			30	75	51	12	84	84	15		35	88	21		35	88		
12.	Tarnów	80	120			60	90			60	90		380	46	69			46	69		
13.	Uhnin	60	90			60	90		250	60	90			60	90			60	90		
14.	Węgrzce	40	60			30	45			30	45			38	57			38	57		
15.	Wróćkowo	50	70			40	90			40	70			40	70			40	70		

4.9. Materiał siewny

Materiał siewny stanowiły wybrane odmiany pszenżyta ozimego spośród wszystkich wyznaczonych do przeprowadzenia doświadczeń PDO. Zestaw odmian corocznie był podawany przez COBORU, jako *Dobór odmian dla doświadczeń*.

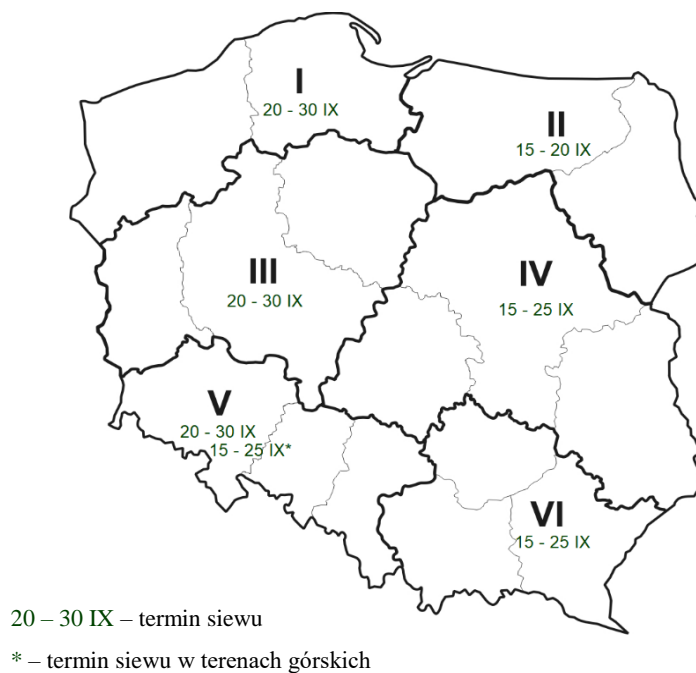
Materiał siewny był dostarczany corocznie przez hodowców do Stacji Doświadczalnej Oceny Odmian w Słupi Wielkiej gdzie znajduje się Centralny Magazyn Nasion.

Wszystkie odmiany zaprawiono zaprawą nasienną Gizmo 060 FS, w której substancją czynną jest tebukonazol (związek z grupy triazoli) w ilości 60g/l (5,67%). W przypadku pszenżyta ozimego ma on zapobiegać chorobom odnasiennym i odglebowym.

Zaprawiony materiał siewny wraz z informacją o masie 1000 ziaren i zdolności kiełkowania rozesłano do wybranych punktów doświadczalnych.

4.10. Termin siewu

Termin siewu był wykonany w terminie optymalnym dla danego rejonu kraju. Poniższy rysunek 5 przedstawia optymalne terminy siewu zbóż ozimych w Polsce z uwzględnieniem podziału kraju na rejon przyjęte w ocenie odmian zbóż.



Rys. 5. Rejony przyjęte w ocenie zbóż wraz z optymalnymi terminami siewu

(źródło: COBORU – metodyka)

4.11. Ilość i sposób wysiewu

Ilość wysiewu ustalono oddzielnie dla każdej odmiany na podstawie zalecanej obsady nasion, masy tysiąca ziaren, zdolności kiełkowania i powierzchni poletka do wysiewu i oblicza się według następującego wzoru:

$$W = (N \times MTZ / ZK) \times (PP / 10) \quad (1)$$

gdzie:

W – ilość wysiewu (g/poletko)

N – obsada nasion (szt./m²)

MTZ – masa tysiąca ziaren (g)

ZK – zdolność kiełkowania (%)

PP – powierzchnia poletka do siewu (m²)

Obsadę nasion różnicowano w zależności od warunków glebowych, wartości przedplonu, stanu agrotechnicznego roli i warunków klimatycznych, a także opóźnienia siewu.

W doświadczeniach zastosowano rozstawę rzędów w zakresie 10,7-12,5 cm, czyli 12-14 redlic przy siewniku o szerokości 1,5 m. Głębokość siewu wykonano na głębokości od 2 do 4 cm; na glebach cięższych i wilgotniejszych zastosowano płytszy siew, a na lżejszych i suchszych – głębszy.

4.12. Zabiegi ochrony roślin

Zabiegi ochrony roślin realizowane były zarówno na poziomie a₁ jak i a₂. Wykonywano je z dwumetrowych ścieżek między pasami doświadczenia przy użyciu spryskiwaczy. Zachwaszczenie zwalczano herbicydami, dobór preparatów oraz liczba zabiegów uzależniona była od zachwaszczenia (tab. 13). W przypadku wystąpienia szkodników mogących wpływać na wielkość plonu stosowano odpowiednie insektycydy (tab. 14).

Tabela 13. Zabiegi ochrony roślin - herbicydy

Sezon wegetacyjny	Wyszczególnienie	Chrzastowo	Dukla	Głubczyce	Kościelna Wieś	Marianowo	Pawłowice	Radostowo	Rarwino	Seroczyn	Sulejów	Świebodzin	Tarnów	Uhnin	Węgrzce	Wróclikowo
		data														
2018/2019	- pierwszy zabieg	19.10 2018	05.11 2018	12.10 2018	08.11 2018	03.10 2018	11.10 2018	10.04 2018	23.04 2018	18.10 2018	10.11 2018	03.04 2019	20.10 2018	05.11 2018	02.11 2018	17.10 2018
	- drugi zabieg	13.04 2019	05.05 2019	15.11 2018			08.04 2019				30.03 2019					30.04 2019
2019/2020	- pierwszy zabieg	25.10 2019	08.10 2019	29.10 2019	17.10 2019	23.10 2019	17.10 2019	07.04 2019	22.10 2019	25.10 2019	24.10 2019	02.11 2019	10.10 2019	22.08 2019	21.10 2019	15.10 2019
	- drugi zabieg					10.04 2020			23.04 2020	23.04 2020	08.04 2020	07.04 2020		14.11 2019		15.05 2020
2020/2021	- pierwszy zabieg	05.11 2020	12.11 2020	29.10 2020	28.10 2020	20.10 2020	09.10 2020	28.04 2020	10.10 2020	09.10 2020	12.11 2020	27.10 2020	22.04 2020	18.11 2020	21.04 2020	20.10 2020
	- drugi zabieg		08.05 2021				12.04 2021			13.05 2021	02.04 2021		17.11 2021			21.04 2021
2021/2022	- pierwszy zabieg	09.11 2021	05.11 2021	27.10 2021	07.10 2021	27.10 2021	22.10 2021	21.04 2022	29.10 2021	13.10 2021	10.11 2021	08.04 2021	29.10 2021	16.11 2021	13.04 2022	15.10 2021
	- drugi zabieg	25.04 2021	17.05 2022			29.04 2022			27.04 2022	29.04 2022						02.05 2022
2022/2023	- pierwszy zabieg	28.10 2022	10.11 2022	27.10 2022	17.10 2022	28.10 2022	17.10 2022	28.04 2023	28.10 2022	10.10 2022	12.11 2022	28.10 2022	26.10 2022	02.11 2022	20.04 2023	13.10 2022
	- drugi zabieg	21.04 2023	27.04 2023	28.04 2023	04.05 2023	21.04 2023					20.04 2023					21.04 2023

Tabela 14. Zabiegi ochrony roślin – insektycydy

Sezon wegetacyjny	Wyszczególnienie	Chrzastowo	Dukla	Glubczyce	Kościelna Wies	Marianowo	Pawlowice	Radostowo	Rarwino	Seroczyn	Sulejów	Świebodzin	Tarnów	Uhin	Węgrzce	Wróclikowo
		data														
2018/2019	- pierwszy zabieg	27.05 2019	12.10 2018	11.10 2018	03.06 2019	11.10 2018	24.04 2019	07.06 2018	10.11 2018	10.11 2018		11.10 2018			06.06 2019	
	- drugi zabieg		25.04 2019	30.05 2018			06.06 2019		07.06 2019	24.05 2019		31.05 2019				
	- trzeci zabieg		25.05 2019													
2019/2020	- pierwszy zabieg	10.06 2020		29.10 2019	11.10 2019		17.10 2019	07.05 2020		07.10 2019	24.10 2019	12.06 2020	03.10 2019	18.10 2019		09.06 2020
	- drugi zabieg			23.04 2020	02.06 2020		07.11 2019	15.06 2020		15.06 2020				08.05 2020		
	- trzeci zabieg			18.05 2020												
2020/2021	- pierwszy zabieg	10.06 2021	02.06 2021	29.10 2020	08.10 2020		09.10 2020	07.05 2021		18.06 2021	12.11 2020		17.06 2021		04.06 2021	
	- drugi zabieg			27.05 2021	02.11 2020		11.06 2021	10.06 2021			25.05 2021					
	- trzeci zabieg			14.06 2021												
2021/2022	- pierwszy zabieg			11.10 2021	20.10 2021		22.10 2021	02.05 2022		12.10 2021	10.11 2021			25.05 2022		
	- drugi zabieg			27.10 2021	31.05 2022			15.06 2022		04.06 2022	16.05 2022					
	- trzeci zabieg			20.05 2022												
2022/2023	- pierwszy zabieg	12.06 2023	19.10 2022	10.10 2022			17.10 2022	12.05 2023		12.06 2023	12.11 2022	28.10 2022		04.05 2023	07.06 2023	
	- drugi zabieg		27.10 2022	07.11 2022			28.10 2022	13.06 2023								
	- trzeci zabieg		25.05 2023	29.05 2023			30.05 2023									

4.13. Zbiór

Zbioru odmian dokonywano w tym samym czasie, w momencie uzyskania dojrzałości technicznej przez zdecydowaną większość odmian w doświadczeniu; zazwyczaj w ostatniej dekadzie lipca lub pierwszej dekadzie sierpnia. Zbiór wykonywany był przy użyciu kombajnów poletkowych. Najwcześniejszych zbiorów dokonano w sezonie wegetacyjnym 2018/2019 (30.07.2019 r.), natomiast najpóźniejszy w sezonie wegetacyjnym 2022/2023 (08.08.2023 r.).

4.14. Obserwacje i pomiary polowe

W okresie wegetacji pszenżyta ozimego przeprowadzono następujące oznaczenia i analizy:

- ✓ obserwacje faz rozwojowych pszenżyta ozimego,
- ✓ nasilenie występowania chorób liści, kłosów (skala 9°),
- ✓ wyleganie roślin przed zbiorem (skala 9°),
- ✓ wysokość roślin (cm).

Po zbiorze dokonano oznaczenia:

- ✓ plonu ziarna pszenicy ozimej przy wilgotności 15%,
- ✓ masy 1000 ziaren – odliczono i zważono 2 x 500 ziaren na elektronicznym liczniku nasion „Kopciuszek”.

4.15. Warunki meteorologiczne

Dane meteorologiczne takie jak średnia temperatura powietrza oraz suma opadów atmosferycznych dla poszczególnych lat badań i średnie wieloletnie zestawiono na podstawie zapisów ze stacji meteorologicznych mieszczących się w punktach doświadczalnych w których prowadzone były doświadczenia (tab. 15).

Tabela 15. Charakterystyka warunków meteorologicznych w poszczególnych sezonach wegetacyjnych

Sezon wegetacyjny	Miesiąc												
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX-VIII
Opady (mm)													Suma
2018/2019	45	45	17	56	46	24	33	19	88	36	53	62	522
2019/2020	61	32	42	36	28	57	27	8	77	135	55	84	642
2020/2021	63	97	21	29	44	30	23	38	78	53	93	142	712
2021/2022	37	17	43	27	38	51	12	37	42	67	73	69	512
2022/2023	66	23	21	51	54	42	40	45	42	58	61	99	602
Średnia z lat 1996-2022	54	46	39	35	35	31	34	36	66	71	93	68	609
Temperatura powietrza (°C)													Średnia
2018/2019	15,5	10,4	4,5	1,5	-1,7	2,8	5,7	9,3	12,1	21,1	18,6	19,9	10,0
2019/2020	14,3	11,0	6,0	2,8	2,0	4,0	4,4	8,1	10,7	17,7	18,2	19,7	9,9
2020/2021	15,1	10,6	5,5	1,9	-1,4	-2,0	3,2	6,0	11,8	18,7	21,0	17,1	8,9
2021/2022	13,9	9,1	5,0	-0,8	0,9	3,2	3,2	6,6	13,4	18,4	19,0	20,6	9,4
2022/2023	12,4	11,1	4,1	0,1	2,8	1,1	4,3	7,6	12,3	17,4	19,5	20,1	9,4
Średnia z lat 1996-2022	13,6	8,8	4,2	0,1	-1,7	-0,3	2,9	8,5	13,5	17,2	19,0	18,5	8,7

W celu scharakteryzowania warunków pogodowych posłużono się współczynnikiem hydrotermicznym Sielianinowa (K). Jest to jeden ze wskaźników, który pozwala na rozpoznanie suszy oraz określenie jej natężenia. Jego wartość określa się według wzoru (Molga 1972):

$$K = P / 0,1\Sigma t \quad (2)$$

gdzie:

P – suma opadów atmosferycznych w analizowanym okresie (mm)

Σt – suma średniej dobowej temperatury powietrza w analizowanym okresie (°C)

Miesięczne sumy temperatur uzyskano mnożąc średnią miesięczną temperaturę przez liczbę dni z temperaturą powyżej 8°C. W celu interpretacji współczynnika K posłużono się 10-stopniowym przedziałem wartości (Skowera i Puła 2004):

- skrajnie suchy $K \leq 0,4$

- bardzo suchy $0,4 < K \leq 0,7$

- suchy $0,7 < K \leq 1,0$

- dość suchy $1,0 < K \leq 1,3$

- optymalny $1,3 < K \leq 1,6$
- dość wilgotny $1,6 < K \leq 2,0$
- wilgotny $2,0 < K \leq 2,5$
- bardzo wilgotny $2,5 < K \leq 3,0$
- skrajnie wilgotny $K > 3,0$

4.16. Charakterystyka badanych odmian pszenżyta ozimego wg. COBORU

Avokado - plenność bardzo dobra. Przyrost plonu na wysokim poziomie agrotechniki poniżej średniej. Odporność na septoriozę plew – duża, na mączniaka prawdziwego – dość duża, na choroby podstawy źdźbła, rdzę brunatną, rdzę żółtą, fuzariozę kłosów, septoriozę liści i rynchosporiozę – średnia, na pleśń śniegową – mała. Rośliny wysokie, o dość małej odporności na wyleganie. Termin kłoszenia dość późny, dojrzewania średni. Masa 1000 ziaren duża, wyrównanie ziarna średnie, gęstość ziarna w stanie zsylnym dość duża. Odporność na porastanie w kłosie dość duża, liczba opadania duża do bardzo dużej. Tolerancja na zakwaszenie gleby dość mała. Zimotrwałość dość duża.

Belcanto - plenność dobra do bardzo dobrej. Przyrost plonu na wysokim poziomie agrotechniki powyżej średniej. Odporność na rdzę żółtą, septoriozę liści – dość duża, na rdzę brunatną, choroby podstawy źdźbła, mączniaka prawdziwego, rynchosporiozę, fuzariozę kłosów, pleśń śniegową i septoriozę plew – średnia. Rośliny średniej wysokości, o przeciętnej odporności na wyleganie. Termin kłoszenia i dojrzewania dość późny. Masa 1000 ziaren i wyrównanie ziarna średnie, gęstość ziarna w stanie zsylnym bardzo duża. Odporność na porastanie w kłosie średnia, liczba opadania bardzo duża. Tolerancja na zakwaszenie gleby średnia. Zimotrwałość dość duża.

Carmelo - plenność dobra. Przyrost plonu na wysokim poziomie agrotechniki średni. Odporność na pleśń śniegową, rdzę żółtą – dość duża, na choroby podstawy źdźbła, mączniaka prawdziwego, septoriozę liści, rynchosporiozę, fuzariozę kłosów, rdzę brunatną - średnia, na septoriozę plew – dość mała. Rośliny średniej wysokości, o dość dużej odporności na wyleganie. Termin kłoszenia i dojrzewania średni. Masa 1000 ziaren bardzo duża, wyrównanie ziarna średnie, gęstość ziarna w stanie zsylnym średnia.

Odporność na porastanie w kłosie dość duża, liczba opadania średnia. Tolerancja na zakwaszenie gleby dość średnia. Zimotrwałość dość duża.

Kasyno - plenność bardzo dobra. Przyrost plonu na wysokim poziomie agrotechniki poniżej średniej. Odporność na rdzę żółtą, septoriozę liści – dość duża, na rdzę brunatną, fuzariozę kłosów, rynchosporiozę, choroby podstawy źdźbła, septoriozę plew - średnia, na mączniaka prawdziwego – mała, na pleśń śniegową – bardzo mała, Rośliny niskie, o dość małej odporności na wyleganie. Termin kłoszenia późny, dojrzewania średni. Masa 1000 ziaren duża do bardzo dużej, wyrównanie ziarna średnie. Gęstość ziarna w stanie zsylnym dość mała. Odporność na porastanie w kłosie średnia, liczba opadania dość mała. Tolerancja na zakwaszenie gleby średnia. Zimotrwałość dość duża.

Lombardo – plenność bardzo dobra. Przyrost plonu na wysokim poziomie agrotechniki średni. Odporność na fuzariozę kłosów – dość duża, na pleśń śniegową – duża, na mączniaka prawdziwego, choroby podstawy źdźbła, septoriozę liści, septoriozę plew rynchosporiozę, rdzę brunatną - średnia,. Rośliny dość niskie, o małej odporności na wyleganie. Termin kłoszenia i dojrzewania dość wczesny. Masa 1000 ziaren duża, wyrównanie ziarna – średnie, gęstość ziarna w stanie zsylnym – mała, odporność na porastanie w kłosie i liczba opadania – średnie. Tolerancja na zakwaszenie gleby średnia. Zimotrwałość średnia.

Meloman – plenność bardzo dobra. Przyrost plonu na wysokim poziomie agrotechniki średni. Odporność na mączniaka prawdziwego – dość duża, na choroby podstawy źdźbła, rdzę brunatną, septoriozę liści, septoriozę plew, fuzariozę kłosów, rynchosporiozę – średnia, na pleśń śniegową – dość mała. Rośliny średniej wysokości, o średniej odporności na wyleganie. Termin kłoszenia średni, dojrzewania dość późny. Masa 1000 ziaren i wyrównanie ziarna średnie, gęstość ziarna w stanie zsylnym – średnia. Odporność na porastanie w kłosie dość duża, liczba opadania – dość duża. Tolerancja na zakwaszenie gleby średnia. Zimotrwałość średnia.

Orinoko - Plenność dobra do bardzo dobrej. Przyrost plonu na wysokim poziomie agrotechniki średni. Odporność na pleśń śniegową, mączniaka prawdziwego, septoriozę plew – dość duża, na choroby podstawy źdźbła, rdzę brunatną, septoriozę liści, rynchosporiozę i fuzariozę kłosów – średnia, rdzę żółtą – dość mała. Rośliny o średniej wysokości i dość dużej odporności na wyleganie. Termin kłoszenia i dojrzewania dość późny. Masa 1000 ziaren bardzo duża, wyrównanie ziarna średnie, gęstość ziarna

w stanie zsylnym duża. Odporność na porastanie w kłosie dość duża, liczba opadania mała. Tolerancja na zakwaszenie gleby średnia. Zimotrwałość dość duża.

Porto - plenność bardzo dobra. Przyrost plonu na wysokim poziomie agrotechniki średni. Odporność na rdzę żółtą – dość duża, na mączniaka prawdziwego, rdzę brunatną, septoriozę liści, pleśń śniegową, rynchosporiozę i fuzariozę kłosów – średnia na choroby podstawy źdźbła – dość mała. Rośliny dość niskie, o średniej odporności na wyleganie. Termin kłoszenia dość późny, dojrzewania średni. Masa 1000 ziaren dość mała, wyrównanie ziarna średnie, gęstość ziarna w stanie zsylnym duża. Odporność na porastanie w kłosie – średnia, liczba opadania dość duża. Tolerancja na zakwaszenie gleby średnia. Zimotrwałość dość duża.

Sekret - plenność bardzo dobra. Przyrost plonu na wysokim poziomie agrotechniki poniżej średniej. Odporność na mączniaka prawdziwego, rdzę brunatną, rdzę żółtą, septoriozę liści, rynchosporiozę – dość duża, na septoriozę plew, choroby podstawy źdźbła, pleśń śniegową, fuzariozę kłosów – średnia. Rośliny dość niskie o dość dużej odporności na wyleganie. Termin kłoszenia późny, dojrzewania dość późny. Masa 1000 ziaren mała, wyrównanie ziarna średnie, gęstość ziarna w stanie zsylnym dość duża. Odporność na porastanie w kłosie dość duża, liczba opadania bardzo duża. Tolerancja na zakwaszenie gleby średnia. Zimotrwałość dość duża.

Tadeus - plenność dobra do bardzo dobrej. Przyrost plonu na wysokim poziomie agrotechniki powyżej średniej. Odporność na pleśń śniegową – duża, na choroby podstawy źdźbła, mączniaka prawdziwego, rynchosporiozę – średnia, na rdzę żółtą, septoriozę liści, fuzariozę kłosów, rdzę brunatną i septoriozę plew – dość mała. Rośliny niskie, o dużej odporności na wyleganie. Termin kłoszenia i dojrzewania średni. Masa 1000 ziaren, wyrównanie ziarna i gęstość ziarna w stanie zsylnym mała. Odporność na porastanie ziarna w kłosie średnia, liczba opadania dość duża. Tolerancja na zakwaszenie gleby średnia. Zimotrwałość dość duża.

Temuco - plenność bardzo dobra. Przyrost plonu na wysokim poziomie agrotechniki poniżej średniej. Odporność na rdzę żółtą, pleśń śniegową – dość duża, na mączniaka prawdziwego, rdzę brunatną i rynchosporiozę, septoriozę liści, fuzariozę kłosów, choroby podstawy źdźbła, septoriozę plew – średnia. Rośliny niskie, o dość dużej odporności na wyleganie. Termin kłoszenia późny, dojrzewania – średni. Masa 1000 ziaren bardzo mała, wyrównanie ziarna małe, gęstość ziarna w stanie zsylnym mała. Odporność na porastanie ziarna w kłosie średnia, liczba opadania – dość duża. Tolerancja na zakwaszenie gleby średnia. Zimotrwałość średnia.

Toro - plenność bardzo dobra. Przyrost plonu na wysokim poziomie agrotechniki średni. Odporność na pleśń śniegową - duża, na mączniaka prawdziwego – dość duża, choroby podstawy źdźbła, rdzę brunatną, rynchosporiozę, septoriozę liści, septoriozę plew, fuzariozę kłosów – średnia, na rdzę żółtą – dość mała, Rośliny dość niskie,

o średniej odporności na wyleganie. Termin kłoszenia i dojrzewania średni. Masa 1000 ziaren mała, wyrównanie ziarna średnie, gęstość ziarna w stanie zsypanym dość mała. Odporność na porastanie w kłosie średnia i liczba opadania dość duża. Tolerancja na zakwaszenie gleby średnia. Zimotrwałość średnia.

Trapero - plenność bardzo dobra. Przyrost plonu na wysokim poziomie agrotechniki średni. Odporność na septoriozę liści, rdzę żółtą – dość duża, na mączniaka prawdziwego, pleśń śniegową, choroby podstawy źdźbła, rdzę brunatną, rynchosporiozę, fuzariozę kłosów – średnia, na septoriozę plew – dość mała. Rośliny dość wysokie, o średniej odporności na wyleganie. Termin kłoszenia średni, dojrzewania dość późny. Masa 1000 ziaren dość mała, wyrównanie ziarna średnie, gęstość ziarna w stanie zsypanym duża. Odporność na porastanie ziarna w kłosie średnia, liczba opadania duża. Tolerancja na zakwaszenie gleby średnia. Zimotrwałość dość duża.

4.17. Energetyczna ocena produkcji pszenżyta ozimego

Ocenę energetyczną wykonano na podstawie prowadzonych badań z pszenżytem ozimym uwzględniając zastosowane zabiegi agrotechniczne oraz plony ziarna. Zużycie energii określono na podstawie wszystkich nakładów poniesionych od zabiegów jakie zostały wykonane po zbiorze przedplonu do zbioru. Analiza efektywności energetycznej produkcji ziarna pszenżyta została oszacowana dla przeciętnego i wysokiego poziomu technologii uprawy oraz dla każdej badanej w doświadczeniu odmiany. Opis technologii produkcji pszenżyta przyjętych do obliczeń został przedstawiony w tabeli 16.

Tabela 16. Szczegółowe dane porównywanych technologii produkcji pszenżyta ozimego

Wyszczególnienie	Intensywność produkcji	
	a ₁	a ₂
uprawa gleby	przed siewem: podorywka, bronowanie, orka średnia, agregat uprawowy x2	
siew (kg·ha ⁻¹)		
nawożenie mineralne doglebowe (kg·ha ⁻¹)	jesień: 17 NH ₄ NO ₃ , 50 P ₂ O ₅ (superfosfat), 81 K ₂ O (sól potasowa)	
nawożenie mineralne dolistne (l·ha ⁻¹)	52 + 35 NH ₄ NO ₃	52 + 35 + 40 NH ₄ NO ₃
regulacja zachwaszczenia	-	
ochrona przeciwwgrzybowa	zaprawa nasienna Gizmo 060 FS	zaprawa nasienna + I zabieg Tilt Turbo 575 EC (<i>propikonazol</i> 125 g·ha ⁻¹ + <i>fenpropidyna</i> 450 g·ha ⁻¹) II zabieg Provaro 250 EC (1 l·ha ⁻¹ – 250 g s.a. <i>protiokonazol</i> 125 g·ha ⁻¹ + <i>tebukonazol</i> 125 g·ha ⁻¹)
ochrona przed szkodnikami	I zabieg Karate Zeon 050 CS (0,12 l·ha ⁻¹ – <i>lambda-cyhalotryna</i> 6 g·ha ⁻¹) II zabieg Pyrinex 480 EC (0,6 l·ha ⁻¹ – <i>chloropiryfos</i> 330 g·ha ⁻¹)	
regulator wzrostu	-	Medax Max (0,5 l·ha ⁻¹ – 62 g s.a. <i>proheksadion wapnia</i> 25 g·ha ⁻¹ + <i>trineksapak etylu</i> 37 g·ha ⁻¹)

W obliczenia bilansu energetycznego przeanalizowano nakłady energetyczne jakie zostały poniesione w procesie produkcji pszenżyta ozimego uwzględniając takie źródła energii jak: praca ludzka, poniesione nakłady na eksploatację środków trwałych, nośnik energii, zużycie materiałów (w tym materiał siewny), nawozy mineralne, środki ochrony roślin i inne środki chemiczne. Do obliczeń wykorzystano model za Singh i in. (2002), Olabi (2016)

$$\Sigma = \sum_i \text{praca ludzka} + \sum_i \text{środki trwałe } \Sigma_i + \sum_i \text{nośniki energii} + \sum_i \text{materiały} \quad (3)$$

gdzie:

Σ – suma nakładów energetycznych poniesiona w procesie produkcji pszenżyta (GJ ha⁻¹),

$\sum_i \text{praca ludzka}$ – nakłady siły roboczej poniesione w procesie produkcji (GJ ha⁻¹),

$\sum_i \text{środki trwałe}$ – nakłady energetyczne środków trwałych poniesione w procesie produkcji (GJ ha⁻¹),

$\sum_i \text{nośniki energii}$ – nakłady energetyczne w postaci oleju napędowego poniesione w procesie produkcji (GJ ha⁻¹),

$\sum_i \text{materiały}$ – nakłady energetyczne materiałowe poniesione w procesie produkcji (GJ ha⁻¹).

Ekwiwalenty nakładu energii specyficzne dla warunków Polski przyjęto za Wójcickim (2007) (tab. 17). W obliczeniach nie uwzględniono nakładów energetycznych, jakie są niezbędne do transportu ziarna z miejsca gdzie zostało wyprodukowane do miejsca jego przechowywania oraz pracy ludzkiej i nakładów na energię nieodnawialną, jaka została zużyta na przejazd maszyn na pole (Maraseni i in. 2015). Powyższe pominięto z uwagi na dużą zmienność warunków w obliczeniach. W analizie bilansu energetycznego pominięto energię produktu ubocznego – słomy.

Tabela 17. Ekwiwalent energetyczny dla dobranych nakładów produkcji

Wyszczególnienie	Ekwiwalent energetyczny	Jednostka
elementy energii wejścia		
- praca ludzka	80	MJ·h ⁻¹
- środki techniczne	110	MJ·kg ⁻¹
- olej napędowy	48	MJ·kg ⁻¹
- nawożenie mineralne:		
N	77	MJ·kg ⁻¹
P ₂ O ₅	15	MJ·kg ⁻¹
K ₂ O	10	MJ·kg ⁻¹
- środki ochrony roślin	300	MJ·kg ⁻¹
elementy energii wyjścia		
- ziarno pszenżyta	18,3	MJ·kg ⁻¹

Podstawowe wskaźniki energetyczne zostały obliczone na podstawie powyższych elementów energii wejścia i wyjścia przy użyciu poniższych modeli obliczeniowych Erdal i in. 2007, Mohammadi i in. 2010, Pishgar-Komleh i in. 2013, Naderi i in. (2019).

$$\text{Zysk energii} = \text{wartość energetyczna plonu (MJ ha}^{-1}\text{)} - \text{nakłady energetyczne (MJ ha}^{-1}\text{)} \quad (4)$$

$$\text{Energochłonność jednostkowa} = \frac{\text{wielkość plonu (dt ha}^{-1}\text{)}}{\text{nakłady energetyczne (MJ ha}^{-1}\text{)}} \quad (5)$$

$$\text{Wskaźnik efektywności energetycznej} = \frac{\text{wartość energetyczna plonu (MJ ha}^{-1}\text{)}}{\text{nakłady energetyczne (MJ ha}^{-1}\text{)}} \quad (6)$$

4.18. Ekonomiczna ocena produkcji pszenżyta ozimego

Analizę ekonomicznej efektywności produkcji pszenżyta ozimego wykonano na podstawie metodyki Goraj i Mańko (2012), w której uwzględniono: koszty bezpośrednie i pośrednie, kalkulację nadwyżki bezpośredniej, wskaźnik efektywności ekonomicznej, koszt jednostkowy produkcji, koszt według ogniw agrotechniki. Koszty pośrednie

produkcji pszenżyta ozimego wyliczono na podstawie jednostkowych kosztów eksploatacji środków technicznych według metodyki, która została opracowana przez Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa (Goć i Muzalewski 1997). Jako koszt eksploatacji maszyn i ciągników uznano sumę kosztów ich utrzymania (amortyzacja, przechowywanie, konserwacja, ubezpieczenie) i użytkowania (koszt naprawy oraz paliwa i smarów). Do obliczenia jednostkowego kosztu eksploatacji maszyn i ciągników wykorzystano: aktualną cenę, normatywne wykorzystanie w okresie trwania, okres trwania, wydajność eksploatacyjną poszczególnych maszyn, a także wskaźnik kosztów i napraw. Koszty materiału siewnego, nawozów mineralnych, środków ochrony roślin i nośników energii przyjęto na podstawie cen z I kwartału 2024 roku. Jako dopłaty uwzględniono podstawowe wsparcie dochodów w wysokości 117,07 euro/ha (505 zł).

4.19. Analiza statystyczna wyników

W pracy do oceny stabilności plonu ziarna i wysokości trzynastu odmian pszenżyta ozimego w serii doświadczeń przeprowadzonych w latach 2018 - 2023 wykorzystano liniowy model mieszany (ang. linear mixed model LMM). Do oceny podatności na choroby (fuzariozę kłosów, mączniaka prawdziwego, rdzę brunatną i rdzę żółtą) oraz wyleganie trzynastu odmian w serii doświadczeń wykorzystano uogólniony liniowy model mieszany (ang. Generalised linear mixed model GLMM). Dla cechy: masa tysiąca ziaren analizę przeprowadzono na danych odmianowych zorganizowanych w tabeli dwukierunkowej odmiana \times środowisko. Dla pozostałych cech, analizy przeprowadzono na danych poletkowych. Ponadto, dla cech plon ziarna, wysokość roślin, wyleganie i masa tysiąca ziaren wykonano oddzielnie dla obydwu poziomów agrotechniki. Zgodnie metodyką prowadzenia doświadczeń w COBORU choroby pszenżyta są oceniane tylko na poziomie a₁, dlatego analizę statystyczną dla tych cech wykonano tylko dla tego poziomu agrotechniki. Wreszcie, dla przejrzystości, w całej pracy przez „środowisko” (ang. Environment; env) będziemy rozumieli kombinację roku i lokalizacji.

Analiza statystyczna dla cech o rozkładzie normalnym

Plon i wysokość roślin

Niech y_{jklb} oznacza obserwację cechy (plon lub wysokość roślin) dla j -tej odmiany ($j = 1, \dots, J$) w k -tym środowisku ($k = 1, \dots, K$) w l -tym powtórzeniu ($l = 1, \dots, L$)

i b -tym bloku ($b = 1, \dots, B$). Wówczas model opisujący obserwacje dla danej cechy można zapisać w postaci:

$$y_{jklb} = \mu + \alpha_j + u_k + v_{jk} + w_{kl} + z_{klb} + e_{jklb}, \quad (7)$$

gdzie μ jest średnią ogólną a α_j jest efektem j -tej odmiany. O efektach odmianowych α_j zakładamy, że są stałe. W modelu (7), przez u_k , w_{kl} , z_{klb} oraz e_{jklb} oznaczamy odpowiednio efekty losowe środowisk, powtórzeń zagnieżdżonych w środowiskach, bloków zagnieżdżonych w środowiskach i powtórzeniach oraz błędy losowe. O efektach losowych u_k , w_{kl} , z_{klb} , e_{jklb} zakładamy, że mają rozkład normalny z wartością oczekiwaną i wariancją równą odpowiednio σ_u^2 , σ_w^2 , σ_z^2 , σ_e^2 , tj. $u_k \sim N(0, \sigma_u^2)$, $w_{kl} \sim N(0, \sigma_w^2)$, $z_{klb} \sim N(0, \sigma_z^2)$, $e_{jklb} \sim N(0, \sigma_e^2)$. Ponadto, w modelu (7) zakładamy, że interakcja odmiany \times środowiska jest losowa i jest oznaczona przez v_{jk} . Zakładamy, że efekty v_{jk} mają rozkład normalny z wartością oczekiwaną 0 i wariancjami $\sigma_{v(j)}^2$, tj.

$$v_{jk} \sim N(0, \sigma_{v(j)}^2), \quad j = 1, \dots, J.$$

Piepho (1999) pokazał, że tak zdefiniowany liniowy model mieszany jest odpowiednikiem wariancji stabilności Shukli (Shukla 1972).

Komponenty wariancyjne w modelu (7) zostały oszacowane przy pomocy metody REML (Searle i in. 2006; implementacja numeryczna Genstat 23, VSN International). Efekty stałe w modelu (7) zostały oszacowane za pomocą uogólnionej metody najmniejszych kwadratów. By zweryfikować hipotezę zerową:

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_I = 0, \quad (8)$$

wykorzystano statystykę Walda z przybliżeniem statystyką F . Statystyka ta ma przybliżony rozkład F ze stopniami swobody dla licznika równymi $I - 1$ i stopniami swobody dla mianownika wyliczonymi przy użyciu przybliżenia Kenwarda-Rogera (Kenward i Roger 1997). Aby uzyskać, wszystkie możliwe porównania średnich odmianowych na poziomie istotności α wykorzystano funkcję `vmcomparison` z programu Genstat. Aby dostosować wartości krytyczne prawdopodobieństw dla statystyki t , uwzględniając liczbę wykonywanych porównań, zastosowano procedurę wielokrotnego testowania Bonferroniego (Hsu 1996). W tym celu w funkcji `vmcomparison` ustawiono opcje `method=bonferroni` i `probability=0.001`.

Ponadto, dla cechy głównej (plon) wykonano analizę ryzyka. W tym celu, na podstawie oszacowanych średnich plonów i komponentów wariancyjnych wyliczono

wartości indeksu selekcyjnego safety-first (safety-first selection index Eskridge 1990; Eskridge i Mumm 1992). Wartość tego indeksu wyrażona jest wzorem:

$$\text{SFSI}_j = \hat{\mu}_j + Z(1 - \alpha)\hat{V}_j^{1/2}, \quad (9)$$

gdzie $\hat{\mu}_j$ oznacza średni plon j -tej odmiany, $\hat{V}_j = \hat{\sigma}_u^2 + \hat{\sigma}_{v(j)}^2$, a $Z(1 - \alpha)$ jest kwantylem rzędu $1 - \alpha$ ze standardowego rozkładu normalnego. Określona wartość α [lub $Z(1 - \alpha)$] wskazuje na gotowość hodowcy, decydenta lub rolnika do zaakceptowania niskich plonów wyrażoną w kategoriach prawdopodobieństwa. Przykładowo, $\alpha = 0.05$ oznacza chęć zaakceptowania szansy na niski plon w danym sezonie/okresie wynoszącej 1 do 20. W pracy wartości indeksu SFSI obliczono dla $\alpha = 0.05$. Odmiany o największych wartościach indeksu SFSI będą preferowane.

Wreszcie, by ocenić wpływ warunków agro-meteorologicznych na plon, przyjęto podejście opisane w przez van Eeuwijka i in. (1995). W tym celu do modelu (7) dodano zmienne towarzyszące związane z przebiegiem pogody w środowiskach. Jako zmienne towarzyszące przyjęto średnie miesięczne temperatury i miesięczne sumy opadów od marca do lipca. Okres ten przyjęto ponieważ jest on kluczowy w formowaniu się plonu pszenżyta ozimego.

