UNIWERSYTET WARMIŃSKO-MAZURSKI
W OLSZTYNIE
WYDZIAŁ ROLNICTWA I LEŚNICTWA
Katedra Agrotechnologii i Agrobiznesu

mgr inż. Witold Smaciarz

REAKCJA PSZENICY OZIMEJ NA RÓŻNICOWANIE WYBRANYCH CZYNNIKÓW AGROTECHNICZNYCH

Olsztyn 2022

UNIVERSITY OF WARMIA AND MAZURY
IN OLSZTYN
FACULTY OF AGRICULTURE AND FORESTRY
Department of Agrotechnology and Agribusiness

Witold Smaciarz, MSc, Eng.

THE RESPONSE OF WINTER WHEAT TO DIFFERENT AGRONOMIC FACTORS

Olsztyn 2022

Praca na stopień doktora nauk rolniczych
w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo
została wykonana
w Katedrze Agrotechnologii i Agrobiznesu
Wydziału Rolnictwa i Leśnictwa
Uniwersytetu Warmińsko – Mazurskiego w Olsztynie

pod kierunkiem
dr hab. inż. Bogdana Dubisa, prof. UWM

Wyniki przedstawione w niniejszej pracy zebrano z 3-letnich badań finansowanych przez Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie w ramach tematu pt.: Wydajność i efektywność produkcji roślinnych surowców strategicznych i biosurowców
(nr 30.610.013-110)

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP I CEL PRACY.....6
2. PRZEGLĄD PIŚMIENNICTWA..... 9
2.1 Wpływ czynników agrotechnicznych na plonowanie pszenicy ozimej.....9
2.2 Jakość ziarna w zależności od czynników agrotechnicznych 25
2.3 Ekonomiczna efektywność produkcji ziarna.....38
3. METODYKA I WARUNKI BADAŃ.....41
3.1 Opis doświadczenia i metody badań.....41
3.2 Zakres badań polowych.....45
3.3 Ocena jakościowa gleby.....46
3.4 Ocena jakościowa ziarna.....46
3.5 Ocena ekonomiczna.....47
3.6 Analiza statystyczna.....50
4. WYNIKI BADAŃ.....51
4.1 Agrometeorologiczne uwarunkowania wzrostu, rozwoju i plonowania pszenicy..51
4.2 Zwartość łanu i porażenie roślin przez patogeny grzybowe 56
4.2 Elementy składowe plonu w zależności od czynników agrotechnicznych.....61
4.3 Plon ziarna w zależności od czynników agrotechnicznych.....65
4.4 Plon ziarna w zależności od intensywności technologii.....68
4.4.1 Pszenica liniowa odmiana Artist.....68
4.4.2 Pszenica mieszańcowa odmiana Hybery.....69
4.5 Jakość ziarna w zależności od odmiany i lat badań.....71
4.6 Jakość ziarna w zależności od czynników agrotechnicznych.....74
4.6.1 Pszenica liniowa odmiana Artist.....74
4.6.2 Pszenica mieszańcowa odmiana Hybery.....75
4.7 Jakość ziarna w zależności od intensywności technologii.....77
4.7.1 Pszenica liniowa odmiana Artist 77
4.7.2 Pszenica mieszańcowa odmiana Hybery.....79
4.8 Ekonomiczna efektywność produkcji ziarna wybranych technologii.....80
4.8.1 Pszenica liniowa odmiana Artist 80
4.8.3 Pszenica mieszańcowa odmiana Hybery 83
5. DYSKUSJA.....86
6. WNIOSKI.....101
7. SPIS PIŚMIENNICTWA.....103
ANEKS.....123
STRESZCZENIE/ABSTRACT.....130

1. WSTĘP I CEL PRACY

Pszenica (*Triticum aestivum* L.) spośród zbóż, pod względem produkcji globalnej, zajmuje 2 miejsce, a pod względem areału pierwsze. Jej powierzchnia uprawy na świecie w 2020 roku wyniosła 219 mln ha, z której wyprodukowano około 761 mln ton ziarna (FAOSTAT 2020). W 2020 roku w krajach Unii Europejskiej wyprodukowano 126 mln ton ziarna pszenicy, a Polska osiągnęła poziom około 12 mln ton, przy łącznej produkcji zbóż na poziomie 33,3 mln ton (Rynek zbóż 2021).

Ziarno pszenicy ze względu na wyjątkowe właściwości odżywcze stanowi podstawę światowej produkcji żywności (Ray i in. 2013; Shiferaw i in. 2013). Szacuje się, że globalna populacja będzie rosła, a za tym pojawi się zwiększone zapotrzebowanie na żywność pochodzenia roślinnego (Godfray i in. 2010; Foley i in. 2011; Ray i in. 2012; 2013; Fischer i in. 2014). Przyjaznym dla środowiska podejściu do osiągnięcia tego celu, przy ograniczonej dostępności gruntów ornych, powinno być zwiększenie plonów na danym obszarze w wyniku wprowadzenia przez hodowlę nowych wydajniejszych odmian (Neumann i in. 2010; Buczek i Bobrecka-Jamro 2015; Buczek i in. 2016; Boeven et al. 2016; Prey i in. 2020a,b; Bastos i in. 2020; Jańczak-Pieniążek i in. 2022).

Powszechnie uważa się, że postęp biologiczny odpowiada w 80–90% za wzrost plonów. Obecnie występujące w uprawie pszenicy odmiany liniowe pomimo postępu hodowlanego (Mackay i in. 2011; Laidig i in. 2014) wykazują wyraźne spowolnienie lub stagnację we wzroście plonów (Godfray i in. 2010; Foley i in. 2011; Tilman i in. 2011; Ray i in. 2013; FAOSTAT 2020). Taka sytuacja spowodowana jest zmianami klimatycznymi (Lobell i in. 2011), dużym udziałem zbóż w strukturze zasiewów (Laidig i in. 2014), a także z ekstensyfikacją nakładów związanych ze stosowaniem środków produkcji (Lassaletta i in. 2014). Obiecującym rozwiązaniem do zwiększenia przyrostów plonu oraz poprawy stabilności plonowania, a w konsekwencji zwiększenia globalnej wydajności z jednostki powierzchni jest wprowadzenie do uprawy odmian mieszańcowych pszenicy (Tester i Langridge 2010; Longin i in. 2012, 2013, 2014; Whitford i in. 2013; Mühleisen i in. 2014; Boeven i in. 2016; Zhao i in. 2015; Prey 2019a,b). Ich zwiększony udział w produkcji może mieć kluczowe znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego świata (Plett i in. 2020). Odmianom mieszańcowym przypisuje się wiele korzystnych cech, które wynikają z ich większego wigoru czyli heterozji, co często wyraża się uzyskaniem większej wydajności, a także innych pożądanych cech rolniczo-użytkowych (Koemel i in. 2004). Dotychczasowe badania wykazały,

że odmiany mieszańcowe w porównaniu do liniowych plonują wyżej nawet o 10–20%, ponadto cechują się one korzystniejszą reakcją na stosowane nawozy, a także dają ziarno o lepszej jakości (Kempe i Gils 2011; Gowda i in. 2012; Longin i in. 2013; Buczek i in. 2016; Thorwarth i in. 2018; Jańczak-Pieniążek 2020b). Mieszańce charakteryzuje także wyższa stabilność plonowania w szerszym zakresie zmiennego środowiska (Jordaan 1996; Gowda i in 2010; Noorka i in. 2013; Mühleisen i in. 2014) oraz większa odporność na stresy abiotyczne i biotyczne (Longin i in. 2013). Zwiększona tolerancja na stres przypisywana jest mocniejszemu wzrostowi korzeni (Yao i in. 2005; Wang i in. 2006; Song i in. 2007). Stwierdzono również, że odmiany mieszańcowe są bardziej efektywne pod względem pobierania składników odżywczych w budowaniu plonu przy tej samej ilości nawozów w porównaniu do liniowych (Kindred i Gooding 2004; Thorwarth i in. 2018).

Obecnie globalny obszar uprawy pszenicy mieszańcowej stopniowo rośnie (Longin i in. 2012, 2013). Trwają liczne programy badawcze, co sugeruje prawdopodobieństwo dalszej ekspansji tych odmian w Europie i na świecie. Począwszy od lat 90. XX wieku, było zarejestrowanych ponad 60 odmian pszenicy mieszańcowej sprzedawanych w Europie i USA, w większości wyprodukowanych na kontynencie europejskim (Gupta i in. 2019). Obecnie w katalogu Unijnym CCA zapisanych jest 19 odmian mieszańcowych, a w Polsce takich odmian w Krajowym Rejestrze widnieje tylko jedna i kilka w badaniach przed rejestrowych. Według niektórych raportów obszar zajęty przez pszenicę mieszańcową w Europie wzrósł z ~ 100 000 ha w 2002 r. do 560 000 ha w latach 2017–2018 (Gupta i in. 2019). W Polsce takie uprawy zajmują powierzchnię ponad 3 tys. ha (Saaten Union 2022 - dane niepublikowane). Na terenie Indii do 2004 roku odmiany mieszańcowe zajmowały > 60 000 akrów (Zehr 2001; Matuschke i Qaim 2006), a ich obecny rozwój koncentruje się na dostarczeniu kreacji, które uzyskują wysokie plony w warunkach środowisk północno-zachodnich tego kraju. Chiny i Pakistan współpracują na rzecz rozwoju odmian mieszańcowych pszenicy tolerancyjnych na suszę, a szwajcarski koncern rolniczy Syngenta inwestuje w uzyskaniu odmian przeznaczonych w różne warunki siedliska, w tym obszary marginalne (Gupta i in. 2019). Pomimo wieloletnich prób (Singh i in. 2010) pszenica mieszańcowa nadal nie jest powszechnie uprawiana i stanowi około 1% udziału w światowej produkcji tego gatunku (Longin i in. 2012). Niemniej jednak wraz ze wzrostem postępu hodowlanego (Fischer i in. 2014) i wprowadzenia nowych technologii molekularnych i genetycznych służącym w szybszym, łatwiejszym i tańszym pozyskaniu nowych odmian mieszańcowych (Whitford i in. 2013; Zhao i in. 2014; Boeven i in. 2016) może spowodować, że ich wydajność w porównaniu do liniowych odmian wyrażone przez „heterozję

handlową” znacznie wzrośnie już w niedalekiej przyszłości, co zwiększy opłacalność jej uprawy (Prey i in. 2019a).

Czynnikiem ograniczającym szersze rozpowszechnienie odmian mieszańcowych w praktyce rolniczej są zbyt wysokie koszty produkcji materiału siewnego (Kempe i Gils 2011; Longin i in. 2012). Dlatego ważne jest zrównoważenie tych kosztów z uzyskaniem większej wydajności, wynikających z postępu hodowlanego nowych wprowadzanych odmian mieszańcowych do praktyki rolniczej (Gowda i in. 2012; Longin i in. 2013), a także odpowiednie dostosowanie do nich czynników agrotechnicznych. W uprawie mieszańcowych odmian pszenicy ważne są uściślenia związane z gęstością siewu (Buczek i Bobrecka-Jamro 2015) i terminem siewu (Prey i in. 2019b), poziomem nawożenia azotem (Buczek i in. 2016, 2017; Thorwarth i in. 2018; Prey i in. 2019a; Jańczak-Pieniążek i in. 2022), a także z ochroną przed patogenami grzybowymi (Prey i in. 2019b; Jańczak-Pieniążek i in. 2020a,).

Niniejsza praca przedstawia wybrane badania agrotechniczne nad nowym genotypem pszenicy ozimej mieszańcowej.

Celem badań było:

– skwantyfikowanie wpływu zmiennego terminu i gęstości siewu, dawki azotu oraz ochrony przed chorobami na jakość technologiczną i efektywność produkcji ziarna pszenicy ozimej mieszańcowej odmiany Hybery i liniowej odmiany Artist w układzie pozwalającym na stwierdzenie interakcji odmianowo–agrotechnicznej,

– wybór technologii produkcji ziarna pszenicy mieszańcowej i liniowej gwarantujących uzyskanie stabilnych plonów dużych (najlepszy wybór) i plonów małych (najgorszy wybór),

– zbadanie wpływu wybranych technologii na klasyfikację jakościową surowca obu odmian pszenicy ozimej,

– określenie nakładów finansowych i efektywności ekonomicznej całych technologii produkcji ziarna pszenicy mieszańcowej i liniowej skonstruowanych z wariantów czynników agrotechnicznych warunkujących uzyskanie plonów dużych i małych.

Hipoteza badawcza zakłada odmienną reakcję pszenicy mieszańcowej i liniowej na poziom czynników agrotechnicznych w aspekcie produkcyjności, jakości technologicznej surowca oraz sprawności ekonomicznej, co pozwoli na wyodrębnienie technologii dostosowanych stopniem intensywności do potencjału cech rolniczych badanych odmian.

2. PRZEGLĄD PIŚMIENNICTWA

2.1 Wpływ czynników agrotechnicznych na plonowanie pszenicy ozimej

Termin siewu to jeden z najważniejszych w uprawie pszenicy ozimej czynnik agrotechniczny, który praktycznie determinuje intensywność pozostałych agroczynników stosowanych w uprawie tego gatunku (Ferrise i in. 2010; Budzyński 2012; Hochman i Horan 2018). Należy on jednocześnie do beznakładowych sposobów zarządzania uprawami polowymi przyczyniając się do zwiększenia wydajności z jednostki powierzchni. Najczęstszą przyczyną warunkującą niższe plonowanie pszenicy ozimej uznaje się wysiew poza optymalnym kalendarzowo okresem przypadającym dla danego regionu, które nie może być wystarczająco zrekompensowane żadnym innym zabiegiem agrotechnicznym (Ećin 2016; Budzyński 2012).

Dotychczasowe badania dowodzą różnych spadków plonów (Dubis i Budzyński 2006; Weber i Biskupski 2007; Harasim i Matyka 2009; Pisarek i in. 2013a; Oleksiak 2014; Budzyński i in. 2018), a także elementów składowych plonu (Pisarek i in. 2013b; Prey i in. 2019b) pod wpływem opóźnionego siewu. W badaniach Dubisa i Budzyńskiego (2006) dwutygodniowe opóźnienie siewu skutkowało obniżką plonu o 3,4%, a inne opracowanie (Szumiło i Rachoń 2008) wykazało spadek wydajności o 17%. Podolska i Wyzińska (2011b) na taką samą długość opóźnienia siewu, w zależności od lat badań, notowali obniżkę plonu na poziomie 15–16%, a opóźnienie o kolejne dwa tygodnie aż o 26–36%. Weber i Biskupski (2007) stwierdzili spadki plonu na skutek dwu i cztero-tygodniowego opóźnienia siewu, odpowiednio o 0,4 i 1,23 $Mg \cdot ha^{-1}$. W badaniach Pisarek i in. (2013a) opóźnienie siewu do końca pierwszej dekady października w stosunku do terminu optymalnego dla tego regionu spowodowało zmniejszenie wydajności pszenicy, średnio o około 16%, które było jednak silnie różnicowane w sezonach wegetacyjnych. W roku słabego przezimowania oraz niekorzystnych warunków hydrotermicznych przypadających na intensywny wzrost w okresie wiosenno-letnim spadek plonu ziarna pod wpływem opóźnienia siewu wyniósł aż 33%. Natomiast w roku o korzystnym przebiegu pogody wydajność pszenicy, w zależności od pory siewu, była na statystycznie tym samym poziomie (Pisarek i in. 2013a). W nowszych badaniach przeprowadzonych przez Budzyńskiego i in. (2018) z różnymi gatunkami pszenicy ozimej (zwyczajna, twarda, orkisz) notowano w plonie wysoką tolerancją na 10-dniowe lub 20-dniowe opóźnienie siewu. W innym eksperymencie wykonanym przez Prey i in. (2019b) z odmianami mieszańcowymi i liniowymi wykazano wzrost plonu średnio o 0,7 $Mg \cdot ha^{-1}$ (o 8%) w

warunkach siewu wykonanego 28. września w stosunku do opóźnionego o 26 dni (23. października).

Z badań wynika, że opóźnienie siewu skutkuje pogorszeniem architektury łanu pszenicy ozimej objawiającej się nierównomiernym wyrównaniem wysokości pędu głównego do pędów bocznych (Budzyński 2012), a także zmniejszeniem zwartości kłosów na jednostce powierzchni (Milford i in. 1993; Podolska 1997; Szumiło i Rachoń 2008; Pisarek i in. 2013b), liczby ziaren w kłosie (Podolska 1997; Podolska i Wyzińska 2011b) i masy 1000 ziaren (Milford i in. 1993; Mazurek i Sułek 1997). Opóźniony siew ogranicza także proces krzewienia pszenicy (Dubis i Budzyński 2006; Pisarek i in. 2013; Podolska i Wyzińska 2011b), który można zwiększyć zmniejszając ilość wysiewu (Dubis i Budzyński 2006; Buczek i Bobrecka-Jamro, 2015) oraz utrudnia roślinom dostęp do azotu we wczesnych fazach rozwojowych (Podolska 2009; Podolska i Wyzińska 2011a; Pisarek i in. 2013a). Są także badania, w których opóźniony termin siewu pszenicy ozimej skutkował jedynie nieznacznym ograniczeniem liczby kłosów produktywnych i nie wpływał istotnie na pozostałe komponenty plonu (Budzyński i in. 2018). W badaniach Prey i in. (2019b) odmiany pszenicy mieszańcowej i liniowej reagowały na wczesny siew istotnym wzrostem liczby ziaren w kłosie (o 10%), a także tendencją do wyższej (o 4%) masy 1000 ziaren i zmniejszonej (o 5%) liczby kłosów na jednostce powierzchni.

Potwierdzeniem naukowego stanu wiedzy o dużym znaczeniu terminowości siewu pszenicy ozimej są badania ankietowe przeprowadzone przez Oleksiak (2014) pochodzące z pól produkcyjnych naszego kraju. Autor ten wykazał, że średni plon pszenicy ozimej na przestrzeni 18 lat (1986–2003) na których wykonywano siewy opóźnione, były o 4,7% niższe od średniego plonu z pól, na których siew odbywał się w terminie optymalnym i o 8,7% niższy w porównaniu do pól zasianymi w terminie wczesnym w stosunku do optymalnego. Ten sam badacz w okresie innych 8 lat badań (2008–2013) notował mniejsze różnice w wydajności w zależności od badanego czynnika, które wynosiły odpowiednio 0,9% i 3,7%. Powyższe badania wykazały, niezależnie od jakości gleby i poziomu nawożenia, znaczne obniżenie plonu w warunkach stosowania siewu późnego w stosunku do bardzo późnego. Taka reakcja pszenicy ozimej spowodowana była uprawą tego gatunku po dobrych przedplonach późno schodzących z pola (burak cukrowy, kukurydza), które rekompensowały straty w plonie spowodowane bardzo późnym siewem (Oleksiak 2014). Uzyskane wyniki mogą być sygnałem, że w następstwie zmieniających się warunków klimatycznych Polski, postępu hodowlanego, doboru stosowanych odmian należy ponownie przeanalizować i skorygować zalecenia uprawowe

dotyczące terminów siewu dla pszenicy ozimej, a być może również i innych gatunków zbóż ozimych. Relatywnie wysokie plony uzyskiwane w bardzo opóźnionych siewach, dowodzą, że wykonanie takiego zabiegu agrotechniki nie przekreśla możliwości uzyskania dużych plonów, kiedy zastosuje się odpowiednią agrotechnikę i dobre przedplony, które zregenerują niekorzystne dla rozwoju pszenicy opóźnienie siewu (Oleksiak 2014).

Według Podolskiej (2010) zmiany, które ograniczają produkcyjność pszenicy na skutek opóźnienia siewu wywołane są skróceniem okresu jesiennej wegetacji od 2 do 6 tygodni w porównaniu do siewu optymalnego (Podolska 2010). Dlatego pszenica ozima wymaga siewu w takim terminie, który zapewni jej przed spoczynkiem zimowym co najmniej fazę 4–5 liści, czyli początek stadium krzewienia (Budzyński 2012). W warunkach klimatycznych Polski uzyskanie takiej fazy rozwojowej w okresie jesiennym zapewniają tylko siewy wrześniowe. W Północno-Wschodniej Polsce powinny one być wykonane między 20, a 25 września. Siewy październikowe, niezależnie od regionu, są spóźnione i charakteryzują się istotnym zmniejszeniem plonu ziarna nawet o 30% (Budzyński 2012). W okresie jesiennej wegetacji pszenicy ozimej ważna jest także średniodobowa temperatura powietrza, która od siewu do wschodów powinna osiągnąć wartość około 11^{o}C na każdą dekadę. W okresie tworzenia liści, przy średnim uwilgotnieniu gleby, optimum termiczne powinno wynosić nieco ponad 6^{o}C. Takie warunki pogodowe gwarantują równomierne hartowanie roślin, optymalną głębokość osadzania się węzła krzewienia pod powierzchnią gleby, zawiązanie co najmniej 2 pędów produktywnych i dobre zimowanie tego gatunku. W okresie jesiennej wegetacji pszenica przechodzi z fazy wegetatywnej w fazę generatywnego rozwoju, w której następuje tworzenie zawiązków pędów bocznych, a w nich następuje inicjacja w stożkach wzrostu elementów składowych kłosa (Budzyński 2012). Przeniesienie tego stadium na okres wiosennej wegetacji nie jest równoznaczne, tożsame pod względem plonotwórczym przypisywanym krzewieniu jesiennym. Skutkiem takiej sytuacji jest gorsze różnicowanie poszczególnych elementów składowych kłosa w okresie wiosennym ze względu na mniej korzystne warunki pogodowe (zbyt wysokie temperatury i wydłużony dzień), rozwarstwiona wielopiętrowa część łanu, krótszy i mniej zbity kłos, a w rezultacie znaczna redukcja plonu ziarna. Wskazuje się także na pogorszenie wartości technologicznych ziarna dotyczących wyróżników przemiałowych ziarna, a także obniżenia efektywności zastosowanego nawożenia mineralnego, co może podrażać produkcję pszenicy ozimej (Budzyński 2012).

W Polsce dotrzymanie zalecanych terminów siewu pszenicy ozimej stanowi poważny problem (Oleksiak 2014). Największe trudności z zachowaniem optymalnych terminów siewu

notuje się w Północno-Wschodniej Polsce, gdzie ponad 80% areału upraw pszenicy ozimej obsiewano po zalecanym terminie agrotechnicznym. Niewiele lepsza sytuacja na terminowość zastosowania tego czynnika agrotechnicznego jest w Polsce Środkowo-Wschodniej. Jedynie w Wielkopolsce i na Śląsku opóźnienia siewu dotyczyły mniej niż 30% obsianych pól produkcyjnych (Oleksiak 2014).