Niech h ($h = 1, \dots, H$) oznacza wartość indeksu h -tej zmiennej towarzyszącej i niech y_{jklb} oznacza obserwację cechy (plon lub wysokość roślin) dla j -tej odmiany ($j = 1, \dots, J$) w j -tym środowisku ($k = 1, \dots, K$) w l -tym powtórzeniu ($l = 1, \dots, L$) i b -tym bloku ($b = 1, \dots, B$). Wykorzystując, tę samą notację co w modelu (7), liniowy model mieszany uwzględniający zmienne towarzyszące (mixed model factorial regression) można zapisać jako:

$$y_{jklb} = \mu + \alpha_j + \sum_{h=1}^H a_h x_{kh} + \sum_{h=1}^H c_{jh} x_{kh} + u_k + v_{jk} + w_{kl} + z_{klb} + e_{jklb} \quad (10)$$

gdzie x_{kh} jest scentrowaną zmienną towarzyszącą, a a_h i c_{jh} są współczynnikami regresji odpowiednio dla h -tej zmiennej towarzyszącej i interakcji i -tej odmiany z h -tą zmienną towarzyszącą. Ponadto, podobnie jak w modelu (7), przyjęto te same założenia dotyczące rozkładów dla efektów losowych. W modelu (10) oszacowano efekty stałe i komponenty wariancyjne stosując te same metody, co w modelu (7).

Masa 1000 ziaren

W metodyce prowadzenia doświadczeń z pszenżytem masa tysiąca ziaren (MTZ) jest cechą odmianową (Biskupski i in. 1979). Dlatego do oceny stabilności tej cechy wykorzystano miarę nadrzędności P_j opisaną w pracy Lin i Binns (1988). Miara ta wyraża się następującym wzorem:

$$P_j = \frac{1}{2K} \sum_{k=1}^K (y_{jk} - M_k)^2, \quad (11)$$

gdzie K jest liczbą środowisk, y_{jk} jest masą tysiąca nasion dla j -tej odmiany w k -tym środowisku, a $M_k = \max_{1 \leq j \leq J} y_{jk}$. Odmiany o najmniejszych wartościach miary nadrzędności zwykle dają lepsze plony i są bardziej stabilne.

Do oszacowania średnich mas tysiąca nasion dla poszczególnych odmian wykorzystano następujący liniowy model mieszany:

$$y_{jk} = \mu + \alpha_j + u_k + e_{jk}, \quad (12)$$

gdzie μ jest średnią ogólną a α_j jest efektem stałym j -tej odmiany. W modelu (12), przez u_k , i e_{jk} oznaczamy odpowiednio efekty losowe środowisk, oraz błędy losowe. Ponadto, o efektach losowych u_k i e_{jk} zakładamy, że mają rozkład normalny z wartością oczekiwaną i wariancją równą odpowiednio σ_u^2 , σ_e^2 , tj. $u_k \sim N(0, \sigma_u^2)$, $e_{jk} \sim N(0, \sigma_e^2)$. By zweryfikować hipotezę zerową:

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_I = 0, \quad (13)$$

wykorzystano statystykę Walda z przybliżeniem statystyką F . Statystyka ta ma przybliżony rozkład F ze stopniami swobody dla licznika równymi $I - 1$ i stopniami swobody dla mianownika wyliczonymi przy użyciu przybliżenia Kenwarda-Rogera (Kenward i Roger 1997). Aby uzyskać, wszystkie możliwe porównania średnich odmianowych na poziomie istotności α wykorzystano funkcję `vmcomparison` z programu Genstat. Aby dostosować wartości krytyczne prawdopodobieństw dla statystyki t , uwzględniając liczbę wykonywanych porównań, zastosowano procedurę wielokrotnego testowania Bonferroniego (Hsu 1996). W tym celu w funkcji `vmcomparison` ustawiono opcje `method = bonferroni` i `probability = 0.05`.

Analiza statystyczna dla cech skategoryzowanych

W polskich porejestrowych doświadczeniach odmianowych intensywność chorób oraz wyleganie oceniane jest w skali od 1 do 9. W zależności od cechy, ocena 9 oznacza bardzo małe/brak porażenia przez choroby lub bardzo małą/brak podatność na wyleganie, natomiast ocena 1 oznacza bardzo duże porażenie przez choroby bądź bardzo duże wyleganie. Zwykle zakłada się, że obserwowane dane skategoryzowane mają rozkład wielomianowy (ang. multinomial distribution), który zależy od prawdopodobieństw π_{ijklb} , gdzie π_{ijklb} oznacza prawdopodobieństwo, że j -ta odmiana ($j = 1, \dots, J$) należy do i -ta kategoria ($i = 1, \dots, I$) w k -tym środowisku ($k = 1, \dots, K$) w l -tym powtórzeniu ($l = 1, \dots, L$) i b -tym bloku ($b = 1, \dots, B$). Jest oczywiste,

że dla danej odmiany $\sum_{i=1}^I \pi_{ijklb} = 1$. W literaturze zaproponowano różne metody modelowania danych skategoryzowanych (Agresti 1984, McCullagh 1980, Simko i Piepho 2011, Tutz 2012). Powszechnym podejściem do analizy danych skategoryzowanych jest model oparty na skumulowanych prawdopodobieństwach, który był szeroko badany przez McCullagha (1980).

Niech γ_{ijkl} oznacza i -te ($i = 1, 2, \dots, I - 1$) skumulowane prawdopodobieństwo odpowiadające j -tej odmianie ($j = 1, \dots, J$) w k -tym środowisku ($k = 1, \dots, K$) w l -tym powtórzeniu ($l = 1, \dots, L$) i b -tym bloku ($b = 1, \dots, B$). Wówczas, uogólniony liniowy model mieszany typu skumulowanego można zapisać:

$$\eta_{ijklb} = \text{logit}(\gamma_{ijklb}) = \log\left(\frac{\gamma_{ijklb}}{1-\gamma_{ijklb}}\right) = \theta_i - \alpha_j - u_k - v_{jk} - w_{kl} - z_{klb}, \quad (14)$$

gdzie θ_i oznacza wartość progową i -tej kategorii, a α_j jest efektem j -tej odmiany, a funkcja „logit” jest tzw. funkcją łączącą (link function). W modelu (14), założono, że zarówno wartości progowe jak i efekty odmian są stałe. Przez u_k , v_{jk} , w_{kl} , z_{klb} oznaczamy w modelu (14) odpowiednio efekty losowe środowisk, interakcji odmiana \times środowisko, replikacji zagnieżdżonych w środowiskach i bloków zagnieżdżonych w środowiskach i replikacjach. Ponadto, zakładamy, że $u_k \sim N(0, \sigma_u^2)$, $v_{jk} \sim N(0, \sigma_v^2)$, $w_{kl} \sim N(0, \sigma_w^2)$, $z_{klb} \sim N(0, \sigma_z^2)$,

Celem analizy było oszacowanie prawdopodobieństw nieznanych i prawdopodobieństw skumulowanych w modelu (14) na podstawie danych eksperymentalnych. Do estymacji nieznanych parametrów w modelu (14) wykorzystano metodę największej wiarygodności z przybliżeniem Laplace'a, przy ograniczeniu $\alpha_1 = 0$ (Tutz i Hennevoğl 1996, Christensen 2022). W doświadczeniach porejestrowych wszystkie odmiany traktowane są jako standardowe, natomiast w modelu (14) można zastosować tylko jeden standard. Na podstawie wyników doświadczeń porejestrowych, najbardziej odporną na mączniaka prawdziwego i rdzę żółtą była odmian ‘Meloman’, odmiana ‘Lombardo’ była najbardziej odporna na fuzariozę kłosów, a odmiana ‘Sekret’ na rdzę brunatną. Natomiast, odmiana ‘Tadeus’ była najbardziej odporna na wyleganie. Z tego powodu odmiany te w modelu (14) potraktowano jako odmiany referencyjne (standardowe).

Ponieważ do oszacowania nieznanych parametrów wykorzystano ograniczenie $\alpha_1 = 0$, zatem efekt odmiany α_j ($j = 2, \dots, J$) można interpretować jako porównanie z odmianą referencyjną. Aby przetestować istotność każdego porównania, tj. hipotezy zerowej:

$$H_0: \alpha_j = 0, \quad j = 2, \dots, J \quad (15)$$

wykorzystano statystykę testową (Christensen 2022),

$$z_j = \frac{\hat{\alpha}_j}{\hat{\sigma}_j} \quad (16)$$

gdzie $\hat{\alpha}_j$ to oszacowany efekt j -tej odmiany, a $\hat{\sigma}_j$ to oszacowany błąd standardowy $\hat{\alpha}_j$. Przy prawdziwości hipotezy zerowej H_0 , statystyka testowa z_j a przybliżony standardowy rozkład normalny.

Programy statystyczne

Obliczenia i rysunki dotyczące danych o rozkładzie normalnym wykonano w programie Genstat (VSN International 2023). Obliczenia dotyczące danych skategoryzowanych wykonano w programie R (R 2023) z wykorzystaniem pakietu „ordinal” (Christensen 2022). Rysunki dla danych skategoryzowanych wykonano w programie korzystając z pakietów stats (R 2023) oraz ggplot2 (Wickham 2016).

5. Wyniki badań

5.1. Warunki meteorologiczne i przebieg wegetacji

W sezonie wegetacyjnym 2019/2020 i 2020/2021 sumy opadów były wyższe w porównaniu do wielolecia odpowiednio o 5,4% i 16,9%. Najbardziej obfity w opady był sierpień 2019, kiedy to ich suma była wyższa od średniej wieloletniej i wyniosła 142 mm. Natomiast najniższą sumą opadów (8 mm) charakteryzował się kwiecień 2020 roku.

W całym okresie badań temperatury powietrza były wyższe niż średnia wieloletnia. Najwyższą średnią temperaturę odnotowano dla sezonu 2018/2019, natomiast najniższą dla 2020/2021. Najwyższa średnia temperatura powietrza wystąpiła w lipcu 2021 roku i była wyższa o 2°C w porównaniu do wielolecia. W lutym tego samego roku odnotowano najniższą średnią temperaturę (2°C) i była o 1,7°C poniżej przeciętnych notowań.

Na podstawie sum opadów i sum temperatur wyznaczono wartości współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa (*K*). Wykazano, że najbardziej optymalnymi warunkami wilgotnościowymi charakteryzował się sezon wegetacyjny 2019/2020. Najmniej korzystne warunki wilgotnościowe wystąpiły w sezonach wegetacyjnych 2018/2019, 2021/2022 oraz 2022/2023, które określono jako dość suche. Dość wilgotne okazały się lata badań 2020/2021 - wilgotny był kwiecień i maj a bardzo wilgotny sierpień (tab. 18).

Tabela 18. Współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa (*K*) w poszczególnych okresach wegetacyjnych.

Sezon wegetacyjny	Miesiąc							
	IX	X	IV	V	VI	VII	VIII	średnia
2018/2019	1,0	1,4	0,7	2,3	0,6	0,9	1,0	1,1
2019/2020	1,4	1,0	0,3	2,3	2,5	1,0	1,4	1,4
2020/2021	1,4	3,0	2,1	2,1	0,9	1,4	2,7	2,0
2021/2022	0,9	0,6	1,8	1,0	1,2	1,2	1,1	1,1
2022/2023	1,8	0,7	2,0	1,1	1,1	1,0	1,6	1,3
Średnia z wielolecia 1996-2022	1,3	1,7	1,4	1,6	1,4	1,6	1,2	1,5

Siew pszenżyta ozimego we wszystkich sezonach wegetacyjnych odbywał się w trzeciej dekadzie września w przedziale od 26 do 29 dnia tego miesiąca. Wschody roślin w sezonach 2018/2019, 2019/2020 i 2020/2021 przypadały na pierwszą dekadę października który charakteryzował się większą sumą opadów niż w sezonie wegetacyjnym 2021/2022, 2022/2023 gdzie wyniosła odpowiednio 17 mm i 23 mm i była niższa kolejno o 63% i 50% od przeciętnej. Jesienne zahamowanie wegetacji

obserwowano w drugiej dekadzie listopada w latach badań 2018/2019 i 2022/2023 gdzie średnia dobowa temperatura była najniższa spośród wszystkich lat badań i zbliżona do temperatury wieloletniej. Z kolei w sezonie 2020/2021 i 2021/2022 zahamowanie wegetacji przypadło w trzeciej dekadzie listopada gdzie średnie dobowe temperatury były wyższe od przeciętnych odpowiednio o 1,3°C i 0,8°C. Średnia dobowa temperatura w listopadzie w sezonie wegetacyjnym 2018/2019 była najwyższa ze wszystkich lat badań i wyniosła 6,0°C co spowodowało, że zahamowanie wegetacji nastąpiło dopiero w pierwszej dekadzie grudnia kiedy średnia dobowa temperatura spadła o 3,2°C choć i tak była ona wyższa od przeciętnej dla tego miesiąca.

W sezonie wegetacyjnym 2018/2019, 2020/2021 i 2021/2022 okres zahamowania wzrostu roślin był zbliżony (odpowiednio 110, 110 i 106 dni) a w sezonie wegetacyjnym 2019/2020 trwał jedynie 92 dni. Natomiast najdłuższy okres odnotowano w sezonie 2022/2023 bo aż 116 dni. Wiosenne ruszenie wegetacji przypadało średnio na pierwszą i drugą dekadę marca. Średnia dobowa temperatura w marcu we wszystkich latach badań była wyższa od średniej wieloletniej, natomiast suma opadów atmosferycznych była niższa niż przeciętna (34 mm) z wyjątkiem sezonu 2022/2023 gdzie wyniosła 40 mm.

Rośliny strzelały w źdźbło najczęściej w drugiej dekadzie kwietnia (2018/2019 i 2019/2020), gdzie średnie dobowe temperatury były najwyższe spośród wszystkich lat badań ale też z najniższymi sumami opadów, oraz w trzeciej dekadzie tego miesiąca (2021/2022 i 2022/2023) gdzie średnie temperatury były niższe od przeciętnej ale za to o większej sumie opadów niż w poprzednich sezonach. Wyjątek stanowi sezon 2020/2021 gdzie strzelanie w źdźbło przypadło pod koniec marca.

Począwszy od fazy kłoszenia do fazy dojrzałości pełnej o terminie wchodzenia w poszczególne fazy rozwojowe decydowała technologia produkcji. W technologii przeciętnej (a₁) rośliny wchodziły w kolejne fazy średnio 1 dzień prędzej niż w technologii wysokiej (a₂).

Kłoszenie pszenżyta ozimego przypadało na drugą i trzecią dekadę maja we wszystkich sezonach wegetacyjnych (od 19 do 30 maja). Średnie dobowe temperatury były niższe od średniej dla tego miesiąca w wieloleciu, natomiast tylko sumy opadów w latach 2021/2022 i 2022/2023 były niższe od przeciętnej.

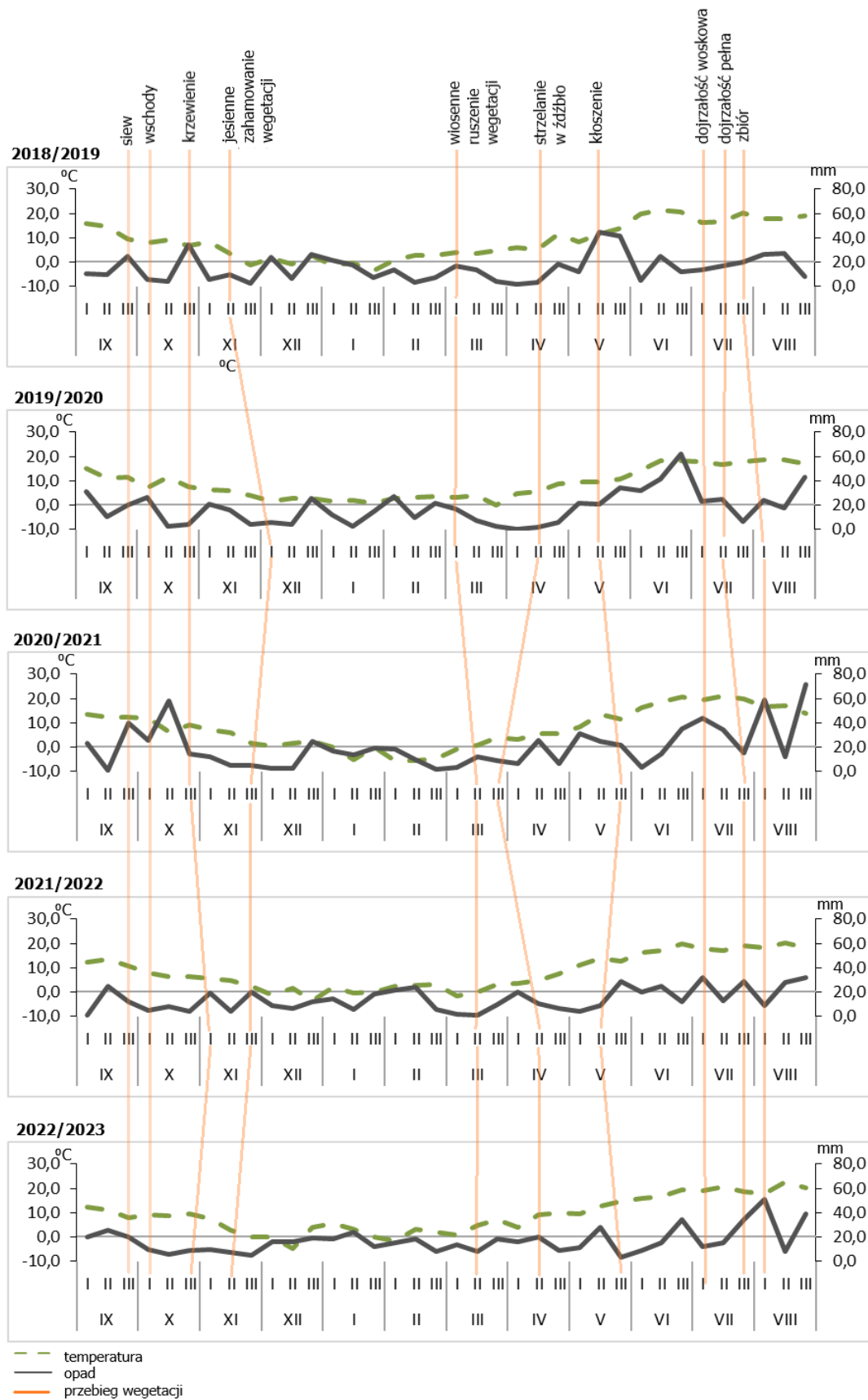
Rośliny dojrzałość woskową osiągały w pierwszej dekadzie lipca a dojrzałość pełną w drugiej i trzeciej. W latach badań 2018/2019 i 2019/2020 średnie dobowe

temperatury oraz sumy opadów były niższe od przeciętnej i rośliny wchodziły szybciej w fazę dojrzałości pełnej niż w pozostałych sezonach wegetacyjnych, gdzie powyższe parametry meteorologiczne były wyższe od średniej wieloletniej.

Zbiór odbywał się najczęściej na początku sierpnia za wyjątkiem roku 2019 gdzie rośliny zebrano 30 lipca - wtedy to suma opadów była niższa od przeciętnej i najniższa ze wszystkich lat badań. Średnia dobową temperatura w latach badań była wyższa od średniej wieloletniej z wyjątkiem sezonu 2020/2021.

Najkrótszym okresem wegetacji licząc od wschodów roślin do osiągnięcia dojrzałości pełnej charakteryzował się sezon wegetacyjny 2018/2019 (280 dni), gdzie średnia dobową temperatur była najwyższa ze wszystkich badanych sezonów wegetacyjnych, a suma opadów należała do jednych z najniższych. Najdłużej okres wegetacji trwał (licząc od wschodów do dojrzałości pełnej), w sezonie wegetacyjnym 2020/2021. Było to aż 291 dni, gdzie średnie dobowe temperatury w całym sezonie były najniższe, a opady atmosferyczne najwyższe spośród wszystkich lat badań. W sezonach wegetacyjnych 2019/2020, 2021/2022, 2022/2023 długość tego okresu była zbliżona i wynosiła odpowiednio 287, 284, 283 dni.

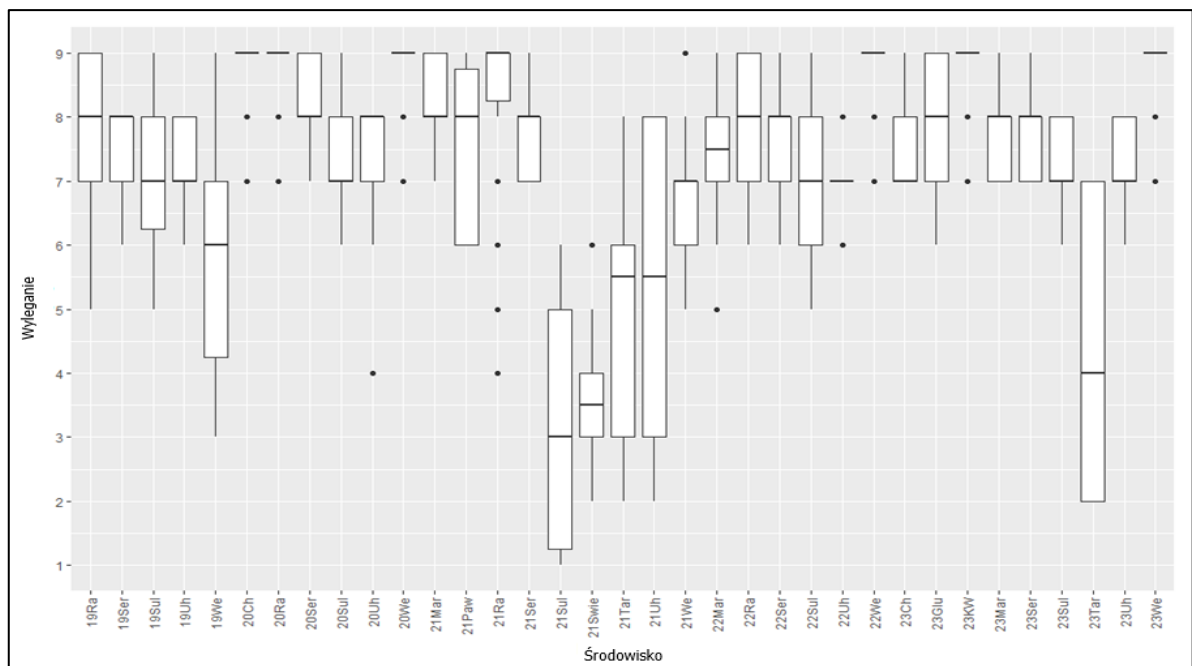
Na rysunku 6 przedstawiono przebieg wegetacji pszenżyta ozimego przez wszystkie badane sezony wegetacyjne na tle warunków meteorologicznych.



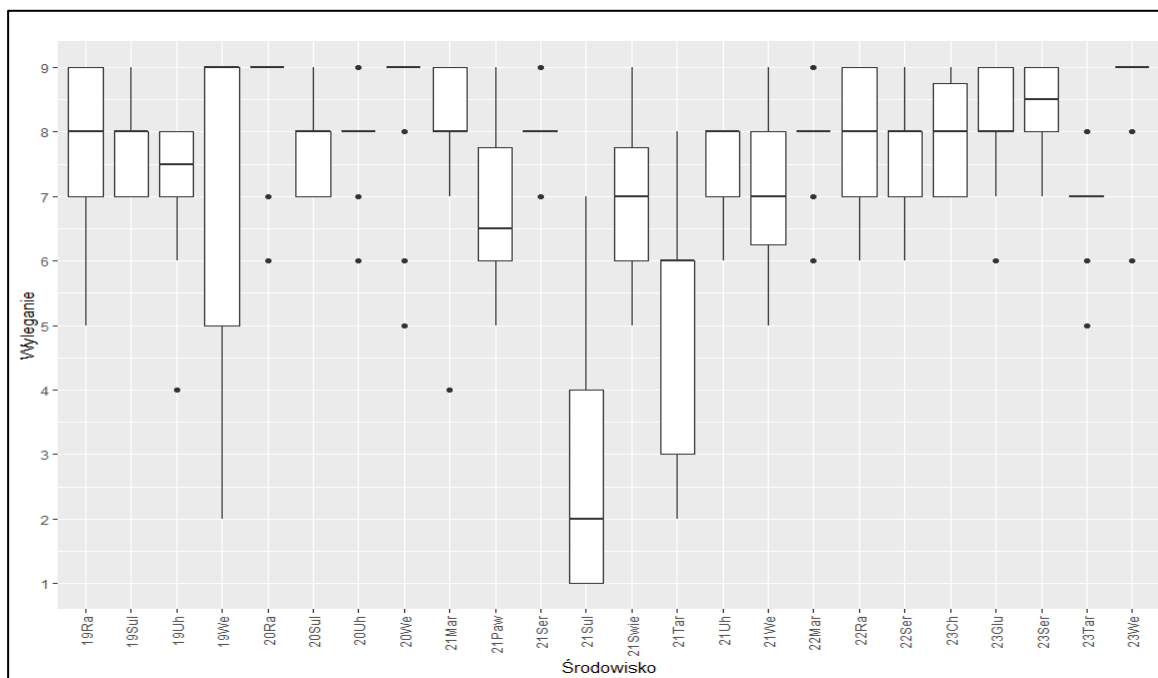
Rys. 6. Przebieg faz rozwojowych pszenżyta ozimego na tle warunków meteorologicznych w latach trwania badań 2018-2023

5.2. Wyleganie roślin

W przeprowadzonych doświadczeniach obserwowano wyleganie roślin przed zbiorem, które było zależne od przebiegu warunków pogodowych w latach badań. Najsilniej rośliny wyległy w sezonie wegetacyjnym 2020/2021 w miejscowościach Marianowo, Pawłowice, Radostowo, Seroczyn, Sulejów, Świebodzin, Tarnów, Uhnin, Węgrzce, gdzie w sierpniu odnotowano najwyższą sumę opadów, co doprowadziło również do późnego zbioru roślin. Według współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa sezon badawczy został skategoryzowany jako dość wilgotny (suma opadów atmosferycznych była największa a średnia dobowa temperatura powietrza najniższa). W omawianym sezonie wegetacyjnym rośliny wyległy najsilniej nie tylko na poziomie a_1 ale również na a_2 . W sezonie wegetacyjnym 2022/2023 również zaobserwowano silne wyleganie roślin w miejscowościach Chrzastowo, Głubczyce, Kościelna Wieś, Marianowo, Seroczyn, Sulejów, Tarnów, Uhnin, Węgrzce, gdzie w sierpniu odnotowano intensywniejsze opady deszczu (45% więcej niż przeciętnie), jednak tylko na poziomie przeciętnym agrotechniki. Z kolei w latach 2018/2019, 2019/2020 i 2021/2022 zjawisko to wystąpiło w mniejszym stopniu w szczególności na wysokim poziomie agrotechniki. Zmienność ocen w poszczególnych środowiskach została przedstawiona przy pomocy boxplotów na rysunku 7 i 8.

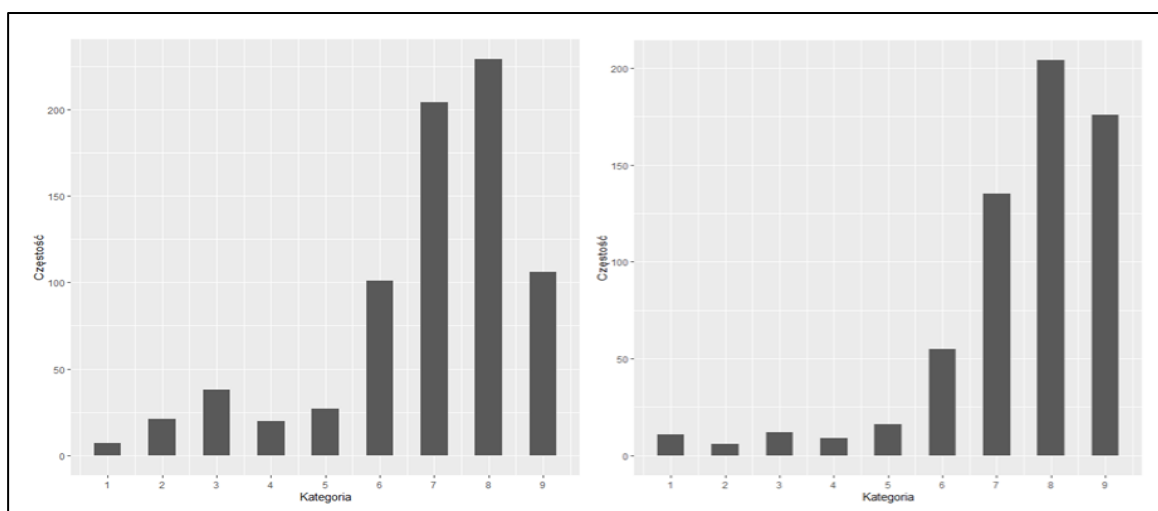


Rys. 7. Wyleganie roślin na przeciętnym poziomie agrotechniki w środowiskach gdzie: rok występowania wylegania: 19 - 2019, 20 - 2020, 21 - 2021, 22 - 2022, 23 - 2023 lokalizacja występowania wylegania: Ra - Rarwino, Ser - Seroczyn, Sul - Sulejów, Uh - Uhnin, We - Węgrzce, Ch - Chrzastowo, Mar - Marianowo, Paw - Pawłowice, Swie - Świebodzin, Tar - Tarnów, Glu - Głubczyce, KW - Kościelna Wieś

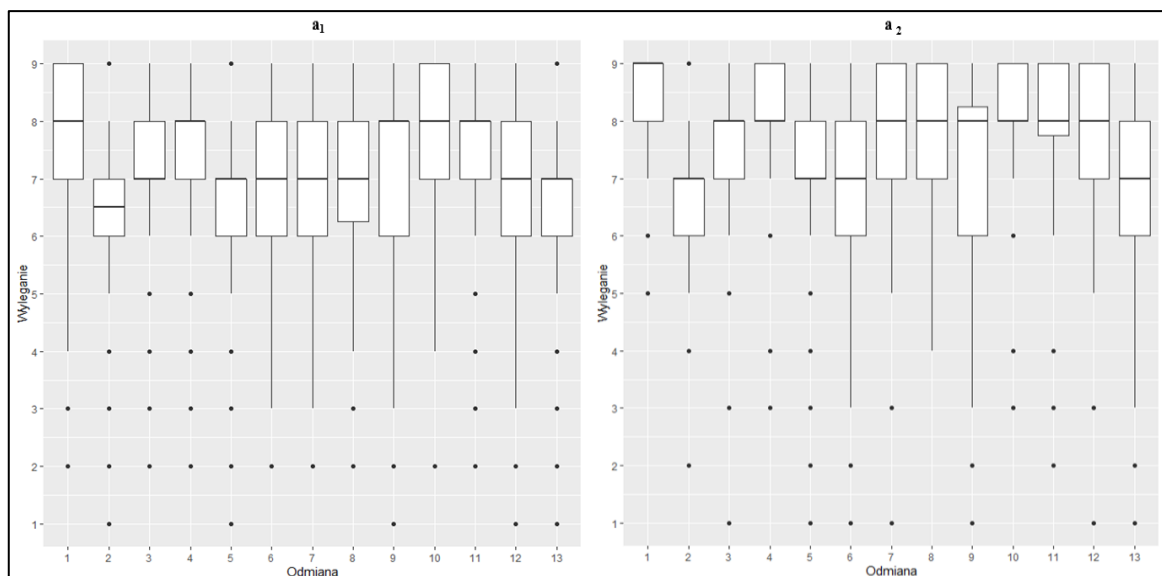


Rys. 8. Wyleganie roślin na wysokim poziomie agrotechniki w środowiskach
gdzie: rok występowania wylegania: 19 - 2019, 20 - 2020, 21 - 2021, 22 - 2022, 23 - 2023
lokalizacja występowania wylegania: Ra - Radostowo, Ser - Seroczyn, Sul - Sulejów, Uh - Uhnin,
We - Węgrzce, Ch - Chrząstowo, Mar - Marianowo, Paw - Pawłowice, Swie - Świebodzin,
Tar - Tarnów, Glu - Głubczyce, Ser - Seroczyn

Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że mniejszą tendencję do wylegania mają rośliny uprawiane na intensywnym poziomie (a_2) wynika to z faktu zastosowania regulatorów wzrostu roślin. Intensywność wylegania była oznaczana w skali od 1° do 9° gdzie 9° - brak wylegania roślin, 1° - całkowite wyleganie roślin. W analizie statystycznej pominięto środowiska (lokalizacja \times rok) o niskiej intensywności zjawiska. Graficzne przedstawienie wyników dla obu poziomów agrotechniki zaprezentowano na rysunku 9 i 10.



Rys. 9. Oceny wylegania odmian na poziomie agrotechniki a_1 (po lewej) i a_2 (po prawej)



Rys. 10. Obserwacje intensywności wylegania dla odmian pszenżyta ozimego gdzie: 1 – Tadeus, 2 – Avokado, 3 – Belcanto, 4 – Carmelo, 5 – Kasyno, 6 – Lombardo, 7- Meloman, 8 – Orinoko, 9 – Porto, 10 – Sekret, 11 – Temuco, 12 – Toro, 13 - Trapero

Analizę statystyczną wylegania roślin przed zbiorem przeprowadzono na podstawie uogólnionego liniowego modelu mieszanego typu skumulowanego (14). Jako wzorzec wybrano odmianę pszenżyta ozimego o nazwie ‘Tadeus’, która wykazywała się największą odpornością na wyleganie.

Oszacowane komponentów wariacyjnych przedstawiono w tabeli 19. Jak można zauważyć dla obydwu poziomów nawożenia największy wpływ na wyleganie miały środowiska. Ponadto, istotny wpływ na wyleganie miała również interakcja środowiska (lokalizacja \times rok) i odmian, gdzie komponent wariacyjny wyniósł na przeciętnym poziomie 2,82, a na wysokim 3,16.

Tabela 19. Szacowany komponent wariacyjny

Opis	Komponent wariacyjny	Poziom nawożenia	
		a ₁	a ₂
środowisko	σ_u^2	8,81	9,09
środowisko \times odmiana	σ_w^2	2,82	3,16
środowisko \times powtórzenie	σ_v^2 ,	3,90	0,47
środowisko \times bloki \times powtórzenie	σ_z^2 ,	0,93	*

*- pominięto ze względów obliczeniowych ponieważ algorytm, który został wykorzystany do obliczeń nie zbiegł do stabilnego rozwiązania.

Na poziomie przeciętnym agrotechniki jedenaście odmian było istotnie bardziej podatnych na wyleganie niż odmiana wzorcowa. Natomiast, odmiany ‘Carmelo’ i ‘Sekret’ wykazywały podobny poziom wylegania, co odmiana wzorcowa przy czym porównania te nie były statystycznie istotne. Na poziomie intensywnym agrotechniki,

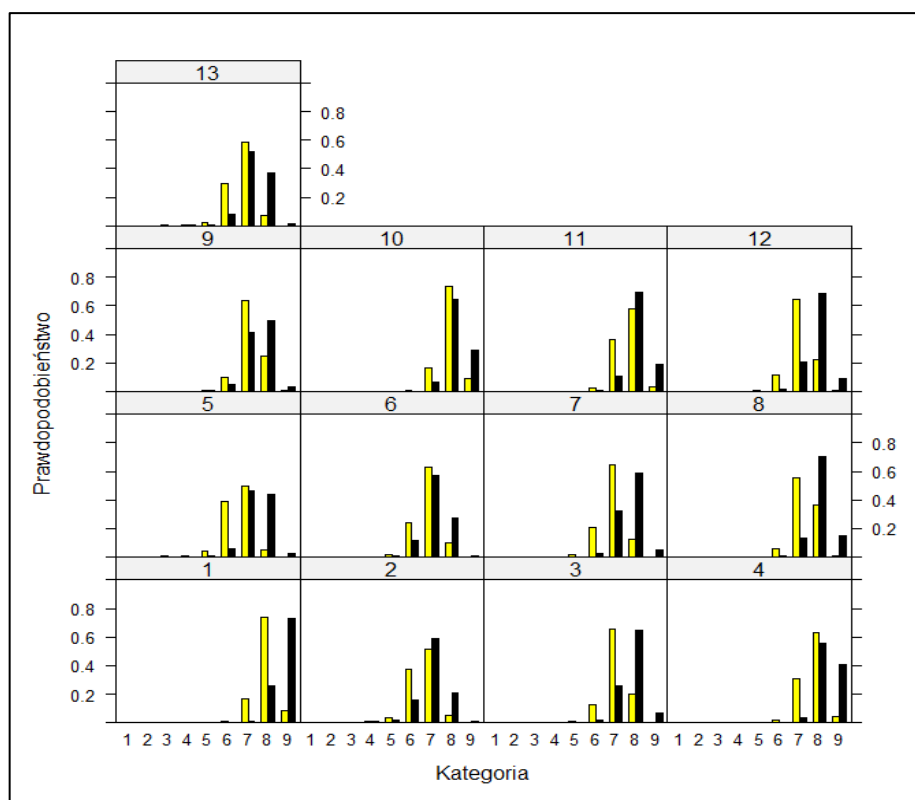
wszystkie odmiany różniły się w sposób istotny od odmiany ‘Tadeus’ (tab. 20) i były bardziej podatne na wyleganie niż odmian wzorcowa.

Tabela 20. Efekty szacowania oraz wartość statystyki z dla wylegania odmian pszenżyta ozimego.

Opis	Parametr y	Efekt oszacowania (błąd standardowy)	Wartość statystyki testowej z	Efekt oszacowania (błąd standardowy)	Wartość statystyki testowej z
		poziom a ₁		poziom a ₂	
wartość progowa 1	θ_1	-15,06 (1,39)	-10,84	-13,83 (1,34)	-10,29
wartość progowa 2	θ_2	-12,15 (1,16)	-10,46	-12,49 (1,22)	-10,22
wartość progowa 3	θ_3	-9,46 (1,01)	-9,40	-10,84 (1,11)	-9,78
wartość progowa 4	θ_4	-8,42 (0,96)	-8,79	-10,05 (1,07)	-9,40
wartość progowa 5	θ_5	-7,28 (0,91)	-8,01	-9,13 (1,03)	-8,42
wartość progowa 6	θ_6	-4,70 (0,83)	-5,68	-7,22 (0,97)	-7,47
wartość progowa 7	θ_7	-1,55 (0,77)	-2,00	-4,49 (0,90)	-4,99
wartość progowa 8	θ_8	2,31 (0,78)	2,98	-0,98 (0,85)	-1,15
Tadeus	α_1	0	0	0	0
Avokado	α_2	-4,43 (0,68)	-6,54***	-5,79 (0,82)	-7,07***
Belcanto	α_3	-2,88 (0,64)	-4,53***	-3,55 (0,77)	-4,61***
Carmelo	α_4	-0,82 (0,62)	-1,32 r.n.	-1,36 (0,76)	-1,79.
Kasyno	α_5	-4,50 (0,67)	-6,70***	-4,62 (0,79)	-5,84***
Lombardo	α_6	-3,70 (0,66)	-5,65***	-5,39 (0,81)	-6,43***
Meloman	α_7	-3,49 (0,65)	-5,33***	-3,90 (0,79)	-4,95***
Orinoko	α_8	-2,05 (0,63)	-3,26**	-2,70 (0,77)	-3,53***
Porto	α_9	-2,62 (0,65)	-4,06***	-4,36 (0,79)	-5,24***
Sekret	α_{10}	0,02 (0,62)	0,03 r.n.	-1,87 (0,76)	-2,45*
Temuco	α_{11}	-1,10 (0,63)	-1,76.	-2,43 (0,76)	-3,19**
Toro	α_{12}	-2,78 (0,65)	-4,28***	-3,23 (0,78)	-4,16***
Trapero	α_{13}	-4,01 (0,67)	-6,03***	-4,93 (0,80)	-6,17***

gdzie: ‘***’ 0,001; ‘**’ 0,01; ‘*’ 0,05; ‘.’ 0,1; ‘.’ 1; r.n. – różnice nieistotne

Na podstawie oszacowanych wartości progowych i efektów odmianowych wyznaczono prawdopodobieństwa otrzymania konkretnej oceny. W przeprowadzonej analizie wykazano, że 54% badanych odmian uzyska taką samą ocenę wylegania na poziomie a₁ i a₂ (rys. 11). Dla odmian ‘Avokado’, ‘Kasyno’, ‘Lombardo’, ‘Trapero’ będzie to 7 natomiast 8 dla odmian ‘Carmelo’, ‘Sekret’, ‘Temuco’. W przypadku odmian: ‘Belcanto’, ‘Meloman’, ‘Orinoko’, ‘Porto’, ‘Toro’, dla których zastosowano przeciętny poziom agrotechniki najbardziej prawdopodobną oceną porażenia jest 7 czyli o jedną ocenę niżej niż te same odmiany na poziomie intensywnym. Dla odmiany ‘Tadeus’, na poziomie a₁ najbardziej prawdopodobną oceną była ocena 8, a na poziomie a₂ najbardziej prawdopodobna była ocen 9.



Rys. 11. Prawdopodobieństwo uzyskania oceny wylegania poszczególnych odmian pszenżyta ozimego

gdzie: kolor żółty – poziom a_1 , kolor czarny – poziom a_2

1– Tadeus, 2 – Avokado, 3 – Belcanto, 4 – Carmelo, 5 – Kasyno, 6 – Lombardo, 7- Meloman, 8 – Orinoko, 9 – Porto, 10 – Sekret, 11 – Temuco, 12 – Toro, 13 - Trapero

5.3. Wysokość roślin

Analizę stabilności dla wysokości roślin przeprowadzono przy pomocy liniowego modelu mieszanego (1). Oszacowane wartości komponentów wariacyjnych dla poszczególnych efektów losowych i poziomów agrotechniki zostały umieszczone w tabeli 21.

Tabela 21. Szacowany komponent wariacyjny dla wysokości roślin

Opis	Komponent wariacyjny	Poziom agrotechniki	
		a_1	a_2
środowisko	σ_u^2	55,80 (9,64)	59,32 (10,40)
środowisko \times powtórzenie	σ_w^2	2,74 (0,66)	4,11 (0,99)
środowisko \times powtórzenie \times bloki	σ_z^2	0,94 (0,42)	2,79 (0,59)
błąd losowy	σ_e^2	11,16 (0,58)	10,96 (0,59)

(s.e.) – błąd standardowy

Niezależnie od poziomu agrotechniki, największe wartości komponentów wariacyjnych otrzymano dla środowisk. Wynosiły one odpowiednio: 55,80 (s.e. 9,64)

poziomie a₁, 59,32 (s.e. 10,40) na poziomie a₂. Wynika stąd, że środowiska miały największy wpływ na wysokość roślin.

Statystyka testu Walda była równa 2366,07 na poziomie a₁, a na poziomie a₂ 1747,91. Natomiast, na poziomie a₁ przybliżona wartość statystyki F wyniosła 192,61 (stopnie swobody dla licznika (n.d.f.) = 12, stopnie swobody dla mianownika (d.d.f.) = 317,1) i była wysoce istotna (P<0,001). Natomiast na poziomie a₂ przybliżona wartość statystyki F wyniosła 142,30 (n.d.f. = 12, d.d.f. = 317,1) i również była wysoce istotna (P<0,001). Wynika stąd, że niezależnie od poziomu agrotechniki, średnie odmianowe różniły się w sposób istotny.

Wysokość roślin jest cechą morfologiczną, która zależy głównie od czynnika genetycznego, jednak technologia produkcji może ją istotnie modyfikować. W przeprowadzonych badaniach zauważono wpływ stosowanego poziomu agrotechniki na wysokość roślin. Średnio na poziomie a₂ rośliny były niższe od 4,6-8,1% w zależności od odmiany.

W tabeli 22 dla obydwu poziomów agrotechniki podano średnie wysokości roślin, wartości wariancji stabilności Shukli oraz sumy rang Kanga.

Tabela 22. Średnia wysokość roślin pszenżyta ozimego wraz z wskaźnikami stabilności

Odmiana	Średnia wysokość (cm)		Wariancja stabilności Shukli		Suma rang	
	a ₁	a ₂	a ₁	a ₂	a ₁	a ₂
Avokado	125 ^a [1]	118 ^a [1]	1,58 (0,38) [12]	2,70 (0,58) [12]	13	13
Belcanto	112 ^{cd} [4]	106 ^{cd} [4]	0,48 (0,19) [1]	0,73 (0,24) [4]	5	8
Carmelo	110 ^{de} [6]	103 ^e [6]	0,68 (0,23) [2]	0,76 (0,25) [6]	8	12
Kasyno	103 ^h [11]	98 ^g [11]	0,77 (0,24) [3]	0,65 (0,23) [2]	14	13
Lombardo	106 ^{fg} [8]	100 ^{fg} [8]	1,01 (0,28) [9]	0,74 (0,24) [5]	17	13
Meloman	111 ^{cde} [5]	102 ^{ef} [7]	1,21 (0,32) [10]	2,84 (0,61) [13]	15	20
Orinoko	109 ^{ef} [6]	104 ^{de} [5]	1,32 (0,34) [11]	1,07 (0,30) [7]	17	12
Porto	100 ⁱ [12]	93 ^h [13]	1,83 (0,42) [13]	1,68 (0,41) [10]	25	23
Sekret	114 ^c [3]	107 ^{bc} [3]	0,93 (0,27) [8]	1,25 (0,33) [8]	11	11
Tadeus	100 ⁱ [13]	94 ^h [12]	0,85 (0,26) [5]	0,67 (0,23) [3]	18	15
Temuco	104 ^{gh} [10]	99 ^{fg} [9]	0,87 (0,26) [6]	0,52 (0,21) [1]	16	10
Toro	106 ^{fgh} [9]	99 ^{fg} [10]	0,89 (0,26) [7]	2,14 (0,49) [11]	16	21
Trapero	117 ^b [2]	110 ^b [2]	0,79 (0,25) [4]	1,51 (0,38) [9]	6	11

gdzie: a₁ – wariant podstawowy, a₂ wariant rozszerzony

Błąd standardowy: poziom a₁= średni 0,68; maksymalny 0,81; minimalny 0,57

Błąd standardowy: poziom a₂= średni 0,73; maksymalny 0,99; minimalny 0,58

() – błąd standardowy Shukli

abc – test Bonferroniego – porównania między średnimi odmian

[] – rangi

Wysokość roślin wynosiła średnio od 100 do 125 cm na poziomie a_1 i od 93 do 118 cm na poziomie a_2 (tab. 22). Najwyższą odmianą niezależnie od poziomu agrotechniki była odmiana 'Avokado', z kolei najniższymi odmianami okazały się odmiany 'Tadeus' (a_1) i 'Porto' (a_2). Wykonane porównanie parami odmian, umożliwiło wyróżnienie kilku grup odmian. Niezależnie od poziomu agrotechniki: 'Avokado', 'Trapero', 'Porto' i 'Tadeus' tworzyły, odpowiednio, grupy odmian najwyższych, odmian wysokich, oraz odmian najniższych.

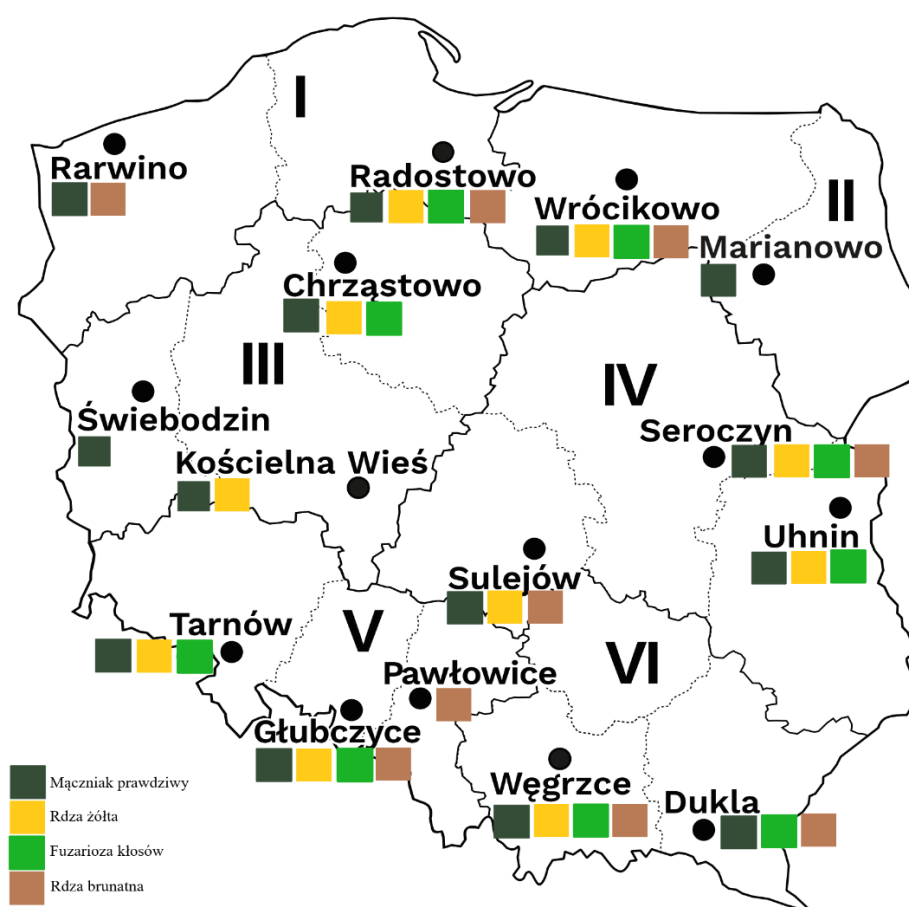
W tabeli 22 podano wartości wariancji stabilności Shukli. Najniższą wartość wariancji stabilności na poziomie a_1 otrzymano dla 'Belcanto'. Oznacza to, że odmiana ta była najbardziej stabilną względem wysokości spośród wszystkich badanych odmian na poziomie a_1 . Natomiast, na poziomie a_2 , odmiana 'Temuco' była najbardziej stabilna pod względem wysokości roślin. Ponadto, najwyższa odmiana była jedną z najmniej stabilnych odmian ze wszystkich badanych odmian. Z kolei odmiana Tadeus skalsyfikowana była odpowiednio na 5 i 3 miejscu ze względu na wariancje stabilności Shukli. Inny schemat zaobserwowano dla odmiany Porto. Odmiana ta była najbardziej niestabilna na poziomie a_1 i jedną z najmniej stabilnych an poziomie a_2 .

W celu wytypowania odmiany najbardziej stabilnej i najwyższej jednocześnie, na podstawie rang dla średnich wysokości roślin oraz wariancji stabilności Shukli, wyliczono sumy rang Kanga. Najniższą sumę rang niezależnie od poziomów doświadczenia otrzymała odmiana 'Belcanto', zatem odmiana była najbardziej stabilna oraz najwyższa spośród badanych odmian. Najwyższą sumę rang, otrzymano dla odmiany 'Porto'.

5.4. Porażenie roślin pszenżyta przez patogeny grzybowe

W całym okresie prowadzenia badań oceniano porażenia roślin pszenżyta ozimego przez patogeny grzybowe na poziomie agrotechnicznym (a_1). W technologii wysokiego poziomu agrotechniki nie obserwowano oznak chorób z uwagi na stosowanie fungicydowych zabiegów ochronnych. Intensywność presji chorób oceniana była w skali od 1 do 9. Ocena 9 oznaczała roślinę bez objawów porażenia przez choroby, a ocena 1 całkowicie porażoną.

W wyniku corocznej oceny obserwowano porażenie roślin przez: mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis*), rdzę żółtą (*Puccinia striiformis*), rdzę brunatną (*Puccinia recondita*) i fuzariozę kłosów (*Fusarium* spp.) (rys. 12). Porażenie roślin pszenżyta ozimego występowało w małym nasileniu w latach badań, na co miały wpływ warunki atmosferyczne. Jak wykazano we wcześniejszej analizie trzy sezony wegetacyjne zostały określone jako dość suche.



Rys. 12. Występowanie patogenów w poszczególnych lokalizacjach w latach badań

Analizę statystyczną porażenia roślin przez choroby przeprowadzono na podstawie uogólnionego liniowego modelu mieszanego (14). Środowiska (lokalizacja × rok) o niskiej intensywności występowania chorób zostały wyeliminowane z obliczeń.

Porażenie roślin przez choroby grzybowe było uzależnione od środowiska oraz od interakcji środowiska i odmiany (tab. 23). Najwyższe wartości dla tych komponentów wariancyjnych zostały otrzymane dla rdzy brunatnej.

W całym okresie badań rośliny pszenżyta ozimego najczęściej były porażane przez *Blumeria graminis* powodującego wystąpienie mączniaka prawdziwego zbóż i traw oraz rdzę żółtą, których objawy obserwowano w każdym sezonie wegetacyjnym podobnie jak w przypadku rdzy brunatnej jednak w znacznie mniejszej liczbie lokalizacji. W przypadku fuzariozy kłosów w sezonie 2018/2019 nie zaobserwowano objawów jej występowania na roślinach.

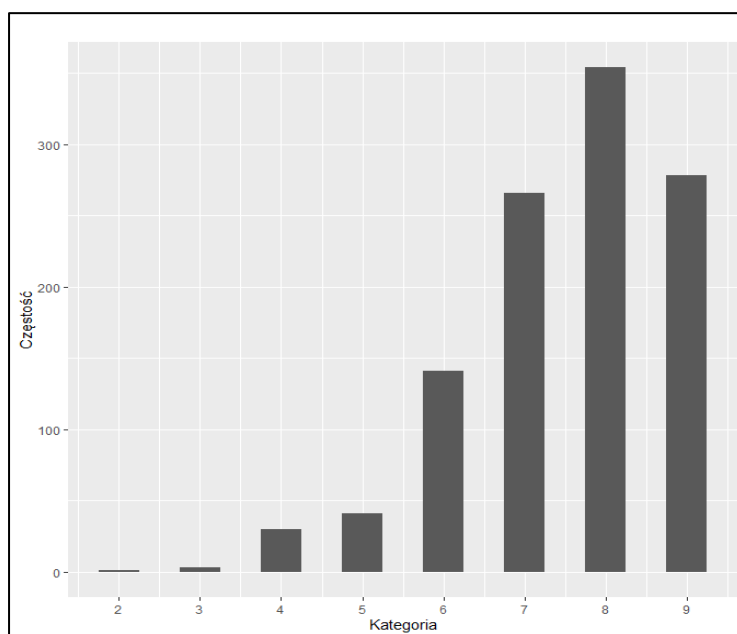
Analiza dostarczyła kilka oszacowań nieznanymi parametrów oraz statystyk. W tabeli 23 umieszczone zostały estymatory komponentów wariancyjnych dla poszczególnych efektów losowych.

Tabela 23. Szacowany komponent wariancyjnych

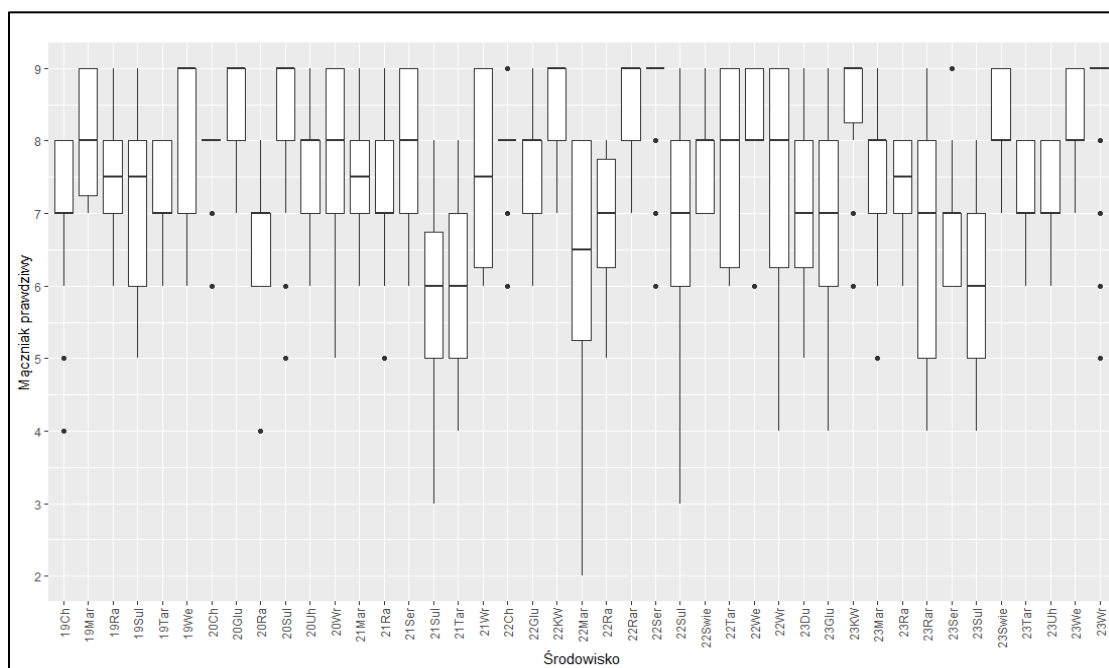
Opis	Komponent wariancyjny	Mączniak prawdziwy	Fuzarioza kłosów	Rdza brunatna	Rdza żółta
środowisko	σ_u^2	7,97	6,46	14,93	7,32
środowisko × odmiana	σ_w^2	6,32	4,46	19,91	10,10
środowisko × powtórzenie	σ_v^2	0,61	1,44	1,31	0,09
środowisko × powtórzenie x blok	σ_z^2	0,72	7,03	*	0,54

5.4.1. Mączniak prawdziwy (*Blumeria graminis*)

Rośliny pszenżyta ozimego były w niewielkim stopniu porażane przez *Blumeria graminis*, intensywność wystąpienia patogena była najczęściej oceniana na 8° (rys. 13). Największą infekcję roślin obserwowano w sezonie 2021/2022 i 2022/2023. Objawy występowania mączniaka prawdziwego odnotowano w tych samych miejscowościach: Chrzastowo, Głubczyce Kościelna Wieś, Marianowo, Radostowo, Rarwino, Seroczyn, Sulejów, Świebodzin, Tarnów, Węgrzce i Wróćkowo, oraz dodatkowo w sezonie 2022/2023 w Uhninie. Obserwacje intensywności zjawiska porażenia przez patogeny grzybowe dla środowisk przedstawia rysunek 14.

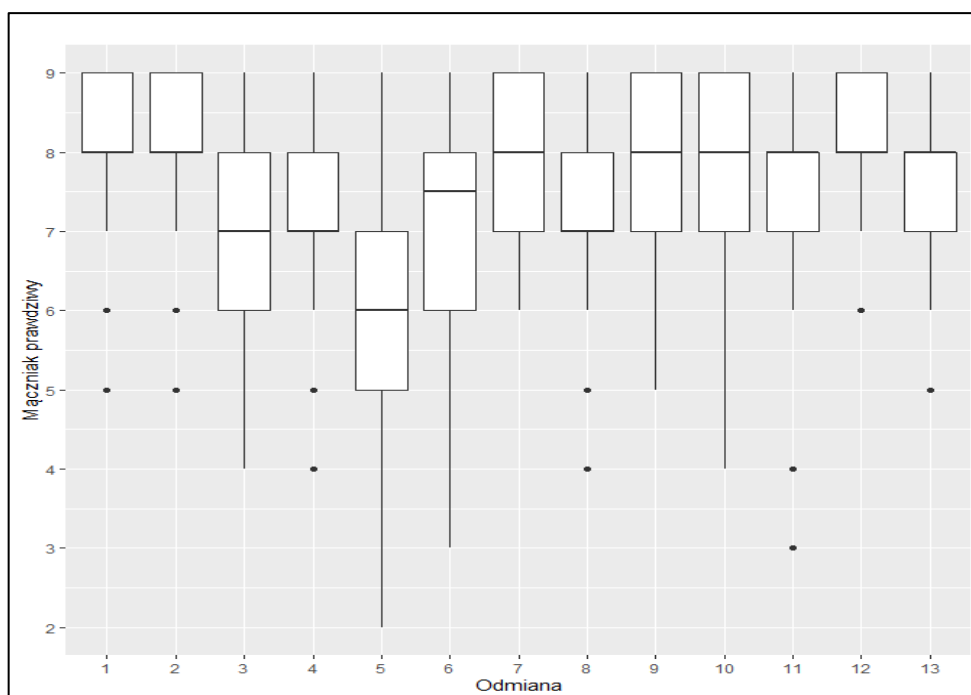


Rys. 13. Stopnie porażenia roślin przez *Blumeria graminis*.



Rys. 14. Porażenie roślin pszenżyta ozimego przez *Blumeria graminis* w środowiskach gdzie: rok występowania wylegania: 19 - 2019, 20 - 2020, 21 - 2021, 22 - 2022, 23 - 2023 lokalizacja występowania wylegania: Ch - Chrzastowo, Du - Dukła, Glu - Głębczyce, KW - Kościelna Wieś, Mar - Marianowo, Ra - Radostowo, Rar - Rarwino, Ser - Seroczyn, Sul - Sulejów, Swie - Świebodzin, Tar - Tarnów, Uh - Uhnin, We - Węgrzce, Wr - Wróćnikowo,

Spośród wszystkich badanych odmian jako wzorzec wybrano odmianę ‘Meloman’, która wykazywała najwyższą odporność na te patogeny grzybowe. Zmienność ocen porażenia poszczególnych odmian przez mączniaka prawdziwego została przedstawiona na rysunku 15 w postaci boxplotów.



Rys. 15. Obserwacje intensywności porażenia odmian przez *Blumeria graminis* gdzie: 1 – Meloman, 2 – Avokado, 3 – Belcanto, 4 – Carmelo, 5 – Kasyno, 6 – Lombardo, 7- Orinoko, 8 – Porto, 9 – Sekret, 10 - Tadeus, 11– Temuco, 12 – Toro, 13 - Trapero

W tabeli 24 umieszczono oszacowania wartości progowych i efektów odmianowych, oraz wartości statystyki testowej z.

Tabela 24. Porażenie roślin pszenżyta ozimego przez *Blumeria graminis*

Opis	Parametr	Oszacowanie (błąd standardowy)	Wartość statystyki testowej z
wartość progowa 1	θ_1	-18,32 (2,01)	-9,09
wartość progowa 2	θ_2	-15,99 (1,46)	-10,98
wartość progowa 3	θ_3	-11,66 (1,04)	-11,26
wartość progowa 4	θ_4	-9,57 (0,91)	-10,48
wartość progowa 5	θ_5	-6,26 (0,77)	-8,14
wartość progowa 6	θ_6	-2,92 (0,68)	-4,28
wartość progowa 7	θ_7	1,08 (0,66)	1,64
Meloman	α_1	0	0
Avokado	α_2	0,16 (0,69)	0,23 r.n.
Belcanto	α_3	-3,58 (0,69)	-5,16***
Carmelo	α_4	-3,60 (0,70)	-5,15***
Kasyno	α_5	-7,61 (0,81)	-9,41***
Lombardo	α_6	-3,29 (0,70)	-4,72***
Orinoko	α_7	-1,04 (0,67)	-1,54 r.n.
Porto	α_8	-2,88 (0,69)	-4,19***
Sekret	α_9	-1,38 (0,68)	-2,05*
Tadeus	α_{10}	-1,06 (0,68)	-1,55 r.n.
Temuco	α_{11}	-2,55 (0,68)	-3,74***
Toro	α_{12}	0,97 (0,69)	1,40 r.n.
Trapero	α_{13}	-2,19 (0,68)	-3,22**

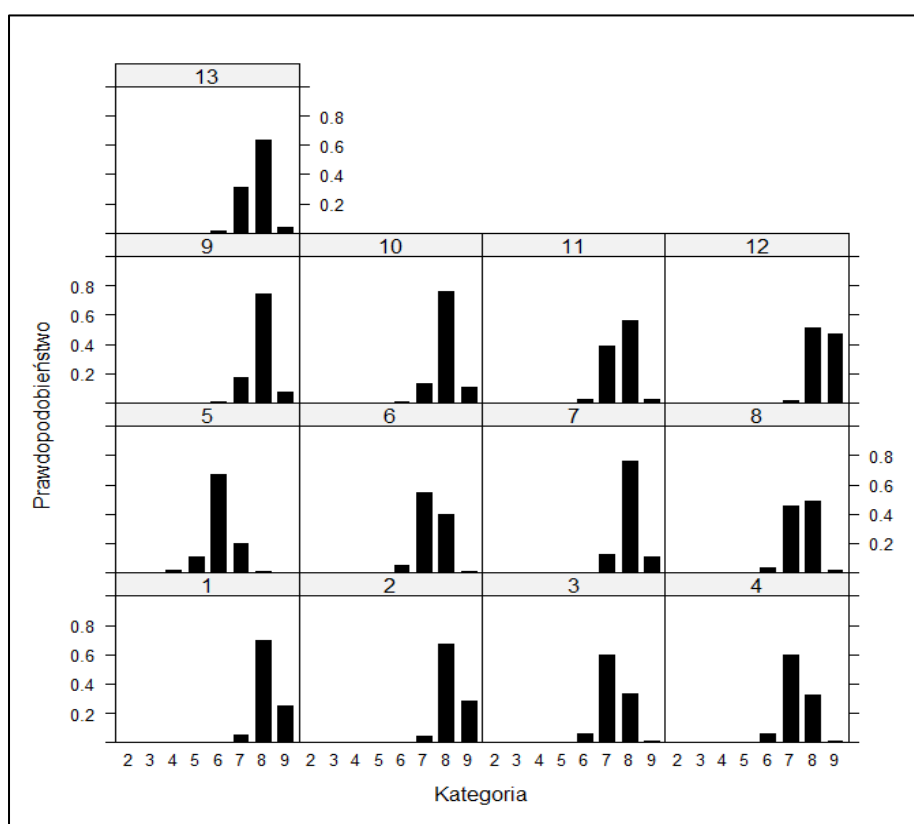
gdzie: '***' 0,001; '**' 0,01; '*' 0,05; '.' 0,1; ' ' 1

r.n. – różnice nieistotne

(s.e.) – błąd standardowy

Odmiany reagowały odmiennie na porażenie przez mączniaka prawdziwego. Pomiędzy odmianą wzorcową, a odmianami ‘Avokado’, ‘Orinoko’, ‘Tadeus’ i ‘Toro’ nie wykazano istotnych różnic, przy czym odmiany ‘Orinoko’ i ‘Tadeus’ były nieznacznie bardziej podatne na mączniaka prawdziwego. Natomiast odmiany ‘Avokado’ i ‘Toro’ przewyższyły odmianę wzorcową pod względem odporności. Z drugiej strony, istotnie wyższe porażenie wystąpiło na liściach odmiany ‘Kasyno’ (tab. 24, rys. 15).

Następnie, na podstawie oszacowanych wartości progowych i efektów odmianowych wyznaczono prawdopodobieństwa otrzymania poszczególnych ocen przez odmiany. Wyniki tych obliczeń zostały przedstawione na rysunku 16.



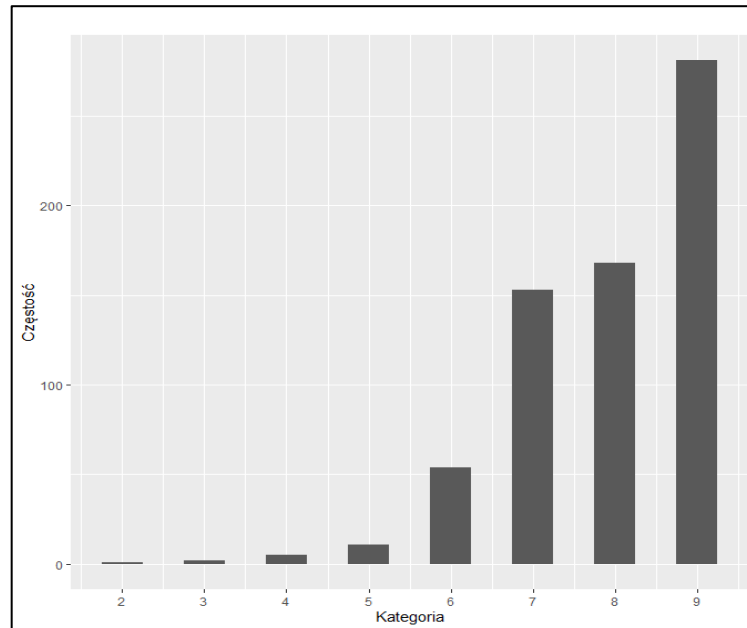
Rys. 16. Prawdopodobieństwo uzyskania oceny porażenia przez *Blumeria graminis* poszczególnych odmian pszenżyta ozimego

gdzie: 1 – Meloman, 2 – Avokado, 3 – Belcanto, 4 – Carmelo, 5 – Kasyno, 6 – Lombardo, 7 – Orinoko, 8 – Porto, 9 – Sekret, 10 – Tadeus, 11 – Temuco, 12 – Toro, 13 – Trapero

W przypadku dziewięciu odmian: ‘Meloman’, ‘Avokado’, ‘Orinoko’, ‘Porto’, ‘Sekret’, ‘Tadeus’, ‘Temuco’, ‘Toro’ i ‘Trapero’, najbardziej prawdopodobną oceną porażenia roślin przez *Blumeria graminis* była ocena 8°. W przypadku odmiany ‘Belcanto’, ‘Carmelo’ i ‘Lombardo’ najbardziej prawdopodobną oceną była ocena 7°, natomiast dla odmiany ‘Kasyno’ ocena 6° (rys. 16.)

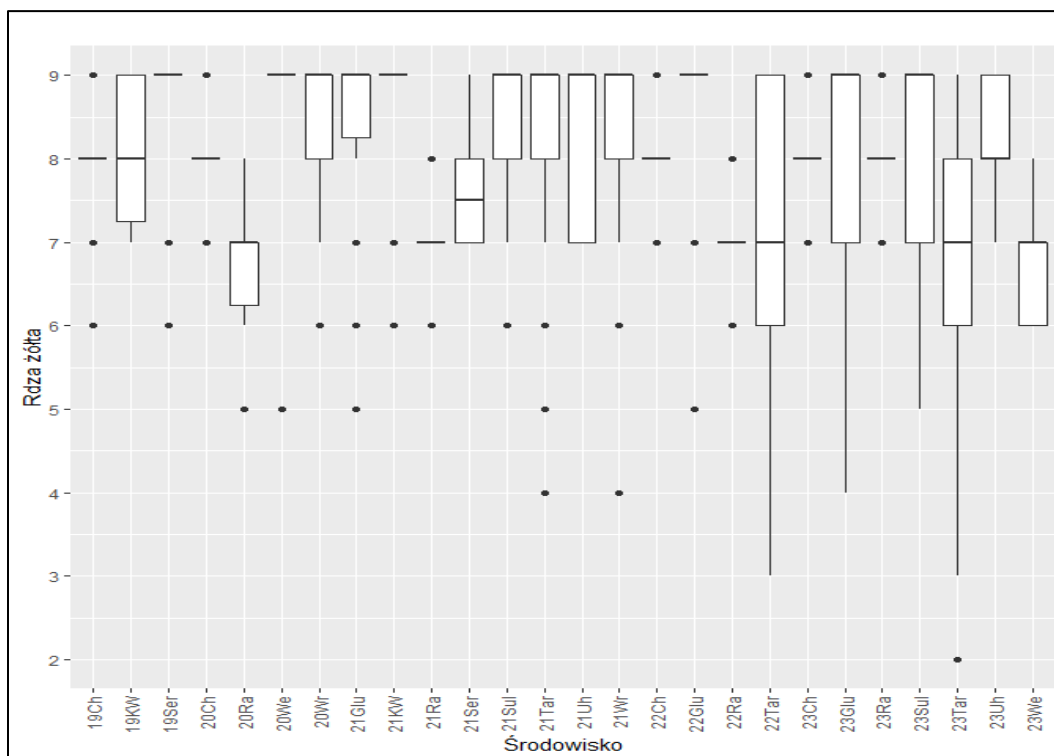
5.4.2. Rdza żółta (*Puccinia striiformis*)

Zasiewy pszenżyta były porażane przez patogeny *Puccinia striiformis* we wszystkich latach prowadzonych badań. Intensywność choroby była szacowana w przedziale od 2° do 9° przy czym najczęściej rośliny otrzymały ocenę 9° czyli bez oznak porażenia bądź ocenę 7° i 8° oznaczające małą intensywność zainfekowania rdzą żółtą (rys. 17).



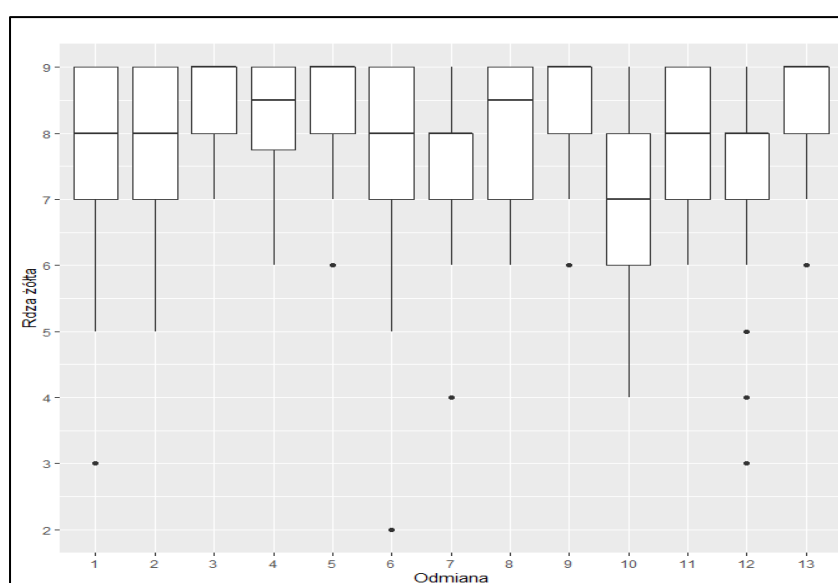
Rys. 17. Stopnie porażenia roślin przez *Puccinia striiformis*

Najsilniejsze porażenie wystąpiło w sezonie badawczym 2020/2021 wyniosło ono 53% oraz w sezonie 2022/2023, gdzie odnotowano objawy zainfekowania w 46% doświadczeń. W wymienionych sezonach wegetacyjnych porażenie powtórzyło się w Głubczycach, Radostowie, Sulejowie, Tarnowie i Uhninie (rys. 18).



Rys. 18. Porażenie roślin pszenżyta ozimego przez *Puccinia striiformis* w środowiskach gdzie: rok występowania wylegania: 19 - 2019, 20 - 2020, 21 - 2021, 22 - 2022, 23 – 2023 lokalizacja występowania wylegania: Ch – Chrzastowo, Glu – Głubczyce, KW – Kościelna Wieś, Ra – Radostowo, Ser – Seroczyn, Sul – Sulejów, Tar – Tarnów, Uh - Uhnin, We – Węgrzce, Wr – Wróćkowo

Zmienność ocen porażenia poszczególnych odmian przez rdzę żółtą została przedstawiona na rysunku 19 w postaci boxplotów. Podobnie jak w przypadku porażenia przez mączniaka prawdziwego jako wzorzec do analizy statystycznej wybrano odmianę ‘Meloman’.



Rys. 19. Obserwacje intensywności porażenia odmian przez *Puccinia Striiformis* gdzie: 1– Meloman, 2 – Avokado, 3 – Belcanto, 4 – Carmelo, 5 – Kasyno, 6 – Lombardo, 7- Orinoko, 8 – Porto, 9 – Sekret, 10 - Tadeus, 11– Temuco, 12 – Toro, 13 - Trapero

W tabeli 25 umieszczono oszacowania wartości progowych i efektów odmianowych, oraz wartość statystyki testowej z.