Gęstość siewu to kolejny bardzo ważny czynnik agrotechniczny wpływający na wzrost i tworzenie plonu pszenicy ozimej (Bodson i in. 1997; Jordaan 1996; Lloveras i in. 2004; Hiltbrunner i in. 2007; Budzyński 2012; Zecevic i in. 2014 Sander i in. 2017; Hochman i Horan, 2018; Lollato i in. 2019; Bastos i in. 2020). Reakcja tego gatunku na gęstość siewu jest niespójna, a mechanizmy dające odpowiedź na ten czynnik agrotechniczny są w dalszym ciągu niejasne (Bastos i in. 2020). Zalecenia dotyczące zagęszczenia roślin na jednostce powierzchni powinny być powiązane z warunkami pogodowymi i siedliskowymi, a także genotypowymi (Lloveras i in. 2004; Luo i in. 2011). Istotne znaczenie w aspekcie dotyczącym ulepszeń w agrotechnice jest określenie optymalnej gęstości siewu, która wpływa na wytworzenie minimalnej liczby źdźbeł kłosonośnych na jednostce powierzchni wymaganą do maksymalizacji plonów (Bastos i in. 2020).

Pszenica ozima przeznaczona na cele technologiczne nie powinna być siana zbyt gęsto (Budzyński 2012). Gęstość siewu zależy od intensywności i poprawności pozostałych zabiegów agrotechnicznych (McLeod i in. 1992; McLeod i in. 1996; Beres i in. 2016), a także dostępności składników pokarmowych wody (Otteson i in. 2007). Odpowiednią zwartość łanu na poziomie 550 – 650 kłosów na $1m^2$ przed zbiorem, która gwarantuje duże plony, można osiągnąć zarówno w siewie rzadszym (umożliwiającym większe krzewienie produktywne) jak i w siewie gęstym (z ograniczonym krzewieniem). W tym pierwszym przypadku sieje się małe ilości ziaren (do 300 ziarniaków$\cdot m^{-2}$) tak, aby roślina zainicjowała 2–3 pędy kłosonośne, co prowadzi do uzyskania dużych wydajności. Takie siewy rokują dobrze jedynie w dobrych warunkach środowiska (glebowych, klimatycznych, nawozowych). W przypadku ich pogorszenia (gleba lekka, suche lata, niskie nawożenie NPK) ryzyko zmniejszenia plonu przy rzadkim siewie jest dwukrotnie większe (Budzyński 2012).

W środowiskach mniej ograniczonych zasobowo maksymalizację plonów na poziomie ~8 Mg ha^{-1} uzyskuje się w warunkach mniejszej liczby roślin w stosunku do środowiska mniej zasobnego, w których osiąga się mniejsze plony na poziomie ~6 Mg ha^{-1}, co wynika z bardziej efektywnego wykorzystania zasobów przez rośliny. Minimalne zagęszczenie pszenicy poniżej 100 roślin$\cdot m^{-2}$ przedstawiono w pracach McLeod i in. (1996) i Beres i in. (2016), zaś optymalną

gęstość roślin osiągnięto dla środowiska o wysokiej wydajności w warunkach zagęszczenia na poziomie 141 roślin·m^{-2}. Z przeglądu Fischera i in. (2019) wynika, że w badaniach przeprowadzonych w Wielkiej Brytanii zarejestrowanych przez Whaley i in. (2000) maksymalny plon ziarna na poziomie około 9,5 Mg·ha^{-1} w warunkach optymalnego terminu siewu uzyskano przy optimum 100 roślin·m^{-2}. Również Lollato i in. (2019) wykazali, że pszenica ozima uprawiana w technologii wysokonakładowej z wykorzystaniem odmian wysokoplonujących, które mogą osiągnąć potencjał plonowania na poziomie ~ 7,5 Mg·ha^{-1}, potrzebowały wysiewu ~100 ziaren·m^{-2}. Potwierdzenie powyższych wyników przedstawiono w przeglądzie literatury Bastos i in. (2020), w których wykazano przy wysoko wydajnych odmianach i mało ograniczonych zasobach środowiska liczbę roślin wymaganych do maksymalizacji plonów pszenicy na bardzo niskim poziomie tj. poniżej jakiejkolwiek liczby roślin zalecanej agrotechnicznie dla tej uprawy. W badaniach przeprowadzonych w Ameryce Północnej w warunkach niskiej, średniej i wysokiej jakości środowiska poziom optymalnego zagęszczenia gwarantującego duże plony oszacowano na 397, 297 i 141 roślin·m^{-2}. Skutkiem zastosowania mniejszej gęstości siewu było uformowanie mniejszej masy wegetatywnej, co powoduje ograniczenie ryzyka wystąpienia na liściach chorób grzybowych, a także uzyskania przez roślinę większej przestrzeń w dostępie do światła, wody i składników pokarmowych oraz wyraźnego zmniejszenia wydatków związanych na zakup środków produkcji – materiału siewnego, czy nawozów (Soare i Voicu 2013).

Valério i in. (2013) wskazali na wzrosty zagęszczenia siewu pszenicy w środowiskach o mniejszej dostępności zasobów oraz w gorszych warunkach do wzrostu prowadzących najczęściej do obniżenia zdolności krzewienia i mniejszej zwartości kłosów na jednostce powierzchni w celu utrzymania niższych, ale maksymalnych plonów. Na potrzebę zwiększenia gęstości siewu na skutek jego opóźniania w stosunku do optymalnego dla danego regionu, głównie ze względu na krótszy okres wegetacji, który ogranicza wzrost roślin i powstawanie nowych pędów wskazują także badania innych autorów (Staggenborg i in. 2003; Lloveras i in. 2004; Bastos i in. 2020).

Badania Podolskiej i Wyzińskiej (2011b) wykazały, że największy plon ziarna pszenicy zwyczajnej uzyskano wysiewając 300 ziaren·m^{-2} , a siewy gęste (600 ziaren·m^{-2}) powodowały spadek wydajności o około 11%. Mniejsza gęstość siewu wpływała korzystnie na plon ziarna z rośliny i z kłosa, liczbę ziaren z rośliny i z kłosa oraz masę 1000 ziaren. W innych badaniach (Bokan i Malasevic 2004) pszenica posiana o małym zagęszczeniu kompensowała zwiększeniem liczby i przeżywalności źdźbeł, a w mniejszym stopniu zwiększeniem liczby

ziaren w kłosie. Dubis i Budzyński (2006) obfite plony pszenicy ozimej otrzymali stosując wysiew 120 i 240 ziaren·m^{-2} jedynie w przypadku wilgotnej wiosny zapewniającej wykształcenie kłosów produktywnych na pędach bocznych. Znaczące zwiększenie plonu ziarna pszenicy w warunkach wzrostu gęstości siewu ze 120 do 180 ziaren·m^{-2} uzyskali również Zhang i in. (2016). W badaniach Dubisa i Budzyńskiego (2006) przeprowadzonych w warunkach posusznych najwyższe plony pszenicy ozimej na poziomie ponad 7 Mg·ha^{-1} uzyskiwano jedynie z siewów gęstszych (480 lub 600 ziaren·m^{-2}). W latach o przeciętnych warunkach wilgotnościowych wiosną zalecają siew gęstszy (480 ziaren·m^{-2}), ponieważ obniżenie gęstości siewu do 120 – 240 ziaren·m^{-2} skutkowało istotnym spadkiem plonu (Dubis i Budzyński 2006). W innych badaniach (Weber i Biskupski 2007) wykonanych na sześciu odmianach pszenicy ozimej wykazano istotny wzrost plonu (średnio o 8,5%) po zwiększeniu gęstości siewu z 300 do 450 ziaren·m^{2}. W warunkach niedoborów wilgoci w glebie powyżsi autorzy zalecają siewy gęste. Podolska i Stankowski (2001) stwierdzili istotny wzrost plonu o około 11% przy zwiększeniu wysiewu ze 150 do 350 ziaren·m^{2}, a brak różnicy w wydajności między gęstością 150 i 300 ziaren·m^{2}, a także w warunkach dalszego zwiększenia zagęszczenia siewu do 450 i 600 ziaren·m^{2}. W badaniach Buczek i Bobreckiej-Jamro (2015) przyrost plonu ziarna pszenicy mieszańcowej notowano przy gęstości 220 ziaren·m^{-2}, a w przypadku liniowej do 400 ziaren·m^{-2}. W badaniach nad pszenicą ozimą przeprowadzonych w Hiszpanii, najwyższy plon ziarna w sytuacji dostatecznego uwilgotnienia gleby, uzyskano wysiewając 400–500 ziaren·m^{-2} (Lloveras i in. 2004). W warunkach ekologicznych Australii, przy dużych niedoborach opadów, najwyższe plony notowano przy obsadzie 175 roślin·m^{-2} (Anderson i in. 2004). W warunkach wilgotnego obszaru kontynentalnego Słowenii Bavec i in. (2002) zalecają wysiew poniżej 500 ziaren·m^{-2} dla genotypów pszenicy ozimej posianych jedynie w optymalnym terminie siewu w porównaniu z zalecaną normą wysiewu od 600 do 800 ziaren·m^{-2}. W badaniach przeprowadzonych na terenie Serbii w optymalnych terminach siewu pszenicy ozimej najkorzystniejszy okazał się wysiew o zagęszczeniu 500 ziaren·m^{-2}, natomiast w późniejszych terminach siewu uzasadnione było zwiększenie wysiewu do 700 ziaren·m^{-2} (Aćin 2016). Wcześniejsze badania przeprowadzone w tym samym kraju wykazały optymalną gęstość siewu na poziomie 600 ziaren·m^{-2}, co gwarantowało wystarczającą zwartość kłosów gwarantujących dobrą jakość (Bokan i Malešević 2004). Również Kristó i in. (2007) najwyższy plon ziarna pszenicy uzyskał stosując 600 ziaren·m^{-2}. Caglar i in. (2011) wykazał, że optymalne gęstości siewu są zróżnicowanie w zależności od sezonów wegetacyjnych, czyli od warunków siewu, terminu siewu, sposobu siewu, a także od jakości użytego materiału siewnego. Wyniki

sugerują, że mniejsze gęstości siewu pozwalające na uzyskanie dużego plonu mogą być odpowiednie jedynie w doskonałych warunkach wzrostu (Lloveras i in. 2004) oraz przy dobrej jakości materiału siewnego (Geleta i in. 2002). Optymalne ilości wysiewu dla plonów zbóż ozimych mogą być wyższe wtedy kiedy stosujemy siew opóźniony w stosunku do optymalnej daty siewu. Duże gęstości wysiewu zwiększają wczesną akumulację suchej masy i większą konkurencyjność wobec chwastów, ale mogą mieć nieistotny lub negatywny wpływ na wielkość plonu ziarna ze względu na zwiększoną konkurencję w łanie (Park i in. 2003).

Badania wykazały, że zdolności kompensacyjne składowych plonu pszenicy zależą od dostępności zasobów w środowisku (Whaley i in. 2000; Lloveras i in. 2004; Bastos i in. 2020), i mogą różnić się w zależności od genotypów pszenicy (Dahlke et al. 1993; Lloveras i in. 2004), co wynika z ich mniejszego bądź większego potencjału krzewienia (Valério i in. 2013). Dlatego też w warunkach mniejszej liczby roślin na jednostce powierzchni przy dużej nośności dostępnych zasobów liczba wytworzonych pędów może wzrosnąć, aby zrekompensować niedobory roślin.

Gęstość siewu pszenicy powinna uwzględniać intensywność krzewienia poszczególnych odmian (genotypów), a także warunki agroekologiczne danej lokalizacji upraw (Geleta i in. 2002; Zecevic i in. 2014; Kondić i in. 2017). Według Valério i in. (2013) genotypy o niskim potencjale krzewienia wykazują większy wpływ na plon ziarna i masę ziarna z kłosa w warunkach wzrostu gęstości siewu. Gęste siewy różnych genotypów pszenicy skutkuje najczęściej wzrostem liczby kłosów na jednostce powierzchni (Bavec i in. 2002; Bokan i Malešević 2004; Qu i in. 2009; Kondić i in. 2017). Według Buczek i Bobreckiej-Jamro (2015) zbyt duża liczba źdźbeł kłosnośnych na jednostce powierzchni powoduje zmniejszenie liczby ziaren w kłosie oraz masy 1000 ziaren, co może skutkować obniżką plonu. Łany gęste (powyżej 650 kłosów·m^{-2}) silnie wydłużają źdźbła, ze względu na większą konkurencję o światło, składniki pokarmowe co powoduje zwiększenie ryzyka wylegania roślin, szczególnie przy zwiększonym poziomie nawożenia azotem. Zbyt duże zagęszczenie łanu prowadzi także do gorszego jego przewietrzania i silniejszego porażenia roślin przez choroby grzybowe pojawiające się na źdźbłach, liściach i kłosach. Łan o zwartości 300–400 dobrze wykształconych kłosów na jednostce powierzchni może plonować na poziomie optymalnego najkorzystniejszego zagęszczenia kłosów (550–650 sztuk·m^{-2}). Buczek i Bobrecka-Jamro 2015 w warunkach zwiększenia gęstości siewu niezależnie od typu odmian (liniowe, mieszańcowe) notowali wzrost liczby źdźbeł kłosonośnych, a spadek liczby ziaren w kłosie, masy 1000 ziaren i współczynnika krzewienia produkcyjnego. Większą zwartość kłosów, a zmniejszenie masy

ziarna i liczby ziaren w kłosie pod wpływem wzrostu gęstości siewu uzyskali inni autorzy (Geleta i in. 2002; Lloveras i in. 2004; Valério i in. 2013). Zmniejszenie produktywności kłosa pszenicy w warunkach zwiększonej obsady roślin na jednostce powierzchni, na skutek obniżki masy 1000 ziaren i liczby ziaren w kłosie otrzymali także Dubis i Budzyński (2006) oraz Podolska i Wyzińska (2011b). Redukcję długości kłosów, liczby kłosków w kłosie, liczby ziaren i masy ziaren z kłosa, przy wzroście liczby kłosów na skutek zwiększenia gęstości siewu z 200 do 300, 400 i 500 ziaren·m^{-2} notowali także Sander i in. (2017). W ten sam sposób Teixeira-Filho i in. (2008), Valério i in. (2008) oraz Alvarenga i in. (2009) wykazali zmniejszenie liczby ziaren w kłosie podczas zwiększonej gęstości siewu. Badania Buczek i Bobreckiej-Jamro (2015) wskazują na silniejsze krzewienie produkcyjne oraz większą obsadę kłosów odmian mieszańcowych (Hymack, Hybred) w stosunku do liniowych (Batuta i Bogatka). Odmiana mieszańcowa Hymack wyróżniała się także wytworzeniem największej liczby ziaren w kłosie. Natomiast nie wykazano większej masy 1000 ziaren odmian mieszańcowych w stosunku do liniowych. Również w innych badaniach (Sander i in. 2017) pszenica ozima posiana w zagęszczeniu 200 ziaren·m^{-2} wyprodukowała średnio więcej niż 2 pędy, a przy gęstości 500 ziaren·m^{-2} nieco ponad 1,0 pęd. Obserwowano zatem spadek liczby pędów kłosonośnych wraz ze wzrostem gęstości siewu, przy czym zastosowane odmiany wykazywały różną reakcję (Sander i in. 2017). Podobne rezultaty dotyczące intensywności krzewienia w zależności od gęstości siewu otrzymał Valério i in. (2008) i Fernandes (2009). Należy podkreślić, że odmiany pszenicy w różny sposób reagują na zwiększone zagęszczenie ze względu na ich odmienny rozwój i przeżywalność pędów (Silveira i in. 2010). Wzrost liczby pędów na jednostce powierzchni może prowadzić do konkurencji między roślinami, a tym samym do wzrostu liczby pędów niepłodnych (Ozturk i in. 2006; Valério i in. 2008). Niektóre badania (Valério i in. 2013; Soofizada i in. 2022) wykazały, że genotypy pszenicy o wysokim potencjale krzewienia mogą być wysiewane w zagęszczeniu do 400 ziaren·m^{-2}.

Praktyka rolnicza musi pamiętać, że masa wysiewu jest inna dla każdego pola, a także inna w kolejnych latach zakładania plantacji. Corocznie należy ją wyliczyć w oparciu o atest odmianowy uwzględniając takie parametry jak: masa 1000 ziaren, zdolność kiełkowania, czystość materiału siewnego, przyjętą gęstość siewu. Trzeba także pamiętać o wpływie innych czynników agrotechnicznych i pogodowych decydujących o polowej zdolności wschodów (Budzyński i in. 2012).

Azot jest najbardziej efektywnym czynnikiem plonotwórczym (Grzebisz 2009; Stankowski i in. 2004; Podolska i Mikos 2010; Budzyński 2012; Budzyński i in. 2018) i dlatego

corocznie praktyka rolnicza, aby zmaksymalizować plon stosuje duże dawki tego składnika pod uprawy roślinne (Plett i in. 2020). Azot ma kluczowe znaczenie w mikrostrukturze roślin, ponieważ jest niezbędny do syntezy białka i wielu ważnych związków niebiałkowych (chlorofil, nukleotydy, fosfolipidy, witaminy). Oddziałuje więc na efektywność fotosyntezy, której produkty decydują w 90% w wytwarzaniu suchej masy plonu (Wojcieska 1994). Dlatego odpowiednie zarządzanie tym zasobem stanowi poważne wyzwanie dla większości systemów rolniczych, ponieważ ma on znaczący wpływ na wydajność, a także na stan środowiska przyrodniczego (Abdullah 2011; Mandic i in. 2015; Inwati i in. 2018; Litke i in. 2018).

W nawożeniu azotem pszenicy ozimej zasadniczą kwestią jest określenie właściwej dawki tego składnika na jednostkę powierzchni (Efretuei i in. 2016; Nguyen i Kant 2018; Kindred i Gooding 2005; Le Gouis i in. 2002; Snyder 2017). Najłatwiej określa się wymagania pokarmowe tego gatunku. Dla pszenicy ozimej chlebowej wynoszą one około 27 kg N na 1 tonę ziarna plus słoma (Budzyński 2012; Szempliński i in. 2020). Trudniejszą kwestią jest precyzyjne określenie źródeł i ilości azotu dostępnego roślinom w okresie wegetacji (Fotyma i Fotyma 2002; Fotyma i in. 2004; Grzebisz 2009; Budzyński 2012) Trzeba dodać jednak, że programowanie dawek azotu jest dość trudne i dlatego w literaturze spotyka się rozbieżne wyniki badań dotyczące wielkości dawki azotu pod (Tsvey i in. 2021).

W nawożeniu pszenicy istotne jest ustalanie dawkowania azotu wiosną w poszczególnych fazach rozwojowych (Budzyński 2012) zwiększając w ten sposób efekt plonotwórczy tego składnika (podolska 2008; Rahman i in. 2011; Budzyński 2012). Należy kierować się zasadą, że im wcześniejsza dawka N tym jest ona bardziej efektywna, plonotwórcza. Głównym powodem zmniejszenia wczesnej dawki jest stymulacja wylegania oraz porażenia roślin przez niektóre choroby grzybowe (głównie przez mączniaka prawdziwego zbóż i traw). Wczesnowiosenne nawożenie azotem wydłuża dolne międzywęźla odpowiedzialne za wyleganie, tworzy bujniejszy łan ograniczający przewiewność, co w efekcie może prowadzić do zwiększenia porażenia przez choroby grzybowe. Pierwsza wiosenna dawka azotu (na poziomie od 30 do 50% planowanej całości), stymuluje rozwój pędów bocznych i w efekcie liczbę kłosów–czyli głównego komponentu struktury plonu. Termin aplikacji oraz jej wielkość są ściśle powiązane z kondycją łanu po przezimowaniu. Łany dobrze rozkrzewione jesienią o dobrym przezimowaniu nie powinny być zasilane bardzo dużymi, wczesnymi dawkami azotu. Nadmierne nawożenie w tym okresie może powodować obumieranie części wytworzonych źdźbeł, a konkurencja między pędami ogranicza rozwój systemu korzeniowego (Grzebisz 2008). Wynawożony łan zabezpiecza przed nadmierną transpiracją i konkurencją ze

strony chwastów. W przypadku łanów słabo rozkrzewionych (powodem późny siew) należy wiosną nawozić intensywniej, większymi dawkami azotu (Budzyński 2012). Druga dawka azotu (od 30 do 40% planowanej całości) stosowana w stadiach strzelania w źdźbło reguluje rozwój pędów bocznych, zapobiega redukcji liczby kłosków i ziaren w kłosach, przedłuża efekt zieloności łanu i korzystnie wpływa na zawartość białka w ziarnie. Nadmierna dawka N w tym okresie może jednak powodować bujny rozwój masy wegetatywnej, szybki wzrost pędów, co może prowadzić do zwiększenia wylegania łanu (Budzyński 2012). W uprawie pszenicy ozimej, której ziarno przeznaczane jest na cele konsumpcyjne (technologiczne) potrzebne jest zastosowanie trzeciej wiosennej dawki azotu. Nie jest ona stosowana w celu zwiększania plonu, a raczej ma znaczenie korekcyjne, jakościowe i prowadzi głównie do zwiększenia zawartości białka i glutenu w formującym się ziarnie. Dawka ta może być stosowana doglebowo przed kłoszeniem, a warunkach niedoboru wilgoci w glebie dolistnie po kwitnieniu (Budzyński 2012).

Wpływ zastosowanego azotu na plonowanie pszenicy ozimej zależy od współdziałania z czynnikami siedliskowymi i agrotechnicznymi (Stankowski i in. 2004; Harasim i Wesołowska-Trojanowska 2010; Tsvey i in. 2021). W przeciętnych warunkach przyrodniczo--agrotechnicznych Polski wzrost plonu ziarna notuje się do dawki 140 kg $N \cdot ha^{-1}$ (Kotwica i in. 2011), 160 kg $N \cdot ha^{-1}$ (Kocoń 2005; Podolska i in. 2007), a nawet 165 kg $N \cdot ha^{-1}$ (Budzyński i in. 2004). Według Chrzanowskiej-Drożdż (2001) po przekroczeniu dawki 150 kg $N \cdot ha^{-1}$ jego efektywność znacznie maleje, z powodu dużej labilność azotu w glebie. W innych badaniach przeprowadzonych w różnych krajach optymalna dawka azotu dla pszenicy ozimej wahała się od 70 do 120 kg $N \cdot ha^{-1}$ (Abedi i in. 2011; Mandic i in. 2015; Rasmussen i in. 2015; Yi i in. 2015; Walsh i in. 2018; Tsvey i in. 2021). Dlatego strategie żywienia azotem muszą być tworzone na podstawie wyników badań uzyskanych w środowiskach lokalnych (Tsvey i in. 2021)

Istotne znaczenie dla plonu ma nie tylko dawka azotu i jej podział, ale także termin oraz sposób stosowania nawozu (Blecharczyk i in. 2006; Stankowski i Rutkowska 2006; Podolska i in. 2007; Podolska 2008). W badaniach Wróbla i Szemplińskiego (1999) najwyższe plony ziarna większości badanych odmian pszenicy ozimej zwyczajnej uzyskano po zastosowaniu azotu w dawce 160 kg $N \cdot ha^{-1}$, w podziale na dwie równe części, które aplikowano w czasie wznowienia wegetacji i w fazie strzelania w źdźbło, lub w czasie wznowienia wegetacji i w fazie kłoszenia. Chrzanowska – Drożdż (2001) wykazała korzystniejsze plonowanie pszenicy zwyczajnej nawożonej w dawce 120 kg $N \cdot ha^{-1}$ w podziale 80 kg $N \cdot ha^{-1}$ podczas wznowienia

wegetacji i 40 kg N·ha^{-1} w fazie strzelania w źdźbło w porównaniu do aplikacji jednokrotnej na poziomie 80 kg N·ha^{-1}. Zwiększenie poziomu N do 160 kg N·ha^{-1} nie różnicowało istotnie wielkości uzyskanych plonów żadnej z badanych odmian pszenic chlebowych.

Badania nad produkcyjnością pszenicy wskazują na wyraźną reakcję tego gatunku w zależności od zastosowanej odmiany. Budzyński i in. (2004) stwierdzili, że technologiczne odmiany Korweta, Mewa i Zyta zwiększały plon ziarna do dawki – odpowiednio 143, 150, 165 kg N·ha^{-1}, które były aplikowane w dwóch terminach: 90 kg N·ha^{-1} w fazie ruszenia wegetacji, a pozostała reszta azotu w okresie wydłużania trzeciego międzywęźla. Istotny wzrost plonów odmian Kobra, Korweta, Sakwa i Zyta w badaniach Podolskiej i in. (2007) uzyskano na dawce 160 kg N·ha^{-1} zastosowanej w trzech terminach: 60 kg N·ha^{-1} na początku wegetacji, 60 kg N·ha^{-1} w fazie strzelania w źdźbło i 60 kg N·ha^{-1} podczas pełni kłoszenia. Również Kocoń (2005) największe plony ziarna pszenicy ozimej (na poziomie 7,9 Mg·ha^{-1}) uzyskała przy dawce 160 kg N·ha^{-1}. Azot zastosowany w dawce 80 lub 120 kg N·ha^{-1} skutkował obniżeniem plonu odpowiednio o 9,5 i 6,5%. Brak nawożenia tym składnikiem powodowało spadek wydajności aż o ponad 40%. W badaniach Piekarczyk i in. (2011) nad wpływem stosowania różnych dawek nawożenia azotem (40, 80, 120 i 160 kg N·ha^{-1}) na plony czterech odmian pszenicy ozimej: Bogatka, Kris, Nutka i Tonacja, wykazali ich największe wydajności na dawce 120 kg N·ha^{-1}. Zmniejszenie dawki azotu do 80 kg N ha^{-1} lub jej zwiększenie do 160 kg N·ha^{-1} nie różnicowało istotnie plonu ziarna badanych odmian. Różną reakcję badanych odmian pszenicy Mikon i Kobra pod wpływem szerszego spektrum zastosowanych dawek azotu (0, 40, 80, 120, 160, 200 kg N·ha^{-1}) notowali Podolska i Stankowski (2001). Dla odmiany Mikon istotny wzrost plonu uzyskano na dawce 120 kg N·ha^{-1}, w przypadku odmiany Kobra wystarczyła dawka 80 kg N·ha^{-1}. Brak nawożenia azotem lub aplikacja tego składnika na poziomie 200 kg N·ha^{-1}, powodowała uzyskanie najmniejszej wydajności, na skutek obniżenia masy 1000 ziaren i wzrostu wylegania łanu. Cacak – Pietrzak i in. (2005a) nie wykazali istotnych różnic w plonowaniu pszenicy przy zastosowaniu różnych dawek azotu (90, 120 i 150 kg N·ha^{-1}) aplikowanych w trzech terminach (60% przed siewem, 30% w fazie strzelania w źdźbło, 10% w okresie kłoszenia). Zaobserwowano jedynie wyraźny trend do 10% obniżki wydajności pszenicy w miarę zwiększania poziomu nawożenia azotem. Badania Podolskiej (2008) uwzględniające dawki nawożenia azotem na poziomie 0, 120, 180 kg N·ha^{-1} w aplikacji z podziałem na dwie równe części (ruszenie wegetacji i strzelanie w źdźbło) lub na trzy równe części (ruszenie wegetacji, strzelania w źdźbło i w fazie kłoszenia) wykazały, że najbardziej korzystna dla wielkości plonu pszenicy zwyczajnej było nawożenie azotem w dawce 120 kg

N·ha^{-1} w podziale 60+60 kg N·ha^{-1}. Tendencje do wyższego plonu ziarna przy aplikacji dwukrotnej w porównaniu do trzykrotnej uzyskano także po zastosowaniu azotu w dawce na poziomie 180 kg N·ha^{-1}, który nie wpływał istotnie na wielkość plonu w stosunku do dawki 120 kg N·ha^{-1}. Brak istotnych różnic w wydajności pszenicy ozimej w warunkach nawożenia azotem na poziomie 100 i 150 kg N·ha^{-1} stwierdzono także w innych badaniach (Harasim i Wesołowska – Trojanowska (2010). Zwyżkę plonu 20 genotypów pszenicy nawożonych azotem z 50 do 75 i 100 kg N·ha^{-1} uzyskał Elashry i in. (2020). Podobny wzrost dawek azotu warunkujących duże plony notowało wielu autorów (Rekaby i in. 2016; Zen El-Dein i Seif El-Nasr 2016; El-Temsah 2017; Solomon i Anjulo 2017. Według Haile i in. (2012) oraz Liu i in. (2019) najwyższą produktywność pszenicy ozimej uzyskuje się stosując azot w dawce 120 kg N·ha^{-1} w trzech terminach: 25% przed siewem, 50% w fazie krzewienia i 25% w fazie kwitnienia. W badaniach Pisarek i in. (2013b) zwiększone dawki azotu w granicach 90–210 kg N·ha^{-1}, w różnych warunkach pogodowych wykazywały zaledwie tendencję pozytywnego wpływu na plon ziarna.

Badania dotyczące wpływu nawożenia azotem na plonowanie pszenicy mieszańcowej są nieliczne. Buczek i in. (2017) wykazał istotny wzrost plonu pszenicy mieszańcowej Hybred do dawki 50 kg N·ha^{-1}. Zastosowana dawka 100 kg N·ha^{-1} z podziałem 60+40 skutkowała przyrostem plonu na poziomie około 7%, a zastosowanie 150 kg N·ha^{-1} z podziałem 70+50+30 zwiększało plon o 11 % w stosunku do dawki 50 kg N·ha^{-1}. Różnice te nie były jednak statystycznie udowodnione. Nawożenie azotem pszenicy mieszańcowej skutkowało wzrostem liczby kłosów na 1m^2. Największą zwartość źdźbeł produktywnych uzyskano stosując 100 kg N·ha^{-1}. Zwiększenie liczby kłosów pszenicy odmian liniowych pod wpływem nawożenia azotem stwierdzili Podolska (2008) i Ellmann (2011). Wyższe dawki azotu na poziomie 100 i 150 kg N·ha^{-1} powodowały u pszenicy mieszańcowej zwiększenie liczby ziaren w kłosie , odpowiednio o 2,5 i 2 sztuki oraz wpływały na wyraźny wzrost masy 1000 ziaren (Buczek i in. 2017). Zwiększenie wydajności pszenic mieszańcowych o 8,5%, a liniowych o 7,4%, a także korzystniejszą dorodność ziarna pod wpływem wzrostu dawki azotu ze 150 do 200 kg N ha^{-1} uzyskali Jańczak-Pieniążek i in. (2020b). W badaniach Prey i in. (2019b) prowadzonymi z odmianami liniowymi i mieszańcowymi zastosowane dawki azotu na poziomie 60 i 120 kg N·ha^{-1} powodowały wzrost wydajności (o ponad 6%) na korzyść dawki wyższej. W powyższych badaniach nie wykazano istotnego wpływu zróżnicowanego poziomu nawożenia azotem na liczbę ziaren, masę 1000 ziaren i liczbę kłosów. W innych badaniach (Buczek i in. 2016) przyrost plonu odmian mieszańcowych i liniowych w warunkach takich samych dawek

azotu był większy i wynosił 27% na korzyść dawki 120 kg N·ha^{-1}, którą wspomagano 2-krotną ochroną przed chorobami. Nie wykazano w powyższych badaniach istotnego wpływu zróżnicowanego poziomu nawożenia azotem na liczbę ziaren, masę 1000 ziaren i liczbę kłosów. Kochurko (2009) największą masę 1000 ziaren uzyskał po nawożeniu azotem w dawce 120 kg N·ha^{-1} z podziałem 60+30+30. W badaniach Budzyńskiego i in. (2018) prowadzonymi nad różnymi gatunkami pszenicy zwyczajnej, durum i orkisz najwięcej kłosów na jednostce powierzchni uzyskano w warunkach wiosennego nawożenia azotem określonego na podstawie zawartości N-mineralnego w glebie, niezależnie od intensywność pozostałych czynników agrotechnicznych. Nawożenie azotem nie różnicowało liczby ziaren w kłosie u analizowanych odmianach pszenic (Budzyński i in. 2018). W innych badaniach (Tsvey i in. 2021) wykazano wzrost liczby ziaren w kłosie pod wpływem nawożenia azotem w dawce 110 kg N·ha^{-1} jedynie w sezonie wegetacyjnym, który był ciepły i wilgotny, a także notowano zwiększenie masy 1000 ziaren do dawki 60 kg N·ha^{-1}.

Pszenica ozima należy do zbóż bardzo podatnych na wiele chorób grzybowych (Budzyński 2012, Szempliński i in. 2020). Obecność grzybów na roślinach i ziarniakach wpływa niekorzystnie na plon i jego jakość (Puppala i in. 1998; Paul i in. 2010). Choroby pszenicy odpowiadają za 10–28% strat plonów na całym świecie (Figueroa i in. 2018; Savary i in. 2019). Patogeny grzybowe wywołujące choroby powodują zahamowanie prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin pszenicy (Jaczewska – Kalicka 2008; Kaniuczak i Bereś 2008). Groźne są choroby przenoszone przez materiał siewny, czy resztki pożniwne, które atakują we wczesnych fazach rozwoju, a ich zwalczanie może być skutecznie ograniczane już przez odpowiednio dobrane zaprawy nasienne (Budzyński 2012). W wyniku infekcji kiełków pszenicy obniżka plonu może wahać się od 7 do 17%, w wyniku porażenia korzeni jest to 10 – 30%, a w przypadku porażenia kłosów może to być nawet 30–70%. Badania nad oceną strat plonu pszenicy ozimej odmiany Mikon w wyniku wystąpienia mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis*) wykazały, że szkodliwość tej choroby wyraziła się obniżką plonu od 12% do 18%, co stanowiło od 720 do 1 090 kg·ha^{-1} (Jańczak i Pawlak 2006). W fazie wiosennego krzewienia i początku strzelania w źdźbło wzrasta zagrożenie porażenia chorobami podstawy źdźbła, z pośród których najgroźniejsze to łamliwość źdźbła (*Tapesia yallundae*, st. kon. *Pseudocerosporella herpotripodes* L.), fuzaryjna zgorzel podstawy źdźbła (*Fasarium* ssp.) i zgorzel podstawy źdźbła (*Gaeumannomyces graminis* L.), które są trudne do zwalczania chemicznego. Występowanie zgorzeli podstawy źdźbła i innych chorób podsuszkowych jest ściśle związana z nadmiernym udziałem zbóż ozimych w zmianowaniu i nasila się wraz ze

wzrostem intensyfikacji rolnictwa oraz zmniejszeniem się udziału w zasiewach roślin niezbożowych i zbóż jarych (Korbas i in. 2001; Pisarek i in. 2013b). Za przyczynę ich występowania uznaje się naruszenie równowagi biologicznej i chemicznej określanej jako zmęczenie gleby. Proces ten obserwuje się w skutek stosowania monokultury zbożowej lub dużego udziału zbóż w zasiewach, co prowadzi do zmniejszenia ilość dostępnych makro i mikroelementów w wyniku czego pogarszają się właściwości fizyczne gleby, a z resztek pożniwnych uwalniane są fitotoksyczne substancje (Adamiak i in. 1994; Niewiadomski 1998; Blecharczyk i in. 1999; Kaczmarska i Gawrońska-Kulesza 2000). Na skutek takiej działalności obserwuje się wzrost zachwaszczenia i nasilenie występowania chorób grzybowych (Mróz i in. 1990; Bateman i Hornby 1999; Jończyk 2003; Gawrońska-Kulesza i in. 2005).

Do groźnych chorób pszenicy występujących pod koniec fazy strzelania w źdźbło i kłoszenia zaliczana jest septorioza liści i septorioza plew. Jaczewska – Kalicka (2002) wykazała, że pszenica porażana jest głównie przez rdzę brunatną (*Puccinia Recondita* L.) oraz septoriozy (*Septoria* ssp.), a spośród chorób podsuszkowych fuzaryjna zgorzel podstawy źdźbła (*Fusarium* ssp.). Straty między obiektami chronionymi i kontrolnymi (bez ochrony) notowano na poziomie 7,3% plonu (300 kg·ha^{-1}). W kolejnym roku badań, na skutek porażenia przez takie choroby jak: rdza brunatna (głównie), septorioza plew czy fuzaryjna zgorzel podstawy źdźbła, autorka wykazała spadek plonu ziarna pszenicy rzędu 53% (1 530 kg·ha^{-1}). Inne badania Jaczewskiej – Kalickiej (2005) wykazały, że straty plonu pszenicy ozimej, w wyniku porażenia przez rdzę brunatną, septoriozę liści, septoriozę kłosów, fuzariozę kłosów i łamliwość źdźbła mogą sięgać nawet 1 350 kg·ha^{-1} (22% plonu z ochroną). W latach sprzyjających rozwojowi takich chorób jak: mączniak prawdziwy, septorioza liści, septorioza plew, łamliwość źdźbła spadek plonu wyniósł 910 kg·ha^{-1} (14% w stosunku do pełnej ochrony).

Skutecznym sposobem pozwalającym ograniczyć występowanie wielu sprawców chorób na roślinach pszenicy jest użycie środków chemicznych (Paradowski i Korbas 2012; Lollato i in. 2019). Bhatta i in. (2018) wykazali, że stosowanie fungicydu (protiokonazol + tebukonazol) w pszenicy w fazie liścia flagowego skutkuje zmniejszeniem nasilenia chorób w zależności od lokalizacji doświadczenia od 84 do 87%. Większy efekt zastosowanego fungicydu w kontrolowaniu nasilenia chorób notowano u genotypów umiarkowanie podatnych na choroby w porównaniu z genotypem odpornym, szczególnie w warunkach wysokiej presji agrofaga. Podobne rezultaty znaczącego wpływu fungicydu aplikowanego na liść flagowy w zwalczaniu chorób uzyskano w innych badaniach (Kelley 2001; Ransom i McMullen, 2008; Wegulo i in. 2009, 2011). Wiele badań (Kelley 2001; Wiersma i Motteberg 2005; Ransom i

McMullen 2008) wskazuje na znaczne zwiększenie plonu ziarna pszenicy w warunkach stosowania fungicydów nalistnie w przypadku dużej podatności genotypów uprawianych w siedliskach sprzyjających rozwojowi chorób (Ransom i McMullen 2008; Wegulo i in. 2011). W doświadczeniu przeprowadzonym przez Wegulo i in. (2009) użycie fungicydów zapobiegało utracie plonów na poziomie do 42% w wyniku ograniczenia patogenów *Pyrenophora tritici-repentis i Puccinia tritici*, natomiast w badaniach Ransom i McMullen (2008) nawet do 44% na skutek kontroli patogena *Puccinia tritici* i zmniejszania porażenia przez *Pyrenophora tritici-repentis* na liściach, a także fuzariozy kłosów. Haidukowski i in. (2012) w wyniku zastosowania fungicydu (protiokonazol + tebukonazol) w stadium początek liścia flagowego notowali zmniejszenie nasilenia fuzariozy kłosów (do 93%) i zwiększenia plonu ziarna (do 5,6 $Mg \cdot ha^{-1}$) w porównaniu z nie traktowaną kontrolą. Paul i in. (2010) używając fungicydu (protiokonazol + tebukonazol) uzyskali wzrost plonu i masy objętościowej ziarna pszenicy ozimej miękkiej, a Puppala i in. (1998) na skutek stosowania dwukrotnie tebukonzolu w czasie wegetacji otrzymali zwiększony plon ziarna, oraz większą masę ziarna, masę objętościową i zawartość białka w ziarnie pszenicy ozimej twardej. Lopez i in. (2015) notowali 9% wzrost plonu po aplikacji tebukonazolu.

Sawinska i Zawada (2009) badając wpływ intensywności ochrony fungicydowej na plonowanie pszenicy ozimej odmiany Sukces stwierdzili, że zastosowanie jednego zabiegu fungicydowego (tiofanat metylowy + tetrakonazol) prowadziło do istotnego wzrostu plonu ziarna w stosunku do kontroli o 15,3%. Dalsza intensyfikacja ochrony poprzez wykonanie kolejnego zabiegu ochronnego podniosła istotnie plon ziarna o kolejne 8,4%. Ochrona składająca się z trzech zabiegów grzybobójczych pozwoliła na zwyżkę plonu ziarna o 24,5% w stosunku do kontroli. Badania Adamiaka i in. (2009) nad wpływem ochrony fungicydowej na plonowanie ziarna odmian pszenicy ozimej Oliwin i Tonacja dowodzą, że wykonanie dwóch zabiegów ochronnych prowadzi do uratowania plonu ziarna o 11,4–14,6% (680–870 $kg \cdot ha^{-1}$) w stosunku do kontroli bez ochrony. Szempliński i Budzyński (1999) notowali spadek plonu ziarna na poziomie 7% między pełną ochroną, a jej kompletnym zaniechaniem. Badania Pisarek i in. (2013a) wykazały, że ograniczenie ochrony fungicydowej w stosunku do pełnej, rekomendowanej w zaleceniach technologicznych, prowadziło do zmniejszenia plonu ziarna, średnio o 6%, natomiast w warunkach wilgotnych i bardzo wilgotnych występujących w okresie nalewania i dojrzewania ziarna nawet o 13,6%. Obniżenie plonu ziarna w obiektach bez ochrony liścia flagowego i kłosa było skutkiem zmniejszenia liczby kłosów i masy 1000 ziaren. Zastosowana zaprawa nasienna w warunkach niewielkiego porażenia roślin, nie wpływa

istotnie na plon ziarna i jego elementy składowe. Podobny efekt plonochronny fungicydów w różnych wariantach ochrony oceniony na około 10% uzyskał Budzyński i in. (1995). Zmniejszenie ryzyka wystąpienia chorób grzybowych, a szczególnie ograniczenie zgorzeli podstawy źdźbła o ponad 20% w warunkach opóźnienia termin siewu odnotowali Barraclough i Leigh (1984) i Bateman i Hornby (1999), a podczas zwiększenia dawki azotu Gardner i in. (1998).

Badania przeprowadzone przez Jańczak-Pieniążek (2019) wykazały mniejszą podatność odmian mieszańcowych w stosunku do liniowych na brunatną plamistość liści, rdzę brunatną, septoriozę plew oraz fuzariozę kłosów. Z porównywanych odmian największą odporność na choroby wykazywała hybrydowa Hypocamp, a największą podatność liniowa odmiana Pokusa. Prey i in. (2019b) dowiedli, że w warunkach stosowania ochrony tylko przy użyciu zaprawiania ziarna spadek wydajności pszenic odmian liniowych i mieszańcowych wyniósł 12% (niższy o 1,1 $Mg \cdot ha^{-1}$) w stosunku do obiektów w których wykonywano zaprawianie ziarna i dwa opryski fungicydem w czasie wegetacji. Skutkiem obniżki plonu było zmniejszenie (o 13%) masy 1000 ziaren. W badaniach Bhatta i in. (2018) fungicyd zastosowany dolistnie powodował w zależności od środowiska wzrost masy 1000 od 7,1 do 16,3%. Przyrost masy ziarna należy przypisać stosowaniu fungicydów dolistnych w okresie ochrony powierzchni liści do wypełnienia ziarna w kłosie (Kelley 2001; Hawkesford i in. 2013). Podobne wyniki były obserwowane przez Puppala i in. (1998) i Kelley (2001), którzy poinformowali, że ochrona plantacji fungicydami spowodowała znaczny wzrost masy 1000 ziaren.

Thompson i in. (2014) sugerują, że stosowanie fungicydów nalistnie powinno być oceniane w każdym roku uprawy, ponieważ ich rentowność zależy od potencjału plonu w danym roku, zastosowanego genotypu, ceny i podatności roślin na choroby. Chociaż odporność genetyczna jest jedną z najbardziej ekonomicznych i preferowanych metody zwalczania chorób, to typ genotypów pszenicy dostosowany do różnych warunków środowiska wykazuje jednak zróżnicowanie pod względem odporności na dominujące choroby liści w poszczególnych regionach. Wcześniejsze badania związane z nasileniem chorób, utratą plonów koncentrowały się na działaniu fungicydów na jedną lub dwie choroby, a nie na kombinacje różnych chorób. Przewidywanie strat plonu ziarna z powodu występowania chorób jest bardziej złożone, gdy pszenica jest zarażona dwoma lub więcej chorobami liści (Milus 1994).

Zarówno dla znanych, jak i nowych odmian pszenicy ozimej charakteryzujących się zmiennym poziomem odporności na choroby zrozumienie ich reakcji na aplikowane nalistnie

fungicydy w różnych warunkach środowiska może pomóc producentom rolnym w świadomej alokacji zasobów decyzji mogących przyczynić się do wzrostu plonu ziarna pszenicy, poprawę jego jakości i zwiększenia korzyści ekonomicznych.

2.2 Jakość technologiczna ziarna w zależności od czynników agrotechnicznych

Wyróżnikami jakości ziarna jest zespół parametrów charakteryzujący ich wartość technologiczną. Obejmuje ona ocenę wartości przemiałowej (Stępniewska 2016a) i wypiekowej ziarna (Szafrańska i Rothkaehl 2011). Wartość przemiałowa określa przydatność ziarna do celów młynarskich, czyli ustalenia ich właściwości zapewniających uzyskanie mąki o dużym wyciągu, bogatej w białko, witaminy i substancje mineralne (Jurga 2006; Guzmán i in. 2016). Gatunkowanie mąk pszennych w Polsce przeprowadza się na podstawie zawartości popiołu (pozostałość składników mineralnych po spaleniu) lub po określeniu bieli mąki (Budzyński 2012).