Tabela 25. Porażenie roślin pszenżyta ozimego przez *Puccinia Striiformis*

Opis	Parametry	Efekt oszacowania (błąd standardowy)	Wartość statystyki testowej z
wartość progowa 1	θ_1	-12,28 (1,95)	-6,29
wartość progowa 2	θ_2	-10,88 (1,60)	-6,78
wartość progowa 3	θ_3	-9,42 (1,39)	-6,78
wartość progowa 4	θ_4	-7,92 (1,24)	-6,37
wartość progowa 5	θ_5	-4,97 (1,04)	-4,77
wartość progowa 6	θ_6	-1,16 (0,91)	-1,27
wartość progowa 7	θ_7	2,20 (0,94)	2,35
Meloman	α_1	0	0
Avokado	α_2	-0,84 (1,03)	-0,81 r.n.
Belcanto	α_3	3,94 (1,19)	3,33***
Carmelo	α_4	2,68 (1,13)	2,38*
Kasyno	α_5	4,45 (1,22)	3,64***
Lombardo	α_6	0,81 (1,05)	0,77 r.n.
Orinoko	α_7	-0,81 (1,02)	-0,76 r.n.
Porto	α_8	2,70 (1,14)	2,37*
Sekret	α_9	4,01 (1,20)	3,42***
Tadeus	α_{10}	-2,35 (1,04)	-2,26*
Temuco	α_{11}	1,36 (1,06)	1,28 r.n.
Toro	α_{12}	-1,02 (1,03)	-0,99 r.n.
Trapero	α_{13}	2,99 (1,12)	2,66**

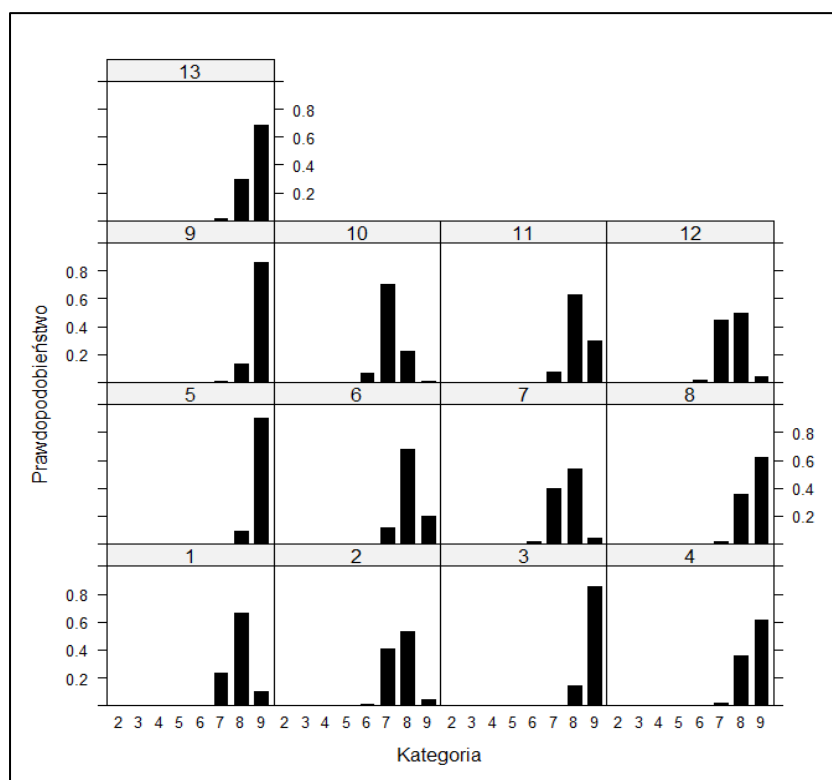
gdzie: '***' 0,001; '**' 0,01; '*' 0,05; '.' 0,1; ' ' 1

r.n. – różnice nieistotne

(s.e.) – błąd standardowy

Pomiędzy odmianami 'Avokado', 'Lombardo', 'Orinoko', 'Temuco' i 'Toro' nie wykazano istotnych różnic przy czym odmiany 'Avokado', 'Orinoko' i 'Toro' były nieznacznie bardziej podatne na rdzę żółtą. Natomiast odmiany 'Lombardo' i 'Temuco' przewyższały odmianę wzorcową pod względem odporności. Z drugiej strony istotnie wyższe objawy porażenia wystąpiły na odmianie 'Tadeus'.

Następnie, na podstawie oszacowanych wartości progowych i efektów odmianowych wyznaczono prawdopodobieństwa otrzymania poszczególnych ocen przez odmiany. Wyniki tych obliczeń zostały przedstawione na rysunku 20.



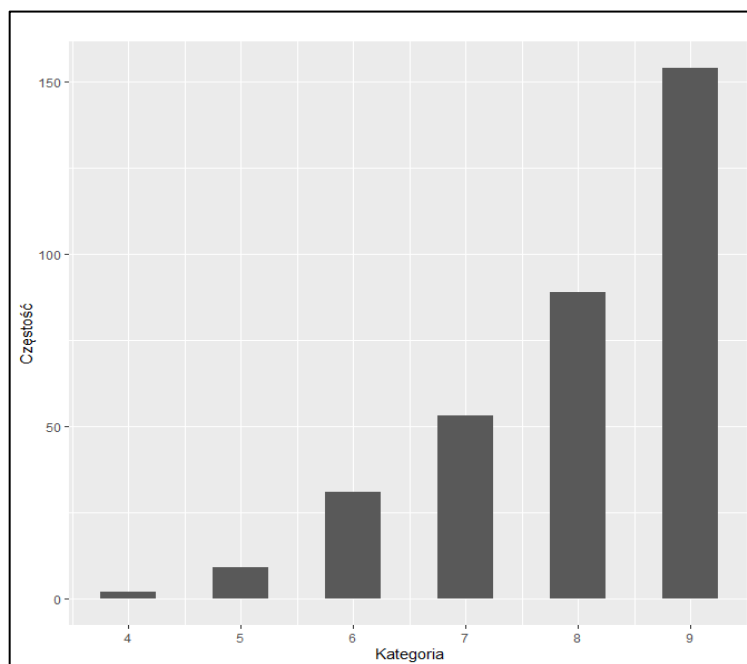
Rys. 20. Prawdopodobieństwo uzyskania oceny porażenia przez *Puccinia Striiformis* poszczególnych odmian pszenżyta ozimego
gdzie: 1 – Meloman, 2 – Avokado, 3 – Belcanto, 4 – Carmelo, 5 – Kasyno, 6 – Lombardo, 7- Orinoko, 8 – Porto, 9 – Sekret, 10 Tadeus, 11– Temuco, 12 – Toro, 13 - Trapero

W przypadku sześciu odmian ‘Belcanto’, ‘Carmelo’, ‘Kasyno’, ‘Porto’, ‘Sekret’, ‘Trapero’ najbardziej prawdopodobną oceną porażenia roślin przez *Puccinia Striiformis* była ocena 9°. Z kolei w przypadku odmian: ‘Meloman’, ‘Lombardo’, ‘Temuco’ i ‘Tadeus’ najbardziej prawdopodobną oceną porażenia była ocena 8°. Natomiast dla odmian ‘Avokado’, ‘Orinoko’, ‘Toro’ ocenę 8° jednak istnieje też duże prawdopodobieństwo uzyskania oceny 7° (rys. 20).

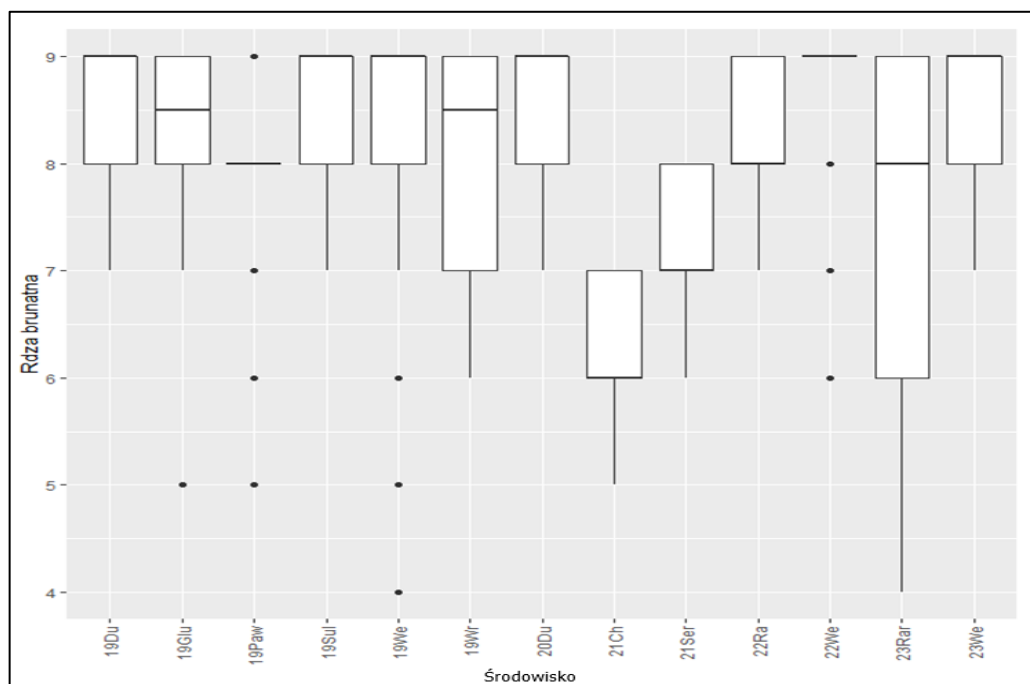
5.4.3. Rdza brunatna (*Puccinia recondita*)

W przeciągu wszystkich lat badań poletka doświadczalne z pszenżystem ozimym były w mniejszym bądź większym stopniu porażane przez *Puccinia recondita*. Intensywność objawów była oceniana w zakresie od 4° do 9° (rys. 21). Najliczniejsze objawy infekcji odnotowano w sezonie 2018/2019 wystąpiły one aż w 6 punktach doświadczalnych (Dukla, Głubczyce, Pawłowice, Węgrzce i Wróćkowo). W sezonie wegetacyjnym 2019/2020 obserwowano objawy rdzy brunatnej tylko w jednym punkcie doświadczalnym natomiast w kolejnych latach objawy obserwowano w dwóch lokalizacjach dla każdego sezonu przy czym w ostatnich dwóch sezonach badawczych w tych samych miejscowościach (Radostowo i Węgrzce). Na rysunku 21 za pomocą

boxplotów przedstawiono graficznie intensywność porażenia odmian przez *Puccinia recondita* w latach badań.



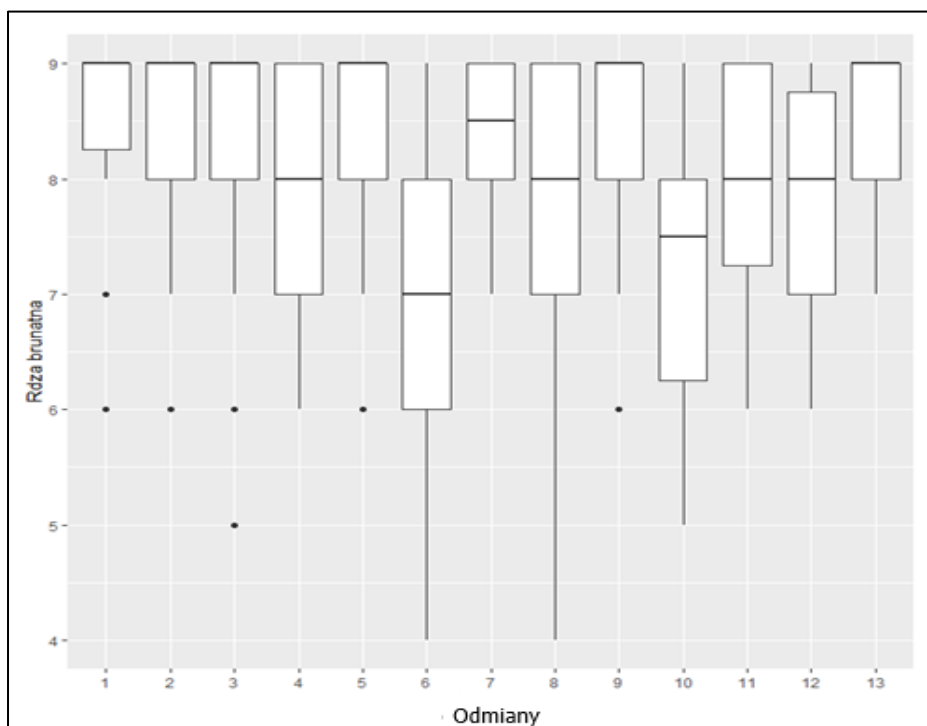
Rys. 21. Stopnie porażenia roślin przez *Puccinia recondita*



Rys. 22. Porażenie roślin pszenżyta ozimego przez *Puccinia recondita* w środowiskach gdzie: rok występowania wylegania: 19 - 2019, 20 - 2020, 21 - 2021, 22 - 2022, 23 - 2023 lokalizacja występowania wylegania: Du - Dukła, Glu - Głubczyce, Paw - Pawłowice, Ra - Radostowo, Rar - Rarwino, Ser - Seroczyn, Sul - Sulejów, We - Węgrzce, Wr - Wróclikowo

Dla określenia odporności odmian w analizie statystycznej posłużono się odmianą 'Sekret' jako najbardziej odporną na porażenie przez patogeny rdzy brunatnej.

Zmienność ocen porażenia poszczególnych odmian przez rdzę brunatną została przedstawiona na rysunku 23 w postaci boxplotów.



Rys. 23. Obserwacje intensywności porażenia odmian przez *Puccinia recondita* gdzie: 1 – Sekret, 2 – Avokado, 3 – Belcanto, 4 – Carmelo, 5 – Kasyno, 6 – Lombardo, 7- Meloman, 8- Orinoko, 9 – Porto, 10 - Tadeus, 11– Temuco, 12 – Toro, 13 - Trapero

W tabeli 26 umieszczono oszacowania wartości progowych i efektów odmianowych, oraz wartości statystyki testowej z.

Tabela 26. Porażenie roślin pszenżyta ozimego przez *Puccinia recondita*

Opis	Parametr	Oszacowanie (błąd standardowy)	Wartość statystyki testowej z
wartość progowa 1	θ_1	-22,75 (3,90)	-5,83
wartość progowa 2	θ_2	-18,50 (3,36)	-5,52
wartość progowa 3	θ_3	-12,67 (2,62)	-4,83
wartość progowa 4	θ_4	-8,12 (2,23)	-3,64
wartość progowa 5	θ_5	-3,51 (2,00)	-1,76
Sekret	α_1	0	0
Avokado	α_2	-3,60 (2,22)	-1,62 r.n.
Belcanto	α_3	-2,31 (2,20)	-1,05 r.n.
Carmelo	α_4	-5,56 (2,24)	-2,49*
Kasyno	α_5	-0,78 (2,14)	-0,37 r.n.
Lombardo	α_6	-10,36 (2,53)	-4,10***
Meloman	α_7	-2,47 (2,14)	-1,16 r.n.
Orinoko	α_8	-7,00 (2,29)	-3,05**
Porto	α_9	-0,37 (2,16)	-0,17 r.n.
Tadeus	α_{10}	-9,31 (2,43)	-3,83***
Temuco	α_{11}	-5,90 (2,25)	-2,63**
Toro	α_{12}	-6,27 (2,24)	-2,80**
Trapero	α_{13}	-0,63 (2,10)	-0,30 r.n.

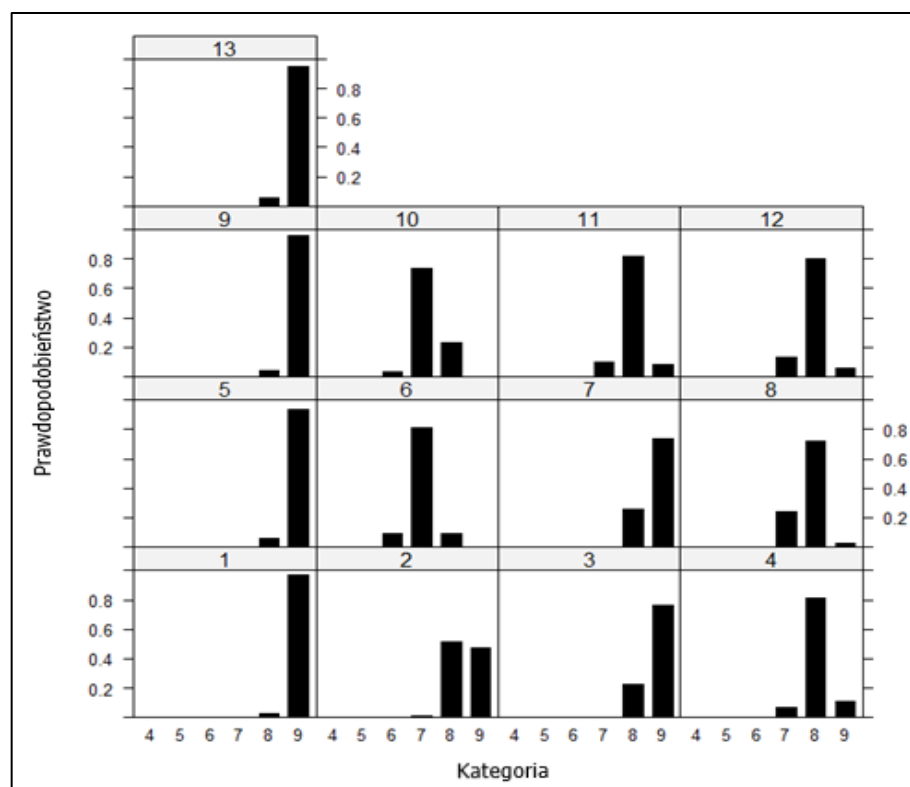
gdzie: '***' 0,001; '**' 0,01; '*' 0,05; '.' 0,1; ' ' 1

r.n. – różnice nieistotne

(s.e.) – błąd standardowy

Pomiędzy odmianą wzorcową, a odmianami ‘Avokado’, ‘Belcanto’, ‘Kasyno’, ‘Meloman’, ‘Porto’, ‘Trapero’ nie wykazano istotnych różnic, przy czym odmiany te były nieznacznie bardziej podatne na rdzę brunatną. Z drugiej strony, istotnie wyższe porażenie wystąpiło na roślinach odmiany ‘Lombardo’ i ‘Tadeus’(tab. 26).

Następnie, na podstawie oszacowanych wartości progowych i efektów odmianowych wyznaczono prawdopodobieństwa otrzymania poszczególnych ocen przez odmiany. Wyniki tych obliczeń zostały przedstawione na rysunku 24.

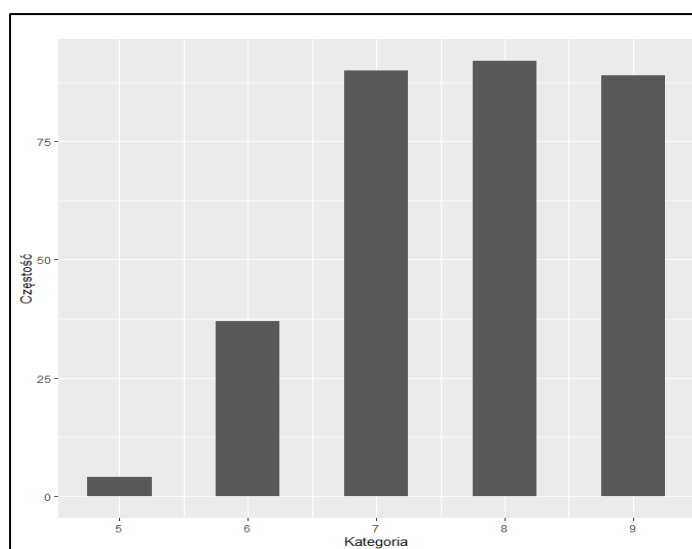


Rys. 24. Prawdopodobieństwo uzyskania oceny porażenia przez *Puccinia recondita* poszczególnych odmian pszenżyta ozimego gdzie: 1– Sekret, 2 – Avokado, 3 – Belcanto, 4 – Carmelo, 5 – Kasyno, 6 – Lombardo, 7- Meloman, 8- Orinoko, 9 – Porto, 10 Tadeus, 11– Temuco, 12 – Toro, 13 - Trapero

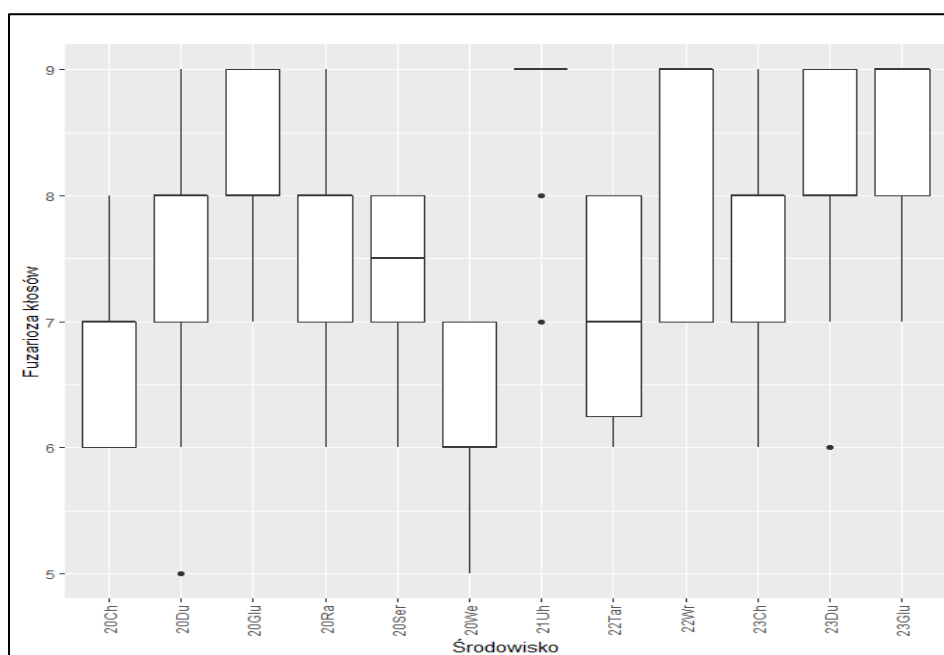
W przypadku pięciu odmian: ‘Sekret’, ‘Belcanto’, ‘Meloman’, ‘Kasyno’ i ‘Porto’, najbardziej prawdopodobną oceną porażenia roślin przez *Puccinia recondita* była ocena 9°. W przypadku odmiany ‘Avokado’, ‘Carmelo’, ‘Orinoko’, ‘Toro’, ‘Temuco’ i ‘Trapero’ najbardziej prawdopodobną oceną porażenia była 8°, natomiast dla odmian ‘Lombardo’ i ‘Tadeus’ ocena 7° (rys. 24.)

5.4.4. Fuzarioza kłosów (*Fusarium* spp.)

Porażenie pszenżyta ozimego przez grzyby z rodzaju *Fusarium* spp. podczas całego okresu prowadzonych badań nie wystąpiło jedynie w pierwszym sezonie wegetacyjnym (2018/2019). Zainfekowanie roślin w pozostałych latach badań nie było silne i mieściło się z zakresie ocen od 5° do 9° (rys. 25). Najwyższą presję grzybów z rodzaju *Fusarium* spp. obserwowano w sezonie 2019/2020. Wystąpiła ona w sześciu punktach doświadczalnych, w kolejnych latach badań: 2020/2021 – w jednym, 2021/2022 – w dwóch, 2022/2023 – w trzech (rys. 26).

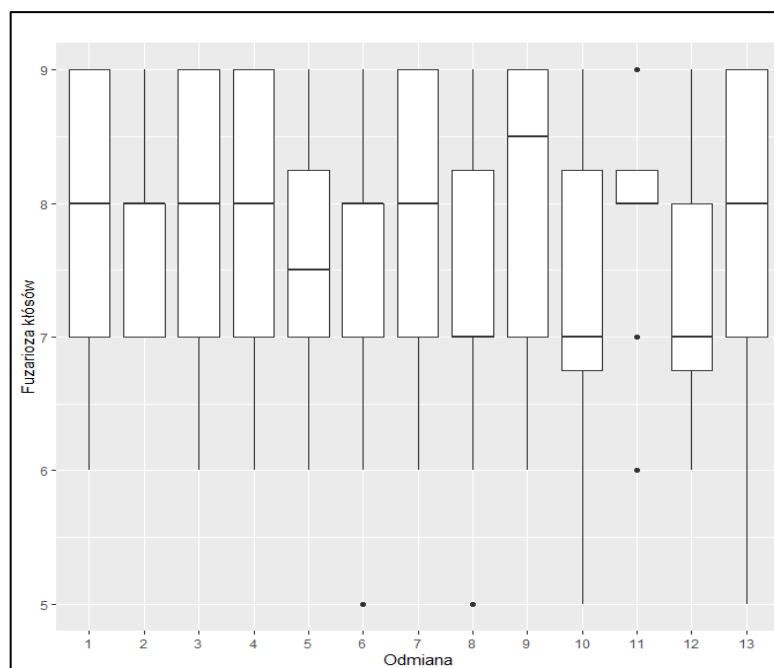


Rys. 25. Stopnie porażenia roślin przez *Fusarium* spp.



Rys. 26. Porażenie roślin pszenżyta ozimego przez *Fusarium* spp. w środowiskach, gdzie: rok występowania wylegania: 19 - 2019, 20 - 2020, 21 - 2021, 22 - 2022, 23 - 2023 lokalizacja występowania wylegania: Ch - Chrząstowo, Du - Dukła, Glu - Głubczyce, Ra - Radostowo, Ser - Seroczyn, Tar - Tarnów, Uh - Uhnin, We - Węgrzce, Wr - Wrócikowo

Jako odmianę wzorcową do analizy statystycznej wybrano odmianę ‘Lombardo’. Zmienność ocen porażenia poszczególnych odmian przez patogeny *Fusarium* spp. została przedstawiona na rysunku 27 w postaci boxplotów.



Rys. 27. Obserwacje intensywności porażenia odmian przez *Fusarium* spp. gdzie: 1– Lombardo, 2 – Avokado, 3 – Belcanto, 4 – Carmelo, 5 – Kasyno, 6 – Meloman 7- Orinoko, 8 – Porto, 9 - Sekret, 10 – Tadeus, 11– Temuco, 12 – Toro, 13 – Trapero

W tabeli 27 umieszczono oszacowania wartości progowych i efektów odmianowych, oraz wartości statystyki testowej z.

Tabela 27. Porażenie roślin pszenżyta ozimego przez *Fusarium* spp.

Opis	Parametr	Oszacowanie (błąd standardowy)	Wartość statystyki testowej z
wartość progowa 1	θ_1	-9,02 (1,43)	-6,29
wartość progowa 2	θ_2	-5,05 (1,19)	-4,24
wartość progowa 3	θ_3	-1,33 (1,08)	-1,23
wartość progowa 4	θ_4	1,73 (1,08)	1,60
Lombardo	α_1	0	0
Avokado	α_2	-0,28 (1,08)	-0,26
Belcanto	α_3	-0,28 (1,10)	-0,26
Carmelo	α_4	-0,83 (1,09)	-0,76
Kasyno	α_5	-1,21 (1,08)	-1,12
Meloman	α_6	-0,78 (1,08)	-0,72
Orinoko	α_7	0,62 (1,10)	0,56
Porto	α_8	-1,45 (1,10)	-1,32
Sekret	α_9	1,18 (1,13)	1,04
Tadeus	α_{10}	-1,82 (1,10)	-1,65.
Temuco	α_{11}	0,47 (1,08)	0,44
Toro	α_{12}	-2,18 (1,09)	-2,00*
Trapero	α_{13}	-0,01 (1,10)	-0,01

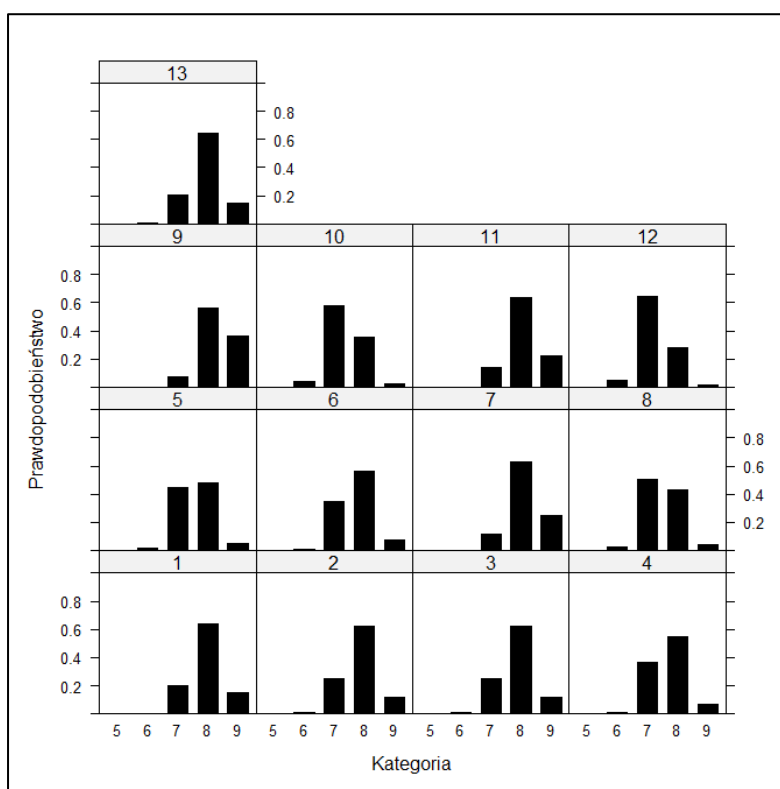
gdzie: ‘****’ 0,001; ‘***’ 0,01; ‘**’ 0,05; ‘.’ 0,1; ‘ ‘ 1

r.n. – różnice nieistotne

(s.e.) – błąd standardowy

Istotne różnice wykazano jedynie pomiędzy odmianami ‘Toro’ i ‘Tadeus’ (tab.27). Pozostałe odmiany wykazywały odporność na porażenie na poziomie odmiany wzorcowej (nie różniły się od siebie istotnie statystycznie). Przy czym odmiana ‘Toro’ wykazała się najniższą odpornością na porażenie przez patogeny *Fusarium* spp. ze wszystkich w porównaniu z odmianą wzorcową

Następnie, na podstawie oszacowanych wartości progowych i efektów odmianowych wyznaczono prawdopodobieństwa otrzymania poszczególnych ocen przez odmiany. Wyniki tych obliczeń zostały przedstawione na rysunku 28.



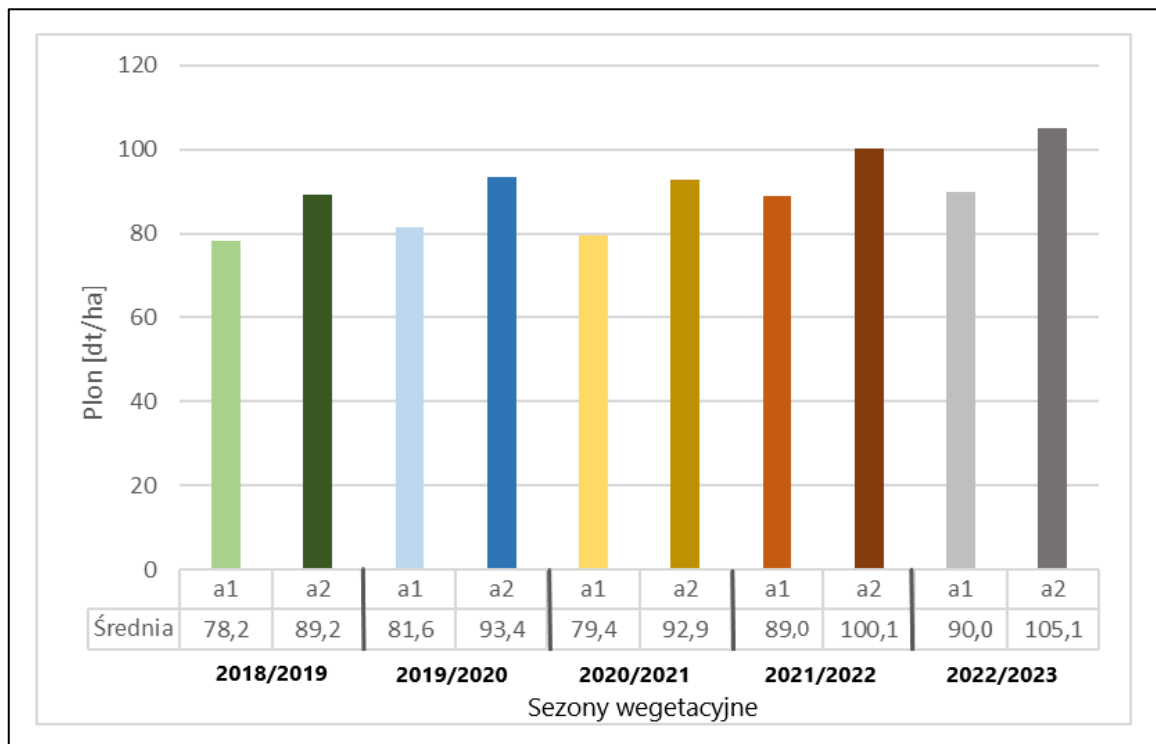
Rys. 28. Prawdopodobieństwo uzyskania oceny porażenia przez *Fusarium* spp. poszczególnych odmian pszenżyta ozimego

gdzie: 1– Lombardo, 2 – Avokado, 3 – Belcanto, 4 – Carmelo, 5 – Kasyno, 6 – Meloman 7- Orinoko, 8 – Porto, 9 - Sekret, 10 – Tadeus, 11– Temuco, 12 – Toro, 13 - Trapero

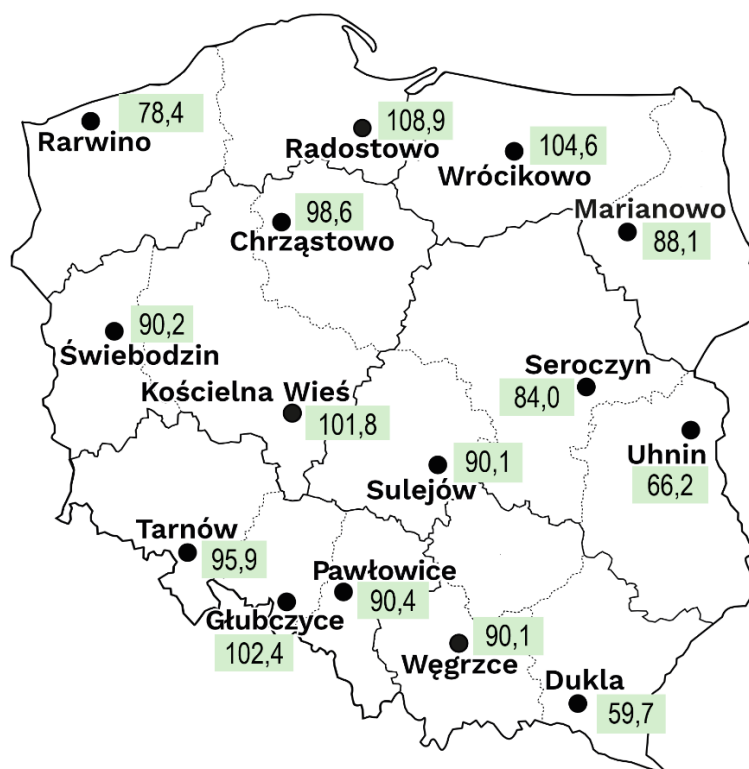
W przypadku sześciu odmian: ‘Lombardo’, ‘Avokado’, ‘Belcanto’, ‘Carmelo’, ‘Meloman’, ‘Orinoko’, najbardziej prawdopodobną oceną porażenia roślin przez *Fusarium* spp. była ocena 8°. Dla odmiany Kasyno było duże prawdopodobieństwo oceny 8° ale też 7°. W przypadku odmiany ‘Porto’, ‘Tadeus’, ‘Toro’ najbardziej prawdopodobną oceną porażenia była ocena 7° (rys. 28).

5.5. Plon

W pięcioletnim okresie badań, średni plon ziarna pszenżyta ozimego kształtował się na poziomie a_1 83,6 dt/ha, natomiast na poziomie a_2 96,1 dt/ha (rys. 29). Zmienne warunki pogodowe wpłynęły na zróżnicowanie plonowania pszenżyta. Najwyższy plon ziarna otrzymano w sezonie badawczym 2022/2023, w którym wystąpił układ warunków pogodowych zaklasyfikowany wg. wskaźnika Sielianinowa jako dość suchy. Najniżej pszenżyto ozime plonowało w pierwszym sezonie badań, który również został określony jako dość suchy. Na rysunku 30 przedstawiono średnie wielkości plonu ze wszystkich lat badań i poziomów agrotechnicznych. Jak możemy zauważyć, średnie najniższe plony uzyskano w Dukli (59,7 dt/ha), natomiast najwyższe plonowanie odnotowano w Radostowie (108,9 dt/ha).



Rys. 29. Plon ziarna pszenżyta ozimego w poszczególnych sezonach wegetacyjnych



Rys. 30. Średni plon pszenżyta ozimego uzyskany w okresie badań [dt/ha].

Analizę stabilności plonu ziarna przeprowadzono przy pomocy modelu liniowego mieszanego (1). Wielkość szacowanych komponentów wariancyjnych związanych z reakcją odmian pszenżyta na warunki środowiska przedstawiono w tabeli 28. Można zauważyć, dla wszystkich efektów losowych komponenty wariancyjne na poziomie intensywnym były większe niż na poziomie podstawowym. Dalej, dla obydwu poziomów agrotechniki, największe wartości komponentów wariancyjnych otrzymano dla środowisk. Wartości tych komponentów wynosiły odpowiednio 264,51 i 331,99 (tab. 28). Oznacza to, że dla obydwu poziomów agrotechniki środowiska miały największy wpływ na plon ziarna. Ponadto można zauważyć, że na poziomie intensywnym komponent wariancyjny dla powtórzeń zagnieżdżonych w środowiskach był około dwa razy większy od komponentu wariancyjny dla bloków zagnieżdżonych w środowiskach i powtórzeniach, podczas gdy na poziomie przeciętnym te dwa komponenty były w przybliżeniu równe.