Bezpośrednią metodą oceny wartości przemiałowej ziarna jest wykonanie tzw. próbnego przemiału laboratoryjnego (Jurga 2006). Wartość tą można także określić pośrednio na podstawie analizy cech fizycznych ziarna (twardość i szklistość ziarna, gęstość usypowa, masa 1000 ziaren i wyrównanie ziarna), które kształtują wyciąg mąki w procesie przemiału a także jej jakość (Stępniewska 2016; Edwards 2010; Dziki i in. 2011**).** Na podstawie twardości ziarna można ustalić czy mamy do czynienia z surowcem o bielmie twardym (szklistym) czy miękkim (mączystym) (Hruskova i in. 2009). Bielmo o twardej strukturze jest mocno związane z cząsteczkami białka, co zwiększa jego wytrzymałość na kruszenie. Ziarniaki o bielmie miękkim charakteryzują się niską spójnością ziaren skrobi z białkiem, a komórki bielma zawierają dużo wolnych przestrzeni powietrznych nadając im mniejszą mikrotwardość. Surowiec mączysty podczas przemiału może utrudniać wydzielanie mąki podczas odsiewu (zaklejanie sit). Dlatego im wyższa twardość tym wyższy wyciąg mąki (Jurga 2006).

Cecha szklistości ziarna związana jest z barwą bielma. Biała jest charakterystyczna dla ziarna mączystego zawierającego dużo skrobi, a mało białka, natomiast szara jest typowa dla ziarna szklistego-twardego zawierającego więcej białka, a mało skrobi. Wysoka szklistość o dużej zawartości białek glutenowych dobitnie świadczy o wartości przemiałowej ziarna i wypiekowej mąki (Sadkiewicz 1998). Szklistość podobnie jak i twardość dostarczają wielu informacji o strukturze bielma i stopniu wypełnienia ziarna (Dziki i in. 2011). Uwzględniając do tego grubość okrywy owocowo-nasiennej otrzymuje się kompleks cech ziarna kształtujących jego masę objętościową, czyli gęstość ziarna wyrażoną w $kg \cdot hl^{-1}$, który dodatnio

jest skorelowany z masą 1000 ziaren. Duże ziarna, dobrze wypełnione, o zbitym bielmie (skrobia, białko) cechuje wysoka gęstość w stanie usypowym (Carson i Edwards 2009; Edwards 2010). Ziarno pszenicy zwyczajnej żeby osiągnąć wysoki wyciąg mąki powinno się charakteryzować masą objętościową co najmniej na poziomie 72 $kg \cdot hl^{-1}$, a najkorzystniej jest kiedy wartość omawianej cechy kształtuje się powyżej 76 $kg \cdot hl^{-1}$ (Rothkaehl 2012).

Ważnym elementem oceny przemiałowej ziarna jest jego dobre wyrównanie pod względem grubości (co najmniej 2,5 mm – im wyższe tym lepiej), ponieważ umożliwia zastosowanie optymalnego dla wydajności mąki procesu technologicznego (Budzyński 2012). W skupie surowca młynarskiego ziarniaków o takiej grubości powinno być nie mniej niż 75%.

Ocena wartości przemiałowej ziarna zaprezentowanymi metodami stanowi fragmentaryczną charakterystykę surowca technologicznego, a jej dopełnieniem jest ocena wypiekowa na podstawie składu chemicznego i właściwości fizykochemicznych mąki. Najważniejszą rolę w kształtowaniu wypiekowości mąki pszennej przypisuje się frakcjom białek zapasowych (gliadyna i glutenina) ponieważ pełnią one ważną rolę podczas tworzenia ciasta. Gliadyny zapewniają rozciągliwość i lepkość ciasta, podczas gdy gluteniny przyczyniają się do elastyczności i wytrzymałości ciasta (Wieser 2007). W obecności wody i mechanicznego miesienia następuje łączenie tych frakcji białek, które tworzą lepką i elastyczną masę określaną mianem glutenu. Dzięki właściwości glutenu mąka osiąga określoną wodochłonność, a powstające ciasto pszenne cechuje się odpowiednią elastycznością i sprężystością, którego ilość substancji glutenowej ocenia się na podstawie zawartości białka ogółem i zawartości glutenu mokrego ((Pomianowska 2002). Zawartość glutenu jest na ogół dodatnio skorelowana z zawartością białka, szklistością ziarna, a także wskaźnikiem sedymentacji (Capouchová i Petr 2004; Martinez i in. 2005; Hrušková i Švec 2009; Giuliani i in. 2011).

Bardzo istotna dla jakości mąki jest zawartość białka w ziarnie (Li i in. 2018), którą najczęściej oznacza się metodą Kjeldahla polegającą na ustaleniu w ziarnie azotu ogólnego oraz zastosowania przelicznika N x 5,70 w celu otrzymania wyniku w procentach białka, lub do oznaczania tego składnika wykorzystuje się technikę pomiarową bliskiej podczerwieni (Caporaso i in. 2017). Do produkcji mąki na cele chlebowe ziarno pszenicy powinno zawierać co najmniej 11,5% s.m. białka. Zawartość białka jest ściśle skorelowana z zawartością glutenu (Konvalina i in. 2009; Malik i in. 2013; Buczek i in. 2015). Ocenę zawartości glutenu w mące dokonuje się poprzez jego wymycie, czyli oddzielenie od innych substancji wchodzących w skład mąki. Wymyty gluten poddaje się różnym badaniom, aby stwierdzić o jego przydatności do produkcji dobrego pieczywa. Jednym ze wskaźników oceny wymytego glutenu jest

oznaczenie jego rozpływalności lub indeksu glutenu (Szafrańska 2016; Buczek i in. 2021). Niska rozpływalność i wysoka wartość indeksu wskazują na mocny gluten, który określa się jako wartościowy w przemyśle piekarskim. Przeciwstawne wartości omawianych wyróżników charakteryzuje gluten słaby, zbyt miękki, mało przydatny z punktu widzenia piekarza. Zarówno rozpływalność jak i indeks glutenu są mocno skorelowane z objętością chleba i wartością punktową ocenianego pieczywa (Michniewicz i in. 2000). Ziarno przeznaczone na mąkę do wypieku chleba powinno charakteryzować się co najmniej 25% zawartością glutenu i jego rozpływalnością nie większą niż 9 mm.

Jakość kompleksu białkowego można ocenić pośrednio wyznaczając wskaźnik sedymentacyjny metodą SDS lub Zeleny`ego (Simon i in. 2020). Metoda ta polega na wykorzystaniu różnic w wielkości cząstek białek tworzących gluten (gluteniny - wielkocząsteczkowe HMW i niskocząsteczkowe LMW) i wynikającej z tego zróżnicowanej rozpuszczalności (Kała i in. 2017). Dowiedziono, że frakcja HMW gluteniny jest uważana za najbardziej aktywną w tworzeniu właściwości reologicznych ciasta i jakości chleba (Daniel i Triboi 2000), których zawartość jest różnicowana genotypem (Buczek i in. 2016). Wartość liczbowa stosunku gluteniny wysokocząsteczkowej do niskocząsteczkowej jest większa w mące o dobrej wartości wypiekowej niż w mące jakościowo gorszej (Konopka i in. 2007). Wnioskowanie jest więc proste, im wyższy wynik testu sedymentacyjnego tym większa ilość wysokocząsteczkowych białek glutenowych i lepsza wartość wypiekowa mąki. Minimalne kryterium przydatności ziarna do produkcji mąki powinno mieć wartość wskaźnika sedymentacji na poziomie 22 lub 25 cm^3 (Budzyński 2012). Dodatnie korelacje testu sedymentacyjnego z zawartością białka, ilością glutenu mokrego i wskaźnikami oceny farinograficznej uzyskał Michniewicz i in. (2000).

Wartość wypiekową ziarna można ocenić na podstawie kompleksu skrobiowo-amylolitycznego z wykorzystaniem metody amylograficznej lub za pomocą liczby opadania (Szafrańska i Rothkaehl 2011). Liczbę opadania określającą aktywność enzymatyczną ziarna i mąki oznacza się z użyciem specjalistycznego sprzętu laboratoryjnego (Budzyński 2012). Metoda ta polega na pomiarze czasu opadania (w sekundach) mieszadełka na dno probówki, w której następuje upłynnienie kleiku skrobiowego sporządzonego z wody i rozdrobnionego ziarna pod wpływem enzymów zawartych w ziarnie i mące (Budzyński 2012). Oznaczona w ten sposób liczba opadania o wartości poniżej 150 sekund stanowi, że ziarno wykazuje bardzo wysoką aktywność enzymów amylolitycznych (intensywne procesy życiowe) i nie nadaje się do produkcji mąki na cele wypiekowe, uzyskuje się wtedy pieczywo o złej jakości.

Niekorzystnie na proces wypieku chleba (na objętość) wpływa także zbyt wysoka wartość liczby opadania (ponad 400 sekund) ze względu na ograniczoną aktywność enzymów amylolitycznych. Gwarancją uzyskania mąki pszennej na cele chlebowe o odpowiedniej liczbie opadania jest przemiał ziarna o liczbie opadania w zakresie 250–350 sekund (Rothkaehl 2015) Aktywność enzymów amylolitycznych ocenia się również na podstawie cech amylograficznych ziarna, która wymaga więcej czasu i jest bardziej pracochłonna niż oznaczenie liczby opadania. Za pomocą amylografu rejestrowane są oprócz aktywności enzymatycznej w mące, zmiany dotyczące procesu zdolności skrobi do kleikowania (Budzyński 2012).

Coraz więcej użytkowników mąki pszennej zaczyna określać jej wymagania jakościowe w odniesieniu do wskaźników cech reologicznych za pomocą farinografu, ekstensografu i alweografu (Cichoń i Ptak 2005; Simon i in. 2020). Każdy z wymienionych aparatów pozwala na ocenę różnych cech ciasta. Za pomocą farinografu ocenia się wodochłonność mąki (będącej pochodną jakości glutenu), wilgotność i zawartość uszkodzonych ziaren skrobi, a także konsystencję ciasta powstającego z mąki i wody. Wykres farinogramu dostarcza takich danych jak: czas rozwoju, stałość ciasta oraz rozmiękczenie ciasta na podstawie których określa się kierunki wykorzystania mąki (Simon i in. 2020). Za pomocą alweografu określa się rozciągliwość i elastyczność ciasta oraz jego odporność na deformację (Cichoń i Ptak 2005; Budzyński 2012). Ocena alweograficzna określa przydatność mąki do wyrobu określonego pieczywa (np. ciasto na biszkopty, ciasto na chleb). Dzięki takim badaniom można uzyskać informacje na temat zachowania się ciasta podczas miesienia i fermentacji w warunkach zbliżonych do przemysłowej produkcji ciasta, co istotnie ułatwia prognozowanie jakości produktu finalnego (Ktenioudaki i in. 2010; Vizitiu i in. 2012). Jednak pełną informację na temat wartości wypiekowej pszenicy uzyskuje się po wykonaniu próbnego wypieku laboratoryjnego i przeprowadzeniu oceny pieczywa.

Pierwotnym źródłem jakości technologicznej surowca pszenicy jest grupa czynników biologicznych, spośród których należy wymienić składniki chemiczne ziarna takie jak: zawartość węglowodanów i białka (Biel i Maciorowski 2012; Szempliński i in. 2020). Związki te są genetycznie zakodowane i w danym organizmie są one jakościowo niezmienne. Warunki klimatyczne, siedliskowe i agrotechniczne nie są w stanie zmienić konstrukcji genetycznej rośliny. Dlatego podstawowym czynnikiem kształtującym wartość technologiczną jest genetyczne, czyli odmianowe uwarunkowania jakości, które nie zmienia się na etapie produkcji i jest nadrzędne w stosunku do klimatu, gleby i agrotechniki. Dla przemysłu młynarskiego podstawową miarą wartości technologicznej ziarna pszenicy jest przydatność do

wyprodukowania mąki o jakości zapewniającej uzyskanie dobrego pieczywa. Aby wyprodukować mąkę o określonych parametrach musimy dysponować ziarnem o odpowiedniej wartości zarówno w aspekcie przydatności przemiałowej i wypiekowej. Można to uzyskać przetwarzając ziarno pszenicy określonej odmiany, o cechach jakościowych odpowiednich dla danego kierunku wykorzystania. Hodowca konstruując odmianę określa czy zmierza do wykreowania typu jakościowego czy pastewnego. Zaszeregowanie odmiany do określonej grupy technologicznej przeprowadza się w oparciu o wyróżniki jakościowe następujących parametrów: liczba opadania w ziarnie, zawartość białka w ziarnie, wskaźnik sedymentacji, wydajność mąki, wodochłonność mąki, rozmiękczenie ciasta, energia ciasta i objętości chleba. Wartość każdego z parametrów podzielono na dziewięć klas jakościowych wycenionych od 1 do 9, gdzie liczba 9 oznacza wartość najlepszą, a 1 najgorszą. Podstawa do opisu jakościowego odmiany w wymiarze bezwzględnym stanowią przedziały liczbowe dla poszczególnych klas (Klockiewicz -Kamińska i Brzeziński 1997; Szempliński i in. 2020, Najewski 2021).

Badania wskazują, że genotyp pszenicy jest najważniejszym czynnikiem determinującym wskaźniki wartości przemiałowej oraz wartości wypiekowej ziarna (Olaru i in. 2008). Opracowanie Buczek i in. (2016) wykazały, że odmiany mieszańcowe zawierały znacznie mniej białka i glutenu w ziarnie niż odmiany liniowe. Powodem mniejszej ilości białka i glutenu w ziarnie odmian mieszańcowych, może być spowodowana większym wyleganiem przed zbiorem (Ingver i in. 2010). Ponadto ich gorsza jakość ziarna może być wynikiem skomplikowanej hodowli tych odmian, gdy bezpłodność żeńskiego rodzica nie jest w pełni zachowana (Whitford i in. 2013; Zhao i in. 2013). Nieudowodnione statystycznie obniżenie zawartości glutenu w ziarnie odmian mieszańcowych w stosunku do liniowych otrzymał także Skrajda i in. (2017), a odmienne wyniki dotyczące zawartości białka i glutenu uzyskali Jańczak-Pieniążek i in. (2019b), którzy stwierdzili większą koncentrację tych składników w ziarnie odmian mieszańcowych w porównaniu do liniowej. W badaniach Buczek i in. (2021) zawartość białka i glutenu u badanych odmian mieszańcowych pszenicy ozimej wahała się odpowiednio od 121 do 132 g kg^{-1} i od 24,0 do 27,9%, a wskaźnik sedymentacji osiągnął wartość w zakresie od 35,5 do 46,0 ml. Zawartość ww. parametrów jakościowych odmian mieszańcowych pszenicy ozimej nie odbiegała istotnie od wartości podanych w badaniach Šip i in. (2013) oraz Jaskulskiej i in. (2018). W innych badaniach (Skrajda i in. 2017) porównywane odmiany mieszańcowe i liniowe nie wykazywały istotnego zróżnicowania w cechach dotyczących twardości ziarna i ilości glutenu. Nie wykazano także istotnego wpływu odmian na szklistość ziarna, która mieściła się w zakresie od 73% do 86% (Stępniewska i Słowik 2016). Na podobne

małe zmienności odmianowe w cechach szklistości ziarna i zawartości popiołu wskazują również badania Cacak–Pietrzak i in. (2005a), Klepackiej i Fornal (2008) oraz Stępniewskiej (2016a).

Czynnik odmianowy może wpływać także na masę objętościową (Sadkiewicz 1998; Rachoń i in. 2012; Stoeva 2012). W badaniach Cacak-Pietrzak i Gondek (2010) gęstość ziarna pszenicy zwyczajnej i twardej kształtowała się od 76,6 do 78,6 $kg \cdot hl^{-1}$, w przypadku pszenicy orkisz osiągnęła ona wartość 77,2 $kg \cdot hl^{-1}$. Rozbieżność masy objętościowej pomiędzy badanymi gatunkami pszenicy zwyczajnej, orkisz i twardej uzyskał także Rachoń i in. (2011). W innym opracowaniu (Stępniewska i Słowik 2016) nie stwierdzono istotnego zróżnicowania gęstości ziarna w stanie zsypnym w zależności od odmian pszenicy zwyczajnej, u których oceniona wartość wahała się w zakresie od 79,1 $kg \cdot hl^{-1}$ do 80,2 $kg \cdot hl^{-1}$. Zbliżoną masę objętościową ziarna pszenicy otrzymał także Rozbicki i in. (2015). Inne badania wykazały także zróżnicowanie wartości wskaźnika sedymentacji, która dla pszenicy zwyczajnej oraz twardej uzyskało poziom 29,1 i 28,2 cm^3, w przypadku ziarna pszenicy orkisz był on istotnie mniejszy (od 16,3 do 20,7 cm^3) (Cacak-Pietrzak i Gondek 2010).

Aktywność enzymów amylolitycznych kształtowana jest na poziomie genetycznym w hodowli twórczej odmian w celu ograniczenia porastania ziarna. W badaniach Skrajda i in. (2017) odmiany mieszańcowe charakteryzowały się istotnie niższą liczbą opadania (mniej korzystną) niż odmiany liniowe. Podobne rezultaty pochodzące średnio z trzech odmian mieszańcowych uzyskali także Jańczak-Pieniążek i in. (2020b). W innym opracowaniu (Cacak-Pietrzak i Gondek 2010) najbardziej zalecane wartości liczby opadania notowano u pszenicy orkisz (od 267 do 290 s.), a zbyt niskie u pszenicy zwyczajnej odmiany Tonacja (155 s.) i pszenicy twardej (od 130 do 136 s.).

Najcenniejsze ziarno pszenicy technologicznej pochodzi z klimatu kontynentalnego, stepowego charakteryzującego się wysoką temperaturą, długotrwałym nasłonecznieniem i długimi okresami niedoboru opadów atmosferycznych w okresie nalewania ziarna. Pszenice uprawiane w warunkach klimatu kontynentalnego gromadzą w ziarniakach ponad 15% białka i określane są jako twarde (Rozbicki 2002). Na terenie naszego kraju warunki pogodowe kształtują dwa typy klimatu: kontynentalny i morski, który określony jest jako umiarkowany, ciepły, w typie przejściowym, co powoduje znaczną zmienność hydrotermiczna w latach. Dlatego też ziarno o dobrej jakości technologicznej (duża zawartość białka i glutenu) można uzyskać tylko w sezonach o korzystnym przebiegu pogody (umiarkowanie wilgotna, słoneczna, ciepła i sucha w okresie dojrzewania ziarna) oraz w warunkach poprawnej agrotechniki

(Dupont i in. 2006; Erekul i Köhn 2006; Buczek i in. 2016). Deficytu wody w stadium dojrzewania poprawia cechy jakościowe ziarna (Lloveras i in. 2004, Jaskulska i in. 2018, Woźniak i Rachoń 2020, Buczek i in. 2021), w tym zwiększa udział zawartości frakcji białkowych i ich podjednostek (Buczek i in. 2016). W sezonach mniej korzystnych (pochmurna i wilgotna pogoda) wyprodukowany surowiec pomimo odpowiednich cech genetycznych, może tylko z trudnością spełniać wymogi skupowe (Buczek i in. 2016). Długotrwałe opady atmosferyczne, zwłaszcza w dojrzałości mlecznej i woskowej, mają niekorzystny wpływ na syntezę białek glutenowych (Budzyński 2012), a także aktywność enzymów amylolitycznych (Dojczew i in. 2004; Muralikrishna i Nirmala 2005; Podolska i in. 2005a; Dojczew 2010, Nörnberg i in. 2015). W deszczowych warunkach przed zbiorami ziarno pszenicy może kiełkować w kłosie na skutek wzrostu aktywności enzymatycznej (Carson i Edwards, 2009). Przyczyną wysokiej aktywności alfa-amylazy jest alfa-amylaza późnej dojrzałości, która jest defektem genetycznym występującym w niektórych genotypach, związanym z szybką zmianą temperatury po kwitnieniu (Newberry i in. 2018). Nadmierne opady w zależności od genotypu mogą powodować zwiększoną syntezę gliadyn w białku, osłabiając wytrzymałość mechaniczną glutenu (Daniel i Triboi 2000; García-Molina i Barro 2017; Šekularac i in. 2018). Z badań (Bhatta i in. 2018) wynika, że zawartość białka w ziarnie, w zmiennych warunkach środowiska, w zależności od genotypu wahała się od 119,4 do 146,5 $g \cdot kg^{-1}$ i była podobna do wyników badań, które uzyskał Puppala i in. (1998).

Jakość ziarna pszenicy, oprócz czynnika odmianowego, może być kształtowana przez warunki pogodowe podczas wzrostu i zbioru ziarna, a także zastosowane zabiegi agrotechniczne (Švec i Hruščová 2009; Muste i in. 2010). Wiele badań wskazuje, że błędy w technologii uprawy pszenicy przyczyniają się do pogorszenia cech jakościowych ziarna tego gatunku (Rothkaehl 1999; Budzyński i in. 2004; Stankowski i in. 2008; Caglar i in. 2011; Zecevic i in. 2014). Za najważniejsze różnicujące jakość technologiczną surowca należy uznać nawożenie azotem oraz ochronę łanu przed chorobami, a także może to być termin i gęstość siewu (Budzyński 2012).

Istotny wpływ na syntezę białek w ziarnie pszenicy ma poziom nawożenia azotem (Johansson i in. 2004; Saint Pierre i in. 2008; Yu i in. 2018; Soofizada i in. 2022). Wyniki badań dotyczące ilościowego gromadzenia białka pod wpływem stosowanego azotu nawozowego wskazują, że w miarę wzrostu dawek nawożenia azotem następuje zwiększenie zawartości białka i glutenu w ziarnie (Podolska i Stankowski 2001; Jankowski i in. 2015; Jańczak-Pieniążek i in. 2020b). Korzystne działanie zwiększonych dawek azotu na zawartość białka w

ziarnie pszenicy zwyczajnej jarej i ozimej uzyskali także Borkowska i Grundas (2003), Narkiewicz-Jodko i in. (2008), Weber i in. (2008), Shi i in. (2010), Dubis (2012) i Bobrecka-Jamro i in. (2013), a na zawartość glutenu Podolska i in. (2005a), Gąsiorowska i Markiewicz (2007), Sułek i Podolska (2008), Ellmann (2011) i Dubis (2012). W badaniach Budzyńskiego i in. (2004) wzrost zawartości białka w ziarnie trzech odmian pszenicy technologicznej miał charakter liniowy i następował aż do najwyższej z zastosowanych dawek azotu – 180 kg N·ha^{-1}. Kościelniak i Rothkaehl (2000) dowiedli, że przyrost zawartości białka w ziarnie u czterech odmian liniowych wystąpił jeszcze na dawce 240 kg N ha^{-1}, a tylko u jednej odmiany do dawki 180 kg N ha^{-1}. W badaniach Jańczak-Pieniążek i in. (2020b) wzrost zawartości białka i glutenu w ziarnie odmian pszenic mieszańcowych i liniowej notowano podczas zwiększenia dawki azotu ze 150 do 200 kg ha^{-1}. Budzyński (2012) stwierdził, że u większości odmian uprawianych w Polsce pod wpływem nadmiernej dawki azotu notuje się pogorszenie jakości glutenu.

Nawożenie dawkami azotu powyżej 100–120 kg N·ha^{-1} oddziałujących na jakość ziarna pszenicy należy dobierać indywidualnie do odmian (Kościelniak i Rothkaehl 2000). Niektóre kreacje pszenicy zwyczajnej mogą uzyskać dobrą jakość wypiekową tylko przy wysokim poziomie nawożenia azotem, w przeciwnym razie nie spełniają one standardów zawartości glutenu. Z kolei inne odmiany mogą uzyskać wysoką zawartość glutenu już przy niskich dawkach azotu, a jego zwiększenie może skutkować pogorszeniem rozpływalności glutenu, a także wyróżnika rozmiękczenia ciasta. Sytuacja taka ma miejsce szczególnie wtedy, kiedy wysokiemu nawożeniu azotem towarzyszą duże sumy opadów prowadzące do zwiększania aktywności enzymatycznej w ziarniakach i rozpoczęcia procesów ich kiełkowania jeszcze w kłosie. Powyższy stan fizjologiczny ziarniaka wyraża się wtedy zmniejszoną liczbą opadania, co dyskwalifikuje surowiec przeznaczony do przetwórstwa na cele młynarskie (Rothkaehl 2015). Wyniki badań Kościelniak i Rothkaehl (2000) dowodzą, że nawożenie niższe niż 120 kg N·ha^{-1} jest dla pszenicy zwyczajnej niewystarczające. W badaniach Buczek i in. (2017) wykazano istotne zwiększenie zawartości białka w ziarnie w pszenicy mieszańcowej Hybred na poziomie 13,4–14,7% pod wpływem stosowanych dawek azotu w przedziale 50, 100 i 150 kg N·ha^{-1}. Przyrost zawartości białka w ziarnie uzyskany przez tych autorów po nawożeniu azotem w dawce 50 kg N·ha^{-1} wyniósł 6,7%, na dawce 100 kg N·ha^{-1} notowano wzrost o 9,7%, a aplikacja 150 kg N·ha^{-1} skutkowała podwyższeniem zawartości tego składnika o 11,9%. Statystyczny wzrost zawartości białka i glutenu w ziarnie pszenicy odmian mieszańcowych i liniowych notował także Buczek i in. (2016), a brak różnic w wartościach ocenianych cech pod wpływem dwóch technologii, w których aplikowano 90 kg N·ha^{-1} i 120 kg N·ha^{-1} otrzymał

Faměra i in. (2015). Są także badania, które wskazują na korzystny wpływ dawek azotu na jakość białka w ziarnie pszenicy jarej i ozimej mierzonej wskaźnikiem sedymentacyjnym (Gianibelli i Sarandon 1991; Budzyński i in. 2004; Podolska i in. 2005; Piekarczy 2010, Ellmann 2011b; Dubis 2012; Jankowski i in. 2015).

Jakość technologiczną ziarna kształtuje nie tylko dawka azotu, ale także termin jej aplikacji. Azot podany we wczesnych fazach wzrostu i rozwoju pszenicy oddziałuje głównie na plon, natomiast w późniejszych stadiach rozwojowych (po kłoszeniu) wpływa na cechy jakościowe ziarna (Sułek i in. 2004; Andersson 2005; Stankowski i Rutkowska 2006). Taki sposób nawożenia pszenicy wpływa na zwiększenie zawartości białka ogólnego i glutenu mokrego (Budzyński i Bielski 2008; Podolska 2008; Stankowski i in. 2008; Buczek i in. 2011), a także przyczynia się do poprawy innych cech wypiekowych, które dotyczą jakości glutenu, wskaźnika sedymentacji, właściwości reologicznych ciasta i objętości chleba (Majewska 1999). Intensywna synteza białek glutenowych rozpoczyna się około 12 dni po kwitnieniu, a kończy w 35 dniu po tej fazie pomimo dalszej obecności substratu (aminokwasów) dlatego bardzo ważny staje się umiejętny podział azotu i opóźnienie jego stosowania do czasu po kłoszeniu i dojrzałości mlecznej (Budzyński 2012). Nadmierna ilość azotu aplikowana w tych stadiach rozwojowych może powodować jednak pogorszenie parametrów jakości ziarna. Otrzymany gluten w takich warunkach jest słabszy w wyniku większego udziału niskocząsteczkowej gluteniny (Knapowski i Ralcewicz 2004a; Mazurkiewicz i Bojarczyk 2004; Kwiatkowski i in 2006).

Nawożenie azotem może wpływać korzystnie na cechy przemiałowe ziarna takie jak: masa 1000 ziaren oraz gęstość ziarna, które świadczą o stopniu jego wypełnienia, celności i wyrównaniu (Dubis i Borysewicz 2008; Harasim i Wesołowska-Trojanowska 2010; Jańczak-Pieniążek i in. 2020b). W badaniach Jankowskiego i in. (2015) wzrost nawożenia azotem o 60 kg $N \cdot ha^{-1}$ w warunkach ochrony przeciwgrzybowej (dwa zabiegi fungicydem) poprawiało masę objętościową ziarna i szklistość ziarna pszenicy ozimej, a nie wpływało na wydajność mąki. Poprawę wydajności mąki pszenicy jarej podczas zwiększenia dawek azotu i stosowania fungicydów uzyskał także Dubis (2012). W innych badaniach (Narkiewicz-Jodko i in. 2008; Ellmann 2011; Jańczak-Pieniążek i in. 2020b) w wyniku intensyfikacji nawożenia azotem w uprawie pszenicy uzyskano zwiększenie szklistości ziarna. Duże dawki azotu powodują zdrobnienie ziarna, co wyraża się zmniejszeniem masy 1000 ziaren i masy objętościowej ziarna (Budzyński i in. 2004; Stankowski i in. 2008). W innych badaniach dawki azotu zastosowane w uprawie pszenicy wpływały korzystnie na wypełnienie ziarna ograniczając w ten sposób

wolne przestrzenie w ziarnie i zawartości w nich alfa amylazy (Kinder i in. 2005) oraz opóźniają dojrzewanie i przedłużają stan spoczynku, co zmniejsza ryzyko osiągnięcia przez ziarno początkowego lub faktycznego kiełkowania po dojrzałości (Kinder i in. 2005). Wraz z obfitym odżywianiem roślin azotem obserwuje się zmniejszenie aktywność enzymów amylolitycznych, co skutkuje korzystnym wzrostem wartości liczby opadania (Borkowska i in. 2003; Knapowski i Ralcewicz 2004a). Korzystny wpływ technologii wysokonakładowych związanych z nawożeniem azotem i ochroną przed chorobami na liczbę opadania wykazał także Skrajda i in. (2017). Z badań Budzyńskiego i in. (2008) wynika, że duże dawki azotu mogą powodować wzrost aktywności alfa-amylazy, czyli obniżenie liczby opadania. Sułek i in. (2004) oraz Sułek i Podolska (2008) nie stwierdziły związku między dawką i terminem stosowania azotu, a liczbą opadania.

Dotychczasowe dane literaturowe wskazują, że więcej badaczy określało wpływ gęstości siewu na plon i jego składowe niż na jakość technologiczną ziarna. Olaru i in. (2008) podali, że zawartość glutenu mokrego zwiększała się wraz ze zmniejszaniem ilości wysiewu, podczas, gdy wskaźnik sedymentacyjny Zeleny'ego osiągał wyższe wartości w warunkach zwiększonej gęstości wysiewu (550 ziaren·m^{-2}). Według Caglar i in. (2011) gęstości siewu miała znaczący wpływ na plon ziarna i jego parametry jakościowe. Okazało się, że wysiew o gęstości 325 ziaren·m^{-2} był najbardziej odpowiedni dla wydajności mąki, a stosując siew w zagęszczeniu 526–625 ziaren·m^{-2} korzystnie oddziaływał na zawartość glutenu mokrego i suchego, wskaźnik sedymentacji, a także zawartość popiołu w mące. Pozytywny wpływ większego zagęszczenia siewu (650 ziaren·m^{-2} w porównaniu do 500 ziaren·m^{-2}) na jakość ziarna różnych odmian pszenicy ozimej wykazał Zecevic i in. (2014). Większa gęstość siewu w powyższych badaniach zapewniała wzrost liczby pędów głównych, co skutkowało powstawaniem ziaren bardziej dorodnych o większej ich masie. Ziarno takie ma korzystniejszy stosunek zawartości zmagazynowanych białek i skrobi, co sprzyja polepszeniu ich jakości. W warunkach zmniejszonej gęstości siewu notowano większą liczbę pędów drugiego rzędu, które wytwarzały małe ziarniaki o mniejszej masie i gorszej jakości. Wyniki te są zgodne z badaniami uzyskanymi przez Geleta i in. (2002), którzy stwierdzili przy mniejszych gęstościach wysiewu większą obecność pędów drugiego rzędu, które opóźniały dojrzewanie ziarna i zmniejszały masę ziarna. Pędy drugiego rzędu produkując mniejsze ziarna, wpływały na uzyskanie niskiej masy objętościowej ziarna. W badaniach Zecevic i in. (2014) większe zagęszczenie siewu (650 ziaren·m^{-2} w stosunku do 500 ziaren·m^{-2}) spowodowało wzrost masy 1000 ziaren (o 2,4%), a także wskaźnika sedymentacji (o 28,5%) i zawartości glutenu mokrego (o 6,8%). Średnio dla

odmian i lat wartość wskaźnika sedymentacji Zeleny'ego dla gęstości 650 ziaren·m^{-2} wyniosła 37,0 ml, a dla gęstości 500 ziaren·m^{-2} było to 28,8 ml. Stwierdzono także zróżnicowanie tego wskaźnika w zależności od stosowanych odmian pszenic, które wahało się od 28,8 do 37,0 ml. Zawartość mokrego glutenu i masa 1000 ziaren w większym stopniu zależały od odmiany, a w mniejszym od gęstości siewu. W przypadku wskaźnika sedymentacji większy wpływ miały gęstości siewu niż odmiany (Zecevic i in. 2014). Otteson i in. (2008) wskazują, że gęstość siewu nie spowodowała znaczącej zmiany w wartości przemiałowej i wypiekowej ziarna.

Choroby atakujące liście, źdźbło, kłos i ziarniaki powodują pogorszenie jakości ziarna (Korbas i Mrówczyński 2020). Bardzo szkodliwe dla surowca finalnego jest śnieć cuchnąca, głownia pyląca pszenicy, a także czerń kłosów oraz grzyby z rodzaju *Fusarium*. Zanieczyszczenie ziarna w czasie wegetacji przez grzybnię lub zarodniki śnieci cuchnącej powoduje, że plon pszenicy ulega zdyskwalifikowaniu, podobnie jak w przypadku głowni pylącej. Bardzo niekorzystny wpływ na jakość mają *Fusaria* (Palazzini i in. 2018; Wachowska i in. 2020). Grzyby z tego rodzaju infekują pszenicę chlebową przez cały okres wegetacji i wywołują *Fusarium* kłosów (Wachowska i in. 2020), które mogą powodować deformacje ziarniaków, oddziałują na zmianę barwy i budowę okrywy owocowo-nasiennej, co może zmieniać relacje między białkiem do skrobią. Szczególnie niebezpieczne dla spożycia jest ziarno pokryte mikotoksynami wytwarzanymi przez grzyby z rodzaju *Fusarium* mikotosyn (Korbas 2005; Łukanowski i Sadowski 2005; Wachowska i in. 2020).

Duże znaczenie dla jakości technologicznej ziarna pszenicy mają grzyby będące sprawcami septoriozy plew, mączniaka prawdziwego zbóż, brunatnej plamistości liści (Korbas i Mrówczyński 2020). Porażenie pszenicy przez choroby liści, źdźbła i kłosa realizuje się przede wszystkim poprzez niekorzystne zdrobnienie ziarna pogarszające wszystkie cechy przemiałowe i właściwości wypiekowe (Gaju i in. 2014; Simón i in. 2020). Mogą one powodować zmniejszenie liczby ziaren i/lub masy 1000 ziaren, wpływając w konsekwencji na akumulację azotu w ziarnie (Simón i in. 2020). Obniżenie masy 1000 ziarniaków i masy objętościowej, które zmniejszyły wydajność przemiału pod wpływem infekcji *Puccinia tritici* i *Puccinia graminis* uzyskał Keed i White (1971), a *Puccinia striiformis* O'Brien i in. (1990). W innych badaniach (Castro i Simón 2016) występująca na roślinach pszenicy *Septoria tritici* powodowała zmniejszenie masy objętościowej ziarna. Herrman i in. (1996) udokumentowali przedwczesne starzenie się liścia flagowego, co skróciło wypełnienie ziarna i ograniczyło ponowną mobilizację azotu do ziaren. Skutkiem zainfekowania roślin jest wytwarzanie mniejszych ziaren, które są zwykle pomarszczone i o niższej jakości przemiału niż rośliny

zdrowe (Agrios 2005). Pomarszczone ziarna cechuje wyższa zawartość popiołu, obniżona masa objętościowa, mniejszy plon mąki, wzrost zanieczyszczeń w mące i niższa zawartość energii metabolicznej (Gaines i in. 1997; Gooding i Davies 1997). Notuje się także zwiększoną ich twardość (Buendía-Ayala i in. 2019) oraz pogorszenie właściwości piekarniczych (mniejsza objętość ciasta), pomimo większej zawartości białka w ziarnie i mące w porównaniu z ziarnami dobrze wypełnionymi (Gaines i in. 1997). Występowanie na liściach pszenicy takich patogenów jak: Z. tritici, P. tritici-repentis i B. graminis na początku sezonu wegetacyjnego oraz P. triticina i P. striiformis oddziałuje na długość trwania zdrowej powierzchni liści (Castro i in. 2018; Schierenbeck i in. 2019a,b,c), co w konsekwencji może mieć wpływ na utratę suchej masy, akumulację azotu w ziarnie i zawartość białka w ziarnie. Patogeny grzybicze na liściach prowadzą do zmian w bilansie C/N w ziarnie, które mają wpływ na jakość mąki. Występowanie chorób liści w krytycznym okresie rozwoju pszenicy powoduje zmniejszenie elementów składowych plonu (Yang i Zeng 1989), a w konsekwencji oddziałuje to na przemiał i inne cechy jakościowe ziarna. Są także badania, które wskazują, że niektóre patogeny występujące na liściach, takie jak B. *graminis*, powodowały zmniejszenie zawartości amylopektyny (Li i in. 2018) oraz zmniejszenie stosunku amylozy do amylopektyny i wypełnienia ziarna (Morris i Rose 1996). Skład skrobi (stosunek amyloza/amylopektyna) może wpływać na właściwości przemiałowe (mielenie) i cechy reologiczne ciasta, który może być modyfikowany występowaniem chorób na liściach, a także genotypem i środowiskiem (Simón i in. 2020).

Środki ochrony roślin jako związki chemiczne mogą w roślinach uprawnych zmieniać procesy fizjologiczne i metaboliczne, zatem ich działanie może powodować zmiany wartości cech fizycznych i chemicznych ziarna i mąki (Goding 2007; Tanács i in. 2010; Dubis 2012, Dewadas i in. 2014; Bhatta i in. 2018). Wyniki prowadzonych badań wskazują, że zwalczanie chorób liści pomaga w wypełnieniu ziarna, zmniejszając zjawisko ich wysychania, które najczęściej skutkuje niskimi wydajnościami mąki podczas przemiału (Simón i in. 2020). Wzrost wydajności przemiału na poziomie 10-32%, w zależności od rodzaju substancji aktywnej fungicydu, terminu aplikacji, genotypu pszenicy i kontrolowanej choroby uzyskał Castelarin i in. (2004). W innych badaniach (Varga i in. 2007) stwierdzono wzrost masy objętościowej po zastosowaniu triazolu, głównie w przypadku genotypów podatnych na choroby przy wysokich stężeniach azotu. Inne eksperymenty z zastosowaniem triazolu wykazały poprawę masy 1000 ziaren i masy objętościowej w uprawach dotkniętych patogenami *Pyrenophora tritici-repentis* i *Zymoseptoria tritici* (MacLean i in. 2018) lub *Zymoseptoria tritici* (Ruske i in. 2003) lub były infekowane przez *Puccinia tritici* i

Pyrenophora tritici-repentis (Puppala i in. 1998). Przeprowadzone długoterminowe eksperymenty polowe w warunkach naturalnych infekcji z przewagą *Zymoseptoria tritici*, *Puccinia striiformis* i *Blumeria graminis* dowiodły, że stosowany karboksyamid, strobiluryna i sterol - demethylation inhibitors zwiększyły masę 1000 ziaren, masę objętościową i zawartość skrobi (Matzen i in. 2019).

Badania wielu autorów (Ruske i in. 2003; Barbottin i in. 2005; Gooding i in. 2005; Bancal i in. 2008; Ishikawa i in. 2012) wykazały, że zastosowanie fungicydów, w tym głównie mieszanin triazoli i strobiluryn wydłuża długość zdrowotności liści i czas trwania napełniania azotu w ziarnie. Fungicydy wykorzystane w stadium liścia flagowego do kontrolowania uciążliwych i groźnych chorób wpływają na akumulację węglowodanów, plonu, masy 1000 ziaren i masy objętościowej (Simón i in. 2020). Ich aplikacja w okresie kwitnienia poprawiała jakość ziarna mierzoną masą objętościową i masą 1000 ziaren, które mogą jednak skutkować rozcieńczeniem zawartość białka w ziarnie (MacLean i in. 2018). Potwierdzają to również badania przeprowadzone przez Matzen i in. (2019), który w przypadku naturalnych infekcji wywołanych przez *Zymoseptoria tritici, Puccinia striiformis* i *Blumeria graminis* notował pod wpływem kontroli choroby zmniejszenie stężenia białka w ziarnie w wyniku efektu rozcieńczenia. Nie potwierdzają tego wyniki uzyskane przez Simón i in. (2020), którzy wykazali wzrost zawartości białka w ziarnie pod wpływem fungicydów, a także eksperymenty wykonane ze sztuczną inokulacją kontroli występowania rdzy liściowej, które dowiodły wzrostu stężenia białka w ziarnie i glutenu, nawet gdy notowano wzrost masy 1000 ziaren, co wskazuje, że nie ma dowodów na rozcieńczenie białka (Fleitas i in. 2015; 2018b; Simón i in. 2020). Według niektórych autorów takie zróżnicowane reakcje na badaną cechę zależą od genotypu (Everts i in. 2001; Buendía–Ayala i in. 2019), a także mogą różnić się w zależności od poziomu ich odporności (Conner i in. 2003).

Traktowanie fungicydem łanu pszenicy zmniejszało zawartość mokrego glutenu w ziarnie przy niskich stężeniach N, a wyższe wartości badanej cechy uzyskano przy wysokim stężeniu azotu, gdzie stosowano triazol + strobiluryna + karboksyamid w porównaniu z kontrolą i stosowaniem triazol + strobiluryna (Fleitas i in. 2018). Wraz ze wzrostem stężenia azotu zastosowane fungicydy (niezależnie od rodzaju) generowały także większe przyrosty objętości chleba w stosunku do obiektów nieopryskanych (Fleitas i in. 2018). Inne badania nie wykazały wpływu zwalczania chorób na zawartość białka w ziarnie (Bhatta i in. 2018) i cechy reologiczne ciasta (wytrzymałość, rozciągliwość) (Blandino i Reyneri 2009). Natomiast Ruske i in. (2004) oraz Watson i in. (2010) notowali zmniejszenie zawartość białka i objętości chleba, zaś

Gooding (2007) w warunkach zwalczania rdzy otrzymał wzrost koncentracji białka, a podczas zwalczania *Septoria tritici* zmniejszenie stężenia białka w ziarnie. W innych badaniach stosowanie fungicydów ograniczających choroby liści wpływało na poziom aktywności alfa-amylazy (Matzen i in. 2019). Zastosowanie triazoli i/lub strobiluryny w przypadku występowania kilku patogenów (Ruske i in. 2003; 2004; Wang i in. 2004) skutkowało uzyskaniem wartości liczby opadania często powyżej 250 sekund, które są wymaganymi standardami przy wypieku chleba (Budzyński 2012). Inne badania wykazały, że przedłużenie długości zdrowotności liści w pszenicy za pomocą fungicydów może zwiększyć aktywność alfa-amylazy (Gooding 2017). Badania sugerują, że wpływ kontroli chorób na wartość przemiałową i wypiekową wchodzi w interakcję z genotypem, klimatem i zabiegami agrotechnicznymi, a także typem patogenu i intensywnością infekcji (Simón i in. 2013; Bhatta i in. 2018), dlatego aby uzyskać pożądaną jakość ziarna dla przemysłu piekarniczego należy wybierać genotypy wykazujące tolerancję na choroby lub stosując w okresie wegetacji fungicydy (Santa–Rosa i in. 2016).

2.3 Ekonomiczna efektywność produkcji ziarna

Stosowanie zabiegów agrotechnicznych w uprawie pszenicy, o różnym poziomie intensywności, wpływa niewątpliwie na cechy ilościowe i jakościowe plonu (Buczek i Bobrecka–Jamro 2015; Sułek 2017). Wdrażanie ich musi przynieść jednak także pozytywne ekonomiczne korzyści. Bardzo ważnym elementem opłacalności produkcji zbóż są koszty materiałowe, które wiążą się z dużymi nakładami, dlatego poszukuje się technologii mniej intensywnych, które zapewniałyby wysoką efektywność ekonomiczną prowadzonej produkcji (Prusiński i Skinder 2002; Szmigiel i in. 2006; Sułek 2017; Jaenisch i in. 2019). Wiedza na temat struktury kosztów zastosowanej technologii jest bardzo pomocna, ponieważ umożliwia praktyce rolniczej osiąganie przewagi konkurencyjnej i tworzenie stabilnych warunków do rozwoju gospodarstwa. Ważnym aspektem tej przewagi jest ciągłe dążenie producenta rolnego do zwiększenia różnicy między przychodem, a kosztem jego uzyskania oraz dążenie do minimalizacji kosztów wytwarzania produktów finalnych (Niezgoda 2009). Optymalizacja kosztów to szerokie zagadnienie i podjęcie przez rolnika właściwej decyzji w zakresie intensywności produkcji nie jest takie proste (Augustyńska i Czułowska 2021).