Tabela 28. Szacowany komponent wariancyjnych

Opis	Komponent wariancyjny	Poziom nawożenia	
		a ₁	a ₂
środowisko	σ_u^2	264,62 (44,48)	331,99 (56,11)
środowisko × powtórzenie	σ_w^2	4,26 (1,07)	10,69 (2,24)
środowisko × powtórzenie × blok	σ_z^2	4,42 (0,69)	5,83 (0,92)
błąd losowy	σ_e^2	8,48 (0,47)	11,75 (0,65)

(s.e) – błąd standardowy

Na obu poziomach agrotechniki średnie odmianowe różniły w sposób istotny ($P < 0,001$). Na poziomie a_1 , statystyka testu Walda do testowania istotności efektów odmianowych była równa 83,96. Natomiast, przybliżona wartość statystyki F wyniosła 6,83 (stopnie swobody licznika (n.d.f.) = 12, stopnie swobody mianownika (d.d.f.) = 316,7). Dla plonów na poziomie a_2 statystyka testu Walda wyniosła 140,81, a przybliżona wartość statystyki F wyniosła 11,46 (n.d.f. = 12, d.d.f. = 316,8).

W tabeli 29 zamieszczono wyniki średniego plonu w dt/ha, wyniki porównań parami, wariancji stabilności Shukli oraz wartości indeksu SFSI.

Tabela 29. Plon ziarna odmian pszenżyta ozimego z uwzględnieniem wskaźników stabilności

Odmiana	Średni plon (dt/ha)		Wariancja stabilności Shukli		Suma miar Kanga		SFSI	
	a_1	a_2	a_1	a_2	a_1	a_2	a_1	a_2
Avokado	82,62 ^{abc} [10]	94,95 ^{bc} [8]	4,20 (0,89) [9]	1,96 (0,48) [3]	19	11	55,65	65,71
Belcanto	84,72 ^{abc} [5]	96,35 ^{bc} [5]	3,18 (0,72) [2]	1,72 (0,44) [1]	7	6	57,80	67,12
Carmelo	81,70 ^{bc} [12]	93,72 ^c [13]	4,23 (0,90) [10]	3,48 (0,75) [11]	22	24	54,73	64,41
Kasyno	83,42 ^{abc} [6]	95,99 ^{bc} [7]	4,93 (1,02) [11]	4,17 (0,86) [12]	17	19	56,42	66,65
Lombardo	86,84^a[1]	101,65^a[1]	3,52 (0,78) [3]	2,38 (0,55) [5]	4	6	59,91	72,39
Meloman	85,14 ^{abc} [4]	98,37 ^{abc} [4]	6,32 (1,26) [12]	3,19 (0,70) [10]	16	14	58,07	69,08
Orinoko	80,84 ^c [13]	94,64 ^{bc} [9]	3,01 (0,69) [1]	4,32 (0,89) [13]	14	22	53,93	65,29
Porto	82,68 ^{abc} [9]	94,42 ^c [10]	3,87 (0,84) [5]	2,73 (0,62) [6]	14	16	55,73	65,15
Sekret	82,96 ^{abc} [7]	94,05 ^c [12]	3,80 (0,83) [4]	2,20 (0,53) [4]	11	16	56,01	64,80
Tadeus	86,18 ^{ab} [2]	99,11 ^{ab} [2]	4,15 (0,88) [8]	2,85 (0,64) [7]	10	9	59,21	69,83
Temuco	85,63 ^{ab} [3]	98,47 ^{abc} [3]	4,15 (0,88) [7]	3,13 (0,69) [8]	10	10	58,66	69,18
Toro	82,88 ^{abc} [8]	96,22 ^{bc} [6]	7,26 (1,42) [13]	3,16 (0,69) [9]	21	15	55,76	66,93
Trapero	81,98 ^{bc} [11]	94,17 ^c [11]	3,94 (0,85) [6]	1,85 (0,46) [2]	17	13	55,03	64,94

a_1 – wariant podstawowy, a_2 wariant rozszerzony

Błąd standardowy: poziom a_1 = średni 1,05; maksymalny 1,29; minimalny 0,91

Błąd standardowy: poziom a_2 = średni 1,04; maksymalny 1,23; minimalny 0,86

() – błąd standardowy Shukli

abc – test Bonferroni – porównania między średnimi odmian

[] – rangi

Średnie plony odmianowe kształtują się w zakresie od 80,84 dt/ha do 86,84 dt/ha na poziomie a_1 i od 93,71 dt/ha do 101,65 dt/ha na poziomie a_2 . Można zauważyć, że najlepiej plonującą odmianą na obu poziomach były, odpowiednio, odmiany ‘Lombardo’ i ‘Tadeus’. Z drugiej strony, na przeciętnym poziomie najgorszą odmianą była odmiana ‘Orinoko’, a na poziomie intensywnym odmiana ‘Carmelo’. Porównanie odmian parami dokonano za pomocą testu Benferroni i przedstawiono w tabeli za pomocą liter (abc). Na poziomie przeciętnym agrotechniki wykazano istotne różnice w plonowaniu

pomiędzy odmianami 'Lombardo' a 'Orinoko', pozostałe odmiany nie różniły się istotnie od siebie. Na poziomie wysokim agrotechniki odmiany 'Porto', 'Trapero', 'Sekret', 'Carmelo' utworzyły grupę roślin najniżej plonujących.

W tabeli 28 umieszczono również oszacowane wariancje stabilności Shukli. Można zaobserwować, że najniższą wariancję stabilności Shukli osiągnęła odmiana 'Orinoko' na poziomie a_1 i 'Belcanto' na poziomie a_2 . Oznacza to, że te odmiany były najbardziej stabilne w plonowaniu wśród wszystkich badanych odmian, odpowiednio, na poziomie a_1 i a_2 . Drugą najlepszą odmianą pod względem stabilności była na poziomie a_1 Belcanto a na poziomie a_2 'Trapero'. Najwyższe oszacowania wariancji stabilności Shukli otrzymano dla odmiany 'Toro' na poziomie a_1 i 'Orinoko' na poziomie a_2 . Oznacza, że te dwie były najmniej stabilne spośród testowanych odmian.

Tabela 29 zawiera również sumy rang Kanga, gdzie jako kryterium wyboru uwzględniono zarówno średni plon jak i wariancję stabilności Shukli. Najmniejszą sumę rang na obu poziomach agrotechniki uzyskała odmiana 'Lombardo', później 'Belcanto'. Oznacza to, że te dwie odmiany są jednocześnie najbardziej plenne i najbardziej stabilne ze wszystkich badanych odmian. Na obu poziomach agrotechniki najwyższą sumę rang otrzymano dla odmiany 'Carmelo'. Oznacza to, że ta odmiana nie powinna być rekomendowana do uprawy.

Aby ocenić wpływ warunków meteorologicznych na plon ziarna wykorzystano średnie miesięczne temperatury i miesięczne sumy opadów od marca do lipca.

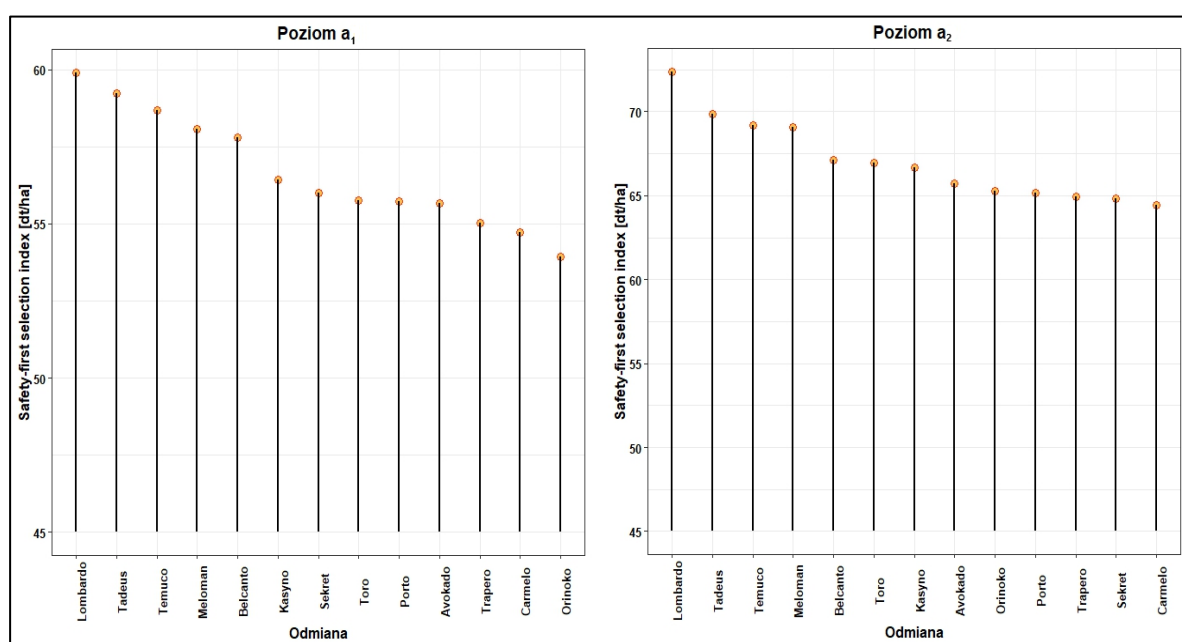
Wykazano, że dla obydwu poziomów agrotechniki temperatura w czerwcu istotnie negatywnie wpływała na wysokość plonów. Świadczy o tym, że ze wzrostem temperatury w czerwcu zmniejszał się potencjał plonotwórczy. Dalej wykazano, że na poziomie a_1 odnotowano istotny ujemny wpływ wysokich temperatur w kwietniu i wysokich opadów w maju na wielkość plonu ziarna pszenżyta ozimego. Ponadto na poziomie a_1 , istotna była interakcja odmian z całkowitymi opadami w maju, tzn., że dla tego czynnika środowiskowego odmiany reagowały w różny sposób. Natomiast na poziomie a_2 , istotna były interakcja odmian ze średnimi temperaturami w kwietniu i interakcja odmian z całkowitymi opadami w kwietniu (tab. 30). Ujemny wpływ opadów wiosną może świadczyć o dostatecznej ilości wody z opadów pozimowych. Pozostałe interakcje odmian z czynnikami środowiskowymi nie były istotne.

Tabela 30. Wpływ warunków atmosferycznych na plonowanie pszenżyta ozimego

Opis	a1					a2				
	Statystyka Walda	ndf	ddf	Statystyka F	Poziom istotności	Statystyka Walda	ndf	ddf	Statystyka F	Poziom istotności
odmiana	88,02	12	7,14	272,3	<0,001	144,27	12,00	11,70	272,50	<0,001
t III	1,10	1	1,10	64,0	0,299	0,71	1,00	0,71	63,90	0,402
t IV	4,70	1	4,70	64,0	0,034	3,00	1,00	3,00	64,00	0,088
t V	0,74	1	0,74	64,0	0,394	0,69	1,00	0,69	64,00	0,410
t VI	5,04	1	5,04	64,0	0,028	5,45	1,00	5,45	64,00	0,023
t VII	1,49	1	1,49	64,0	0,227	0,09	1,00	0,09	64,00	0,766
o III	1,66	1	1,66	64,0	0,202	1,03	1,00	1,03	64,00	0,313
o IV	1,18	1	1,18	64,0	0,281	0,36	1,00	0,36	64,00	0,550
o V	4,86	1	4,86	64,0	0,031	1,28	1,00	1,28	64,00	0,262
o VI	1,27	1	1,27	64,0	0,263	0,90	1,00	0,90	64,00	0,346
o VII	0,85	1	0,85	64,0	0,361	0,97	1,00	0,97	64,00	0,329
odmiana.t III	11,32	12	0,92	273,3	0,529	12,78	12,00	1,04	273,90	0,416
odmiana.t IV	19,27	12	1,56	272,8	0,102	33,52	12,00	2,72	273,10	0,002
odmiana.t V	11,27	12	0,91	271,7	0,534	17,60	12,00	1,43	271,60	0,153
odmiana.t VI	9,11	12	0,74	272,4	0,713	13,31	12,00	1,08	272,80	0,377
odmiana.t VII	13,81	12	1,12	272,9	0,344	17,56	12,00	1,42	273,40	0,154
odmiana.o III	10,91	12	0,88	272,5	0,563	15,52	12,00	1,26	272,90	0,243
odmiana.o IV	13,65	12	1,11	272,6	0,354	24,04	12,00	1,95	273,10	0,029
odmiana.o V	25,38	12	2,06	271,3	0,02	14,81	12,00	1,20	271,00	0,282
odmiana.o VI	6,48	12	0,53	271,9	0,898	10,69	12,00	0,87	272,00	0,581
odmiana.o VII	16,67	12	1,35	271,8	0,189	11,35	12,00	0,92	271,90	0,527

gdzie: t – temperatura, o - opad, III-VII – miesiące

Na koniec dla cechy głównej jaką jest plon wykonano analizę ryzyka. Na podstawie średnich plonów (tab. 29) i komponentów wariancyjnych (tab. 28, 29), wyliczono wartość indeksu selekcyjnego safety-first (SFSI). Na obu poziomach agrotechniki, najwyższe wartości indeksu otrzymano dla odmiana ‘Lombardo’ (rys. 31), Oznacza to, że ryzyko otrzymania dla tej odmiany słabych plonów było najmniejsze. Z drugiej strony, najniższe wartości indeksu SFSI uzyskano dla odmian na poziomie a_1 ‘Orinoko’ a na poziomie a_2 ‘Carmelo’. Oznacza to, że wybór tych odmian przez rolnika jest ryzykowny.

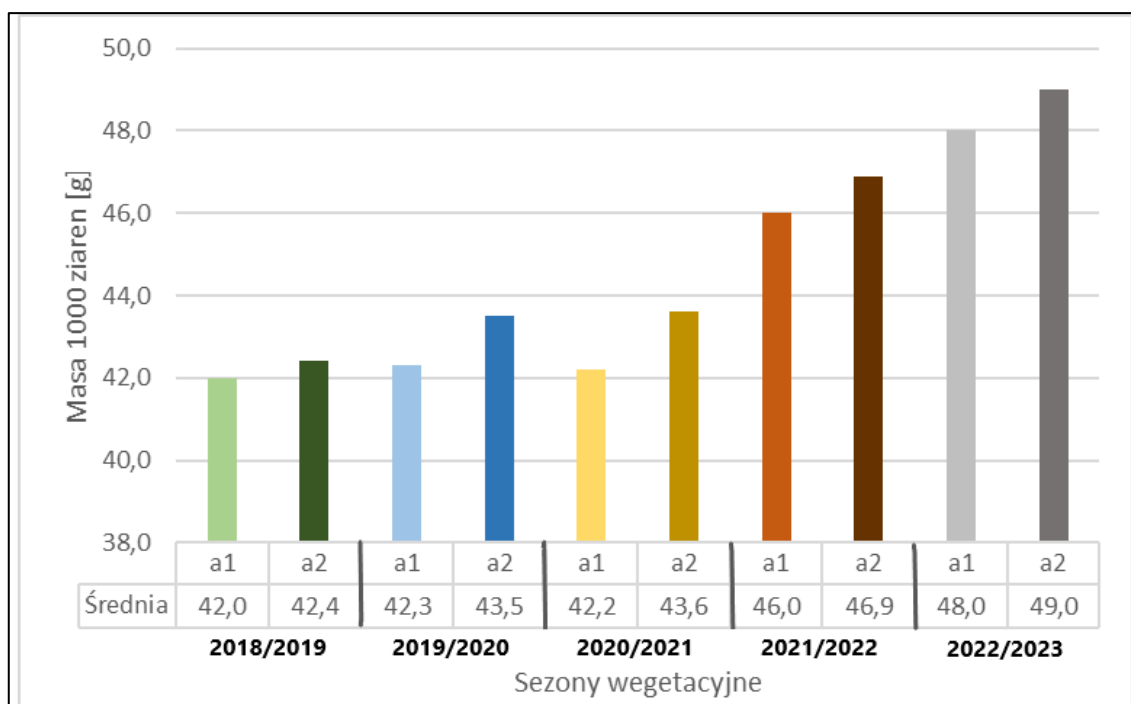


Rys. 31. Analiza ryzyka plonowania pszenżyta ozimego

5.6. Masa 1000 ziaren

Wartość masy 1000 ziaren (MTZ) jest cechą charakterystyczną dla danego gatunku rośliny. Cecha ta jest uwarunkowana genetycznie i dziedziczona z pokolenia na pokolenie. Wskazuje ona zróżnicowanie pomiędzy roślinami różnych odmian. Jednak jej wartość zależy również od warunków jakie panują podczas okresu wegetacyjnego i może ulegać zmianie pod wpływem czynników środowiskowych (opady, temperatura), organizmów chorobotwórczych czy sposobu uprawy.

Najwyższą masę tysiąca ziaren zaobserwowano na obu poziomach agrotechnicznych w sezonie wegetacyjnym 2022/2023 (rys. 32), który został skategoryzowany jako dość suchy a suma opadów oraz temperatura wynosiła znacznie powyżej przeciętnej.



Rys. 32. Wartość masy 1000 ziaren w poszczególnych sezonach wegetacyjnych

Wyniki analizy statystycznej wykazały istotny wpływ środowisk (lat i miejscowości) na masę 1000 ziaren odmian. Komponent wariacyjny dla środowisk na poziomie a₁ wyniósł 27,25 (błąd standardowy (s.e.) = 4,57,) natomiast na poziomie a₂ był wyższy i wyniósł 28,64 (s.e. 28,83) (tab. 31).

Tabela 31. Szacowany komponent wariacyjny dla masy tysiąca ziaren (MTZ)

Opis	Komponent wariacyjny	Poziom nawożenia	
		a ₁	a ₂
środowisko	σ_u^2	27,25 (4,57)	28,64 (4,83)
błąd losowy	σ_w^2	6,67 (0,32)	6,92 (0,33)

(s.e.) – błąd standardowy

Analizując cały okres badań najwyższą masę tysiąca ziaren osiągnęła odmiana ‘Orinoko’ natomiast najniższą odmiana ‘Temuco’ niezależnie od poziomu agrotechniki (tab. 32). Można zauważyć, że odmiany na poziomie a₂ osiągały wyższą masę tysiąca ziaren średnio od 1,1-3,1% w zależności od odmiany.

Do oceny stabilności tej cechy wykorzystano miarę nadrzędności (5). Najniższą wartość otrzymała odmiana ‘Orinoko’, co oznacza, że badana cecha jest najbardziej stabilna, najwyższą wartość otrzymano dla odmiany ‘Temuco’ niezależnie od poziomu agrotechniki.

W celu wytypowania najlepszej odmiany przypisano rangi do masy tysiąca ziaren i miary nadrzędności (im niższa suma rang tym lepsza odmiana). Najlepszą

odmianą okazała się ‘Orinoko’ która miała najwyższą masę tysiąca ziaren i była najbardziej stabilna.

Tabela 32. Masa tysiąca ziaren pszenżyta ozimego wraz z wskaźnikami stabilności

Odmiana	Masa tysiąca ziaren (g)		Miara nadrzędności		Suma rang	
	a ₁	a ₂	a ₁	a ₂	a ₁	a ₂
Avokado	44,98 ^d [4]	46,14 ^c [4]	27,71 [4]	27,74 [4]	8	8
Belcanto	43,59 ^{de} [7]	44,39 ^d [7]	38,80 [7]	40,32 [7]	14	14
Carmelo	49,03 ^b [2]	50,39 ^a [2]	7,20 [2]	5,63 [2]	4	4
Kasyno	46,83 ^c [3]	47,74 ^b [3]	17,51 [3]	18,61 [3]	6	6
Lombardo	44,91 ^d [6]	46,03 ^c [5]	29,41 [6]	28,84 [5]	12	10
Meloman	42,54 ^{ef} [9]	43,12 ^{de} [9]	50,02 [9]	54,58 [9]	18	18
Orinoko	50,92^a [1]	51,79^a [1]	1,95 [1]	2,49 [1]	2	2
Porto	42,90 ^e [8]	44,14 ^d [8]	44,93 [8]	43,56 [8]	16	16
Sekret	41,20 ^{fg} [11]	41,67 ^e [12]	63,54 [11]	69,84 [12]	22	24
Tadeus	44,91 ^d [5]	45,89 ^c [6]	28,12 [5]	29,72 [6]	10	12
Temuco	38,98 ^h [13]	40,18 ^f [13]	89,01 [13]	88,51 [13]	26	26
Toro	41,36 ^{fg} [10]	42,12 ^e [10]	61,37 [10]	66,01 [10]	20	20
Trapero	40,86 ^g [12]	42,05 ^e [11]	66,11 [12]	66,82 [11]	24	22

a₁ – wariant podstawowy, a₂ wariant rozszerzony

abc – test Bonferroniego – porównania między średnimi odmian

[] - rangi

6. Energetyczna ocena produkcji pszenżyta ozimego

W doświadczeniu własnym całkowite nakłady energetyczne jakie zostały poniesione na przeciętnym poziomie agrotechniki (a_1) produkcji pszenżyta ozimego wyniosły $16,25 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nakłady na produkcję na wysokim poziomie agrotechniki (a_2), gdzie stosowano wyższe nawożenie azotem, ochronę fungicydową oraz regulatory wzrostu były wyższe o ponad 20% i wyniosły $20,41 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tab. 33). Najbardziej energochłonną operacją agrotechniczną było nawożenie mineralne, które pochłonęło od 61,8% (poziom a_1) do 66,6% (poziom a_2) całkowitej energii jaką wydatkowano na produkcję pszenżyta ozimego. Spośród wykonanych zabiegów kolejną najbardziej energochłonną operacją produkcyjną był siew i materiał siewny pochłaniając $3400 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (od 20,9 do 16,7 %) niezależnie od zastosowanego poziomu agrotechniki. Kolejną pozycję zajmuje uprawa roli (od 8,8 do 7,0%) i zbiór (od 3,2 do 2,6%), a następnie zabiegi które ograniczały występowanie chwastów (od 2,9 do 2,3%) oraz szkodników (od 2,3 do 1,8). Według przeprowadzonej analizy, na wysokim poziomie agrotechniki zabiegi fungicydowe pochłonęły 2,3% całkowitej energii wydatkowanej na produkcję pszenżyta ozimego, natomiast aplikacja regulatorów wzrostu 0,8% i okazała się niskoenergochłonną.

Tabela 33. Struktura i nakłady energii skumulowanej poniesione w procesie produkcji pszenżyta ozimego (według operacji agrotechnicznych)

Operacja agrotechniczna	Poziom intensywności technologii			
	a_1		a_2	
	($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	(%)	($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	(%)
uprawa roli	1433	8,8	1433	7,0
siew i materiał siewny	3400	20,9	3400	16,7
nawożenie mineralne, w tym:	10045	61,8	13591	66,6
azotowe	8294	51,1	11840	58,0
regulacja zachwaszczenia	477	2,9	477	2,3
ochrona przed szkodnikami	367	2,3	367	1,8
ochrona fungicydowa	0	0,0	462	2,3
regulacja wzrostu	0	0,0	158	0,8
zbiór	522	3,2	522	2,6
suma	16245		20411	

Dokonano również analizy struktury i nakładów energii skumulowanej, jakie zostały poniesione w procesie produkcji 1 ha pszenżyta ozimego. Wykazano, że znaczący udział stanowiły materiały (od 80,4 do 80,8%) w tym największy nawozy azotowe (od 49,3 do 39,2%) oraz ziarno siewne (od 19,7 do 15,7%), a najmniejszy regulatory wzrostu stosowane tylko na wysokim poziomie agrotechniki (0,1%). Kolejną znaczącą pozycję strumieni energii zajęły nośniki energii (od 12,0 do 11,3%). Na kolejnej pozycji znalazły

się środki techniczne, które w strukturze nakładów energii stanowiły od 4,9% niezależnie od poziomu agrotechniki, a następnie praca ludzka, na którą wydatkowano najmniej bo od 2,8 do 2,9% całkowitej energii poniesionej w procesie produkcyjnym pszenżyta ozimego (tab. 34).

Tabela 34. Struktura i nakłady energii skumulowanej poniesione w procesie produkcji 1 ha pszenżyta ozimego (według strumieni energii)

Strumień energii	Poziom intensywności technologii			
	a ₁		a ₂	
	(MJ·ha ⁻¹)	(%)	(MJ·ha ⁻¹)	(%)
praca ludzka	459	2,8	587	2,9
środki techniczne	788	4,9	994	4,9
nośniki energii	1942	12,0	2313	11,3
materiały, w tym:	13056	80,4	16516	80,9
- ziarno siewne	3203	19,7	3203	15,7
- nawozy min., w tym:	9568	58,9	12828	62,8
- azotowe	8008	49,3	8008	39,2
- herbicydy	197	1,2	197	1,0
- insektycydy	88	0,5	88	0,4
- fungicydy	0	0,0	182	0,9
- regulatory wzrostu	0	0,0	19	0,1
suma	16245		20411	

Poziom uzyskanych plonów oraz nakłady energetyczne jakie zostały poniesione na jego wyprodukowanie określają wysokość wskaźnika efektywności energetycznej. Stosowanie wysokiego poziomu agrotechniki pozwoliło na uzyskanie wyższych plonów jednak wpłynęło to na sprawność energetyczną produkcji pszenżyta ozimego. W tabeli 35 przedstawiono średnie wartości wskaźnika efektywności energetycznej dla dwóch poziomów intensywności technologii. Wykazano, że wzrost intensywności stosowanej technologii wpływa na wartość wskaźnika, im wyższy poziom agrotechniki tym wskaźnik niższy i tak dla poziomu a₁ wyniósł 9,42 a dla poziomu a₂ wyniósł 8,63.

Tabela 35. Wskaźniki oceny energetycznej porównywanych technologii produkcji pszenżyta ozimego (zróżnicowanych pod względem poniesionych nakładów)

Wskaźnik	Poziom intensywności technologii	
	a ₁	a ₂
nakłady energii (MJ·ha ⁻¹)	16245	20411
wartość energetyczna plonu (MJ·ha ⁻¹)	152988	176229
zysk energii (MJ·ha ⁻¹)	136743	155818
energochłonność jednostkowa (MJ·t ⁻¹)	194	212
wskaźnik efektywności energetycznej	9,42	8,63

W doświadczeniu podjęto również analizę nakładów energii skumulowanej jakie zostały poniesione w zależności od uprawianej odmiany. Obliczenia wykonano tylko dla przeciętnego poziomu agrotechniki z uwagi na komplet obserwacji przeprowadzonych w doświadczeniu na tym poziomie. W tabelach przedstawiono strukturę i nakłady energii skumulowanej poniesione w procesie produkcji pszenżyta ozimego według operacji agrotechnicznych (tab. 36) oraz według strumieni energii (tab. 37).

Tabela 36. Struktura i nakłady energii skumulowanej poniesione w procesie produkcji pszenżyta ozimego (według operacji agrotechnicznych).

Odmiana	Operacja agrotechniczna								
	jednostka	uprawa roli	siew i materiał siewny	nawożenie mineralne, w tym:	- azotowe	regulacja zachwaszczenia	ochrona przed szkodnikami	zbiór	suma
Avokado	(MJ·ha ⁻¹)	1433	3400	10045	8294	477	367	522	16245
	(%)	8,8	20,9	61,8	51,1	2,9	2,3	3,2	
Belcanto	(MJ·ha ⁻¹)	1433	3126	10045	8294	477	367	522	15970
	(%)	9,0	19,6	62,9	51,9	3,0	2,3	3,3	
Carmelo	(MJ·ha ⁻¹)	1433	3492	10045	8294	477	367	522	16336
	(%)	8,8	21,4	61,5	50,8	2,9	2,2	3,2	
Kasyno	(MJ·ha ⁻¹)	1433	3309	10045	8294	477	367	522	16153
	(%)	8,9	20,5	62,2	51,3	3,0	2,3	3,2	
Lombardo	(MJ·ha ⁻¹)	1433	3400	10045	8294	477	367	522	16245
	(%)	8,8	20,9	61,8	51,1	2,9	2,3	3,2	
Meloman	(MJ·ha ⁻¹)	1433	3309	10045	8294	477	367	522	16153
	(%)	8,9	20,5	62,2	51,3	3,0	2,3	3,2	
Orinoko	(MJ·ha ⁻¹)	1433	3309	10045	8294	477	367	522	16153
	(%)	8,9	20,5	62,2	51,3	3,0	2,3	3,2	
Porto	(MJ·ha ⁻¹)	1433	3126	10045	8294	477	367	522	15970
	(%)	9,0	19,6	62,9	51,9	3,0	2,3	3,3	
Sekret	(MJ·ha ⁻¹)	1434	3126	10045	8294	477	367	522	15971
	(%)	9,0	19,6	62,9	51,9	3,0	2,3	3,3	
Tedeus	(MJ·ha ⁻¹)	1434	3126	10045	8294	477	367	522	15971
	(%)	9,0	19,6	62,9	51,9	3,0	2,3	3,3	
Temuco	(MJ·ha ⁻¹)	1434	3126	10045	8294	477	367	522	15971
	(%)	9,0	19,6	62,9	51,9	3,0	2,3	3,3	
Toro	(MJ·ha ⁻¹)	1434	3309	10045	8294	477	367	522	16154
	(%)	8,9	20,5	62,2	51,3	3,0	2,3	3,2	
Trapero	(MJ·ha ⁻¹)	1434	3309	10045	8294	477	367	522	16154
	(%)	8,9	20,5	62,2	51,3	3,0	2,3	3,2	

Najwyższe nakłady względem operacji agrotechnicznej zostały poniesione na siew i materiał siewny, natomiast w przypadku analizy według strumienia energii najwięcej wydatkowano na ziarno siewne. Wartości poniesionych nakładów określono na podstawie zaleceń hodowców względem siewu (ilości materiału siewnego w kg/ha) różnicując w ten sposób nakłady poniesione na produkcję plonu ziarna poszczególnych odmian. Nakłady energetyczne poniesione dla produkcji wynosiły średnio 16,12 GJ·ha⁻¹. Przy czym najbardziej energochłonną okazała się produkcja odmian: ‘Carmelo’, ‘Avokado’ i ‘Lombardo’, średnio energochłonną odmian: ‘Kasyno’, ‘Meloman’, ‘Orinoko’, ‘Toro’ i ‘Trapero’. Niskoenergochłonne okazały się odmiany: ‘Belcanto’, ‘Porto’, ‘Sekret’, ‘Tadeus’, ‘Temuco’.

Tabela 37. Struktura i nakłady energii skumulowanej poniesione w procesie produkcji 1 ha pszenżyta ozimego (według strumieni energii)

Odmiana	Strumień energii										
	jednostka	praca ludzka	środki techniczne	nośniki energii	materiały, w tym:		nawozy min., w tym:		herbicydy	insektycydy	suma
					- ziarno siewne		- azotowe				
Avokado	(MJ·ha ⁻¹)	459	788	1942	13056	3203	9568	8008	197	88	16245
	(%)	2,8	4,9	12,0	80,4	19,7	58,9	49,3	1,2	0,5	
Belcanto	(MJ·ha ⁻¹)	459	788	1942	12781	2928	9568	8008	197	88	15970
	(%)	2,9	4,9	12,2	80,0	18,3	59,9	50,1	1,2	0,6	
Carmelo	(MJ·ha ⁻¹)	459	788	1942	13147	3294	9568	8008	197	88	16336
	(%)	2,8	4,8	11,9	80,5	20,2	58,6	49,0	1,2	0,5	
Kasyno	(MJ·ha ⁻¹)	459	788	1942	12964	3111	9568	8008	197	88	16153
	(%)	2,8	4,9	12,0	80,3	19,3	59,2	49,6	1,2	0,5	
Lombardo	(MJ·ha ⁻¹)	459	788	1942	13056	3203	9568	8008	197	88	16245
	(%)	2,8	4,9	12,0	80,4	19,7	58,9	49,3	1,2	0,5	
Meloman	(MJ·ha ⁻¹)	459	788	1942	12964	3111	9568	8008	197	88	16153
	(%)	2,8	4,9	12,0	80,3	19,3	59,2	49,6	1,2	0,5	
Orinoko	(MJ·ha ⁻¹)	459	788	1942	12964	3111	9568	8008	197	88	16153
	(%)	2,8	4,9	12,0	80,3	19,3	59,2	49,6	1,2	0,5	
Porto	(MJ·ha ⁻¹)	459	788	1942	12781	2928	9568	8008	197	88	15970
	(%)	2,9	4,9	12,2	80,0	18,3	59,9	50,1	1,2	0,6	
Sekret	(MJ·ha ⁻¹)	459	789	1942	12781	2928	9568	8008	197	88	15971
	(%)	2,9	4,9	12,2	80,0	18,3	59,9	50,1	1,2	0,6	
Tedeus	(MJ·ha ⁻¹)	459	789	1942	12781	2928	9568	8008	197	88	15971
	(%)	2,9	4,9	12,2	80,0	18,3	59,9	50,1	1,2	0,6	
Temuco	(MJ·ha ⁻¹)	459	789	1942	12781	2928	9568	8008	197	88	15971
	(%)	2,9	4,9	12,2	80,0	18,3	59,9	50,1	1,2	0,6	
Toro	(MJ·ha ⁻¹)	459	789	1942	12964	3111	9568	8008	197	88	16154
	(%)	2,8	4,9	12,0	80,3	19,3	59,2	49,6	1,2	0,5	
Trapero	(MJ·ha ⁻¹)	459	789	1942	12964	3111	9568	8008	197	88	16154
	(%)	2,8	4,9	12,0	80,3	19,3	59,2	49,6	1,2	0,5	

Wartość energetyczna plonu oraz największy zysk energii skumulowanej odnotowano dla odmiany ‘Tadeus’. Natomiast najwyższą energochłonnością jednostkową wykazała się odmiana ‘Carmelo’ (tab. 38)

Tabela 38. Wskaźniki oceny energetycznej porównywanych technologii produkcji pszenżyta ozimego, zróżnicowanych pod względem poniesionych nakładów

Wskaźnik					
Odmiana	nakłady energii (MJ·ha ⁻¹)	wartość energetyczna plonu (MJ·ha ⁻¹)	zysk energii (MJ·ha ⁻¹)	energochłonność jednostkowa (MJ·t ⁻¹)	wskaźnik efektywności energetycznej
Avokado	16245	151158	134913	197	9,30
Belcanto	15970	155001	139031	189	9,71
Carmelo	16336	149694	133358	200	9,16
Kasyno	16153	152805	136652	193	9,46
Lombardo	16245	158844	142599	187	9,78
Meloman	16153	155733	139580	190	9,64
Orinoko	16153	148413	132260	199	9,19
Porto	15970	151158	135188	193	9,46
Sekret	15971	151707	135736	193	9,50
Tedeus	15971	157929	141958	185	9,89
Temuco	15971	156282	140311	187	9,79
Toro	16154	151158	135004	196	9,36
Trapero	16154	149694	133540	197	9,27

7. Ekonomiczna ocena produkcji pszenżyta ozimego

Największy udział w strukturach kosztów jakie zostały poniesione na produkcję pszenżyta ozimego spośród porównywanych technologii należał do pracy ciągników i maszyn od 36,5% w technologii a₁ oraz 34,1% w technologii a₂. Na przeciętnym poziomie agrotechniki środki chemiczne stanowiły 19,3% kosztów, podczas gdy na wysokim poziomie agrotechniki 26,3% w obu przypadkach największy udział należał do herbicydów. Zakup materiału siewnego pochłonął od 10,2 do 14,0 kosztów (tab. 39).

Tabela 39. Zestawienie kosztów produkcji pszenżyta ozimego

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka	Cena	Poziom intensywności technologii					
				a ₁			a ₂		
				ilość	wartość	udział (%)	ilość	wartość	udział (%)
1.	Materiał siewny	(zł·dt ⁻¹)	220	1,75	385	14,0	1,75	385	10,2
2.	Nawozy mineralne								
a	azotowe	(zł·kg ⁻¹)	4,5	104	495	18,0	144	648	17,2
b	fosforowe	(zł·kg ⁻¹)	3,2	50	160	5,8	50	160	4,2
c	potasowe	(zł·kg ⁻¹)	2,2	81	178	6,5	81	178	4,7
d	Basfoliar	(zł·l ⁻¹)	11,0	0	0	0,0	6	66	1,7
e	Plonowit	(zł·l ⁻¹)	28,0	0	0	0,0	2	56	1,5
	Koszt nawozów min.	(zł·kg ⁻¹)	-	-	833	30,3	-	1108	29,4
3.	Środki chemiczne								
a	herbicydy	-	-	-	480	17,4	-	480	12,7
b	fungicydy	-	-	0	0	0,0	-	294	7,8
c	insektydy	-	-	-	51	1,9	-	51	1,4
d	regulator wzrostu	(zł·l ⁻¹)	219	0	0	0,0	0,75	164	4,4
	Koszty bezpośrednie	-	-	-	1745	63,5	-	2483	65,9
4.	Koszty pracy ogółem ciągników i maszyn	-	-	-	1004	36,5	-	1287	34,1

Plon ziarna pszenżyta ozimego różnił się w zależności od zastosowanej technologii. Na przeciętnym poziomie agrotechniki wyniósł 83,6 dt/ha, natomiast na wysokim poziomie 96,3 dt/ha (tab. 40). Stosowanie wysokiego poziomu agrotechniki wymagało wyższych o 29,5% kosztów bezpośrednich jednak pomimo wyższych kosztów uzyskano wyższe nadwyżki bezpośrednie. Dochód z działalności bez opłat był wyższy na przeciętnym poziomie agrotechniki o 4,1%. Wskaźnik opłacalności, który uwzględnia relację pomiędzy wartością produkcji do poniesionych kosztów był niski i wyniósł od 1,92 do 2,31. Zastosowane zwiększone nawożenie azotowe oraz ochrona fungicydowa, stosowanie regulatorów wzrostu nie zrekompensowało wystarczającym przyrostem wartości produkcji. Do analizy przyjęto koszty obrotowych środków produkcji z I kwartału 2024 przy uwzględnieniu podstawowego wsparcia dochodów w kwocie 117,07 euro/ha (505 zł).

Tabela 40. Plon, koszty i wybrane wskaźniki ekonomiczne produkcji ziarna pszenżyta ozimego

Wyszczególnienie	Jednostka	Poziom intensywności technologii	
		a1	a2
Plon ziarna	(dt·ha ⁻¹)	83,6	96,3
Cena ziarna siewnego	(zł·dt ⁻¹)	70	70
Dopłaty bezpośrednie	(zł·ha ⁻¹)	505	505
Wartość produkcji (bez dopłat)	(zł·ha ⁻¹)	5852	6741
Wartość produkcji (z dopłatami)	(zł·ha ⁻¹)	6357	7246
Koszty bezpośrednie	(zł·ha ⁻¹)	1750	2483
Zwrot kosztów bezpośr. w plonie	(dt)	25,0	35,5
Koszty pracy maszyn i urządzeń	(zł·ha ⁻¹)	1004	1287
Koszty ogółem	(zł·ha ⁻¹)	2753	3770
Koszt jednostkowy produkcji	(zł·dt ⁻¹)	33	39
Dochód z działalności bez dopłat	(zł·ha ⁻¹)	3099	2971
Dochód z działalności z dopłatami	(zł·ha ⁻¹)	3604	3476
Nadwyżka bezpośrednia	(zł·ha ⁻¹)	4102	4258
Wskaźnik opłacalności bez dopłat	-	2,13	1,79
Wskaźnik opłacalności z dopłatami	-	2,31	1,92

Zwrot kosztów bezpośrednich na przeciętnym poziomie agrotechniki nastąpił po uzyskaniu jednostkowego plonu ziarna na przeciętnym poziomie agrotechniki 25,0 ton natomiast na wysokim poziomie agrotechniki 35,5 ton.

8. Dyskusja

Badania stabilności plonowania pszenżyta ozimego w zależności od wybranych czynników agrotechnicznych prowadzono w piętnastu punktach doświadczalnych należących do Centralnego Ośrodka Badań Roślin Uprawnych w sezonach wegetacyjnych 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022, 2022/2023.

Doświadczenia zakładano zapewniając warunki sprzyjające rozwojowi roślin i osiągnięcia wysokiego plonu. Najlepsze warunki wzrostu i rozwoju pszenżyta można osiągnąć na glebach o odczynie lekko kwaśnym do obojętnego, co potwierdzają Kościelniak i Dreczka (2009) oraz Jaśkiewicz i Podolska (2011), natomiast stopniowe zmniejszanie odczynu poniżej 5,5 może powodować zniżki plonu ziarna, poprzez toksyczne oddziaływanie na korzenie występujących w glebie jonów glinu i manganu (Noworolnik 2009). Spośród wszystkich punktów doświadczalnych tylko w dwóch: Świebodzinie (w sezonie wegetacyjnym 2018/2019, 2020/2021, 2021/2022) i Uhninie (w sezonie wegetacyjnym 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022) pH gleby wyniosło poniżej 5,5 (od 4,7 do 5,1). W badaniach Rajičić i in. (2020) wykazano duże zdolności adaptacyjne pszenżyta do warunków środowiskowych i glebowych w tym tolerancję na kwasowość, co skutkowało dobrym plonowaniem podobnie jak w uzyskanych wynikach badań własnych.

Według badań Jaśkiewicz i Podolskiej (2011) odpowiednio dobrany przedplon zapewnia ochronę gleb przed erozją, zmniejsza nasilenie patogenów, wpływa na zwiększenie żyzności gleby, jej aktywności biologicznej oraz zapobiega wymywaniu azotanów. Jak zaznacza Kościelniak i Dreczka (2009) pszenżyto ozime z uwagi na podatność na choroby podstawy źdźbła ma duże wymagania przedplonowe. Najczęściej stosowanym przedplonem w przeprowadzonych doświadczeniach był rzepak ozimy i rośliny bobowate grubonasienne, które uważane są za najlepsze dla pszenżyta ozimego (Skrzyczyński i in. 1992, Zając i in. 2006, Szpunar-Krok 2011). Zastosowanie nieodpowiedniego przedplonu może doprowadzić nawet do spadku plonu o 20% (Zając i in. 2006). Jako przedplony w doświadczeniu własnym stosowano również rośliny zbożowe i buraki cukrowe (w jednym punkcie doświadczalnym). Jak twierdzi Ścigalska i Łabuz (2008) pszenżyto można uprawiać w zmianowaniach o dużym udziale zbóż jednak przy dobrych warunkach siedliska i stosowaniu odpowiedniej agrotechniki. Jednak jak wykazują badania Adamiaka i in. (2000) pszenżyto reaguje obniżeniem plonów nawet o 15,5% na uprawę po sobie w sześciolletniej monokulturze, zniżkę plonu

w uprawie w monokulturze zauważa również w swoich badaniach na jęczmieniu jarym Bleharczyk i in. (2009).

Termin siewu jest jednym z głównych warunków decydującym o powodzeniu uprawy. Pszenżyto podobnie jak inne zboża jest rośliną dnia długiego, zatem przyjęcie określonej liczby godzin świetlnych rozpoczyna fazę generatywną (Jaśkiewicz i Podolska 2011, Wójcik-Gront i Studnicki 2021). Pszenżyto ozime wykazuje swój potencjał plonotwórczy przy wczesnym siewie, który umożliwia późną jesienią wykształcenie zawiązków kłosów. Zbyt późny siew zmniejsza krzewistość zarówno ogólną jak i produkcyjną, pogarsza stan przezimowania roślin, może redukować ilość ziaren w kłosach bocznych pędów czy obniżyć plon nawet o połowę w porównaniu do właściwego terminu siewu (Jaśkiewicz 1995, Kościelniak i Dreczka 2009). W badaniach własnych termin siewu przypadał na III dekadę września w zakresie temperatur od 8,1 do 12,2°C i opadów od 12 do 40 mm. Kiełkowanie roślin pszenżyta ozimego rozpoczyna się już w przedziale od 2 do 6°C i siewki kontynuują wzrost, kiedy temperatura wynosi niewiele powyżej 0°C (Kościelniak i Dreczka 2009, Jaśkiewicz i Podolska 2011). Natomiast Kyrylchuk i in. (2023) wykazują, że kiełkowanie rozpoczyna się już w temperaturze od 1 do 3°C. W przeprowadzonym doświadczeniu wschody roślin obserwowano w zakresie temperatur od 7,3 do 11,9°C. Optymalna temperatura dla wzrostu i rozwoju pszenżyta ozimego wynosi według badań Kościelniaka i Dreczki (2009) od 12 do 14°C od fazy strzelania w źdźbło do kłoszenia. Badania wykazały, że rośliny wchodziły w fazę strzelania w źdźbło we wszystkich sezonach wegetacyjnych poniżej tych wartości, bo od 5,2 do 7,6°C, natomiast kłosiły się w opisanych optymalnych temperaturach tylko w latach badań 2021/2022 i 2022/2023, natomiast w pozostałych sezonach wegetacyjnych zakres temperatur był niższy. Jak opisuje Kyrylchuk i in. (2023) pszenżyto charakteryzuje się dużą zdolnością do adaptacji różnych warunków klimatycznych.

Na produktywność roślin zbożowych w tym pszenżyta ozimego mają wpływ uwarunkowania genetyczne oraz warunki wzrostu roślin. Poza czynnikami agrotechnicznymi na wielkość i jakość plonu mają również wpływ warunki pogodowe głównie temperatura powietrza i rozkład opadów. W wielu badaniach podkreśla się również współdziałanie temperatury i opadów na plon (Appel 1994, Michalski 1999, Kołodziej 2003, Kołodziej i Kulig 2005, Radzka i in. 2007, Gąsiorowska 2011, Rymuza i in. 2012, Panasiewicz 2013, Grabowski i in. 2016, Stoyanov 2020). Jak stwierdza

Bassau i in. (2011), Kyrylchuk i in. (2023) oraz del Pozo i in. (2023) pszenżyto charakteryzują nie tylko małe wymagania stanowiska w płodozmianie, ale również zdolności adaptacji do różnych warunków i anomalii klimatycznych, co ma duże znaczenie w kontekście scenariusza zmian klimatycznych. Zmiany bilansów wodnych w sezonach wegetacyjnych z uwagi na coraz częstsze występowanie deficytu opadów będą wpływać na kształtowanie potencjału produkcyjnego gleb oraz rozwój i plonowanie roślin (Podolska 1995, Dmowski i in. 2000, Krasowicz i Kopiński 2006). Znaczącą rolę odegrają nowe odmiany przystosowane do niekorzystnych warunków glebowo-klimatycznych. W wielu krajach prowadzi się badania, w których poszukuje się odmian wyróżniających się odpornością na wysokie temperatury i niedobory wody w trakcie wegetacji na (Weikai i Hunt 2001, Brancourt-Hulmel i Lecomte 2003, Trethowan i in. 2005).

Zboża uznawane są za najmniej wymagające względem potrzeb wodnych a zapotrzebowanie roślin na wodę jest związane z gatunkiem oraz fazą fenologiczną. Stres wynikający z niedoborów wody jest jednym z czynników wpływających na produktywność roślin (Mazurek i Mazurek 1990, Kalbarczyk 2008, Fayaz i Arzani 2011). Jak podkreśla Panasiewicz (2013) ocena wpływu warunków meteorologicznych na produkcję roślinną jest trudnym zadaniem, jednak można posłużyć się licznymi wskaźnikami i metodami, które opisują zjawiska suszy przy wykorzystaniu takich elementów meteorologicznych jak temperatura powietrza, opady atmosferyczne, parowanie czy wilgotność powietrza. W badaniach własnych dla określenia występowania suszy meteorologicznej posłużono się wskaźnikiem Sielianiowa (K) który uwzględnia temperaturę powietrza oraz opady wykazując zróżnicowanie warunków pogodowych w poszczególnych miesiącach.

Podobnie jak w badaniach przeprowadzonych przez Panasiewicz (2013) wykazano, że niekorzystne warunki wilgotnościowo termiczne występują w czerwcu oraz lipcu. Miesiące te najczęściej określane były jako bardzo suche, suche i dość suche. Wskaźniki w poszczególnych sezonach wegetacyjnych były niższe niż dla średniej wieloletniej.

Według badań własnych najkrótszy okres wegetacji trwał 280 dni i który według współczynnika hydrotermicznego został określony jako dość suchy. W fazie strzelania w źdźbło panowała susza, natomiast okres kłoszenia (w maju) określono jako wilgotny. Według Ścigalskiej (2007) obfite opady w maju i lipcu przy odpowiednim ich rozkładzie

pozytywnie wpływają na wielkość plonu ziarna. Potwierdza to również Małecka i in. (2004) w swoich badaniach podając, że suma opadów od marca do lipca wpływała na plonowanie pszenżyta ozimego. Jednak w doświadczeniu miesiące czerwiec i lipiec były kolejno bardzo suche i suche. Według badań Podolskiej (1995) oraz Rozbickiego (1999), Alrau i in. (2003) i Panasiewicz (2013), wynika, że w latach kiedy warunki meteorologiczne są niekorzystne, okres od siewu do uzyskania dojrzałości jest krótszy natomiast w latach gdzie temperatury powietrza oraz warunki wodne były korzystne okres wegetacji był dłuższy. Najdłuższy sezon wegetacyjny trwał 291 dni, który został określony jako dość wilgotny, gdzie sumy opadów były najwyższe, a średnie dobowe temperatury najniższe spośród wszystkich lat badań. Strzelanie w źdźbło i kłoszenie odbywało się w wilgotnych warunkach a okres ten trwał aż 63 dni. Według badań Raszki (1999) na pszenżycie ozimym wzrost sumy opadów atmosferycznych może istotnie wydłużać okres od wschodów do krzewienia oraz od fazy kłoszenia do osiągnięcia dojrzałości woskowej przez roślinę. Tylko jeden sezon wegetacyjny według współczynnika hydrotermicznego został określony jako optymalny (2019/2020). Siew odbywał się w warunkach optymalnych, natomiast na czas wschodów było dość sucho. Pszenżyto ozime ma niewielkie wymagania wodne podczas wegetacji jesiennej. Przy sprzyjających wschodach umiarkowana susza jesienna może korzystnie wpływać na rozwój systemu korzeniowego oraz wiosenny wigor (Wilgosz i in. 2005, Kościelniak i Dreczka 2009, Rymuza i in. 2012 Kyrylchuk i in. 2023). Podczas gdy rośliny strzelały w źdźbło było skrajnie sucho jednak na czas kłoszenia wilgotno. W miesiącach wiosennych, w których przypada faza strzelania w źdźbło oraz kłoszenia wymagania wodne są największe (Kalbarczyk 2005). W lipcu, kiedy rośliny osiągały dojrzałość woskową było sucho.

Plon ziarna uzyskany w najkrótszym sezonie wegetacyjnym był najniższym ze wszystkich lat badań podobnie jak masa tysiąca ziaren. Jak potwierdzają badania Frank i in. (1973) oraz Podolskiej i Hołubowicz-Klizey (2006) wpływ suszy w przypadku średniego niedoboru wody może wpływać na redukcję masy ziaren. W najdłuższym sezonie wegetacyjnym pszenżyto ozime osiągnęło nieco lepsze plony. Największe plony uzyskano w ostatnim sezonie badań którego warunki według współczynnika Sielianiowa były bardzo zbliżone do optymalnych. Kalbarczyk (2006 i 2010) w swoich badaniach na pszenżycie jarym wykazała, że wydłużenie okresu wegetacji a w szczególności fazy od strzelania w źdźbło do kłoszenia wpływa na uzyskanie wysokiego plonu. Z kolei Koźmiński (1984) w swoich badaniach nad żytem wykazał że

niskie plony uzyskiwano w latach o skróconym okresie od strzelania w źdźbło do dojrzałości młeczej co nie znalazło potwierdzenia w badaniach własnych, ponieważ najkrótszy okres trwał 30 dni w latach badań 2021/2022 i był na drugim miejscu zaraz za sezonem 2022/2023 gdzie uzyskano najwyższe plony, a okres ten wyniósł 39 dni. Natomiast najdłuższy okres trwał 63 dni w latach badań 2020/2021 (najbardziej wilgotny sezon). We wszystkich latach badań pszenżyto osiągnęło dojrzałość woskową w pierwszej dekadzie lipca. Jak wynika z wieloletniej analizy danych fenologicznych przeprowadzonych przez Kalbarczyk (2005) pszenżyto ozime w Polsce osiąga dojrzałość woskową przed 20 lipca od 10 do 70% upraw, a do 31 lipca osiąga dojrzałość woskową na całym obszarze Polski.

Wyleganie roślin określa w praktyce rolniczej jak i pracach hodowlanych poprzez określenie pochylenia źdźbeł w skali 9-stopniowej. Wskaźnik ten uwzględnia kąt nachylenia roślin względem pozycji pionowej oraz procent wylegniętej powierzchni łanu (Budzyński i Szempliński 1999) co wykorzystano w badaniach własnych.

Odporność źdźbła zboża na wyleganie uwarunkowane jest budową anatomiczną. Dzięki radialnie rozmieszczonym wiązkom naczyniowym i otaczającym je tkankami mechanicznymi wysyconymi ligniną roślina jest naturalnie elastyczna a co za tym idzie odporna na czynniki środowiskowe takie jak wiatr czy opady. Słabe wykształcenie tkanki mechanicznej dolnych i górnych międzywęźli stanowi podstawową przyczynę wylegania zbóż. Jednak występowanie zjawiska może być również warunkowane przez czynniki środowiskowe takie jak niedostatek słońca i opady w fazie strzelania w źdźbło i kłoszenia, silne wiatry czy zbyt duża gęstość siewu lub nadmierne nawożenie azotem i duża wilgotność gleby. Obok czynników środowiskowych należy również wymienić biologiczne, przez które rozumiemy porażenie przez patogeny chorobotwórcze korzeni oraz podstawy źdźbła i obecność szkodników korzeniowych i źdźbłowych (Świętochowski i in. 1996, Piech i in. 2001, Grzebisz 2012).

Niekorzystny wpływ wylegania na plonowanie pszenżyta ozimego zaobserwowano w doświadczeniu własnym. Zjawisko wylegania było silnie skorelowane z czynnikami środowiskowymi na obu poziomach agrotechnicznych. W sezonie wegetacyjnym 2020/2021 określonym jako dość wilgotny, odnotowano intensywne opady deszczu od czerwca do sierpnia które miały negatywny wpływ na wielkość plonu, który w tym roku był niższy niż w sezonie 2019/2020, 2021/2022, 2022/2023.

W sezonie wegetacyjnym 2022/2023 również odnotowano wyższe opady deszczu na przełomie lipca i sierpnia co skutkowało wystąpieniem wylegania zbóż jednak najintensywniej na przeciętnym poziomie agrotechniki. Pomimo zwiększonego nawożenia azotem na wysokim poziomie agrotechniki, które może wpływać na wyleganie przy jednoczesnym zastosowaniu regulatorów wzrostu pozwoliło na skrócenie wysokości roślin a co za tym idzie zapobiegło wyleganiu. Powyższe potwierdza Redemacher (2000) w swoich badaniach nad regulatorami wzrostu.

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono wpływ technologii produkcji na wysokość roślin. Na przeciętnym poziomie agrotechniki odmiany wylegały w większym stopniu niż na wysokim. Wynikało to z zastosowania regulatorów wzrostu, które mają za zadanie hamować syntezę enzymów koniecznych do biosyntezy giberelin w roślinie czego efektem jest zmniejszenie wysokości roślin przy jednoczesnym wzmocnieniu podstawy łodyg zwiększając odporność na wyleganie. Potwierdza to w swoich badaniach Cieśliski i Toboła (2007). Powszechnie uważa się, że odmiany półkarłowe są bardziej odporne na wyleganie a prawdopodobieństwo wylegania wzrasta wraz z długością źdźbła (Berry 2000). W badaniach własnych rzeczywiście wykazano, że na poziomie a_1 odmiany najwyższe jak 'Avokado' czy 'Trapero' są najbardziej podatne na wyleganie jednak jedna z wyższych odmian 'Sekret' i zaliczana do średnich odmian 'Carmelo' wykazały największe powiązanie z odmianą najbardziej odporną na wyleganie jaką jest 'Tadeus'. Z kolei na poziomie a_2 wszystkie odmiany wykazały podatność na wyleganie różniąc się istotnie od odmiany wzorcowej. Według Pisulewskiej (1997), Maciorowskiego i in. (2000), oraz Piechy i in. (2001), podatność odmiany na wyleganie może wynikać nie tylko z czynnika genetycznego, środowiskowego czy agrotechniki, ale również z reakcji rośliny na daną substancję bądź sposób jej pobierania.

Sposobem na zwiększenie odporności zbóż na wyleganie są prace hodowlane ograniczające wysokość roślin. Oprócz doboru odmian zawierających gen karłowatości istotne jest dobranie odpowiedniej ilości ziarna do wysiewu, dostosowanie odpowiedniej dawki azotu czy optymalne zaopatrzenie roślin w składniki pokarmowe. Możliwe jest również stosowanie związków chemicznych, które wpływają na skracanie dolnych lub górnych międzywęzli (Świętochowski i in. 1996, Grzebisz 2012).

Liczne publikacje takich autorów jak: Wróbel i Jabłoński (2004), Kurowski i in. (2010), Czajkowski i in. (2013), Czembor i in. (2013), Rudnicki (2014) wykazują, że pszenżyto ozime było jednym ze najodporniejszych zbóż na porażenie przez patogeny

chorobotwórcze. Jednak rozpowszechnienie się jego uprawy w Polsce jak i na świecie spowodowało wzrost powierzchni uprawy, który z kolei przyczynił się do pojawienia patogenów dostosowanych do tego gatunku jako żywiciela. Przeciętne porażenie roślin może prowadzić do straty plonu nawet od 10 do 15%.

Odmiany wyróżniające się odpornością na patogeny chorobotwórcze pełnią ważną rolę w uprawie roślin. Ze względu na integrowaną ochronę roślin oraz potrzeb wynikających z systemów gospodarowania w rolnictwie wzrasta znaczenie badań nad chorobami roślin i hodowli odpornościowej oraz jej możliwości pełnego wykorzystania odporności odmian w warunkach produkcyjnych (Tratwal i Gacek 2013).

Nie wszystkie czynniki, które wywołują stres u roślin w uprawach polowych mogą być regulowane przez człowieka (zjawiska atmosferyczne), bądź możliwości ograniczenia ich są niewielkie lub kosztowne (jakość gleby, obecność agrofagów) dlatego hodowla odpornościowa jest szansą na ograniczenie strat wywołanych przez te czynniki.

Odmiany wysokopienne, odporne na patogeny chorobotwórcze oraz stesy biotyczne i abiotyczne pozwalają na zmniejszenie nakładów produkcyjnych. Jak zauważa Tratwal i Gacek (2013) oraz Rudnicki (2014) odporność na choroby to podstawowy czynnik produktywności zbóż.

Początkowo pszenżyto było uważane za gatunek mało podatny na porażenie chorobami powodowanymi przez grzyby. Jednak obecnie obserwuje się znaczne pogorszenie odporności na mączniaka prawdziwego, rdzę brunatną i septoriozę liści (Wakuliński i in. 2005, Strzembicka 2007).

Ograniczenie występowania grzybów chorobotwórczych można uzyskać poprzez chemiczną ochronę roślin, która ograniczy straty w plonach czy zapobiegnie pogorszeniu jakości ziarna co potwierdzają dane literaturowe (Kuś i in. 1992, Wróbel i Jabłoński 2004, Rudnicki 2014, Bielski 2015a). W technologii wysokonakładowej (a_2) stosowano ochronę fungicydową roślin pszenżyta.

Według danych literaturowych wysoka temperatura, duża ilość opadów oraz wysoka wilgotność powietrza są najlepszymi warunkami do rozwoju większości patogenów chorobotwórczych które mogą mieć wpływ na plonowanie roślin (Glenn i in. 2008, Danyte i Pecio 2009, Tratwal i in. 2019). Według przeprowadzonych badań porażenie przez grzyby chorobotwórcze występowało we wszystkich latach badań zatem ciężko jest odnieść się do powyższego. Jednak Rudnicki (2014) zaznacza, że warunki środowiskowe, w tym meteorologiczne w poszczególnych latach mogą sprzyjać nasileniu występowania chorób roślin, ale też mogą wpływać na dobre plonowanie. Pomimo

porażenia rośliny przez patogeny warunki sprzyjają wysokiemu plonowaniu. W badaniach własnych wykazano, że porażenie roślin przez choroby było uzależnione od środowiska (miejscowość i rok) oraz od interakcji środowiska z odmianą.

Porażeniu roślin przez patogeny sprzyja duża suma opadów w fazie krzewienia i strzelania w źdźbło oraz kłoszenia w badaniach okresy te zaklasyfikowano według Skowera i Puły (2004) w większości jako wilgotne lub dość wilgotne.

Mączniak prawdziwy wywoływany jest przez grzyb *Blumeria graminis* będąc jedną z najważniejszych chorób liści pszenżyta. Odmiany, które są uprawiane w Polsce są podatne lub bardzo podatne na występowanie populacji mączniaka prawdziwego (Czembor i in. 2013). W badaniach własnych porażenie przez *Blumeria graminis* powodującego wystąpienie mączniaka prawdziwego najliczniej wystąpiło w dwóch ostatnich sezonach wegetacyjnych (2021/2022, 2022/2023), gdzie warunki hydrotermiczne w fazie strzelania w źdźbło określono jako dość wilgotne. Jak twierdzi Korbas i in. (2021) w przeciągu 2-3 sezonów w przypadku rdzy żółtej i mączniaka prawdziwego odmiana, która wcześniej wykazywała odporność, stawała się wrażliwa. Według Czembora i in. (2013) brak jest danych jakoby mączniak prawdziwy powodował straty w plonie.

Rdza żółta (*Puccinia striiformis*) najliczniej wystąpiła w roku 2020/2021, gdzie w fazie krzewienia i kłoszenia było bardzo wilgotno (październik), i wilgotno (maj), oraz w sezonie 2022/2023, gdzie tak jak w przypadku mączniaka prawdziwego warunki hydrotermiczne w fazie strzelania w źdźbło określono jako dość wilgotne. Według Korbasa i in. (2021) na rozwój rdzy żółtej ma wpływ temperatura w zakresie od 10-28°C co potwierdzają przeprowadzone badania, ponieważ temperatury w okresie kłoszenia (maj) były powyżej 10°C w szczególności w wymienionych sezonach wegetacyjnych, gdzie kłoszenie przypadało na najcieplejszą dekadę miesiąca (III).

Rdza brunatna (*Puccinia recondita*) najliczniej wystąpiła w pierwszym sezonie wegetacyjnym, gdzie w drugiej dekadzie kwietnia, kiedy rośliny wchodziły w fazę strzelania w źdźbło było bardzo sucho, co sprzyjało rozwojowi infekcji. Potwierdza to Korbas i in. (2021), że rdza rozwija się w podczas słonecznej i ciepłej pogody. Również McIntosh i in. (1995) stwierdza, że występowaniu tej choroby sprzyjają warunki środowiskowe takie jak wysoka temperatura oraz umiarkowane opady deszczu. Na podstawie Biuletynu monitoringu klimatu Polski (2019) sporządzonego przez IMGW

według klasyfikacji temperatury powietrza przyjętej przez Miętus i in. 2002 w punktach doświadczalnych, gdzie wystąpiła rdza brunatna charakter termiczny miesiąca (kwiecień) określono jako ekstremalnie ciepły. Jak podkreśla Czajkowski i in. (2013) niska temperatura powietrza oraz intensywne opady w maju i czerwcu powodują splukiwanie zarodników *Puccinia recondita* z powierzchni blaszki liściowej przez co rozwój choroby zostaje ograniczony. Znajduje to potwierdzenie w badaniach własnych, gdzie w latach badań 2019/2020 występowały intensywniejsze opady atmosferyczne zarówno w maju jak i czerwcu, a porażenie przez rdzę brunatną było najmniejsze. Autorzy tacy jak Schevchenko i Kaparev (1985), Schinkel (2002) oraz Maćkowiak (2003) podkreślają, że rdza brunatna powoduje olbrzymie straty w plonach, a każde porażenie liścia o 10% może spowodować obniżenie plonu o 3%. W przeprowadzonych badaniach w sezonie wegetacyjnym 2018/2019 zaobserwowano najliczniejsze występowanie rdzy brunatnej, co mogło przyczynić się do spadku plonu jaki został zauważony dla tego sezonu.

Fuzarioza kłosów jest powodowana przez grzyby z rodzaju *Fusarium ssp.* Jak podaje Solarzka i in. (2010) najważniejsze jest jesienne stosowanie preparatów fungicydowych w formie zaprawy do nasion lub oprysku na siewki niż przeprowadzanie zabiegów wiosną kiedy rośliny mają objawy fuzariozy. Według Perkowskiego (1999) oraz Wiśniewskiej i in. (2014) w Polsce fuzarioza kłosów nie powoduje znaczących strat w plonie, jednak znaczenie tej choroby wynika ze skażenia ziarna z porażonych kłosów przez mikotoksyny furazyjne a odmiany podatne na infekcję mogą kumulować znaczne ich ilości w ziarnie. Toksyny mogą być niebezpieczne dla ludzi i zwierząt w zależności od rodzaju oraz zawartości w paszy i żywności (Baayen i in. 2000, O'Donell i in. 2009). Fuzarioza kłosów nie wystąpiła w pierwszym sezonie badań ale najliczniej zaobserwowano objawy infekcji w drugim sezonie badawczym (2019/2020). Maj na który przypadła faza krzewienia był wilgotny, co mogło sprzyjać rozwojowi infekcji, w czerwcu również wystąpiły intensywne opady deszczu. Porażenie odmian krótkosłomych jest zbliżone do tradycyjnych, co wykazuje w swoich badaniach Góral (2007). Natomiast w badaniach własnych najmniej odporne były odmiany: 'Tadeus' i 'Toro', które są jednymi z najkrótszych odmian. Uprawa odmian odpornych które nie wykazują akumulacji miktotoksyn bądź akumulują je w niskim stopniu (w szczególności deoksyniwalenol) oraz właściwa agrotechnika są najlepszym sposobem redukcji strat powodowanych przez fuzariozę kłosów (Areseniuk i in. 1993, Mesterhazy i in. 1999, Bai

i in. 2001, Veith i in. 2008, Calderón i in. 2023, Góral 2023, Góral i in. 2006, Tratwal i in. 2023).

W przeprowadzonym doświadczeniu najbardziej odporną odmianą na większość patogenów grzybowych (mączniaka prawdziwego, rdzę żółtą oraz brunatną i fuzariozę kłosów) była odmiana 'Avokado'. Na wymienione patogeny odporna również była odmiana 'Meloman', która służyła jako wzorzec w analizie dotyczącej mączniaka prawdziwego oraz rdzy żółtej. Odporne na porażenie przez grzyby z rodzaju *Blumeria graminis* okazały się również 'Orinoko', 'Tadeus' i 'Trapero', na rdzę żółtą 'Lombardo', 'Orinoko', 'Temuco' i 'Toro', na rdzę brunatną 'Belcanto', 'Carmelo', 'Meloman', 'Porto', 'Sekret' i 'Trapero'. W przypadku fuzariozy kłosów tylko dwie odmiany: 'Toro' i 'Tadeus' wykazywały podatność na rozwój infekcji wywołanej przez patogeny spośród wszystkich badanych w doświadczeniu. Wymienione odmiany są jednymi z najnowszych, a jak wykazuje Góral i Ochodzki (2006) nowe odmiany są bardziej podatne na fuzariozę kłosów na poziomie zbliżonym do pszenicy. Podsumowując, spośród badanych odmian stwierdza się, że najbardziej odporne odmiany, na choroby które wystąpiły podczas prowadzenia doświadczenia to Avokado (4) i Meloman (3), Orinoko i Toro (2). Jednak jak podkreśla Mackay i in. (2011) oraz Rudnicki (2014) wraz z upływem lat zmieniać się może odporność roślin na poszczególne patogeny chorobotwórcze

Pszenżyto ozime z uwagi na wysoki potencjał plonowania staje się coraz bardziej konkurencyjne w stosunku do innych zbóż a w zależności od warunków uprawy przewyższa plony pszenicy nawet o 17% (Buraczyńska i Ceglarek 2009, Bassau i in. 2011, Ehdaie i in. 2001, Lisowski i in. 2016). Pszenżyto wyróżnia zdolność adaptacji do warunków środowiskowych, odznacza się większą tolerancją na suszę (Beres i in. 2010, Kalbarczyk 2010, Oettler 2005, Bujak i in. 2012a).

Osiągnięcie dobrego plonu ziarna o wysokiej jakości możliwe jest poprzez odpowiedni dobór odmiany oraz zapewnienie optymalnych warunków do rozwoju przy zastosowaniu odpowiedniej agrotechniki, co stanowi podstawowy element opłacalności produkcji (Klikocka i Sachajko 2011, Bielski 2015, Khan i in. 2017, Kirchev i Georgieva 2017). Poza powyższym stwierdzeniem o opłacalności produkcji decydują ceny skupu ziarna oraz poziom intensywności technologii produkcji (Krasowicz i Nowacki 2005). Jak wykazują w swoich badaniach Weber i Bujak (2016) pszenżyto ozime wykazuje

zróznicowaną reakcją na sposób technologii uprawy. Można zinterpretować to jako szansę na wyodrębnienie odmian o niskich wymaganiach energetycznych na uprawę.

Zmienność środowiskowa wywiera istotny wpływ na plonotwórczość i stabilność plonowania jako reakcja odmiany na warunki środowiskowe stanowi ciągle wyzwanie dla badaczy. Jest to spowodowane występowaniem interakcji genotypowo – środowiskowej (Kociuba i in. 2012). Jak zaznacza Laudański i in. (2006) oraz Bujak i in. (2012b) poszukuje się odmian, które wyróżniają się stabilnym plonowaniem w zmiennych warunkach środowiska. Uzyskane wyniki analizy statystycznej wskazują jako źródło zmienności plonu wpływ środowisk, czyli miejscowości i lat. Interakcja genotypowo – środowiskowa ma duże znaczenie w kształtowaniu reakcji plonu odmian na zmienne w przestrzeni i czasie warunki środowiskowe (Annicchiarico i in. 2006, Mądry i in. 2006, Roozeboom i in. 2008)

W niniejszej pracy jako zmienność środowiskową określono rejon uprawy oraz lata uprawy pszenżyta ozimego. W przeprowadzonym doświadczeniu plon ziarna pszenżyta ozimego był istotnie zależny od warunków środowiska w szczególności na wysokim poziomie agrotechniki. Wykazano, że zmienność plonowania zależała od poziomu agrotechnicznego. Zauważono również, że wysokość plonu zależna była od wysianej odmiany. Na zmienność plonu ziarna wpływają warunki pogodowe co potwierdza w swoich badaniach Koziara (1996), Wilgoz i in. (2005), Buraczyńska i Ceglarek (2009).

Średnie plony na poziomie a_1 wynosiły od 80,8 do 86,8 dt/ha natomiast na a_2 101,7 do 93,7 dt/ha. Jak podaje Oleksiak i in. (2017) o dużym wpływie niezależnych warunków środowiska na efekty uprawy świadczy wzrost plonowania pszenżyta ozimego przy jednocześnie zwiększonej zmienności plonów pomiędzy kolejnymi sezonami badawczymi. Średnio najwyższe plony z lat badań uzyskano w miejscowości Radostowo (108,9 dt/ha), Wróćnikowo (104,6 dt/ha) oraz Głubczycach (102,4 dt/ha) i Kościelnej Wsi (101,8). Doświadczenia zostały założone na glebach o klasie bonitacyjnej kolejno: II, IIIb, II, IIIa. Natomiast najniższe plony uzyskiwano w miejscowościach: Dukla (59,7 dt/ha), Uhnin (66,2 dt/ha) i Rarwino (78,4 dt/ha) na glebach o klasie bonitacyjnej kolejno: IVb, IVa i IVa. Badania Webera i in. (2011) na pszenicy ozimej wskazują na wyższe plonowanie w miejscowościach mających gleby na kompleksach pszennych dobrych i bardzo dobrych niż na kompleksach żytnich bardzo dobrych lub pszennych wadliwych. Średnie wyniki plonowania jakie otrzymano w miejscowościach znalazły

odzwierciedlenie w publikacji Rozbickiego (1998), który potwierdził, że najlepsze plony pszenżyta ozimego uzyskuje się w centralnym pasie ciągnącym się z północy na południe kraju (woj. pomorskie, warmińsko-mazurskie, kujawsko-pomorskie, wielkopolskie, opolskie, natomiast najniższe we wschodniej i południowo-wschodniej Polsce (woj. podkarpackie, lubelskie) i części pomorza zachodniego (zachodnio-pomorskie).

Według Becker i Léon (1988) mianem stabilnej odmiany określa taką która nie wykazuje istotnych odchyień od przewidywanych efektów, które wynikają ze zmiennych warunków środowiska. Iwańska (2010) wprowadza dodatkowo pojęcie szerokiej adaptacji jako zdolność odmiany do wysokiej produktywności, która jest wyrażona zdolnością do tworzenia plonu na wysokim poziomie przy zmiennych warunkach środowiskowych, rejonu, systemu uprawy czy lat.

Odmiany wykazywały zróżnicowaną reakcję na intensywność ochrony roślin oraz dawkę nawożenia azotem, co potwierdza również w swoich badaniach Weber i Bujak (2016). Odmiany pszenżyta nie były intensywnie porażane przez patogeny chorobotwórcze, a jak stwierdził w swoich badaniach Skórka (2013) stosowanie fungicydów kiedy odmiany nie uległy znacznemu porażeniu nie odgrywa znaczącej roli w zwiększaniu plonów. Wiele autorów badało wpływ warunków klimatycznych oraz interakcji genotypu i środowiska zwracając szczególną uwagę na średni plon czy masę 1000 ziaren (Motzo i in. 2001, Oleksiak i Mańkowski 2006, McGoverin i in. 2011, Bujak i in. 2012a, Kociuba i in. 2012, Weber i Bujak 2016, Dekić i in. 2018). Wyczerpywanie możliwości zwiększania plonów metodami agrotechnicznymi o wzroście plonowania w coraz większym stopniu decyduje czynnik odmianowy (Oleksiak i in. 2017). Poszukuje się obszarów, w których dla określonych odmian interakcja genotypu i środowiska jest nieistotna (Roozeboom i in. 2008).

Najlepiej plonującą niezależnie od poziomu agrotechniki była odmiana ‘Lombardo’ i ‘Tadeus’ natomiast najgorzej na poziomie przeciętnym (a_1) plonowała odmiana ‘Orinoko’ a na wysokim (a_2) ‘Carmelo’. Według przeprowadzonej wariacji Shukli najbardziej stabilną odmianą na poziomie a_1 okazała się ‘Orinoko’, a na poziomie a_2 ‘Belcanto’. Jednak najlepiej plonującą a zarazem najbardziej stabilną okazała się odmiana ‘Lombardo’. Również w wyniku przeprowadzonej analizy ryzyka to odmiana ‘Lombardo’ uzyskała najwyższy indeks współczynnika, co oznacza, że ryzyko spadku stabilności plonowania w przypadku tej odmiany będzie najniższe.