Poziom dochodów pochodzący z uprawy pszenicy jest zmienny w latach i wynika głównie z dużego zróżnicowania zbiorów światowych jak i krajowych, a także cen rynkowych. Efektywność nakładów silnie różnicują koszty wynikające z zakupem i stosowaniem środków

produkcji (Budzyński 2012). Udowadniają to wyniki przeprowadzone w latach 2018-2020 z uprawy pszenicy ozimej, które pochodzą z reprezentatywnej próby 158 gospodarstw rolnych prowadzących rachunkowość rolną w systemie Polskiego FADN (Goraj i Mańko 2012), a następnie opracowane przez IERiGŻ – PIB w Warszawie (Augustyńska i Czułowska 2021). Na podstawie zebranych danych ankietowych uwzględniających strukturę kosztów i dochody wynika, że uprawa 1 ha pszenicy ozimej pochłaniała w zależności od roku wegetacji od 3 202 zł (2018 r.) do 3 411 zł (2020 r.) średnio wyniosły one 3 323 zł·ha^{-1}. W strukturze kosztów ogólnych produkcji ziarna pszenicy ozimej przeważały koszty materiałowe, które stanowiły w latach odpowiednio 1 348, 1 406, 1 438 zł, średnio 1 398 zł·ha^{-1}. Ustalono, że wśród kosztów bezpośrednich największy udział stanowił koszt (ogółem) nawozów mineralnych, a drugą pod tym względem pozycję zajmował koszt (ogółem) środków ochrony roślin. Produkcja w każdym roku była dochodowa i opłacalna, w latach było to odpowiednio 135,8%, 122,8%, 140,8%, średnio 133,1%. Najniższe ceny ziarna przyczyniły się znacząco do uzyskania w 2019 roku najniższych w całym okresie badań (2018-2020) dochodów z działalności. Najwyższe dochody z działalności bez dopłat oraz po ich uwzględnieniu osiągnięto w 2020 roku. Był to rezultat uzyskania najwyższej wartości produkcji ogółem. Ta zaś uwarunkowana była największymi w 2020 roku plonami tego zboża. Uprawa pszenicy nie wymagała dużych nakładów pracy ludzkiej. Średnio w zależności od rozpatrywanej działalności nakłady te wynosiły prawie 9 godzin na 1 ha uprawy, przy czym dominującą ich część (94,1–95,7%) stanowiły nakłady pracy własnej. Bez względu na badaną działalność, średnio w latach 2018- 2020 poziom kosztów ogółem uprawy pszenicy był zawsze niższy niż wartość produkcji. W rezultacie uprawa była stale dochodowa. Warto jednak zauważyć, że doliczenie dopłat w pszenicy pozwoliło na zwiększenie uzyskanego dochodu o 77,4%. Biorąc pod uwagę koszty pośrednie uprawy tego gatunku stwierdzono, że największy udział wśród nich miały koszty pośrednie rzeczywiste (koszty ogólnogospodarcze - energia elektryczna, opał, paliwo oraz podatki - rolny, leśny itd.), a następnie – amortyzacja (budynków, maszyn i urządzeń) i koszt czynników zewnętrznych (praca najemna, czynsze dzierżawne i odsetki od kredytów) (Augustyńska i Czułowska 2021).

Przedstawione powyżej wyniki ankietowe dają wiarygodny obraz opłacalności produkcji pszenicy w wielu gospodarstwach rolnych, odzwierciedlają tendencje w kształtowaniu się kosztów i mogą służyć badaniu współzależności między dochodowością produkcji, a jej głównymi determinantami. Dotyczą one także lat w których uzyskiwano plony w badaniach własnych. Oczywiście, w realiach cen rynkowych 2021 roku byłyby one nieco inne.

W literaturze brakuje badań i solidnych danych dotyczących oceny ekonomicznej uprawy pszenicy mieszańcowej, ponieważ jest ona nadal produktem niszowym i nie ma ugruntowanej pozycji na rynku (Cisar i in. 2002; Boeven 2019). W strukturze kosztów bezpośrednich uprawy odmian hybrydowych pszenicy duży udział stanowi materiał siewny (Khah i in. 1989), którego produkcja, w tym zakup jest bardzo kosztowny (Schmitz i Ransom 2021). Nakłady poniesione na ich wyprodukowanie są około 2,5 razy wyższe w porównaniu z materiałem kwalifikowanymi odmian liniowych (Cisar i in. 2002). Aby zrównoważyć wyższe koszty produkcji nasion wymagana jest przewaga plonów nad odmianami liniowymi w zakresie około 1,0 $Mg \cdot ha^{-1}$ (Schachschneider 1997; Weissmann i Weissmann 2002; Koekemoer i in. 2011). Ważnym wkładem na obniżenie wysokich kosztów produkcji materiału siewnego pszenicy hybrydowej jest możliwość ograniczenia nakładów związanych z ilością wysiewu, co wynika z lepszego wigoru tych roślin i wyższej ich zdolności do krzewienia (Khah i in. 1989). Wymagane minimum dla zmniejszonej gęstości siewu dla hybryd oszacowano na poziomie 220 $ziaren \cdot m^{-2}$ (Schmitz i Ransom 2021). W praktyce stopień, w jakim większość mieszańców może reagować na niższe wskaźniki wysiewu, nie przekracza 10 procent w stosunku do odmian liniowych uprawianych na danym obszarze. W warunkach środowiska, które wymagają wysiewu o większej masie (120 kg ha^{-1} i więcej), wymagany jest odpowiednio większy wzrost plonu mieszańców, aby wykazać ekonomiczną ich przewagę. Uprawa mieszańców na obszarach wymagających umiarkowanej masy wysiewu (55 do 85 $kg \cdot ha^{-1}$) mogą one mieć mniejszą przewagę, ale nadal być opłacalne. W środowiskach o niskim potencjale plonowania, takie jak ekstremalne ekosystemy suche, mogą nie być w stanie zapewnić ekonomicznej przewagi pomimo stosunkowo niskich wskaźników wysiewu (Cisar i in. 2002).

Korzyści ekonomiczne płynące z produkcji ziarna pszenicy hybrydowej są łatwiejsze do udowodnienia szczególnie w warunkach otrzymania wyższych cen sprzedanego surowca o dobrej jakości (Cisar i in. 2002). Większa opłacalność uprawy tych odmian zależy także od opracowania i wdrożenia bardziej efektywnego systemu produkcji uwzględniającego wiele zmian w ogniwach agrotechniki (Boeven 2019).

3. METODYKA I WARUNKI BADAŃ

3.1 Opis doświadczenia i metody badań

Podstawę pracy stanowią wyniki pochodzące z badań agrotechnicznych, laboratoryjnych i ekonomicznych. Badania agrotechniczne z pszenicą ozimą (sezony wegetacyjne: 2016–2017, 2017–2018, 2018–2019) oparto o doświadczenie ścisłe, polowe, zlokalizowane w Zakładzie Produkcyjno-Doświadczalnym „Bałcyny" Spółka z o.o. w Bałcynach (53°40´N,19°50´E). Układ doświadczenia miał charakter wieloczynnikowy, ułamkowy, mieszany typu 2^{1} x 3^{4-1} z pięcioma następującymi czynnikami: odmiana, termin siewu, gęstość siewu, dawka azotu, ochrona przed chorobami. Czynnik odmianowy był prowadzony na dwóch poziomach, oznaczonych umownie „0"– odmiana mniej korzystna dla plonu i „1"– odmiana bardziej korzystna dla plonu, a pozostałe czynniki agrotechniczne były na trzech różnych poziomach, oznaczonych umownie jako: „0"– niski poziom agrotechniki, „1"–średni poziom agrotechniki, „2"– wysoki poziom agrotechniki (tab. 1).

Doświadczenie założono w dwóch powtórzeniach z sześcioma niekompletnymi blokami (tab. 2), na które składało się 108 poletek, każde o powierzchni 15 m^2 (1,5 m x 10 m).

Tab. 1. Czynniki doświadczenia z pszenicą ozimą i ich poziomy

Czynnik		Poziom „0"	Poziom „1"	Poziom „2"
A	odmiana	liniowa (Artist)	mieszańcowa (Hybery)	–
B	termin siewu	opóźniony (o 20 dni)	opóźniony (o 10 dni)	optymalny (20.–25. września)
C	gęstość siewu (szt.·m^{-2})	200	300	400
D	dawka azotu (kg·ha^{-1})	90 (stadium 22 BBCH)	150 (90+60) (stadium 22 i 31 BBCH)	180 (90+60+30) (stadium 22, 31 i 39 BBCH)
E	ochrona przed chorobami	zaprawianie ziarna (Maxim 025 FS)	zaprawianie ziarna + 1- zabieg fungicydowy w stadium 31 BBCH)	zaprawianie ziarna + 2-zabiegi fungicydowe (stadium 31 i 39 BBCH)

Tab. 2. Schemat rozlosowania obiektów doświadczalnych w polu

Powtórzenie I

NR pol.	Blok	Czynniki badawcze				
		A	B	C	D	E
1	1	0	0	1	2	0
2	1	0	0	0	0	0
3	1	0	0	2	2	1
4	1	1	0	0	2	0
5	1	1	0	1	1	0
6	1	1	0	2	1	1
7	1	0	0	2	0	2
8	1	0	0	1	0	1
9	1	0	0	0	1	1
10	1	1	0	1	2	1
11	1	1	0	0	0	1
12	1	1	0	2	2	2
13	1	0	0	2	1	0
14	1	0	0	0	2	2
15	1	1	0	2	0	0
16	1	0	0	1	1	2
17	1	1	0	0	1	2
18	1	1	0	1	0	2
19	2	1	1	2	0	1
20	2	0	1	1	1	0
21	2	0	1	0	2	0
22	2	0	1	2	1	1
23	2	1	1	1	0	0
24	2	1	1	0	1	0
25	2	1	1	1	1	1
26	2	1	1	0	2	1
27	2	1	1	2	1	2
28	2	0	1	1	2	1
29	2	0	1	2	2	2
30	2	0	1	0	0	1
31	2	1	1	1	2	2
32	2	1	1	0	0	2
33	2	0	1	2	0	0
34	2	1	1	2	2	0
35	2	0	1	1	0	2
36	2	0	1	0	1	2
37	3	1	2	0	1	1
38	3	1	2	1	0	1
39	3	1	2	2	0	2
40	3	0	2	2	1	2
41	3	0	2	0	2	1
42	3	0	2	1	1	1
43	3	1	2	1	1	2
44	3	1	2	0	2	2
45	3	0	2	2	2	0
46	3	0	2	1	2	2
47	3	1	2	2	1	0
48	3	0	2	0	0	2
49	3	1	2	2	2	1
50	3	0	2	0	1	0
51	3	0	2	1	0	0
52	3	0	2	2	0	1
53	3	1	2	1	2	0
54	3	1	2	0	0	0

Powtórzenie II

NR pol.	Blok	Czynniki badawcze				
		A	B	C	D	E
55	4	1	1	1	1	1
56	4	1	1	0	2	1
57	4	1	1	2	1	2
58	4	0	1	2	0	0
59	4	1	1	2	2	0
60	4	0	1	1	0	2
61	4	0	1	0	1	2
62	4	1	1	2	0	1
63	4	0	1	1	1	0
64	4	1	1	1	2	2
65	4	1	1	0	0	2
66	4	0	1	0	2	0
67	4	0	1	2	1	1
68	4	1	1	1	0	0
69	4	1	1	0	1	0
70	4	0	1	1	2	1
71	4	0	1	2	2	2
72	4	0	1	0	0	1
73	5	0	0	2	0	2
74	5	0	0	1	0	1
75	5	0	0	0	1	1
76	5	1	0	0	1	2
77	5	1	0	1	0	2
78	5	0	0	1	2	0
79	5	0	0	0	0	0
80	5	0	0	2	2	1
81	5	1	0	0	2	0
82	5	0	0	2	1	0
83	5	0	0	0	2	2
84	5	1	0	2	0	0
85	5	0	0	1	1	2
86	5	1	0	1	1	0
87	5	1	0	2	1	1
88	5	1	0	1	2	1
89	5	1	0	0	0	1
90	5	1	0	2	2	2
91	6	1	2	1	1	2
92	6	1	2	0	2	2
93	6	0	2	2	2	0
94	6	0	2	2	0	1
95	6	1	2	1	2	0
96	6	1	2	0	0	0
97	6	1	2	0	1	1
98	6	1	2	1	0	1
99	6	1	2	2	0	2
100	6	1	2	2	2	1
101	6	0	2	0	1	0
102	6	0	2	1	0	0
103	6	0	2	2	1	2
104	6	0	2	0	2	1
105	6	0	2	1	1	1
106	6	0	2	1	2	2
107	6	1	2	2	1	0
108	6	0	2	0	0	2

W badaniach uwzględniono czynniki agrotechniczne według następującego porządku:

Czynnik A – pszenica ozima reprezentowana przez odmianę: na poziomie „0" uprawiano odmianę liniową Artist jako mniej korzystną dla plonu (grupy chlebowa B). W latach 2015–2019 była ona najczęściej rekomendowana do uprawy w warunki klimatyczne w Polsce (wg LZO COBORU). Charakteryzuje się ona dużym plonem bez względu na poziom agrotechniki, wykazuje dobrą zimotrwałość (4,0) i przeciętną tolerancję na zakwaszenie gleb, a także dobrą odpornością na pleśń śniegową i bardzo dobrą na mączniaka prawdziwego zbóż i traw. Ziarno tej odmiany cechuje wysoka i stabilna liczba opadania oraz duża masa objętościowa; na poziomie „1" uprawiano odmianę mieszańcową Hybery F1 jako bardziej korzystną dla plonu, należącą także do grupy chlebowej B. Jest to pierwszy mieszaniec pszenicy ozimej zarejestrowany w Polsce. Odmiana ta wykazuje bardzo dobrą plenność i zdrowotność roślin, przeciętną tolerancję na zakwaszenie gleb, a jej zimotrwałość w badaniach krajowych została oceniona na 3,5 w skali 9–stopniowej. Ziarno charakteryzuje się dużą liczbą opadania i zawartością białka oraz wysokim wskaźnikiem sedymentacyjnym SDS.

Czynnik B – termin siewu: na poziomie niskim „0" najmniej korzystnym agrotechnicznie dla plonu siew zrealizowano 10 lub 15 października; na poziomie średnim „1" – siew wykonano 30. września lub 05. października; na poziomie wysokim „2" agrotechnicznie najkorzystniejszym w regionie – siewu dokonano 20. lub 25. września w zależności od roku. Ziarno wysiewano siewnikiem rzędowym poletkowym typu Øjyord, w rozstawie 10,8 cm, na głębokość 3 cm.

Czynnik C – gęstość siewu, czyli liczba ziarniaków wysianych na powierzchnię 1 m^2: do wysiewu ustalono na poziomie niskim „0", średnim „1" i wysokim „2" zagęszczenie na poziomie odpowiednio 200, 300 i 400 ziaren$\cdot m^{-2}$ (tab. 1).

Czynnik D – dawka azotu: na poziomie niskim „0" aplikowano 90 kg N ha^{-1}, średnim „1" – 150 kg N ha^{-1}, wysokim „2" – 180 kg N ha^{-1} według podziału podanego w tab. 1.

Czynnik E – ochrona przed chorobami zróżnicowana intensywnością (liczbą) zabiegów i użytymi substancjami czynnymi zastosowanych fungicydów. Poziom niski „0" obejmował zaprawianie ziarna s.cz. tiuram + karbendazym (Funaben T); poziom średni „1" – zaprawianie ziarna s.cz. tiuram + karbendazym (Funaben T) + 1 zabieg fungicydem, s.cz. fenpropimorf, epoksykonazol (Capalo 337,5 SE); poziom wysoki „2" – zaprawianie ziarna s.cz. tiuram + karbendazym (Funaben T) + 2 zabiegi fungicydem, s.cz. fenpropimorf, epoksykonazol (Capalo 337,5 SE) i dodatkowo s.cz. fluksapyroksad, epoksykonazol, piraklostrobina (Adexar Plus).

Doświadczenie zrealizowano w warunkach gleby płowej typowej (klasa bonitacyjna IIIa, kompleks pszenny dobry), której charakterystykę przedstawiono w tab. 3.

Pozostałe czynniki agrotechniczne, nie będące zmiennymi badawczymi, stosowano według dobrych praktyk rolniczych. Po zbiorze przedplonu (owies) wykonano uprawę pożniwną za pomocą agregatu uprawowego. Kolejnym zabiegiem uprawowym była orka siewna średnio-głęboką, a następnie glebę doprawiono agregatem uprawowym. Jesienią wykonano chemiczną regulację zachwaszczenia, a wiosną regulację wzrostu pszenicy ozimej oraz ochronę przed szkodnikami. Szczegółowy wykaz operacji i zabiegów agrotechnicznych, a także terminarz ich wykonania zawiera tab. 4.

Tab. 3. Charakterystyka warunków glebowych

Wyszczególnienie	Sezon wegetacyjny		
	2016/17	2017/18	2018/19
Typ gleby	gleba płowa typowa		
Gatunek gleby	glina średnia		
Odczyn gleby (1 mol KCl)	5,9 lekko kwaśny	6,2 lekko kwaśny	5,8 lekko kwaśny
Klasa bonitacyjna	R – IIIa		
Kompleks przydatności rolniczej	pszenny dobry		
Zawartość próchnicy (%)	2,47	2,04	1,84
Zawartość węgla (%)	1,43	1,21	1,07
Zawartość przyswajalnych form składników ($mg \cdot kg^{-1}$ gleby):			
P_2O_5	188 wysoka	174 wysoka	203 wysoka
K_2O	155 średnia	169 średnia	155 średnia
MgO	87 wysoka	71 wysoka	62 wysoka

Tab. 4. Termin wykonania ważniejszych zabiegów agrotechnicznych (2016–2019)

Rodzaj operacji, zabiegów	Data wykonania (2016– 2017)	Data wykonania (2017– 2018)	Data wykonania (2018– 2019)
Orka przedsiewna, agregat uprawowy	10.09.2016	15.09.2017	04.09.2018
przedsiewne nawożenie P - 26,2 kg·ha^{-1} (60 kg P_2O_5) – superfosfat 40%) i K – 74,8 kg·ha^{-1} (90 kg K_2O) – sól potasowa 60%); agregat uprawowy	10.09.2016	15.09.2017	18.09.2018
Siew pszenicy ozimej: Artist, Hybery			
I termin	20.09. 2016	25.09.2017	20.09.2018
II termin	30.09.2016	05.10.2017	30.09.2018
III termin	10.10.2016	15.10.2017	10.10.2018
Regulacja zachwaszczenia: (Huzar Activ 387 OD – s.cz. jodosulfuron + metylosodowy, 2,4-D – dawka 1 dm^3·ha^{-1}	04.04.2017 BBCH 25	18.04.2018 BBCH 27	16.04.2019 BBCH 29
Aplikacja fungicydów: I zabieg - Capalo 337,5 SE – s.cz. fenpropimorf (związek z grupy morfolin) + epoksykonazol związek z grupy triazoli – dawka 1,5 dm^3·ha^{-1}	12.05.2017	08.05.2018	30.04.2019
II zabieg - Adexar Plus – s.cz. fluksapyroksad + epoksykonazol +,piraklostrobina – dawka 2,0 dm^3·ha^{-1}	01.06.2017	21.05.2018	20.05.2019
Nawożenie azotem pogłówne: tylko saletra amonowa 34% N - pierwsza dawka wiosenna BBCH 22 N - druga dawka wiosenna BBCH 31 N – trzecia dawka wiosenna BBCH 39	14.03.2017 09.05.2017 25.05. 2017	26.03.2018 11.05.2018 25 05.2018	19.03.2019 07.05.2019 21.05.2019
Aplikacja antywylegacza: (MODDUS 250 EC – s.cz. trineksapak etylu) w stadium BBCH 30 – dawka 0,4 dm^3·ha^{-1}	13.05.2017	10.05.2018	08.05.2019
Aplikacja insektycydów: Decis Mega 50 EW – s.cz. deltametryna – dawka 0,1 dm^3·ha^{-1}	06.06.2017	23.05.2018	31.05.2019
Zbiór ziarna	08.08.2017	27.07.2018	01.08.2019

3.2 Zakres badań polowych

Badania polowe obejmowały określenie: (1) dat wystąpienia ważniejszych faz rozwojowych pszenicy, obsady roślin po wschodach i po wznowieniu wegetacji na powierzchni 1 m^2 liczony w pięciu miejscach poletka na długości 1m (2) stopnia porażenia liści i kłosa (%) przez patogeny grzybowe na 100 roślinach z każdego poletka według standardów określonych przez EPPO, w stadium BBCH 71–77; (3) składowych plonu: liczba kłosów produktywnych na 1 m^2 (liczona w pięciu miejscach poletka na długości 1 m), liczba ziaren w kłosie (na próbie

30 kłosów pobranych losowo z każdego poletka), masa 1000 ziaren (3 x 300 ziaren z każdego poletka); (4) plonu ziarna z każdego poletka przy skorygowaniu do wilgotności 14,5%.

3.3. Ocena jakościowa gleby

Corocznie przed założeniem doświadczenia pobierano próbki glebowe z warstwy ornej do głębokości 20 cm, w których oznaczono przyswajalne formy P, K, Mg: zawartość fosforu wg PN-R-04023:1996, potasu wg PN-R-04022/Az1:2002, magnezu wg PN-R-04020:1994/Az1:2004) oraz odczynu – pH wg PN ISO 10390:1997, a także zawartości próchnicy i węgla.

Analizy właściwości chemicznych gleby zostały wykonane w Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Olsztynie.

3.4 Ocena jakościowa ziarna

W próbkach ziarna pszenicy ozimej (o masie 2 kg) pochodzących z 16 wybranych obiektów reprezentujących technologie o różnym poziomie intensywności, określono:

- gęstość ziarna wg PN-73/R-74007:1973 - Gęstościomierz RPT 0177, ZBPP Ltd., Poland,
- szklistość ziarna wg PN-70/R-74008:1970 - Farinotom S, ZBPP Ltd., Poland,
- zawartość białka ogólnego wg ICC-Standards 1995, Infratec 1241, Foss, Denmark,
- zawartość glutenu mokrego wg PN-77/A-74041 - miesiarka wibracyjna SZ–1, glutownik mechaniczny SŻ, wirówka glutenowa SZ, ZBPP Ltd., Poland).

Oceniano także jakość mąki na podstawie czterech wskaźników analitycznych:

- wskaźnik sedymentacji – test Zeleny - SWD – 89, ZBPP Ltd., Poland,
- liczba opadania wg ISO 3093:2010E, SWD-SŻ, ZBPP Ltd., Poland,
- barwa mąki wg PN-A-74029:1999P, TBM, ZBPP Ltd., Poland,
- zawartość popiołu w mące wg PN-EN ISO 2171:2010E, Infratec 1241, Foss, Denmark.

Właściwości reologiczne ciasta uwzględniały: wodochłonność mąki, czas rozwoju, stałość ciasta i rozmiękczenie ciasta wg ICC-Standards 1995 - Konsystograf SZ–5, ZBPP Ltd., Poland. Właściwości chleba określono na podstawie jego objętości i jakości miękiszu podczas wypieku laboratoryjnego w elektrycznym piecu.

Analizy chemiczne zostały wykonane w Zakładzie Badawczym Przemysłu Piekarskiego Sp. z o. o. w Bydgoszczy.

3.5 Ocena ekonomiczna

W analizie ekonomicznej produkcji ziarna pszenicy ozimej wyznaczono koszty pośrednie i bezpośrednie według operacji technologicznych (uprawa roli, siew, nawożenie NPK, regulacja zachwaszczenia, regulacja wzrostu, ochrona przed chorobami, ochrona przed szkodnikami, zbiór i transport) i według źródeł kosztów (siła robocza, ciągniki i maszyny, nośniki energii, materiały) wybranych technologii produkcji ziarna skonstruowanych z najlepszych i najgorszych układów czynników agrotechnicznych warunkujących uzyskanie dużych i małych plonów ziarna. Wartość produkcji, koszty i dochód z uprawy pszenicy ozimej zostały określone w oparciu o metodykę IERiGŻ–PIB w Warszawie (Goraj i Mańko 2012).