W celu określenia warunków meteorologicznych na plon wykorzystano średnie miesięczne temperatury i miesięczne sumy opadów od marca do lipca. Wykazano, że warunki meteorologiczne w poszczególnych miesiącach wpływają na wysokość plonów. I tak na poziomie a_1 odnotowano istotny wpływ wysokich temperatur w kwietniu i czerwcu oraz wysokich opadów w maju na wielkość plonu ziarna pszenżyta ozimego powodując jego spadek. Wykazano również istotną reakcję opadów w maju które miały wpływ na zwiększenie plonowania odmiany 'Avokado' a dodatni wpływ dowodzi, że zostały pokryte zapotrzebowania rośliny na wodę. Na poziomie a_2 zauważono istotny ujemny wpływ wysokiej temperatury w czerwcu na plon ziarna co świadczy o tym, że ze wzrostem temperatury w czerwcu zmniejszał się potencjał plonotwórczy co wykazali w swoich badaniach również Banaszak i in. 2005 oraz Rymuza i in. 2012. Odmiany 'Kasyno', 'Sekret' i 'Trapero' zareagowały spadkiem plonowania w wyniku wysokich temperatur panujących w kwietniu, co wykazano już na przeciętnym poziomie agrotechniki. Natomiast odmiany 'Belcanto', 'Tadeus', 'Toro', 'Trapero' ujemnie zareagowały obniżając swój plon w wyniku opadów w kwietniu. Ujemny wpływ opadów wiosną może świadczyć o dostatecznej ilości wody z opadów pozimowych i dlatego opady wiosenne działają ujemnie powodując niekorzystne zmiany termiczne gleby i powietrza (Wilgoz i in. 2005).

Jednym z ważniejszych parametrów plonu jest masa tysiąca ziaren (MTZ), która wpływa na jego wielkość oraz dorodność ziarna (Kramek i Kociuba 2014). Według źródeł literaturowych, wartość MTZ mieści się w przedziale od 35 do 55 g (Erekuł i Köhn 2006, Kozak i in. 2007). W badaniach własnych przedział ten wynosił na poziomie przeciętnym od 38,98 do 50,92 g a na wysokim od 40,18 do 51,79 g.

Masa tysiąca ziaren, podobnie jak wielkość plonu, zależała od odmiany oraz od poziomu agrotechniki i wykazywała takie same tendencje w latach badań jak w przypadku plonu (najniższa wartość MTZ w sezonie 2018/2019 a najwyższa w 2022/2023) Wykazano istotny wpływ środowiska na wielkość MTZ niezależnie od technologii produkcji co potwierdzają również badania Grundy i in. (1996) i Brzozowskiej i in. (2008). Najbardziej stabilną odmianą z najbardziej dorodnymi ziarna jest 'Orinoko', a najmniej stabilną z najmniejszą masą ziarna 'Temuco' niezależnie od poziomu agrotechniki. Wyniki badań własnych ukazują, że wysoki poziom nawożenia zwiększał nieznacznie MTZ pszenżyta ozimego. Według wielu danych literaturowych znajduje się wiele opinii o wpływie nawożenia azotem na masę tysiąca ziaren (Jaśkiewicz

2009, Mazurek i Jaśkiewicz 1998, Noworolnik i Maj 2005, Leszczyńska i Noworolnik 2008, Bujak 2012a, Tratwal i in. 2023). W literaturze przedmiotu opisano zwiększenie masy tysiąca ziaren już przy zastosowaniu małych dawek azotu, jednak wiele źródeł literaturowych donosi że wzrost wartości tej cechy odbywa się tylko do pewnego poziomu nawożenia, a po przekroczeniu go nie obserwuje się zwiększenia masy ziarniaków, a niekiedy nawet obniżenie (Ciołek i Makarska 2004, Tobiasz-Salah i Bobrecka-Jamro 2006, Sulewska i in. 2007, Makowska i in. 2008).

Niskie ceny płodów rolnych przy wysokich cenach środków produkcji skłaniają do poszukiwania technologii, która zapewni wysoką efektywność produkcji (Adamska i Paczkowski 1999, Szpunar-Krok 2011).

Metoda analizy procesu produkcji pozwala na ocenę energochłonności zastosowanej technologii w rolnictwie. Nakłady energetyczne jakie zostają poniesione w produkcji roślinnej zależą od wybranej technologii produkcji oraz liczby wykonanych zabiegów i gatunku uprawianej rośliny. Zatem niezbędne jest określenie ciągu kolejnych zabiegów i operacji technologicznych oraz określenie poniesionych nakładów energetycznych trwale środki produkcji, wykorzystywane materiały i surowce, nośniki energii oraz nakładów na siłę roboczą (Węgrzyn i Zajac 2008, Harasim i Gawęda 2010).

W badaniach własnych wykazano że pszenżyto ozime najwyżej plonowało przy zastosowaniu wysokiej technologii produkcji w każdym sezonie wegetacyjnym, co znalazło potwierdzenie również w badaniach Nieróbca i in. (2008) oraz Jaśkiewicz i Sułek (2018). Obniżka plonów ziarna była następstwem niższego nawożenia azotem oraz ograniczeniem stosowania środków ochrony roślin względem wysokiej agrotechniki, co potwierdza w swoich badaniach Jaśkiewicz i Sułek (2018). Chociaż jak stwierdza w swoich badaniach Mazurek i Grabiński (1997) oraz Woźniak (1999) zaprzestanie stosowania fungicydów i retardantów nie wpływa na spadek plonu pszenżyta i świadczy to o jego dużej odporności na choroby i wyleganie. Najbardziej energochłonnym elementem agrotechniki było nawożenie mineralne i wyniosło 61,8% nakładów energetycznych, jakie zostały poniesione w produkcji pszenżyta ozimego. Potwierdzają to badania Budzyńskiego i in. (2000) i Dobki (2004), które wykazują, że koszty te mogą przekraczać 60% nakładów. Natomiast według Majchrzaka i in. (2009) nakłady energetyczne na nawozy i środki ochrony roślin mogą wynosić kolejno 68-73% i 16-21% w warunkach produkcyjnych. W przeprowadzonym doświadczeniu nakłady na

herbicydy, fungicydy, insektycydy oraz regulatory wzrostu na poziomie wysokim agrotechniki stanowiły niespełna 10% energii skumulowanej.

Według przeprowadzonej analizy suma nakładów energetycznych według operacji agrotechnicznych wyniosła od 16,2 do 20,4 GJ·ha⁻¹. Natomiast suma nakładów według zastosowanej odmiany wynosiła od 16,0 do 16,3 GJ·ha⁻¹. Podobne wyniki uzyskał Raczkowski (2010) na uprawę pszenżyta jarego ‘Maja’ (od 16,7 do 21,9 GJ·ha⁻¹) oraz Bielskiego i in. (2015a) na uprawę pszenżyta ozimego ‘Gniewko’ (od 11,9 do 21,4 GJ·ha⁻¹). Najwyższe nakłady energetyczne uzyskała w swoich badaniach Dopka (2004), bo aż 34,3 GJ·ha⁻¹ natomiast najniższe Czarnocki i Starczewski (2006) które nie przekraczały 13,6 GJ·ha⁻¹. W odniesieniu do nakładów energetycznych według strumienia energii wykazano, że największy udział zajmują materiały (od 80,4 do 80,9%). Podobne wyniki uzyskali Klikocka i Sachajko (2011) (od 71,2 do 75,4%) oraz Bielski i in. (2019) (od 73,9 do 84,2%).

Wskaźnik efektywności energetycznej porównywanych technologii wyniósł 9,42 dla przeciętnego poziomu agrotechniki oraz 8,63 dla wysokiego. Natomiast najniższy wskaźnik dla porównywanych odmian został odnotowany dla ‘Carmelo’ (9,16) a najwyższy dla ‘Tadeus’ (9,89). Nieco wyższe wskaźniki odnotowała w swoich badaniach Klikocka i in. (2011) i który wyniósł 10,2 natomiast znacznie niższe wartości, bo średnio 1,8 wykazał Wielicki (1989).

Według dokonanej oceny efektywności ekonomicznej, która wynika z relacji poniesionych nakładów do wartości uzyskanych efektów wykazano, że najbardziej kosztochłonna jest praca ciągników i maszyn. Według Jaśkiewicz i Sułek (2018) największe koszty w produkcji pszenżyta ponoszone są na nawożenie mineralne jednak w badaniach własnych koszt ten znajdował się na drugim miejscu. Poziom nakładów na środki produkcji jest zróżnicowany i istotnie wpływa na wysokość dochodów w gospodarstwie. Dlatego ocena ekonomicznej opłacalności powinna być przeprowadzana dla konkretnego gospodarstwa wykorzystując możliwości siedliskowe, agrotechniczne by uzyskać maksymalne efekty produkcyjne (Harasim i Matyka 2005, Jaczewska-Kalicka 2009, Bystron i Stenzel 2019).

Nadwyżka bezpośrednia jest różnicą pomiędzy wartością plonu ziarna a kosztami bezpośrednimi. W przeprowadzonej analizie różniła się w zależności od intensywności produkcji. Najmniejsze koszty bezpośrednie poniesiono w przeciętnym poziomie agrotechniki (a_1). Z uwagi na niższe nawożenie azotem i redukcji zabiegów

środkami ochrony roślin w porównaniu do wysokiego poziomu agrotechniki (a_2). Najwyższą nadwyżkę bezpośrednią uzyskano na poziomie a_2 i wynosiła 4258 zł/ha, natomiast na poziomie a_1 była o 3,7% niższa. Niezależnie od stosowanego poziomu agrotechniki wartość produkcji była wyższa od poniesionych kosztów bezpośrednich. Wskaźnik opłacalności produkcji stanowi relację wartości produkcji i kosztów bezpośrednich. Na poziomie a_1 wskaźnik opłacalności produkcji był wyższy niż na poziomie a_2 . Powyższe wyniki własne znalazły potwierdzenie w badaniach przeprowadzonych przez Jaśkiewicz i Sułek (2018).

9. Wnioski

- 1) Plonowanie pszenżyta ozimego modyfikowane było w sposób nadrzędny do pozostałych czynników w doświadczeniach przez charakterystyczne dla miejsca prowadzenia badań warunki pogodowe.
- 2) Technologia produkcji wpływała na podatność odmian na wyleganie z uwagi na zastosowanie wyższych dawek azotu o 40 kg/ha na poziomie agrotechnicznym wysokim (a_2) niż na poziomie przeciętnym (a_1).
- 3) Zastosowanie regulatorów wzrostu wpływało na wysokość roślin. Na poziomie a_2 zaobserwowano, że rośliny są istotnie niższe niż na poziomie, gdzie regulatory wzrostu nie były stosowane.
- 4) W technologii, gdzie stosowano wyższy poziom nawożenia azotem odnotowano wzrost plonu ziarna w porównaniu do technologii z zastosowanymi mniejszymi dawkami azotu średnio o 12,5 dt/ha.
- 5) Najlepiej plonującą odmianą pszenżyta ozimego okazała się odmiana ‘Lombardo’ niezależnie od poziomu agrotechniki, wykazała ona też największą stabilność plonowania i najwyższy wskaźnik w przeprowadzonej analizie ryzyka.
- 6) Średni plon ze wszystkich lat badań oraz poziomów agrotechnicznych był o 50 dt/ha wyższy na północy kraju; w miejscowości Radostowo (gleba o klasie bonitacyjnej II) niż na południowym wschodzie; w miejscowości Dukła (gleba o klasie bonitacyjnej IVb).
- 7) Porażenie przez patogeny grzybowe oraz jego intensywność zależała od miejscowości i roku badań oraz od interakcji tych czynników z odmianą. Najsilniej rośliny były porażane przez *Blumeria graminis* a najniższą presję obserwowano w odniesieniu do grzybów z rodzaju *Fusarium*. Odmianą, która wykazała największą odporność na występujące w łanie choroby grzybowe była odmiana ‘Avokado’.
- 8) Przeprowadzona analiza suma nakładów energetycznych według operacji agrotechnicznych wyniosła od 16,2 do 20,4 GJ·ha⁻¹. Natomiast suma nakładów według zastosowanej odmiany wynosiła od 16,0 do 16,3 GJ·ha⁻¹.
- 9) Wskaźnik energetyczny na wysokim poziomie agrotechnicznym był niekorzystny. W odniesieniu do nakładów energetycznych według strumienia energii wykazano, że

największy udział zajmują materiały (od 80,4 do 80,9%). Najmniej energochłonnymi odmianami były: 'Belcanto', 'Porto', 'Sekret', 'Tadeus', 'Temuco'.

10) Według dokonanej oceny efektywności ekonomicznej wykazano, że najbardziej kosztochłonna jest praca ciągników i maszyn. Wyższy dochód z produkcji uzyskano stosując technologię niskonakładową.

Literatura

1. Adamiak E., Zawisłak K., Adamiak J. (2000). Reakcja pszenżyta ozimego na sześcioletnią monokulturę. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 206, s. 9-14.
2. Adamska H., Paczkowski L. (1999). Zmiany kosztów i cen a opłacalność uprawy pszenicy ozimej w latach 1981/82-1997, *Pam. Puł.* 114, s. 23-30.
3. Agresti A. (1984). *Analysis of ordinal categorical data.* New York. Wiley & Sons.
4. Alrau M., Laur Ü., Jaama E. (2003). Influence of nitrogen and weather conditions on the grain quality of winter triticale. *Agron. Res.* 1, s. 3-10.
5. Ammar K., Mergoum M. (2004). The history and evolution of triticale. Mergoum M., Gomez-Macpherson H. (red.) *Triticale improvement and production* FAO plant production and protection 179.
6. Annicchiarico P., Bellah F., Chiari T. (2006). Repeatable genotype-location interaction and its exploitation by conventional and GIS-based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria. *Europ. J. Agron.* 24, s. 70-81.
7. Appel T. (1994). Relevance of soil N mineralization, total N demand of crop and efficiency of applied N for fertilizer recommendations for cereals – Theory and application. *Z. Pflanzenernahr. Bodenk.* 157, s. 407-414.
8. Arendt E.K., Zannini E. (2013). Cereal grains for the food and beverage industries. *WP Series in Food Science, technology and Nutrition*, s. 201-219.
9. Arseniuk E., Czembor H.J. (1991). Triticale diseases in Central Poland in 1991. *Triticale Topic 7*, s. 2-4.
10. Arseniuk E., Góral T., Czembor H. J. (1993). Reaction of triticale, wheat and rye accessions to gramineous *Fusarium* spp. at the seedling and adult plant stages. *Euphytica* 70, s. 175-183.
11. Arseniuk E., Krzymuski J., Martyniak J., Oleksiak T. (2003). Historia hodowli i nasiennictwa na ziemiach polskich w XX wieku. Krzymuski E. (red.) *IHAR Radzików*, s. 76-77.
12. Arseniuk E., Oleksiak T. (2011). Dlaczego zboża. Zboża wysokiej jakości. *Agro Serwis* s. 5-10.
13. Baayen R.P., O'Donnell K., Bonants P.J.M., Cigelnik E., Kroon L.P.N.M., Roebroek E.J.A., Waalwijk C. (2000). Gene genealogies and AFLP analyses in the *Fusarium oxysporum* complex identify monophyletic and nonmonophyletic formae speciales causing wilt and rot disease. *Phytopathology* 90, s. 891-900.
14. Bacmaga M., Kucharski J., Wyszowska J. (2004). Wpływ środków ochrony roślin na aktywność mikrobiologiczną gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 499, s. 211-220.

15. Bai G.H., Plattner R., Desjardines A., Kolb F. (2001). Resistance to Fusarium head blight and deoxynivalenol accumulation in wheat. *Plant Breed.* 120, s. 1-6.
16. Banaś K., Przystalowski M., Łacka A. (2023). Stability analysis of spring oat genotypes in south-west Poland. *Biometrical Letters.* s. 1-12.
17. Banaszak Z., Kaczmarek Z., Pojmaj M., Trąbka A., Kaźmierczak P., Czerwińska E., Kurlito D. (2005). Wpływ zróżnicowanych warunków środowiska na plonowanie pszenżyta ozimego w latach 2003 i 2004. *Biuletyn IHAR* 235, s. 191-202.
18. Barczak B., Nowak K., Kozera W., Majcherczak E. (2006). Wpływ nawożenia mikroelementami a zawartość kationów w ziarnie owsa. *J. Elementol.* 11(1), s. 13-20.
19. Barnett R.D., Blount A.R., Pfahler P.L., Bruckner P.L., Wesenberg D.M., Johnson J.W. (2006). Environmental stability and heritability estimates for grain yield and test weight in triticale. *J. Appl. Genet.* 47(3), s. 207-213.
20. Bassau S., Asseng S., Richards R. (2011). Yield benefits of triticale traits for wheat under current and future climates. *Field Crop Res.* 124, s. 29-36.
21. Becker H.C., Léon J. (1988). Stability analysis in plant breeding. *Plant Breed.* 101, s. 1-23.
22. Beres B.L., Harker K.N., Clayton G.W., Brehmer E., Blackshaw R.E., Graf R.J. (2010). Weed competitive ability of spring and winter cereals in Northern Great Plains. *Weed Technol.* 24, s. 108-116.
23. Berry P.M., Griffin J.M., Sylvester-Bradley R.E., Scott R.K., Spink J.H., Baker C.J., Clare R.W. (2000). Controlling plant height through husbandry to minimise lodging in wheat. *Field Crop Res.* 67 s. 59-81.
24. Bertelsen J.R., de Meergaard E., Smedegaard-Petersen V. (2001). Fungicidal effects of azoxystrobin and epoxiconazole on phyllosphere fungi, senescence and yields of winter wheat. *Field Crop Res.* 67, s. 59-81.
25. Bielski S. (2015). Energy balance evaluation of winter triticale production. Engineering for rural development, In Proceedings of the 14th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, Jelgava, Latvia, 20-22 May 2015, s. 552-557.
26. Bielski S., Dubis B., Budzyński W. (2015a). Influence of nitrogen fertilisation on the technological value of semi-dwarf grain winter triticale varieties Aleko and Gniewko. *Pol. J. Natur. Sci.* 30(4), s. 325-336.
27. Bielski S., Dubis B., Jankowski K. (2015b). Efektywność energetyczna produkcji biomasy pszenżyta ozimego na biopaliwa. *Przemysł Chemiczny* 94/10, s. 1798-1801.
28. Bielski S., Romanekas K., Novikova A., Šarauskis E. (2019). Are higher input levels to triticale growing technologies effective in biofuel production system? *Sustainability* 11, 5925.
29. Biskupski A., Subda H., Bogdanowicz M. (1979). Skład chemiczny i właściwości technologiczne ziarna pszenżyta /Triticale/. *Hod. Rośl. Aklim.* 23.

30. Biuletyn monitoringu klimatu polski kwiecień. (2019). Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy. Pobrano z: <https://klimat.imgw.pl/biuletyn-monitoring/>.
31. Blecharczyk A., Małecka I., Piechota T., Sawinska Z. (2009). Wpływ wieloletniego nawożenia i systemu następstwa roślin na plonowanie jęczmienia jarego oraz akumulację azotu. *Fragm. Agron.* 26(4), s. 14-21.
32. Brancourt-Hulmel M., Lecomte C. (2003). Effect of environmental varieties on genotype × environment interaction of winter wheat. *Crop Sci.* 43, s. 608-617.
33. Brzozowska I., Brzozowski J., Hruszka M., Witkowski B. (2008). Effect of herbicides and herbicide combinations and of the method of nitrogen application on winter wheat yielding and yield structure. *Acta Agrophys.* 11(1), s. 34-44.
34. Budzyński W., Dubis B., Wróbel E. (2000). Ekonomiczna i energetyczna efektywność zróżnicowanych metos uprawy i nawożenia pszenżyta ozimego. *Zesz. Nauk. AR Szczecin, Rol.* 206, s. 31-38.
35. Budzyński W., Szempliński W. (1999). Szczegółowa uprawa roślin. T. 1, r. 1, s 33-70 wydawnictwo
36. Bujak H., Dopierała P. (2007). Yield stability of winter rye cultivars in Poland. *Vorträge für Pflanzenzüchtung*, 7, s. 40-49.
37. Bujak H., Kaczmarek J., Chrzanowska-Drożdż B., Liszewski M. (2003). Interakcja genotypowo-środowiskowa plonowania jęczmienia ozimego na Dolnym Śląsku. *Biuletyn IHAR 226/227*, s. 233-241
38. Bujak H., Tratwal A., Walczak F. (2012a). Reakcja odmian pszenżyta ozimego na warunki środowiskowe Wielkopolski przy dwóch poziomach intensywności agrotechnik. *Biuletyn IHAR 264*, s. 108-116.
39. Bujak H., Tratwal A., Walczak F. (2012b). Zmienność plonowania cech użytkowych odmian pszenżyta ozimego w Winnej Górze. *Ann. UMCS, sec. E Agricultura* 67(3), s. 2-11.
40. Buraczyńska D., Ceglarek F. 2009. Plonowanie pszenżyta ozimego w zależności od przedplonu. *Fragm. Agron.* 26(1) s, 9-18.
41. Bystron M., Stenzel P. (2019). Efektywność ekonomiczna i energetyczna pszenżyta ozimego. Truskowski W. (red.), W: *Uwarunkowania budowy biogospodarki i zrównoważonego rozwoju w Polsce*. Wyd. UWM Olsztyn, s. 13-20.
42. Calderón R., Eller J.A., Brodsky H.K., Miles A.D., Crandall S.G., Mahowald N., Pavlick R., Kaitlin M. (2023). An interactive, Online Web Map Resource of Global *Fusarium oxysporum* ff. spp. diversity and distribution. *Plant Disease* 107(2), s. 538-541.

43. Ceglińska A., Samborski S., Rozbicki J., Cacak-Pietrzak G., Haber T. (2005). Ocena wartości przemiałowej i wypiekowej odmian pszenżyta ozimego w zależności od nawożenia azotem. *Pam. Puł.* 135, s. 39-46.
44. Centralny Ośrodek Badania Roślin Uprawnych. Lista opisowa odmian roślin rolniczych. Zboża. Słupia Wielka 2023.
45. Christensen R.H.B. (2022). ordinal - Regression Models for Ordinal Data. R package version 2022.11-16. Pobrano z: <https://CRAN.R-project.org/package=ordinal> (22.05.2024).
46. Cichy H., Kaczmarek Z., Adamska E. (2008). Wpływ terminu i gęstości siewu na plon odmian pszenżyta jarego. *Biuletyn IHAR* 195/196, s. 167-172.
47. Cieśliski W., Toboła P. 2007. Wpływ regulatorów wzrostu na pokrój roślin i plonowanie rzepakujarego. *Prog. Plant Prot.* 47 (3): 60-63.
48. Ciołek A., Makarska E. (2004). Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem i ochrony chemicznej na wybrane parametry jakościowe pszenicy twardej (*Triticum durum* Desf.) *Ann. UMCS, sec. E Agricultura* 59(2), s. 777-784.
49. Czajkowski G., Karska K., Strzembicka A. (2013). Charakterystyka rodów hodowlanych pszenżyta ozimego pod względem stopnia porażenia przez *Puccinia triticina* i *Blumeria graminis*. *Biuletyn IHAR* 68, s. 59-67.
50. Czarnocki S., Starczewski J., Turska E. (2006). Efektywność energetyczna różnych wariantów uprawy roli w technologii produkcji pszenżyta ozimego. *Pam. Puł.* 142, s. 43-54.
51. Czembor H.J., Doraczyńska O., Czembor J.H. (2013). Odporność odmian pszenżyta na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* ff. ssp.) występującego w Polsce. *Biuletyn IHAR* 267, s. 3-6.
52. Czuba R. (1988). Dolistne dokarmianie zbóż azotem w połączeniu ze stosowaniem pestycydów. *Ochr. Rośl.* 11, s. 12-15.
53. Danyte V., Pecio A. (2009). Wpływ warunków pogodowych na porażenie zbóż ozimych patogenami liści i kłosów. *Prog. Plant Prot.* 49(1), s. 191-196.
54. Dekić V., Milivojević J., Branković S. (2018). The interaction of genotype and environment on yields and quality components in triticale. *Biologica nyssana* 9, s. 45-53.
55. Dekić V., Milivojević J., Popović V., Milivojević J., Staletić M., Miodrag J., Perišić V. (2014). Effect of fertilization on yield and grain quality in winter triticale. *Romanian Agricultural Research* 31, s. 175-783.
56. del Pozo A., Mendez-Esponosa A.M., Castillo D. *Neglected and Underutilized Crops*. Academic Press. Ch. 13, s. 325-362.
57. Derpsch R. (2007). The no-tillage revolution in South America. *Proc. Farm Tech., Edmonton – Alberta, 24-26 January 2007*, s. 54-68.

58. Dmowski Z., Dzieżyc H., Nowak L. (2001). Plonowanie pszenżyta na Dolnym Śląsku w zależności od gleby, odmiany i lat oraz od sumy i rozkładu opadów. Cz. 1. Pszenżyto ozime. *Fragm. Agron.* 1(69), s. 92-101.
59. Dmowski Z., Dzieżyc H., Szymczyk R. (2000). Zależność plonowania pszenżyta od odmiany, warunków glebowych i rejonu uprawy 73, s. 1-19. COBORU Słupia Wielka.
60. Dogan R., Kacar O., Coplu N., Azkan N. (2009). Characteristics of new breeding lines of triticale. *Afr. J. Agric. Res.* 4, s. 133-138.
61. Dopierała P., Bujak H., Kaczmarek J., Dopierała A. (2003). Ocena interakcji genotypowo-środowiskowej plonu populacyjnych i mieszańcowych odmian żyta ozimego. *Biuletyn IHAR* 230, s. 235-253
62. Dopka D. (2004). Efektywność energetyczna zróżnicowanej uprawy na przykładzie pszenżyta ozimego. *Ann. UMCS, sec. E* 59(4), s. 2071-2077.
63. Drzazga T., Paderwski J., Mądry W., Krajewski P. (2009). Ocena rodzajów reakcji plonowania odmian w pszenicy ozimej w doświadczeniach PDO na przestrzennie zmienne warunki przyrodnicze w kraju. *Biuletyn IHAR* 253, s.71-82.
64. Drzewiecki J., Tikhenko N.D., Tsvetkova N.V. (2008). Współdziałanie genomów pszenicy Chinese Spring i linii wsobnych żyta w pszenżycie na przykładzie ekspresji genów kodujących prolaminę ziarniaków. *Biuletyn IHAR* 249, s. 85-99.
65. Ehdaie B., Shakiba M.R., Waines J.G. (2001). Sowing date and nitrogen input influence nitrogen-use efficiency in spring bread and durum wheat cultivars. *J. Plant Nutrition*, 24, s. 899-919.
66. Erdal G., Esengün K., Erdal H., Gündüz O. (2007). Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy* 1, s. 35-41.
67. Erekul O., Köhn W. (2006). Effect of weather and soil conditions on yield components and breadmaking quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and winter triticale (*Trititosecale* Wittm.) varieties in north-east Germany. *J. Agron. Crop Sci.* 192 (6), s. 452-464.
68. Eskridge K.M., Mumm R.F. (1992). Choosing plant cultivars based on the probability of outperforming a check. *Theoretical Appl. Genetics* 84, s. 894-900.
69. Eskridge K.M. (1990). Selection of stable cultivars using a safety-first rule. *Crop Sci.* 30, s. 369-374.
70. Fayaz N., Arzani A. (2011). Moisture stress tolerance in reproductive growth stages in triticale (x *Trititosecale* Wittmack) cultivars under field conditions. *Crop Breed.* 1(1), s. 1-12.
71. Feuillet C., Keller B. (1998). Molecular aspects of biotic stress resistance in wheat. *Pro. 9th Int. Wheat Genet. Symp.* Saskatoon, Saskatchewan, Canada, s. 171-177.

72. Filoda G. (2009). Zagrożenie upraw pszenżyta ozimego przez rdze. *Prog. Plant Prot.* 49(2), s. 623-629.
73. Fisher M.C., Hawkins N.J., Sanglard D., Gurr S.J. (2018). Worldwide emergence of resistance to antifungal drugs challenges human health and food security. *Science* 360, s. 739-742.
74. Fones H.N., Bebbler D.P., Chaloner T.M., Kay W.T., Steinberg G., Gurr S.J. (2020). Threats to global food security from emerging fungal and oomycete crop pathogens. *Nat. Food*. 1, s. 332-342.
75. Food and Agriculture Organization. (2024). FAOSTAT. Pobrane z: http://fao.org/faostat/en/#rankings/major_comodities_exports (22.05.2024).
76. Ford A.M., Austin R.B., Gregory R.S., Morgan C.L. (1984). A comparison of the grain and biomass yield of inter wheat, rye and triticale. *J. Agric. Sci.* 103, s. 395-405.
77. Frank A.M., Power J.F., Willis W.O. (1973). Effect of temperature and plant water stress on photosynthesis, diffusion resistance and leaf water potential in spring wheat. *Agron. J.* 65, s. 777-780
78. Galantini J.A., Landriscini M.R., Iglesias J.O., Miglierina A.M., Rosell R.A. (2000). The effects of crop-rotation and fertilization on wheat productivity in the Pampean semiarid region of Argentina. Nutrient balance, yield and grain quality. *Soil Till. Res.* 53, s. 137-144.
79. Gąsiorowska B., Koc G., Buraczyńska D., Struk K. (2011). Wpływ warunków pogodowych na plonowanie zbóż uprawianych w Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Zawadach. *Infr. i Ekol. Ter. Wiej. PAN* 6, s. 91-99.
80. Glenn E.P., Huete A.R., Nagler P.L., Nelson S.G. (2008). Relationship between Remotely-sensed Vegetation Indices, canopy attributes and plant physiological processes: What Vegetation Indices Can and Cannot Tell Us About the Landscape. *Sensors*. 8 s. 2136-2160.
81. Główny Urząd Statystyczny. (2024). GUS - Bank Danych Lokalnych Pobrane z: <http://bdl.stat.gov.pl/bdl/dane/podgrup/tablica>.
82. Goć E., Muzalewski A. (1997). Wskaźniki eksploatacyjno-ekonomiczne maszyn i ciągników rolniczych stosowanych w gospodarstwach indywidualnych. Warszawa: IBMER.
83. Goraj L., Mańko S. (2012). Model obliczania jednostkowych kosztów produkcji na podstawie danych Polskiego FADN, IERiGŻ-PIB, Warszawa.
84. Góral T. (2007). Ocena odporności rodów pszenicy i pszenżyta na fuzariozę kłosów, pleśń śniegową i rdzę brunatną w Radzikowie w 2006 roku. *Komunikat. Biuletyn IHAR* 246, s. 31-44.

85. Góral T. (2023) Fuzarioza kłosów pszenicy. Część 2. Geny oraz loci cech ilościowych (QTL) kontrolujące odporność pszenicy oraz mechanizm ich działania. Biuletyn IHAR, 300, s. 47-56.
86. Góral T., Ochodzki P. (2006). Resistance of Polish winter triticale cultivars to *Fusarium* head blight and accumulation of *Fusarium*-mycotoxins in grain. Proceedings of the 6th International Triticale Symposium Stellenbosch University, South Africa, September 3-7, 2006, s. 140-143.
87. Grabowski J., Pożarska K., Grabowska K. (2016). Plonowanie pszenżyta ozimego a warunki meteorologiczne okresu jesienno-zimowego w rejonie warmińsko-mazurskim. Acta Agrophys., 23(2), s. 203-212.
88. Grundy A.C., Boatman N.D., Froud-Williams R.J. (1996). Effects of herbicide and nitrogen fertilizer application on grain yield and quality of wheat and barley. J. Agric. Sci. 126, s. 379-385.
89. Grzebisz W. (2012). Technologia nawożenia roślin uprawnych – fizjologia plonowania. Zboża i kukurydza. T. 2. Poznań: PWRiL.
90. Harasim A., Matyka M. (2015). Ważniejsze elementy technologii produkcji wpływające na poziom plonowania pszenicy ozimej oraz ich zmiana w ujęciu długookresowym. Pam. Puł. 140, s. 59-68.
91. Harasim E., Gawęda D. (2010). Wpływ międzyplonów ścierniskowych na plonowanie i efektywność energetyczną produkcji zbóż jarych. Ann. UMCS, sec. E 1, s. 64-72.
92. Hsu J.C. (1996). Multiple comparisons: Theory and methods. Chapman & Hall.
93. Iwańska M. (2010). Przydatność różnych miar statystycznych do oceny stopnia szerokiej adaptacji odmian pszenicy ozimej. Rozprawa doktorska, Warszawa SGGW.
94. Iwańska M., Mądry W., Rajfura A., Drzazga T. (2009). Porównanie syntetycznych wskaźników stopnia szerokiej adaptacji odmian na przykładzie serii doświadczeń przedrejestranych z pszenicą ozimą. Biuletyn IHAR 253, s. 31-45.
95. Jaczewska-Kalicka A. (2009). Opłacalność chemicznej ochrony pszenicy ozimej. Prog. Plant Prot. 48(2), s. 411-414.
96. Jańczak C., Pawlak A. (2002). Rdza – corocznie występująca choroba zbóż. Prog. Plant Prot. 42(2), s. 864-867.
97. Jankowski P., Zieliński A., Mądry W. (2006). Analiza interakcji genotyp- środowisko dla pszenicy ozimej z wykorzystaniem metody graficznej biplotu typu GGE. Cz. I. Podstawy teoretyczne. Biuletyn IHAR 240/241, s. 53-60.
98. Jaśkiewicz B. (1995). Wzrost, rozwój oraz plonowanie pszenżyta ozimego w zależności od terminu siewu i obsady roślin. Seria R (328), Puławy., s. 1-110.

99. Jaśkiewicz B. (2009). Reakcja nowych odmian pszenżyta ozimego na czynniki agrotechniczne. *Agricultura Alimentaria Piscaria et Zootechnica. Folia Pom. Univ. Tech. Stet.* 274, 12: 11-18.
100. Jaśkiewicz B. (2017). Czynniki kształtujące wartość paszowa ziarna pszenżyta. *Pasze Przem.* 2, s. 65-76.
101. Jaśkiewicz B., Podolska G. (2011). Uprawa roli i siew w integrowanej ochronie pszenżyta ozimego. *Metodyka integrowanej ochrony pszenżyta ozimego i jarego. Instytut Ochrony Roślin, Państwowy Instytut Badawczy, Poznań*, s. 9-18.
102. Jaśkiewicz B., Sułek A. (2018). Ocena ekonomiczna technologii produkcji pszenżyta ozimego o różnym poziomie intensywności. *Rocz. Nauk. Seria XX* (5), s. 69-73.
103. Kalbarczyk E. (2005). Wymagania termiczne pszenżyta ozimego. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 4(1), s. 41-50.
104. Kalbarczyk E. (2006). Agrofenozy a plon pszenżyta jarego w Północnej Polsce. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 247, *Agricultura* 100, s. 75-82.
105. Kalbarczyk E. (2008). Niedobory opadów atmosferycznych ograniczające plony pszenżyta jarego w północno-zachodniej Polsce. *Acta Agrophys.* 11(2), s. 419-428.
106. Kalbarczyk E. (2010). Zmienność plonu ziarna pszenżyta jarego w Polsce w warunkach różnego nasilenia suszy atmosferycznej. *Przeł. Nauk. Inż. Kształt. Środ.* 1(47), s. 20-33.
107. Kaniuczak Z. (2010). Skuteczność biologiczna oraz wskaźniki ekonomiczne chemicznego zwalczania szkodników w pszenżycie jarym. *Prog. Plant Prot.* 50(1), s. 29-33.
108. Kenward M. G., Roger J. H. (1997). Small sample inference for fixed effects from restricted maximum likelihood. *Biometrics* 53, 545-554.
109. Ketterings Q.M., Swink S.N., Duiker S.W., Czymmek K.J., Beegle D.B., Cox W.J. (2015). Integrating cover crops for nitrogen management in corn system on northeastern US dairies. *Agron. J.* 107, s. 1365-1376.
110. Khan F.U., Mohammad F., Raziuddin Z., Shah M., Ahmad M., Shah Z. (2017). Genotypic differences and genotype×nitrogen interactions for yield traits in bread wheat. *J. Anim. Plant Sci.* 27, s. 1264-1268.
111. Kirchev H., Georgieva R. (2017). Genotypic plasticity and stability of yield components in triticale (× *Triticosecale* Wittm.). *Scientific papers, Ser. A. Agronomy* 60, s. 285-288.
112. Kiss A., Videki L. (1971). Development of secondary hexaploid triticales by crossing Triticale with rye. *Wheat Inf. Ser.* 32, s. 17-20.
113. Klikocka H., Głowacka A., Juszczak D. (2011). Wpływ zróżnicowanych sposobów uprawy roli i nawożenia mineralnego na efekty ekonomiczne uprawy jęczmienia jarego. *Fragm. Agron.* 28(2), s. 44-54.
114. Klikocka H., Sachajko J. (2011). Kompleksowa ocena agrotechnologii ziemniaka i pszenżyta jarego. *Acta. Agrophys.* 4 (195), s. 1-129.