Wielkość kosztów ogólnych uwzględniała agregację kosztów bezpośrednich i pośrednich (tzw. układ kalkulacyjny kosztów, wg którego podstawą klasyfikacji kosztów jest sposób ich odnoszenia na poszczególne produkty). Koszty bezpośrednie odzwierciedlają koszty ponoszone w całym cyklu produkcji. Jako okres obrachunkowy przyjęto jako jeden sezon wegetacyjny. Do kosztów bezpośrednich uprawy pszenicy zaliczono środki produkcji, które obejmowały: materiał siewny, nawozy mineralne oraz środki ochrony roślin. W analizie nie uwzględnione będą koszty ubezpieczenia uprawy (stały poziom - niezależny od intensywności zastosowanej technologii). Do kosztów pośrednich zaliczono: koszty eksploatacji ciągników i maszyn rolniczych (koszty konserwacji, przeglądów, napraw, ubezpieczeń), które wchodzą w skład kosztów pośrednich rzeczywistych. Amortyzację (jako koszt pośredni szacunkowy) uwzględniono w jednostkowych kosztach eksploatacji ciągników i maszyn rolniczych.

Koszty bezpośrednie (materiałowe) oszacowano w oparciu o rzeczywiste zużycie środków produkcji i ich cenę jednostkową pochodzącą z IV kwartału 2021 roku. Do obliczenia kosztów pośrednich rzeczywistych oraz szacunkowych związanych z pracą ciągników i maszyn rolniczych zastosowano metodę opracowaną przez IBMER (Goć i Muzalewski 1997), wg której na eksploatację ciągników i maszyn (**K_e)** składa się suma kosztów ponoszonych na ich utrzymanie (**K_{utrz})** i użytkowanie (**$K_{uż}$**).

$$K_e = K_{utrz} + K_{uż}$$

Do wyliczenia wszystkich kosztów składających się na jednostkowy koszt eksploatacji ciągników i maszyn (**K_e**) wykorzystano następujące dane: aktualna cena (IV kwartał 2021 roku), normatywne wykorzystanie w okresie trwania, okres trwania, wskaźniki kosztów napraw (Goć i Muzalewski 1997) oraz wydajność eksploatacyjną maszyn na podstawie pomiaru własnego wykonanego w warunkach produkcyjnych. Do tego celu wykorzystano typowe dla

gospodarstw wielkoobszarowych następujące maszyny i narzędzia rolnicze: ciągniki - John Deere 8300, John Deere 8335 R, John Deere 8100, John Deere 6930, John Deere 6620; agregat ścierniskowy (uprawa pożniwna) - Horsch Joker 6 RT; pług (orka) - Kverneland BE 115-28; agregat uprawowy (doprawianie gleby przed siewem) - Farmet Kompaktomat K-600 PS; siewnik do siewu pszenicy - Vaderstad Rapid A 400S; rozsiewacz nawozów mineralnych - Amazone ZA-TS; opryskiwacz (pielęgnacja i ochrona) - Hardi Navigator 6000; kombajn zbożowy (zbiór) - John Deere W650; przyczepa (transport ziarna) - D734.

W obliczeniach kosztów pośrednich dotyczących jednostkowych kosztów utrzymania **(K_{utrz})** uwzględniono: amortyzację **(K_a)**, przechowywanie i konserwację **(K_k)** oraz ubezpieczenia **(U)** i liczbę godzin pracy w roku **(W_r)** i policzono według wzorów:

$$K_{utrz} = \frac{K_a + K_k + U}{W_r}$$

$$K_a = \frac{C_m}{T}$$

$$K_k = k_k \times C_m$$

gdzie:

K_{utrz} - *jednostkowy koszt utrzymania maszyny (zł h^{-1})*,

K_k – *koszt przechowywania i konserwacji (zł rok^{-1})*,

K_a – *koszt amortyzacji (zł rok^{-1})*,

U – *koszty ubezpieczenia (zł rok^{-1})*,

C_m – *cena maszyny (zł)*,

T – *przewidywany okres użytkowania (lat)*,

k_k – *wskaźnik kosztów przechowywania i konserwacji (2% ceny zakupu)*,

W_r – *liczba godzin pracy maszyny w roku (h)*.

Koszty użytkowania (**$K_{uż}$**) wynikają z wykorzystania środków technicznych w procesie produkcyjnym, które obejmowały koszty napraw (**K_n**) oraz koszty paliwa i smarów (**K_p**).

$$K_{uż} = K_n + K_p$$

Koszty napraw (**K_n**), a także koszty paliwa (**K_p**) w którym zużycie paliwa (**Z_p**) określono poprzez bezpośredni pomiar na polach produkcyjnych wyliczono na podstawie następujących wzorów:

$$K_n = \frac{k_n \times C_m}{T \times W_r}$$

$$K_p = Z_p \times 1{,}2 \times C_p$$

gdzie:

$K_{uż}$ - *jednostkowy koszt użytkowania (zł h^{-1}),*

K_n - *jednostkowy koszt napraw (zł h^{-1}),*

K_p - *jednostkowy koszt paliwa i smarów (zł h^{-1}),*

C_m - *cena maszyny (zł),*

T – *przewidywany okres użytkowania maszyny (lat),*

k_n – *wskaźnik kosztu napraw (%),*

W_r – *liczba godzin pracy maszyny w roku (h),*

Z_p – *zużycie paliwa (dm^3 h^{-1}),*

C_p – *cena jednostkowa paliwa (zł dm^{-3}).*

W rachunku kosztów pracy przyjęta zostanie stawka za 1 godzinę pracy ludzkiej na poziomie 22,00 zł. Wartość pieniężną plonu przyjęto na podstawie średnich cen rynkowych z IV kwartału 2021 r. Analiza ekonomiczna przeprowadzona została w wartościach netto (bez podatku VAT).

W ocenie efektywności ekonomicznej produkcji ziarna pszenicy ozimej wykorzystane zostaną następujące wskaźniki wyliczone wg wzorów:

— dochód z działalności bez dopłat (zł ha^{-1}):

$$\mathbf{D = Wp - K}$$

— koszt produkcji 1 Mg ziarna (koszt jednostkowy):

$$\mathbf{K_j = \frac{K}{M_p}}$$

— wskaźnik opłacalności (%):

$$\mathbf{W_o = \frac{W_p}{K} \times 100}$$

gdzie:

K_j - *jednostkowy koszt produkcji (zł Mg^{-1}),*

K – *koszt produkcji (zł ha^{-1}),*

M_p – *plon nasion (Mg ha^{-1}),*

D – *dochód z działalności bez dopłat (zł ha^{-1}),*

W_o – *wskaźnik opłacalności (%),*

W_p – *wartość produkcji bez dopłat (zł ha^{-1}),*

3.6. Analiza statystyczna

W opracowaniu statystycznym wyników wykorzystano analizę wariancji doświadczenia czynnikowego ułamkowego typu 2^1 x 3^{4-1} o rozdzielczości V. Model tej analizy umożliwił oszacowanie wszystkich 6 efektów głównych (czynniki A, B, C, D, E i lata badań), wszystkie efekty interakcji pierwszego rzędu (10 kombinacji dwuczynnikowych) oraz 15 interakcji z efektem lat badań (Oktaba 1971; Załuski i Gołaszewski 2006). Istotność różnic między średnimi obiektowymi oceniono za pomocą testu Tukeya z $p<0,05$. Wszystkie analizy wykonano w programie STATISTICA 13.3.

4. WYNIKI BADAŃ

4.1 Agrometeorologiczne uwarunkowania wzrostu, rozwoju i plonowania pszenicy ozimej

Warunki pogodowe w cyklu wegetacyjnym 2016–2017 wykazywały duże zróżnicowanie (tab. 5). Wrzesień charakteryzował się bardzo ograniczoną sumą opadów (17,1 mm) w stosunku do wielolecia (57,1 mm). W trakcie 10 dni poprzedzających siew pszenicy ozimej spadło zaledwie 1,2 mm. Taka sytuacja wilgotnościowa połączona była z dość wysoką średniodobową temperaturą września, szczególnie w jego pierwszej i drugiej dekadzie, co utrudniało przygotowanie roli pod zasiew. Pszenica posiana w pierwszym terminie (20. wrzesnia), w warunkach opadów na poziomie 11,6 mm i temperatury powietrza o wartości 11,5°C, osiągnęła pełnię wschodów po 11 dniach (Aneks – tab. 1, 2). Średnia dobowa temperatura października, na który przypadły dwa kolejne terminy siewu, była niższa od średniej z wielolecia o 1,2°C, a suma opadów przewyższyła o 79% opady wieloletnie. Średnia dobowa temperatura powietrza od siewu do wschodów po siewie wykonanym 30 września i 10 października była niższa, odpowiednio o 3,4 i 5,7°C w porównaniu do temperatury wyliczonej dla tego okresu po siewie pszenicy 20 września. Taki rozkład opadów i temperatury wpłynął na długości trwania okresu siew – pełnia wschodów. Przesunięcie terminu siewu o 10 i 20 dni spowodowało wydłużenie wschodów do 16 – 18 dni. Listopad był nieco chłodniejszy (o 0,3°C) niż wielolecie. Suma opadów w tym miesiącu (78,2 mm) przekroczyła o ponad połowę opady z wielolecia. W pierwszej dekadzie listopada nastąpiło zahamowanie wegetacji jesiennej. Okres ten trwał, w zależności od terminu siewu, od 27 do 47 dni (najkrótszy spośród lat badań) ze średniodobową temperaturą powietrza na poziomie 5,5 – 7,6°C i opadami o wielkości od 77 do 145,8 mm. Takie warunki pogodowe spowodowały, że odmiany pszenicy ozimej przed spoczynkiem zimowym osiągnęły fazę pełni lub początek krzewienia. Pszenice posiane wcześniej (20 i 30 września) były lepiej rozwinięte, co wynikało z dłuższego okresu wegetacji jesiennej w stosunku do pszenic sianych 10 października (Aneks – tab. 1, 2). Średnia temperatura dobowa grudnia wynosiła 1,0°C i była znacznie wyższa niż w wieloleciu (minus 1,3°C). Suma opadów tego miesiąca była prawie dwukrotnie wyższa od wieloletniej, których najwięcej notowano w pierwszej dekadzie. Styczeń i luty (z wyjątkiem trzeciej dekady) były mroźne. Średniodobowa temperatura stycznia była zbliżona do średniej wieloletniej, a opady o 40% mniejsze w stosunku do wielolecia (26,3 mm). W miesiącu lutym zarówno średnia temperatura (minus 1,2°C) jak i suma opadów (40,5 mm) były znacznie wyższe od średniej wieloletniej. Marzec charakteryzował się opadami (53 mm) i średniodobową temperaturą powietrza (5,1°C), odpowiednio na poziomie dwukrotnie i czterokrotnie większymi od średniej

wieloletniej. Okres spoczynku zimowego w sezonie 2016–2017 trwał 139 dni. Średniodobowa temperatura tego okresu wyniosła 0,5°C, a suma opadów ukształtowała się na poziomie 220,3 mm i należy ją uznać jako dużą. Warto odnotować, że w okresie wystąpienia mrozów (styczeń, luty) rośliny pszenicy ozimej osłonięte były pokrywą śnieżną o grubości od 5 do 10 cm, co skutkowało bardzo dobrym ich przezimowaniem.

Tab. 5. Dane meteorologiczne za okres 3–letnich badań polowych według stacji meteorologicznej w Bałcynach

Lata badań	Miesiące	Średnia dobowa temperatura powietrza [^{0}C]					Opady [mm]				
		Dekada			Średnia		Dekada			Suma	
		1	2	3	miesiąc	wielolecie	1	2	3	miesięcy	wielolecia
2016–2017	wrzesień	17,5	15,1	11,7	14,7	12,6	7,5	1,2	8,4	17,1	57,1
	październik	9,0	5,7	6,1	6,9	8,1	65,1	9,2	22,0	96,3	54,0
	listopad	2,7	2,7	2,1	2,5	2,8	39,9	27,7	10,6	78,2	51,4
	grudzień	1,9	-0,3	1,4	1,0	-1,3	41,4	19,2	17,2	77,8	40,4
	styczeń	-6,0	-2,2	-1,6	-3,2	-3,5	8,2	7,5	0,1	15,8	26,3
	luty	-4,3	-2,2	3,5	-1,2	-2,6	3,8	14,0	22,7	40,5	19,6
	marzec	3,7	4,3	7,0	5,1	1,2	24,3	18,6	10,1	53,0	27,4
	kwiecień	9,8	4,3	6,1	6,7	6,6	7,7	30,8	13,6	52,1	35,2
	maj	8,5	14,9	15,7	13,1	12,4	27,5	2,3	4,2	34,0	56,7
	czerwiec	15,5	17,4	17,2	16,7	15,7	16,6	29,7	63,6	109,9	68,3
	lipiec	16,0	17,2	18,5	17,3	16,9	29,4	20,7	56,0	106,1	81,3
	sierpień	20,8	19,2	16,3	18,7	18,2	31,6	11,7	11,5	54,8	78,1
		średnia			**8,2**	**7,2**	**suma**			**735,6**	**595,8**
2017–2018	wrzesień	14,6	13,2	12,8	13,5	12,6	97,5	110,6	3,0	211,1	57,1
	październik	9,2	12,1	7,0	9,4	8,1	55,8	18,8	85,7	160,3	54,0
	listopad	6,8	3,2	3,0	4,3	2,8	15,7	14,5	18,8	49,0	51,4
	grudzień	1,8	0,4	3,4	1,9	-1,3	22,0	5,2	26,6	53,8	40,4
	styczeń	1,9	-2,5	0,4	0,0	-3,5	15,0	4,4	18,2	37,6	26,3
	luty	-2,9	-1,0	-8,9	-4,1	-2,6	0,5	1,0	0,5	2,0	19,6
	marzec	-4,2	1,1	1,4	-0,5	1,2	8,5	3,8	12,7	25,0	27,4
	kwiecień	9,5	13,5	12,7	11,9	6,6	2,5	10,0	15,6	28,1	35,2
	maj	14,9	15,8	18,7	16,5	12,4	6,0	29,4	5,6	41,0	56,7
	czerwiec	19,3	18,5	15,9	17,9	15,7	13,0	7,8	43,9	64,7	68,3
	lipiec	17,6	19,7	22,3	20,0	16,9	15,7	81,3	43,7	140,7	81,3
	sierpień	23,3	20,4	17,8	20,4	18,2	16,3	8,0	6,9	31,2	78,1
		średnia			**9,3**	**7,2**	**suma**			**844,5**	**595,8**
2018–2019	wrzesień	17,1	17,3	11,4	15,3	12,6	2,2	5,4	21,5	29,1	57,1
	październik	10,2	12,7	6,8	9,9	8,1	6,6	0,0	40,3	46,9	54,0
	listopad	9,7	4,3	-1,6	4,1	2,8	6,3	18,0	0,2	24,5	51,4
	grudzień	2,0	-0,9	2,2	1,1	-1,3	23,1	3,6	30,5	57,2	40,4
	styczeń	-2,2	-0,9	-4,4	-2,6	-3,5	18,1	19,8	5,1	43,0	26,3
	luty	0,9	3,7	1,3	2,0	-2,6	22,8	1,5	9,5	33,8	19,6
	marzec	4,4	4,2	6,8	5,2	1,2	19,6	8,5	2,1	30,2	27,4
	kwiecień	7,1	6,2	12,8	8,9	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	35,2
	maj	8,8	13,0	15,0	12,1	12,4	23,6	38,8	35,4	97,8	56,7
	czerwiec	20,7	22,2	20,6	21,0	15,7	0,2	81,4	10,4	92,0	68,3
	lipiec	15,0	16,8	20,3	17,4	16,9	49,9	12,4	23,5	85,8	81,3
	sierpień	17,9	19,2	21,0	19,5	18,2	50,8	9,2	4,8	64,8	78,1
		średnia			**9,5**	**7,2**	**suma**			**605,1**	**595,8**

Pszenica ozima wznowiła wegetację w trzeciej dekadzie marca (tab. 5). Kwiecień charakteryzował się większą (o 48%) sumą opadów, a maj ich niedoborami (o 40%) w porównaniu do wielolecia. Większe opady atmosferyczne w maju wystąpiły tylko w pierwszej dekadzie, a susza utrzymywała się przez następne 20 dni. Obfite opady notowano w czerwcu i lipcu, które były większe, odpowiednio o 61 i 31%, od średniej sumy wieloletniej, przy bardzo wysokiej temperaturze dobowej (16,7 i 17,3°C) (tab. 5). W ciągu całego okresu wegetacji wiosennej, który trwał 130 dni uzyskana średniodobowa temperatura powietrza zawsze była wyższa niż średnia z wielolecia, a opady w pełni zabezpieczały potrzeby wodne pszenicy ozimej. Spośród badanych odmian nieznacznie wcześniej kłosiła się pszenica liniowa. Kolejność ta została także zachowana w osiąganiu dojrzałości mlecznej, woskowej i pełnej (Aneks – tab. 1, 2).

Układ czynników agrometeorologicznych w sezonie wegetacyjnym 2016–2017 wyraźnie sprzyjał rozwojowi roślin pszenicy ozimej. Pozwoliło to na osiągnięcie plonów średnio na poziomie 8,95 $Mg \cdot ha^{-1}$ i należy go ocenić jako wysoki.

Warunki termiczno-wilgotnościowe w cyklu badań 2017–2018 nie sprzyjały wegetacji pszenicy ozimej (tab. 5). W okresie jesiennego wzrostu i rozwoju tego gatunku notowano długotrwałe i obfite opady, które kilkukrotnie przewyższały sumę opadów z wielolecia. Taki przebieg pogody skutkował utrudnieniem przygotowania roli i wykonania zaplanowanych terminów siewu pszenicy ozimej. Obfite opady wystąpiły zarówno we wrześniu (211,1 mm) jak i październiku (160,3 mm). Były one odpowiednio prawie 4 i 3-krotnie większe niż średnia wieloletnia dla tych miesięcy. Z tego powodu wschody pszenicy ozimej były słabe, nierównomierne i wydłużone (pełnia wschodów 16–18 dni od siewu). Do zahamowania wegetacji pszenica ozima fazę krzewienia (z bardzo małą liczbą rozkrzewień) osiągnęła jedynie z siewu wykonanego 25 września (początek krzewienia notowano tu dopiero pod koniec listopada). Jej wysiew w pozostałych terminach (5 i 15 października), ze względu na bardzo niekorzystne stosunki powietrzno-wodne (obfite opady) oraz długotrwałe zachmurzenie, powodował, że jesienny wzrost i rozwój pszenicy ozimej był mało intensywny, dając w efekcie niską ich masę. Zahamowanie wegetacji jesiennej nastąpiło pod koniec trzeciej dekady listopada (tab. 5). Wegetacja pszenicy ozimej w tym okresie, niezależnie od badanych odmian, trwała 65 dni u pszenicy posianej w terminie optymalnym oraz 55 i 45 dni u pszenicy sianej odpowiednio o 10 i 20 dni później (Aneks – tab. 3, 4). Grudzień i styczeń były cieplejsze niż średnia wieloletnia. W ciągu tych dwóch miesięcy notowano ujemne średniodobowe temperatury powietrza jedynie w drugiej dekadzie stycznia, w której rośliny pszenicy ozimej

były osłaniane pokrywą śnieżną o grubości co najmniej 10 cm. Mroźny w porównaniu do wielolecia był luty, któremu towarzyszyła kilkucentymetrowa warstwa śniegu. Szczególnie niskie, ujemne temperatury tego miesiąca wystąpiły w jego trzeciej dekadzie (minus 8,9°C). Chłodniejszy niż w wieloleciu był także marzec ze średnią temperaturą dobową powietrza ukształtowaną na poziomie minus 0,5°C i sumą opadów porównywalnych z wieloleciem. Na początku kwietnia notowano wiosenne wznowienie wegetacji. W sezonie 2017–2018 okres spoczynku zimowego trwał 127 dni. Średnia dobowa temperatura powietrza w tym okresie wyniosła minus 0,5°C, a opady były podobne do wartości wieloletnich. Kwiecień był miesiącem bardzo ciepłym i suchym (tab. 5). Suma opadów tego miesiąca wyniosła tylko 28,1 mm (okresowa posucha). Wysokie średniodobowe temperatury powietrza (16,5°C) oraz niższe opady w porównaniu do wielolecia notowano także w maju oraz w pierwszej i drugiej dekadzie czerwca. Obfitsze opady atmosferyczne zanotowano dopiero w ostatniej dekadzie czerwca i w drugiej dekadzie lipca, co jednak nie zrekompensowało poprzednich niedoborów wody. Takie warunki pogodowe w cyklu wiosennej wegetacji, a także słabe wschody i mało intensywny rozwój jesienny roślin pszenicy ozimej stanowiły istotną przyczynę do obniżenia potencjału plonowania tego gatunku. Długość okresu wegetacji wiosennej nie była determinowana czynnikiem odmianowym i trwała od 109 dni (termin siewu optymalny) do 112 dni (siewy opóźnione) (Aneks – tab. 3, 4). Zbiór pszenicy ozimej nastąpił dość wcześnie (27 lipca), co wynikało z krótkiego okresu kłoszenia i dojrzewania, a w efekcie skutkowało zdrobnieniem ziarna i dalszym obniżeniem plonu.

Przebieg warunków agrometeorologicznych w sezonie wegetacyjnym 2017–2018 był najmniej korzystny, co zaowocowało osiągnięciem najniższych plonów w czasie trwania trzyletnich badań. Średni plon ziarna wyniósł tylko 5,35 $Mg \cdot ha^{-1}$ i należy ocenić go jako niski.