115. Knapowski T., Ralcewicz, Narczak B., Kozera W. (2009). The effect of fertilization with nitrogen and zinc on the bread-making quality of spring triticale cultivated in the Noteć Valley. *Pol. J. Environ. Stud.* 18, s. 227-233.
116. Kociuba W., Kramek A., Ukalski K. (2012). Ocena stabilności wybranych cech plonotwórczych polskich odmian pszenżyta ozimego. *Biuletyn IHAR* 264, s. 127-140.
117. Kołodziej J. (2003). Wpływ opadów atmosferycznych na kształtowanie się wybranych cech ziarna owsa uprawianego w warunkach górskich. *Biuletyn IHAR* 229, s. 175-183.
118. Kołodziej J., Kulig B. (2005). Wpływ warunków pogodowych na kształtowanie się plonu i wybranych cech owsa. *Biuletyn IHAR* 235, s. 269-280.
119. Korbas M. (1999). *Choroby i szkodniki zbóż*. Poznań: Wyd. Multum.
120. Korbas M., Czubiński T., Horoszkiewicz-Janka J., Jajor E., Danielewicz J. (2021). *Atlas chorób roślin rolniczych dla praktyków*. Wyd. III. Poznań, PWR
121. Kościelniak W., Dreczka M. (2009). Nowoczesna uprawa zbóż. *APRA.*, 15, s. 183-192.
122. Kozak M., Samborski S., Rozbicki J., Mądry W. (2007). Winter triticale grain yield, a comparative study of 15 genotypes. *Acta Agricultura Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science* 57(3), s. 263–270.
123. Kozłara W. (1996). Wzrost, rozwój oraz plonowanie pszenżyta jarego i ozimego w zależności od czynników meteorologicznych i agrotechnicznych. *Rocz. AR w Poznaniu, Rozp. Nauk.* 269.
124. Koźmiński C. (1984). Plonowanie żyta w zależności od przebiegu warunków meteorologicznych i wilgotnościowych gleby. *Rocz. Nauk. Rol. Ser. A1*, s. 53-64.
125. Kramek A., Kociuba W. (2014). Charakterystyka zasobów genowych pszenżyta ozimego pod względem polowej odporności na choroby grzybowe. *Ann. UMCS, sec. E, LXIX* (4), s. 112-119.
126. Krasowicz S., Kopiński J. 2006: Wpływ warunków przyrodniczych i organizacyjno-ekonomicznych na regionalne zróżnicowanie rolnictwa w Polsce. *Raporty IUNG-PIB Puławy* 3, s. 81-99.
127. Krasowicz S., Nowacki W. (2005). Wpływ intensywności produkcji na efektywność technologii roślinnej. *Pam. Puł.* 140, s. 87-102.
128. Kryńska B., Majda J., Kud K. 1997. Wpływ poziomu i sposobu stosowania azotu na plonowanie pszenżyta ozimego i zawartość makroelementów w ziarnie. Cz. II. Zawartość makroelementów w ziarnie pszenżyta ozimego. *Bibl. Fragm. Agron.* 3 s. 353-358.
129. Kurowski T.P., Brzozowska I., Brzozowski J., Kurowska A. (2010). Zdrowotność pszenżyta ozimego w zależności od sposobu regulacji zachwaszczenia, nawożenia azotem i ochrony przed patogenami. *Ann. UMCS, sec. E LXV* (2), s. 10-22.

130. Kurowski T.P., Mikołajska J., Wojciechowska-Kot H. (1990). Zdrowotność podstawowych zbóż w uprawie monokulturowej. W: Ekologiczne procesy w monokulturowych uprawach zbóż (). Poznań: Wyd. Nauk. UAM, s. 223-231.
131. Kuś J., Krasowicz S., Harasim A. (1992). Studia nad możliwością zwiększenia udziału zbóż w strukturze zasiewów. VI. Efektywność energetyczna. Pam. Puł. 101, s. 185-199.
132. Kyrylchuk A.M., Liashenko S.O., Besprozvana I.V., Chukhleb C.L., Shcherbynina N.P., Shkliar V.D. (2023). Productivity and grainquality of wintertriticale varieties (*×Triticosecale* Wittmack ex *Camus*) under different soil and climatic growing conditions. *Plant Varieties Studying and Protection*. 19(3), s. 155-167.
133. Labudda M., Machczyńska J., Woś H., Bednarek P.T. (2011). Selected aspects of biological progress in the breeding of triticale (*×Triticosecale* Witt. ex *A. Camus*). *Post. Nauk Rol.* 4, s. 3-10.
134. Laudański Z., Mańkowski D.R., Rozbicki J., Samborski S., (2006). Próba interakcji ze środowiskiem wybranych odmian pszenżyta ozimego (*×Triticosecale* Wittmack). *Folia Univ. Agric. Stein.* 247, *Agricultura* (100), s. 97-112.
135. Lemańczyk G. (2011). Choroby podsuszkowe pszenżyta ozimego w wybranych rejonach polski. *Prog. Plant Prot.* 51(2), s. 662-667.
136. Leszczyńska D., Noworolnik K. (2008). Wpływ nawożenia azotem i gęstości siewu na plonowanie, komponenty plonu oraz zawartość białka i plon białka owsa nagoziarnistego. *Fragm. Agron.* 1(97), s. 220-227.
137. Lin C.S., Binns M.R. (1988). A superiority measure of cultivar performance for cultivar \times location data. *Can. J. Plant Sci.* 68, s. 193–198.
138. Lisowski J., Borusewicz A., Puczel J. (2016). Porównanie plonowania sześciu wybranych odmian pszenżyta ozimego w trzech kolejnych okresach wegetacyjnych w warunkach Podlasia. *Zesz. Nauk. Ostrołęckiego Towarzystwa Naukowego XXX*, s. 47-55.
139. Łacicowa B., Kiecana I. (1986). Występowanie *Fusarium nivale* (Fr.) Ces. na pszenżycie i podatność różnych rodów hodowlanych na porażenie. *Rocz. Nauk Rol. Ser. E* 16(1), s. 143-150.
140. Maciaszek D., Gworek B. (2004). Ocena środków ochrony roślin w zakresie bezpieczeństwa dla środowiska. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 499, s. 211-220.
141. Maciorowski R., Stankowski S., Piech M. 2000. Reakcja odmian żyta mieszańcowego i populacyjnego na nawożenie azotem i regulator wzrostu. *Cz. I. Plon ziarna, komponenty plonu i wybrane cechy fizjologiczne. Biul. IHAR* 215, s. 109 – 120.
142. Mackay I., Horwell A., Garner J., White J., McKee J., Philpott H. (2011). Reanalyses of the historical series of UK variety trials to quantify the contributions of genetic and environmental factors to trends and variability in yield over time. *Theor. Appl. Genet.*, 122(1), s. 225-238.

143. Maćkowiak W. (2003). Ocena postępu i strategiczne kierunki hodowli pszenżyta w Polsce. *Biuletyn IHAR* 230, s. 127-142.
144. Majchrzak L., Pudełko J., Spurtacz S. (2009). Opłacalność uprawy pszenicy ozimej i pszenżyta ozimego w warunkach produkcyjnych w latach 2005-2007. *Fragm. Agron.* 26(2), s. 81-88.
145. Makowiecki J., Mączka T. (1993). Uwarunkowania wysokich plonów pszenżyta ozimego na glebach pszenno-żytnich na Śląsku. *Fragm. Agron.* 4(93), s. 57-58.
146. Makowska A., Obuchowski W., Sulewska H., Koziara W., Paschke H. (2008). Effect of nitrogen fertilization of durum wheat varieties on some characteristics important for pasta production. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 7(1), s. 29-39.
147. Małecka I., Bleharczyk A., Sawinska Z. (2004). Wpływ sposobów uprawy roli i nawożenia azotem na plonowanie pszenżyta ozimego. *Ann. UMCS, sec. E LIX* (1), s. 256-267.
148. Maraseni T., Chen G., Banhazi T., Bundschuh J., Yusuf T. (2015). An assessment of direct on farm Energy use for high value grain crops grown under different farming practices in Australia. *Energies* 8(11), s. 13033-13046.
149. Mazurek J., Grabiński J. (1997). Plonowanie odmian pszenżyta ozimego w warunkach ograniczonego nawożenia i zużycia pestycydów. *Zesz. Nauk. AR Szczecin, Rol.* 65, s. 271-275.
150. Mazurek J., Jaśkiewicz B. (1998). Wymagania nowych odmian pszenżyta ozimego co do terminu siewu i obsady roślin oraz nawożenia azotem. *Biuletyn IHAR*, 205/206, s. 189-195.
151. Mazurek J., Mazurek J. (1990). *Uprawa pszenżyta*. Warszawa: PWRiL.
152. Mądry W., Talbot M., Ukalski K., Drzazga T., Iwańska M. (2006). Podstawy teoretyczne znaczenia efektów genotypowych i interakcyjnych w hodowli roślin na przykładzie pszenicy ozimej. *Biuletyn IHAR* 240/241, s. 13-32.
153. McCullagh P. (1980). Regression model for ordinal data (with discussion). *J. Royal Statistical Society Ser. B* 42, 109–127.
154. McGoverin C.M., Snyders F., Muller N., Botes W., Fox G., Manley M. (2011). A review of triticale uses and the effect of growth environment on grain quality. *J. Sci. Food Agric.* 91, s. 1155-1165.
155. McIntosh R.A., Wellings C.R., Park R.F. (1995). *Wheat rusts: an atlas of resistance gens*. CSIRO. Australia. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht 200.
156. Mergoum M., Singh P.K., Pena R.J., Lozano-Del Rio A.J., Cooper K.V., Salmon D.F., Gomez Machperson H. (2009). Triticale: A new crop with old challenges. *Handb. Plant Breed.* 1(3), s. 267-287.

157. Mergoum M., Wolfgang P.F., Peña R.J., Ammar K., Rajaram S. (2004). Triticale Improvement and Production. Triticale crop improvement: the CIMMYT programmes, s.11-26.
158. Mesterhazy A., Bartok T., Mirocha C.G., Komoroczy R., (1999). Nature of wheat resistance to Fusarium head blight and the role of deoxynivalenol for breeding. *Plant Breed.* 118, s. 97-110.
159. Michalski T., Idziak R., Menzel L. (1999). Wpływ warunków pogodowych na plonowanie owsa. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, Supl.* 1(18), s. 46-52.
160. Miętus M., Owczarek M., Filipiak J. (2002). Warunki termiczne na obszarze Wybrzeża i Pomorza w świetle wybranych klasyfikacji, *Materiały Badawcze IMGW, S. Meteorologia* 36, 1-56.
161. Mohammadi A., Rafiee S., Mohtasebi S.S., Rafiee H. (2010). Energy inputs-yield relationship and cost analysis of kiwifruit production in Iran. *Renew. Energy* 35, s. 1071-1075.
162. Molga M. (1972). *Meteorologia rolnicza. PWRiL Warszawa*, s. 554-558.
163. Motzo R., Giunta F., Deidda M. (2001). Factors affecting the genotype×environment interaction in spring triticale grown in a Mediterranean environment. *Euphitica* 121, s. 317-324.
164. Mut Z., Sezer I., Guúlúmser A. (2005). Effect of different sowing rates and nitrogen levels on grain yields, yield components and some quality traits of triticale. *Asian J. Plant Sci.* 4, s. 533-539.
165. Naderi S.A., Dehkordi A.L. Morteza T. (2019). Energy and environmental evaluation of greenhouse bell pepper production with life cycle assessment approach. *Environ. Sustain. Indic.*, 100011, s. 3-4
166. Nalepa S. (2003). Perspektywy hodowli pszenżyta Resource Seed Inc. w USA. *Biuletyn IHAR* 230, s. 143-146.
167. Nieróbca P. (2004). Wpływ nawożenia azotem, termin siewu i ilość wysiewu na plon i elementy struktury plonu pszenżyta jarego. *Biuletyn IHAR* 231, s. 231-235.
168. Nieróbca P., Grabiński J., Szeleźniak E. (2008). Wpływ intensywności technologii uprawy zbóż w płodozmianie zbożowym na efektywność produkcyjną i ekonomiczną. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 7(3), s. 73-80.
169. Nowak R., Włodarczyk-Makuła M., Mamzer E. (2015). Ryzyko środowiskowe i zdrowotne wynikające ze stosowania środków ochrony roślin. *Zesz. Nauk. Wyższej Szkoły Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach* 1(11), s. 51-63.
170. Noworolnik K. 2009. Wpływ wybranych cech jakości gleby na plonowanie pszenżyta ozimego i żyta ozimego. *Acta Agrophys.* 14(1), s. 155-166

171. Noworolnik K., Jaśkiewicz B. (2018). Wpływ zróżnicowanych warunków glebowych na plonowanie odmian pszenżyta ozimego. *Fragm. Agron.* 35(1), s. 62-71.
172. Noworolnik K., Maj L. (2005). Plonowanie owsa nagoziarnistego na tle oplewionego w zależności od nawożenia azotem. *Pam. Puł.*, 139, s. 129-136.
173. O'Donnell K., Gueidan C., Sink S., Johnston P.R., Crous P.W. Glenn A., Riley R., Zitomer N.C., Colyer P., Waalwijk C., van der Lee T., Moretti A., Kang S., Kim, H.S., Geiser D.M., Juba J.H., Baayen R.P., Cromey M.G., Bithell S., Sutton D.A., Skovgaard K., Ploetz R., Kistler H.C., Elliott M., Davis M., Sarver B. A.J. (2009). A two-locus DNA sequence database for typing plant and human pathogens within the *Fusarium oxysporum* species complex. *Fungal Genet. Biol.* 46, s. 936-948.
174. Oettler G. (2005). The fortune of botanical curiosity – Triticale: past, present and future. *J. Agric. Sci.* 143, s. 329-346.
175. Olabi A.G. (2016). Energy quadrilemma and the future of renewable energy. *Energy* 108, 1-6.
176. Oleksiak T., Bronisz D., Mańkowski D.R., Iwańska M. (2017). Analiza stabilności plonowania i stopnia szerokiej adaptacji wybranych odmian pszenżyta ozimego (*×Triticosecale* Witt.) na podstawie danych produkcyjnych. *Biuletyn IHAR* 282, s. 79-89.
177. Oleksiak T., Mańkowski D.R. (2006). Stability analysis of winter triticale cultivars yielding in agriculture area of Poland. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 247, s. 133-140.
178. Orzech K., Nowicki J., Marks M. (2003). Znaczenie uprawy roli w kształtowaniu środowiska. *Post. Nauk. Rol.* 1, s. 131-144.
179. Paluch M., Parylak D., Ogórek R., Tendziagolska E. (2012). Ograniczenie porażenia rdzą brunatną (*Puccinia recondita*) pszenżyta ozimego uprawianego w monokulturze. *Zesz. Nauk. UP w Wrocławiu* 588, s. 137-144.
180. Panasiewicz K. (2013). Wpływ czynników pogodowych i agrotechnicznych na wzrost i plonowanie pszenżyta jarego. *Wyd. UP w Poznaniu. Rozpr. Nauk.* 453
181. Pecio A. (2014). Nawożenie zbóż ozimych. *Studia i raporty IUNG-PIB* 37(11), s. 69-82.
182. Perkowski J. (1999). Badania zawartości toksyn furazyjnych w ziarnie zbóż. *Rocz. Akadem. Roln. w Poznaniu. Rozpr. Nauk.* 295.
183. Piech M., Nita Z., Maciorowski R. 2001. Reakcja owsa oplewionego i nieoplewionego na nawożenie azotem. *Biuletyn IHAR* 217 s. 111-119.
184. Piepho HP (1999) Stability analysis using the SAS system. *Agron. J.* 91, 154–160.
185. Pishgar-Komleh S.H., Omid M., Heidari M.D. (2013). On the study of energy use and GHG (greenhouse gas) emission in greenhouse cucumber production in Yazd province. *Energy* 59, s. 63-71.

186. Pisulewska E. 1997. Wpływ Bercemy CCC na plonowanie oraz długość źdźbła i międzywęźli pszenżyta jarego i ozimego oraz żyta i pszenicy jarej uprawianych wspólnie z wyką. Zesz. Nauk. Akad. Rol. Szczecin, Rol. 65 (2), s. 317 – 323.
187. Podolska G. (1995). Struktura i architektura łanu odmian pszenżyta ozimego w zależności od warunków glebowych. IUNG. Puławy 323.
188. Podolska G., Hołubowicz-Kliza G. (2006). Reakcja pszenżyta ozimego odmiany Sorento na stres suszy. Folia Univ. Agric. Stetin. 247, Agric. 100, s. 145-150.
189. Porter J.R., Gawith M. (1999). Temperatures and the growth and development of wheat: a review. Europ. J. Agron. 10, s. 23-36
190. Pudełko J., Wright D., Śpitalniak J. (1996). Wybrane poglądy na uproszczenia uprawowe w południowo-wschodnich stanach USA. Roczn. AR w Poznaniu, Rol. 185(48), s. 85-99.
191. R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
192. Raczkowski M. (2010). Energy expenditure in triticale cultivation with different microelements fertilization technique. Pol. J. Natur. Sci., 25(3), s. 236-243.
193. Radzka E., Koc G., Rak J., Jankowska J. (2007). Niedobór i rozkład opadów w Siedlcach w latach 1971-2005. Przeg. Nauk. Inż. i Kształt. Środow. XVI, 3(37), s. 33-38.
194. Rajfura A., Mądry W. (2001). Metoda wyboru genotypów o szerokiej adaptacji wykorzystująca zarówno ich średnie w rejonie jak i stabilność plonowania. Colloquium Biometryczne 31, s. 169-182.
195. Rajčić V., Popović V., Perišić V., Biberdžić M., Jovović Z., Gudžić N., Mihailović V., Đurić N., Čolić V., Terzi D. (2020). Impact of nitrogen phosphorus on grain yields in winter triticale grown on degraded vertisol. Agronomy 10(6), 757.
196. Raszka E. (1999). Wpływ wybranych czynników meteorologicznych na przebieg rozwoju pszenżyta ozimego w Stacji Doświadczalnej Oceny Odmian Sulejów. Folia Univ. Agric. Stetin. 201, Agric. 78, s. 259-268.
197. Raszka E. (2002). Agrofologia pszenżyta jarego w Polsce. Ann. UMCS, sec. E 57, s. 9-16.
198. Ravier C., Meynard J.M., Cohan J.P., Gate P., Jeuffroy M.H. (2017). Early nitrogen deficiencies favor high yield, grain protein content and N use efficiency in wheat. Europ. J. Agron. 89, s. 16-24.
199. Redemacher W. (2000). Growth retardants: effects of gibberellin biosynthesis and another metabolic pathways. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 51, s. 501-577.
200. Rosentrater K.A., Evers A.D. (2018). Introduction to cereals and pseudocereals and their production. W: Rosentrater K.A., Evers A.D. (red.) Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Kent's Technology of Cereals (s. 1-76). Woodhead Publishing.

201. Rozbicki J. (1998). Znaczenie gospodarcze i możliwości uprawy pszenżyta ozimego w Polsce. *Post. Nauk Rol.* 5, s. 17-27.
202. Rozbicki T. (1999). Związek między długością okresów międzyfazowych pszenicy jarej i jęczmienia jarego a elementami meteorologicznymi. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 2020. *Agric.* 79, s. 189-194.
203. Rozeboom K.L., Schapauhg W.T., Tuinstra M.R., Vanderlip R.L., Milliken G.A. (2008). Testing wheat in variable environments: genotype, environment, interaction effects, and grouping test locations. *Crop. Sci.* 48, s. 317-330.
204. Rudnicki F. 2014. Postęp hodowlany pszenżyta ozimego w latach 1982-2012. II. Odporność na czynniki biotyczne i abiotyczne. *Biuletyn IHAR* 273, s. 35 – 53.
205. Rymuza K. Marciniuk-Kluska A., Bombik A. (2012). Plonowanie zbóż ozimych w zależności od warunków termiczno-opadowych na polach produkcyjnych rolniczej stacji doświadczalnej w Zawadach. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 12, 2(38), s. 207-220.
206. Santiveri F.C., Romagosa R.I. (2004), Growth and yield response of spring and winter triticale cultivated under mediterranean conditions. *Eur. J. Agron.* 20, s. 281-292.
207. Schevchenko V.E., Karpachev V.V. (1985). Genetic resistance to fungus diseases in all triticale varieties. *Genetics and Breeding of Triticale. Eucarpia Meeting, Clermont-Ferrand, 2– 5 July 1984*, s. 565–571.
208. Schinkel B. 2002. Triticale-still a healthy crop? *Eucarpia, Poland Vol. I*, s. 157-162
209. Searle S.R., Casella G., McCulloch C.E. (2006). *Variance components*, Second edn. Wiley, Hoboken
210. Sekeroglu N., Yilmaz N. (2001). Effect of increasing nitrogen doses on yield and yield components in some triticale lines under dry conditions in Eastern Anatolia. *Pak. J. Biol. Sci.* 4, s. 672-673.
211. Shukla G.K. (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype-environment components of variability. *Heredity* 29, 237–245.
212. Silvey V. (1978). The contibution of new varieties to increasing cereal yield in England and Wales. *J. Natn. Inst. Agric. Bot.* 14, s. 385-400.
213. Simko I., Piepho H.P. (2011). Combining phenotypic data from ordinal rating scales. *Trends Plant Sci.* 16, 235–237.
214. Singh H., Mishra D., Nahar N.M. (2002). Energy usepattern in productionagriculture of a typicalvillage in aridzone, Indiae part-I. *Energy convers. Manag.*
215. Skórka A. (2013). Wyniki porejestrowych doświadczeń odmianowych i rolniczych w województwie Dolnośląskim. *Zybiszów*: 3-128.
216. Skowera B., Puła J. (2004). Skrajne warunki pluwiotermiczne w okresie wiosennym na terenie Polski w latach 1971-2000. *Acta Agrophys.* 3, s. 171-177.

217. Skrzyczyński T., Boligłowa E., Starczewski J. 1992. Wartość przedplonowa roślin strączkowych dla jęczmienia jarego i pszenżyta ozimego. *Fragm. Agron.* 4(36), s. 35-42.
218. Solarska E., Kuzdraliński A., Wójcik W., Targoński Z. (2010). Mikotoksyny w pszenżycie ozimym uprawianym w ekologicznym systemie produkcji. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 55(4), s. 102-107.
219. Spence N., Hill L., Morris J. (2020). How the global threat of pests and diseases impacts plants, people and the planet. *Plants People Planet* 2, s. 5-13.
220. Starczewski J., Stankiewicz C., Bombik A. (2000). Reakcja wybranych odmian pszenżyta formy jarej i ozimej na warunki środowiska. Cz. 1. Plon ziarna oraz zawartość i plon białka. *Biuletyn IHAR* 216, s. 117-123.
221. Stoyanov H. 2020. Response of Bulgarian triticale cultivars to unfavorable environments. *Bulgarian Journal of Crop Science.* 57(6), s. 17-29.
222. Strzembicka A. (2007). Występowanie mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* sp.) na pszenżycie w Polsce. Konferencja Naukowa „Nauka dla hodowli roślin uprawnych”. Zakopane, 29.01-02.02.2007. Streszczenie s. 42.
223. Sułek A., Podolska G., Leszczyńska D., Noworolnik K. (2007). Reakcja zbóż na nawożenie azotem. *Studia i raporty IUNG-PIB* 9, s. 29-36.
224. Sulewska H., Koziara W., Bojarczuk J. (2007). Kształtowanie plonu i jakość wybranych genotypów *Triticum durum* Desf. w zależności od nawożenia i gęstości siewu. *Biuletyn IHAR* 245, s. 17-28.
225. Szpunar-Krok E. (2011). Produkcyjne i ekonomiczne efekty wybranych technologii produkcji nasion roślin strączkowych w siewie czystym i ich mieszankach ze zbożami. *Wyd. Uniwersytetu Rzeszowskiego. Rozpr. Hab.*
226. Szwejkowski Z., Kurowski T.P. (2003). Badania wpływu czynników pogodowych na stopień inwazyjności patogenów grzybowych w środowisku na przykładzie pszenicy ozimej. *Przegl. Nauk Inż. Kształt. Środ.* 26, s. 83-90.
227. Ścigalska B. (2007). Zmienność plonowania odmian pszenżyta ozimego i jarego uprawianych na glebie kompleksu pszennego dobrego. *Fragm. Agron.* 4(96), s. 204-210.
228. Ścigalska B., Łabuz B. (2008). Produktywność pszenżyta ozimego i jarego w płodozmianie i monokulturach zbożowych na glebie kompleksu żytniego dobrego. *Fragm. Agron.*, 3(99), s. 197-205.
229. Święcicki W.K., Surma M., Koziara W., Skrzypczak G., Szukała J., Bartkowiak-Broda I., Zimny J., Banaszak Z., Marciniak K. (2011). Nowoczesne technologie w produkcji roślinnej – przyjazne dla człowieka i środowiska *Pol. J. Agron.* 7, 102–112.
230. Świętochowski B., Jabłoński B., Radomska M., Krężel R. (1996). *Ogólna uprawa roli i roślin.* Wyd PWRiL Warszawa, s. 256-257.

231. Tobiasz-Salach R., Bobrecka-Jamro D. (2006). Wpływ nawożenia azotowego na plon ziarna, zawartość białka i elementy struktury plonu owsa. Biuletyn IHAR 239, s. 41-47.
232. Tratwal A., Bocianowski J., Cyplik A. (2019). Wpływ poziomu agrotechniki na choroby pszenżyta ozimego (*×Triticosecale* Witt. ex A. Camus) badane w ramach Porejestrowego Doświadczalnictwa Odmianowego. Prog. Plant Prot. 59(4), s. 237-243.
233. Tratwal A., Gacek E. (2013). Integrowana ochrona upraw rolniczych. W: Mrówczyński M. (red.) T. 1 Podstawy integrowanej ochrony (s. 35-44). Poznań: PWRiL .
234. Tratwal A., Roik K., Baran M., Wielkopolan B., Jakubowska M., Kubasik W., Bocianowski J. (2023). Ocena porażenia kłosów wybranych gatunków zbóż przez grzyby z rodzaju *Fusarium* oraz *Claviceps purpurea* w Polsce w latach 2016–2020. Zagadnienia Doradztwa Rolniczego 112(2), 83–93.
235. Trethowan R.M. Reynolds M., Sayre K., Ortiz-Monasterio I. (2005). Adapting wheat cultivars to resource conserving farming practices and human nutritional needs. Ann. Appl. Biol. 146, s. 405-413.
236. Tutz G. (2012). Regression for categorical data. Cambridge University Press, Cambridge.
237. Tutz G., Hennevogl W. (1996). Random effects in ordinal regression models. Computational Statistics and Data Analysis 22, s. 537–557.
238. van Eeuwijk F.A., Keizer L.C.P., Bakker J.J. (1995). Linear and bilinear models for the analysis of multienvironmental trials: II. An application to data from the Dutch maize variety trials. Euphytica 84, s. 9-22.
239. Veitch R. S., Caldwell C. D., Martin R. A., Lada R., Salmon D., Anderson, D. M., MacDonald D. (2008). Susceptibility of winter and spring triticales to fusarium head blight and deoxynivalenol accumulation. Can. J. Plant Sci. 88, s. 783-788.
240. VSN International.(2023). GenStat for Windows, 23th Edn. Hemel Hempstead: VSN International.
241. Wakuliński W., Zamorski Cz., Nowicki B. (2007). Podatność odmian i linii hodowlanych pszenżyta na porażenie *Blumeria graminis* (DC) Speer. Prog. Plant Prot. 47(2), s. 361-365.
242. Wakuliński W., Zamorski Cz., Nowicki B., Schollenberger M., Mirzwa-Mróż E., Mikulski W., Konieczny M. (2005). Grzyb *Blumeria graminis* (DC) Speer poważnym zagrożeniem dla pszenżyta. Prog. Plant Prot. 45, s. 505-510.
243. Weber R., Bujak H. (2016). Zmienność plonowania wybranych odmian pszenżyta ozimego w zależności od technologii uprawy i środowiska. Fragm. Agron. 33(1), s. 87-95.
244. Weber R., Zalewski D. (2006). Wpływ interakcji genotypowo-środowiskowej na plonowanie pszenicy ozimej. Biuletyn IHAR 240/241, s. 33-42.
245. Weber R., Zalewski D., Bujak H., Kaczmarek J., Śmiałek E. (2011). Interakcja odmian pszenicy ozimej z warunkami środowiska w kształtowaniu poziomu plonowania na podstawie wyników PDO na dolnym Śląsku. Ann. UMCS Sec. E LXVI (2), s. 1-9.

246. Węgrzyn A., Zając G. (2008). Wybrane aspekty badań efektywności energetycznej technologii produkcji biomasy roślinnej. *Acta Agrophys.* 11(3), s. 799-806.
247. Weikai Y., Hunt L.A. (1999). An equation for modeling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. *Ann. Bot.* 84, s. 607-614.
248. Weikai Y., Hunt L.A. (2001). Interpretation of genotype×environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Science* 41, s. 19-25.
249. Wickham H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.
250. Wielicki W. (1989). Analiza efektywności energetycznej w rolnictwie. *Post. Nauk Roln.* 1, s. 69-86.
251. Wilgosz E., Dmowski Z., Nowak L. (2005). Wpływ sumy i rozkładów opadów na plonowanie pszenżyta ozimego uprawianego na różnych kompleksach glebowo-rolniczych w północnej części Polski. *Woda, Środowisko, Obszary Wiejskie* T.5. z. specj. 14, s. 341-352.
252. Wiśniewska H., Góral T., Ochodzki P., Walentyn-Góral D., Kwiatek M., Majka M., Grzeszczak I., Belter J., Banaszak Z., Pojmaj M., Kurlito D., Konieczny M., Budzianowski G., Cicha A., Paizert K., Woś H. (2014). Odporność rodów hodowlanych pszenżyta ozimego na fuzariozę kłosów. *Biuletyn IHAR* 271, s. 29-43.
253. Wójcicki Z. (2007). *Poszanowanie energii i środowiska w rolnictwie i na obszarach wiejskich*. Monografia. Warszawa : Wydawnictwo IBMER.
254. Wojcieszka U., Gontarczuk W.A., (1989). *Fizjologia pszenżyta*. (W:) *Biologia pszenżyta*, praca pod red. C. Tarkowskiego, Warszawa: PWN.
255. Wójcik-Gront E., Studnicki M. (2021). Long-term yield variability of triticale (*×Triticosecale* Wittmack) tested using a CART model. *Agriculture.*, 11 (92).
256. Woźniak A. (1999). Plonowanie jarych form pszenżyta, pszenicy i jęczmienia w płodozmianie i monokulturze. *Biuletyn IHAR* 210, s. 21-27.
257. Woźniak A. (2001). Studia nad plonowaniem, zachwaszczeniem i zdrowotnością pszenżyta jarego, pszenicy jarej oraz jęczmienia jarego w płodozmianach i krótkotrwałej monokulturze na glebie rędzinowej środkowowschodniej Lubelszczyzny. *Rozpr. Nauk. AR Lublin* 247.
258. Wróbel E., Jabłoński H. (2004). Wpływ sposobu ochrony przed chorobami grzybowymi na plonowanie pszenżyta ozimego. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 3(1), s. 55-61.
259. Xinyou Y., Kropff M.J., McLaren G., (1995). A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agric. Forest Meteorology* 77, s. 1-16.
260. Zając T., Szafrąński W., Gierdziewicz M., Pieniek J. (2006). Plonowanie pszenżyta ozimego uprawianego po różnych przedplonach. *Fragm. Agron.*, 2(90), s. 174-183.
261. Zhu F. (2018). Triticale: Nutritional composition and food uses, *Food Chemistry* 241, s. 468-479.

Spis rysunków

Rys. 1. Zbiory pszenżyta w roku 2022 w dziesięciu najbardziej znaczących krajach pod tym względem (źródło: Food and Agriculture Organization, 2024)	12
Rys. 2. Powierzchnia uprawy zbóż w Polsce w latach 2000-2022.....	13
Rys. 3. Rozmieszczenie doświadczeń z pszenżytem ozimym z podziałem na rejony przyjęte w ocenie odmian zbóż.....	17
Rys. 4. Warianty rozmieszczenia poziomów czynnika nieodmianowego	18
Rys. 5. Rejony przyjęte w ocenie zbóż wraz z optymalnymi terminami siewu	33
Rys. 6. Przebieg faz rozwojowych pszenżyta ozimego na tle warunków meteorologicznych w latach trwania badań 2018-2023	54
Rys. 7. Wyleganie roślin na przeciętnym poziomie agrotechniki w środowiskach	55
Rys. 8. Wyleganie roślin na wysokim poziomie agrotechniki w środowiskach.....	56
Rys. 9. Oceny wylegania odmian na poziomie agrotechniki a1 (po lewej) i a2 (po prawej)	56
Rys. 10. Obserwacje intensywności wylegania dla odmian pszenżyta ozimego.....	57
Rys. 11. Prawdopodobieństwo uzyskania oceny wylegania poszczególnych odmian pszenżyta ozimego	59
Rys. 12. Występowanie patogenów w poszczególnych lokalizacjach w latach badań ..	62
Rys. 13. Stopnie porażenia roślin przez <i>Blumeria graminis</i>	64
Rys. 14. Porażenie roślin pszenżyta ozimego przez <i>Blumeria graminis</i> w środowiskach	64
Rys. 15. Obserwacje intensywności porażenia odmian przez <i>Blumeria graminis</i>	65
Rys. 16. Prawdopodobieństwo uzyskania oceny porażenia przez <i>Blumeria graminis</i> poszczególnych odmian pszenżyta ozimego	66
Rys. 17. Stopnie porażenia roślin przez <i>Puccinia striiformis</i>	67
Rys. 18. Porażenie roślin pszenżyta ozimego przez <i>Puccinia striiformis</i> w środowiskach	68
Rys. 19. Obserwacje intensywności porażenia odmian przez <i>Puccinia Striiformis</i>	68
Rys. 20. Prawdopodobieństwo uzyskania oceny porażenia przez <i>Puccinia Striiformis</i> poszczególnych odmian pszenżyta ozimego	70
Rys. 21. Stopnie porażenia roślin przez <i>Puccinia recondita</i>	71
Rys. 22. Porażenie roślin pszenżyta ozimego przez <i>Puccinia recondita</i> w środowiskach	71

Rys. 23. Obserwacje intensywności porażenia odmian przez <i>Puccinia recondita</i>	72
Rys. 24. Prawdopodobieństwo uzyskania oceny porażenia przez <i>Puccinia recondita</i> poszczególnych odmian pszenżyta ozimego	73
Rys. 25. Stopnie porażenia roślin przez <i>Fusarium</i> spp.	74
Rys. 26. Porażenie roślin pszenżyta ozimego przez <i>Fusarium</i> spp. w środowiskach,....	74
Rys. 27. Obserwacje intensywności porażenia odmian przez <i>Fusarium</i> spp.....	75
Rys. 28. Prawdopodobieństwo uzyskania oceny porażenia przez <i>Fusarium</i> spp. poszczególnych odmian pszenżyta ozimego	76
Rys. 29. Plon ziarna pszenżyta ozimego w poszczególnych sezonach wegetacyjnych ..	77
Rys. 30. Średni plon pszenżyta ozimego uzyskany w okresie badań [dt/ha].....	78
Rys. 31. Analiza ryzyka plonowania pszenżyta ozimego	82
Rys. 32. Wartość masy 1000 ziaren w poszczególnych sezonach wegetacyjnych	83

Spis tabel

Tabela 1. Charakterystyka warunków glebowych doświadczeń.....	19
Tabela 2. Właściwości chemiczne gleby.....	21
Tabela 3. Przedplon.....	22
Tabela 4. Zabiegi agrotechniczne oraz terminy ich wykonania.....	23
Tabela 5. Zabiegi różnicujące poziomy agrotechniki	25
Tabela 6. Terminy stosowania regulatorów wzrostu	26
Tabela 7. Terminy stosowania fungicydów	27
Tabela 8. Terminy stosowania nawozów dolistnych wieloskładnikowych	28
Tabela 9. Dawki azotu zależne od kompleksu gleby	29
Tabela 10. Nawożenie mineralne azotem w poszczególnych sezonach wegetacyjnych z podziałem na punkty doświadczalne.....	30
Tabela 11. Stosowanie dawek nawozów fosforowych i potasowych a zasobność gleby.....	31
Tabela 12. Nawożenie fosforem, potasem, magnezem i wapniem	32
Tabela 13. Zabiegi ochrony roślin - herbicydy	35
Tabela 14. Zabiegi ochrony roślin – insektycydy	36
Tabela 15. Charakterystyka warunków meteorologicznych w poszczególnych sezonach wegetacyjnych.....	38

Tabela 16. Szczegółowe dane porównywanych technologii produkcji pszenżyta ozimego	43
Tabela 17. Ekwiwalent energetyczny dla dobranych nakładów produkcji	44
Tabela 18. Współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa (<i>K</i>) w poszczególnych okresach wegetacyjnych.	51
Tabela 19. Szacowany komponent wariancyjny.....	57
Tabela 20. Efekty szacowania oraz wartość statystyki z dla wylegania odmian pszenżyta ozimego.....	58
Tabela 21. Szacowany komponent wariancyjny dla wysokości roślin.....	59
Tabela 22. Średnia wysokość roślin pszenżyta ozimego wraz z wskaźnikami stabilności	60
Tabela 23. Szacowany komponent wariancyjnych.....	63
Tabela 24. Porażenie roślin pszenżyta ozimego przez <i>Blumeria graminis</i>	65
Tabela 25. Porażenie roślin pszenżyta ozimego przez <i>Puccinia Striiformis</i>	69
Tabela 26. Porażenie roślin pszenżyta ozimego przez <i>Puccinia recondita</i>	72
Tabela 27. Porażenie roślin pszenżyta ozimego przez <i>Fusarium</i> spp.	75
Tabela 28. Szacowany komponent wariancyjnych.....	78
Tabela 29. Plon ziarna odmian pszenżyta ozimego z uwzględnieniem wskaźników stabilności	79
Tabela 30. Wpływ warunków atmosferycznych na plonowanie pszenżyta ozimego.....	81
Tabela 31. Szacowany komponent wariancyjny dla masy tysiąca ziaren (MTZ)	83
Tabela 32. Masa tysiąca ziaren pszenżyta ozimego wraz z wskaźnikami stabilności....	84
Tabela 33. Struktura i nakłady energii skumulowanej poniesione w procesie produkcji pszenżyta ozimego (według operacji agrotechnicznych)	85
Tabela 34. Struktura i nakłady energii skumulowanej poniesione w procesie produkcji 1 ha pszenżyta ozimego (według strumieni energii)	86
Tabela 35. Wskaźniki oceny energetycznej porównywanych technologii produkcji pszenżyta ozimego (zróznicowanych pod względem poniesionych nakładów).....	86
Tabela 36. Struktura i nakłady energii skumulowanej poniesione w procesie produkcji pszenżyta ozimego (według operacji agrotechnicznych).	87
Tabela 37. Struktura i nakłady energii skumulowanej poniesione w procesie produkcji 1 ha pszenżyta ozimego (według strumieni energii)	88
Tabela 38. Wskaźniki oceny energetycznej porównywanych technologii produkcji pszenżyta ozimego, zróznicowanych pod względem poniesionych nakładów	89

Tabela 39. Zestawienie kosztów produkcji pszenżyta ozimego	91
Tabela 40. Plon, koszty i wybrane wskaźniki ekonomiczne produkcji ziarna pszenżyta ozimego	92