Wrzesień w sezonie 2018–2019 był bardzo ciepły i suchy (tab. 5). Średnia temperatura dobowa tego miesiąca była wyższa (o 2,7°C) od wartości wieloletniej i wynosiła 15,3°C, natomiast opady były mniejsze (o 49%) i kształtowały się na poziomie 29,1 mm, z czego ponad 2/3 przypadło na jego trzecią dekadę. Rozkład oraz suma opadów września spowodowały wydłużenie czasu wschodów, które były jednak pełne i wyrównane. Fazę pełnia wschodów, pszenica ozima w siewie wykonanym 20 września, osiągnęła po 13 dniach. Ciepły i suchy był także październik, szczególnie jego pierwsza i druga dekada. Poprawę warunków wilgotnościowych uzyskano dopiero w trzeciej dekadzie tego miesiąca (40,3 mm). W efekcie takiego układu pogody okres fenologiczny siew-pełnia wschodów dla drugiego i trzeciego terminu siewu wynosił aż 21 i 22 dni (Aneks – tab. 5, 6). Listopad charakteryzował się wyższą

(o 1,3°C) średniodobową temperaturą powietrza od średniej wieloletniej, natomiast opady były o połowę mniejsze od tych z wielolecia. W drugiej dekadzie tego miesiąca nastąpiło zahamowanie wegetacji (tab. 5). Okres wegetacji jesiennej dla pierwszego terminu siewu pszenicy ozimej trwał 62 dni, dla drugiego 52 dni, a trzeciego 47 dni z sumą opadów odpowiednio na poziomie 92,7 mm, 71,2 mm, 64,6 mm przy średniodobowej temperaturze powietrza wynoszącej 9,5°C i 8,9°C (Aneks – tab. 5, 6). Rośliny pszenicy ozimej w takich warunkach pogodowych i przy takiej długości wegetacji osiągnęły przed spoczynkiem zimowym fazę pełnia krzewienia. Zima była ciepła oraz obfitowała w opady deszczu na poziomie większym niż suma opadów wieloletnich. Miesięczne dobowe temperatury grudnia, stycznia i lutego były zawsze wyższe od tej z wielolecia. Mrozy notowano w drugiej dekadzie grudnia oraz w styczniu, w których rośliny pszenicy ozimej były osłonięte pokrywą śnieżną o grubości 3–5 cm. Marzec charakteryzował się średnią temperaturą dobową na poziomie 5,2°C oraz dużą zmiennością opadów, które w ostatniej dekadzie wyniosły zaledwie 2,1 mm. W trzeciej dekadzie tego miesiąca (23 marca) nastąpiło wiosenne wznowienie wegetacji. Okres spoczynku zimowego trwał 123 dni ze średniodobową temperaturą powietrza na poziomie 0,9°C i opadami na poziomie 139 mm. Kwiecień był miesiącem ciepłym i bardzo suchym (brak opadów). Znacznie większe opady atmosferyczne w porównaniu do wielolecia notowano w maju (o 72%) oraz w czerwcu (o 35%), który był również bardzo ciepły (21°C). Lipiec był miesiącem z opadami i średniodobową temperaturą na poziomie zbliżonym do sumy opadów z wielolecia. W takich warunkach pogodowych w okresie od wznowienia wegetacji do kłoszenia spadło 72,2–99,1 mm wody, a od kłoszenia do dojrzałości woskowej aż 158,6–182 mm opadu (Aneks – tab. 5, 6). Lipiec był miesiącem ciepłym (17,4°C), z opadami na poziomie zbliżonych do średniej z wielolecia, co sprzyjało dojrzewaniu ziarna. W okresie wegetacji wiosennej odmiany pszenicy wykazywały podobną długość trwania fenofaz, która w zależności od terminu siewu trwała od 124 do 127 dni. Średniodobowa temperatura powietrza tego okresu ukształtowała się na poziomie 14,9–15,2°C, a suma opadów osiągnęła wartość 272,2–276,8 mm (Aneks – tab. 5, 6). Pszenicę ozimą zebrano w pierwszym dniu sierpnia (tab. 4).

Układ czynników agrometeorologicznych w sezonie wegetacyjnym 2018–2019 wyraźnie sprzyjał rozwojowi roślin pszenicy ozimej, który był cieplejszy niż w wieloleciu, a opady były zbliżone do sumy opadów wieloletnich. Pozwoliło to na osiągnięcie plonów na poziomie wyższym niż w pozostałych latach prowadzenia eksperymentu. Średni plon ziarna uzyskany w tym cyklu badań wyniósł 9,43 $Mg \cdot ha^{-1}$ i należy go ocenić jako bardzo wysoki.

4.2 Zwartość łanu i porażenie roślin przez patogeny grzybowe

Corocznie polowa zdolność wschodów pszenicy ozimej była niższa od zdolności kiełkowania materiału siewnego określonego laboratoryjnie. Szczególnie słabe wschody (średnio 182 rośliny·m^{-2}) ze względu na obfite opady atmosferyczne występujące przed siewem i po siewie notowano w sezonie wegetacyjnym 2017–2018 (tab. 6). W pozostałych w dwóch cyklach badawczych wschody roślin należy uznać za zadawalające. Liniowa odmiana Artist i mieszańcowa Hybery wykazywały zbliżoną obsadę roślin po wschodach.

Tab. 6. Liczba roślin pszenicy ozimej jesienią (szt.·m^{-2})

Lata	A. Odmiana		B. Termin siewu			C. Gęstość siewu			D. Dawka azotu			E. Ochrona przed chorobami			Średnia
	0	1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	
16/17	221	205	188	230	222	164	213	262	211	217	215	209	216	218	**214b***
17/18	188	176	142	201	204	152	174	220	178	183	185	176	182	187	**182c**
18/19	274	271	279	258	282	183	275	361	261	286	272	280	262	278	**278a**
Średnia	**228**	**217**	**203b**	**230a**	**236a**	**166c**	**221b**	**281a***	**217**	**229**	**224**	**222**	**220**	**228**	—

*a,b, c – grupy jednorodne testu Tukeya dla p<0,05, pozostałe nieistotne; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

Statystycznie mniejszą zwartość roślin uzyskano w warunkach siewu opóźnionego o 20 dni (poziom A_0). Obsadę roślin pszenicy ozimej różnicowały także zastosowane trzy gęstości siewu (200, 300, 400 ziaren·m^{-2}), która była regularnie corocznie mniejsza od zakładanej planem badań. Średnie z 3 lat badań zróżnicowanie zwartości roślin pomiędzy poziomami gęstości siewu (0 – niski, 1 – średni, 2 – wysoki) wynosiło od 55 do 115 roślin.

Tab. 7. Przezimowanie roślin pszenicy ozimej (%)

Lata	A. Odmiana		B. Termin siewu			C. Gęstość siewu			D. Dawka azotu			E. Ochrona przed chorobami			Średnia
	0	1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	
16/17	96	94	91	97	96	94	96	95	94	95	94	94	94	95	**94**
17/18	**93**	**89**	90	94	**89**	82	95	94	94	89	90	94	**90**	**91**	**92**
18/19	95	94	94	95	95	92	95	96	95	94	94	96	94	94	**95**
Średnia	**95**	**92**	**92**	**95**	**93**	**89**	**95**	**95**	**94**	**93**	**93**	**95**	**93**	**93**	—

Lata x czynnik – nieistotne; czynnik – nieistotne; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

Warunki pogodowe w okresie zahamowania wegetacji, w każdym cyklu badań, wpływały korzystnie na dobre zimowanie badanych odmian pszenicy ozimej (tab. 7). W latach prowadzonego eksperymentu poziom przezimowania roślin średnio wyniósł 94% i nie był on znacząco zróżnicowany obiektowo. Spośród badanych czynników agrotechnicznych jedynie najrzadszy siew (B_0) wywoływał tendencję do słabszego przezimowania szczególnie w drugim cyklu badań (sezon 2017–2018).

Obsada roślin po wznowieniu wegetacji, pomimo małego wpływu zimy na liczebność roślin, była niższa w porównaniu do stanu liczbowego przed spoczynkiem zimowym (tab. 8). Badane odmiany pszenicy ozimej wykazywały podobne ubytki roślin na skutek wymarzania. Największą zwartość łanu uzyskiwano w warunkach siewu w terminie optymalnym (B_2) i opóźnionm o 10 dni (B_1) oraz w obiektach o największej gęstości siewu (400 ziaren·m^{-2}) (C_2). Pozostałe czynniki agrotechniczne nie oddziaływały różnicująco w tej fazie wzrostu i rozwoju (tab. 8).

Tab. 8. Liczba roślin pszenicy ozimej wiosną po wznowieniu wegetacji (szt.·m^{-2})

Lata	A. Odmiana		B. Termin siewu			C. Gęstość siewu			D. Dawka azotu			E. Ochrona przed chorobami			Średnia
	0	1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	
16/17	**212**	**192**	**170**	**224**	**212**	**154**	**205**	**248**	**198**	**206**	**203**	**197**	**203**	**207**	**202b***
17/18	**175**	**156**	**128**	**189**	**181**	**125**	**166**	**206**	**168**	**162**	**167**	**165**	**163**	**171**	**166c**
18/19	**261**	**255**	**262**	**245**	**267**	**169**	**261**	**345**	**248**	**270**	**255**	**269**	**246**	**260**	**258a**
Średnia	**216**	**201**	**187b**	**219a**	**220a**	**149c**	**211b**	**266a***	**205**	**213**	**208**	**212**	**203**	**213**	—

*a,b, c – grupy jednorodne testu Tukeya dla p<0,05, pozostałe nieistotne; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

Niekorzystne warunki pogodowe jesienią, szczególnie w drugim i pierwszym cyklu badań powodowały, że proces krzewienia roślin pszenicy ozimej odbywał się jeszcze wiosną zachowując boczne zawiązki 1 rzędu i doprowadzając je do plonowania. Średni współczynnik krzewienia produktywnego u badanych odmian wynosił 1,5 (tab. 9). Nieznacznie większy był u mieszańcowej odmiany Hybery.

Z czynników agrotechnicznych istotnie na krzewistość wpływała jedynie gęstość siewu. Największe krzewienie produktywne zapewniał najrzadszy siew (200 ziaren·m^{-2}) (C_0). Wysoce zadawalającą zwartość kłosów przed zbiorem uzyskano jedynie w trzecim cyklu badań (2018 – 2019) dzięki istotnie najkorzystniejszemu krzewieniu roślin (tab. 9).

Tab. 9. Współczynnik krzewienia produktywnego pszenicy ozimej (jako iloraz liczby kłosów do liczby roślin po wznowieniu wegetacji) (średnie z 3 lat)

Lata	A. Odmiana		B. Termin siewu			C. Gęstość siewu			D. Dawka azotu			E. Ochrona przed chorobami			Średnia
	0	1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	
16/17	**1,3**	**1,5**	**1,6**	**1,2**	**1,3**	**1,7**	**1,4**	**1,1**	**1,3**	**1,4**	**1,4**	**1,4**	**1,3**	**1,4**	**1,4b***
17/18	**1,2**	**1,4**	**1,2**	**1,4**	**1,4**	**1,6**	**1,3**	**1,2**	**1,3**	**1,3**	**1,4**	**1,4**	**1,3**	**1,3**	**1,3b**
18/19	**1,9**	**2,0**	**2,0**	**1,9**	**2,0**	**2,9**	**1,9**	**1,4**	**1,9**	**1,9**	**1,9**	**1,9**	**2,0**	**1,9**	**1,9a**
Średnia	**1,5**	**1,6**	**1,6**	**1,5**	**1,6**	**2,0a**	**1,5b**	**1,2c**	**1,5**	**1,5**	**1,6**	**1,5**	**1,5**	**1,6**	—

*a,b, c – grupy jednorodne testu Tukeya dla p<0,05, pozostałe nieistotne; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

Pszenica ozima była w niewielkim stopniu porażona przez znaczące patogeny grzybowe (tab. 10). We wszystkich trzech sezonach wegetacji na roślinach wystąpiły głównie: brunatna plamistość liści (*Drechslera tritici-repentis*), septorioza plew (*Parastagonospora nodorum*) i fuzarioza kłosów (*Fussarium* spp). Stopień porażenia roślin przez patogeny grzybowe był uzależniony od lat badań. W sezonie 2017–2018 o suchej wiośnie i rzadkiego łanu nasilenie chorób grzybowych było znacznie mniejsze (tab. 10).

Tab. 10. Porażenie roślin pszenicy ozimej przez patogeny grzybowe (%)

Patogen	Lata badań			A. Odmiana	
	2016–2017	2017–2018	2018–2019	0	1
Drechslera tritici-repentis	0,04	0,01	0,06	0,02	0,06
Parastagonospora nodorum	3,04a*	0,16b	2,47a	1,42	1,66
Fussarium spp	0,84a*	0,05b	0,95a	0,59	0,53

*a,b – grupy jednorodne testu Tukeya dla p<0,05, pozostałe nieistotne; 0, 1 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

Rośliny pszenicy ozimej obu badanych odmian, średnio z 3 lat, w warunkach małej presji chorób były infekowane w jednakowym stopniu (tab. 10). Wystąpiła interakcja odmian z dawką azotu oraz odmian z ochroną przed chorobami na stopień porażenia przez patogeny, odpowiednio wywoływane przez *Drechslera tritici-repentis i Parastagonospora nodorum* (tab. 11). Znamienne jest, że zmniejszenie dawki azotu w uprawie pszenicy mieszańcowej Hybery skutkowało wzrostem porażenia przez *Drechslera tritici-repentis*, natomiast reakcja odmiany liniowej Artist na zróżnicowaną dawkę azotu na występowanie tego patogena była jednakowa. Odmiana mieszańcowa była bardziej porażona przez *Parastagonospora nodorum* w obiekcie o

średniej intensywności ochrony (D_1), w przypadku odmiany liniowej większe nasilenie porażonych roślin notowano zarówno przy niskim (D_0) jak i średnim poziomie ochrony przeciwgrzybowej (D_1).

Tab. 11. Porażenie roślin pszenicy ozimej przez patogeny grzybowe (interakcja: odmiana x dawka azotu; odmiana x ochrona przed chorobami)

E. Odmiana	D. Dawka azotu			E. Ochrona przed chorobami		
	0	1	2	0	1	2
	Drechslera tritici-repentis (%)			*Parastagonospora nodorum* (%)		
0	0,02b*	0,02b	0,01b	1,72ab*	1,35ab	1,22b
1	0,11a	0,01b	0,06ab	1,32ab	2,62a	1,23b

*a,b – grupy jednorodne testu Tukeya dla p<0,05; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

Tab. 12. Porażenie roślin pszenicy ozimej przez patogeny grzybowe w zależności od czynników agrotechnicznych (średnio z 3 lat)

B. Termin siewu			C. Gęstość siewu			D. Dawka azotu			E. Ochrona przed chorobami		
0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Drechslera tritici-repentis (%)											
0,01	0,05	0,05	0,06	0,01	0,04	0,06	0,02	0,03	0,07a*	0,04b	0,00c
Parastagonospora nodorum (%)											
2,09a	1,79a	0,89b	1,38	1,44	1,80	1,40	1,65	1,56	1,51ab	1,91a	1,23b
Fussarium spp (%)											
0,20b	0,83a	0,72a	0,56	0,53	0,58	0,50	0,37	0,84	0,58	0,54	0,54

*a,b – grupy jednorodne testu Tukeya dla p<0,05; pozostałe nieistotne; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

Z czynników agrotechnicznych, w wartościach średnich z 3 lat, istotny wpływ na różnicowanie indeksu porażenia roślin pszenicy ozimej miał termin siewu i poziom ochrony przed chorobami (tab. 12). Zastosowanie siewu w optymalnym terminie (B_2) redukowało znacząco objawy chorobowe septoriozy plew, natomiast siew opóźniony o 20 dni (B_0) okazał się bardziej korzystny w ograniczaniu fuzariozy kłosów. Wzrost poziomu ochrony aż do najbardziej intensywnej (E_2) skutkowało całkowitą eliminacją *Drechslera tritici-repentis*, a także istotnym zmniejszeniem porażenia roślin przez *Parastagonospora nodorum* (tab. 12).

Pozostałe czynniki agrotechniczne nie różnicowały statystycznie nasilenia występowania patogenów grzybowych. Z interakcji lata x termin siewu wynika, że w sezonie 2017–2018 większe nasilenie septoriozy plew i fuzariozy kłosów notowano w warunkach siewu optymalnego, a w pozostałych cyklach badań uzyskano je pod wpływem siewu opóźnionego o 10 dni (fuzarioza kłosów) lub 10 i 20 dni (septorioza plew) (tab. 13).

Tab. 13. Porażenie roślin pszenicy ozimej przez patogeny grzybowe (interakcja: lata x termin siewu)

Lata badań	B. Termin siewu			B. Termin siewu		
	0	1	2	0	1	2
	Parastagonospora nodorum (%)			*Fussarium* spp (%)		
2016–2017	5,22a*	3,83a	1,20b	0,31cd	1,33ab	1,05bc
2017–2018	0,00d	0,00d	0,57c	0,00e	0,00e	0,16d
2018–2019	3,73a	3,50a	0,96b	0,33c	1,62a	1,13b

*a,b – grupy jednorodne testu Tukeya dla p<0,05; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

Tab. 14. Porażenie roślin pszenicy ozimej przez *Parastagonospora nodorum* (%) (interakcje czynników agrotechnicznych)

B. Termin siewu	C. Gęstość siewu		
	0	1	2
0	2,00a*	2,04a	2,22a
1	1,12ab	2,20a	2,20a
2	1,12ab	0,50a	1,14ab
C. Gęstość siewu	D. Dawka azotu		
	0	1	2
0	1,72ab*	1,22b	1,23b
1	1,37ab	1,80ab	1,20b
2	1,15b	2,01ab	2,40a
D. Dawka azotu	E. Ochrona przed chorobami		
	0	1	2
0	1,91a*	2,16a	0,46b
1	1,57ab	1,45ab	1,32ab
2	1,12ab	2,18a	2,26a

*a,b – grupy jednorodne testu Tukeya dla p<0,05; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

Wyniki tab. 14 dowodzą interakcji czynników agrotechnicznych na stopień porażenia roślin pszenicy ozimej przez *Parastagonospora nodorum*. Mniejsze porażenie tym patogenem uzyskano w warunkach optymalnego terminu siewu (B_2) i gęstości siewu na poziomie 300 ziaren·m^2 (C_1) (interakcja B x C), a także w warunkach niskiego poziomu odżywiania azotem pszenicy (D_0) i wysokiego poziomu ochrony przed chorobami (E_2) (interakcja D x E). Wzrost porażenia kłosów przez *Parastagonospora nodorum* notowano po zastosowaniu gęstego siewu (C_2) i największej dawki azotu (D_2) (interakcja C x D).

4.3 Elementy składowe plonu w zależności od czynników agrotechnicznych

W badanych trzech sezonach wegetacyjnych pszenicy ozimej uzyskano zróżnicowaną zwartość kłosów, która średnio wyniosła 331 sztuk na 1 m^2, czyli mało w stosunku do zakładanych gęstości siewu (tab. 15). Obie odmiany pszenicy ozimej (mieszańcowa Hybery, liniowa Artist) tworzyły łan o podobnym statystycznie zagęszczeniu. Różnica na korzyść odmiany mieszańcowej Hybery w stosunku do liniowej Esprit wyniosła średnio tylko 9 kłosów na jednostce powierzchni.

Reakcję odmian pszenicy ozimej na zwartości źdźbeł kłosonośnych na jednostce powierzchni, w zależności od terminu siewu, można określić jako jednakową (brak interakcji A x B) (tab. 16). W wartościach średnich z 3 lat wczesny siew gwarantował korzystniejszą liczbę kłosów, a jego opóźnienie o 10 i 20 dni skutkowało tendencją do obniżki wartości liczbowej omawianej cechy odpowiednio o 4 i 9%, której nie udało się statystycznie udowodnić (tab. 15).

Tab. 15. Liczba kłosów (szt.·m^{-2}) pszenicy ozimej w zależności od lat badań i czynników agrotechnicznych

Lata badań	A. Odmiana		B. Termin siewu			C. Gęstość siewu			D. Dawka azotu			E. Ochrona przed chorobami			Średnia
	0	1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	
16–17	265	281	276	275	269	257	282	281	263	278	280	272	271	278	**273b**
17–18	228	213	157	258	246	203	217	242	220	216	226	225	207	230	**220c**
18–19	487	513	516	462	522	506	496	497	482	521	497	516	481	503	**500a***
Średnia	**327**	**336**	**316**	**332**	**346**	**322**	**332**	**340**	**322**	**338**	**334**	**337**	**320**	**337**	–

*a,b, c – grupy jednorodne testu Tukeya dla p<0,05; pozostałe nieistotne; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

Tabela 16. Liczba kłosów (szt.·m^{-2}) pszenicy ozimej liniowej i mieszańcowej (interakcja: odmiana x czynniki agrotechniczne, średnie z 3 lat)

A. Odmiana		B. Termin siewu			C. Gęstość siewu			D. Dawka azotu			E. Ochrona przed chorobami			Średnia
		0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	
Artist	0	311	336	334	318	325	337	316	340	325	330	316	335	**327**
Hybery	1	322	327	358	326	338	344	327	337	343	345	324	339	**336**

Odmiana x czynnik – nieistotne; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

Wpływ terminu siewu na liczbę kłosów pszenicy ozimej był zmienny w latach (tab. 17). W pierwszym cyklu badań (2016–2017) termin siewu nie wpływał istotnie na zwartość łanu. Z kolei w drugim sezonie wegetacji (2017–2018) największą liczbę kłosów uzyskano z siewu optymalnego i opóźnionego o 10 dni, natomiast w trzecim (2018–2019) korzystniejszy pod względem omawianej wartości liczbowej cechy był siew optymalny i opóźniony o 20 dni.

Tab. 17. Liczba kłosów (szt.·m^{-2}) pszenicy ozimej (interakcja: lata x termin siewu)

Lata badań	Termin siewu		
	0	1	2
2016–2017	276c	275c	269c
2017–2018	157d	258c	246c
2018–2019	516a*	426b	522a

*a,b – grupy jednorodne testu Tukeya dla p<0,05; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

Zróżnicowana w badaniach gęstość siewu wpływała tylko w niewielkim stopniu na liczbę kłosów produktywnych (tab. 15). Najbardziej zwarty łan u obu odmian pszenicy ozimej uzyskano stosując siew o zagęszczeniu 400 ziaren·m^{-2} (C_2). Zmniejszenie wysiewu o 100 i 200 ziarniaków powodowało nieistotny spadek zagęszczenia kłosów, odpowiednio o 2,4 i 5,6%. Reakcja odmian na ten czynnik agrotechniczny była jednakowa (tab. 16).

Pszenica ozima nawożona azotem w dawce najmniejszej (90 kg N·ha^{-1} – D_0) była najrzadsza (tab. 15). Wzrost nawożenia azotem do poziomu 150 i 180 kg N·ha^{-1} nie różnicował istotnie liczby kłosów na 1 m^2. Nie wystąpiła interakcja odmiany z dawką azotu w tym podstawowym elemencie struktury plonu (tab. 16).

Zastosowane poziomy ochrony przed chorobami nie różnicowały istotnie liczby kłosów w łanie (tab. 15). Warto zaznaczyć, że w obiekcie z jednym zabiegiem fungicydowym (E_1) w okresie wegetacji notowano nieistotną obniżkę wartości omawianej cechy o 5% w stosunku do ochrony w postaci zaprawiania ziarna (E_0). Nie wykazano współdziałania odmian badanej cechy z intensywnością tego agroczynnika na badana cechę (tab. 16).

Liczba ziarniaków w kłosie pszenicy ozimej była modyfikowana istotnie przez dawkę azotu i poziom ochrony przed chorobami (tab. 18). Azot stosowany w dawce 90 i 150 kg N·ha^{-1} w porównaniu do dawki 180 kg N ha^{-1}, a także ograniczona ochrona przed chorobami do zaprawiania ziarna lub do wykonania jednego wczesnego zabiegu fungicydem w stosunku do ochrony dwuzabiegowej skutkowało zmniejszeniem liczby ziarniaków w kłosie (tab. 18). Wpływ pozostałych czynników agrotechnicznych na badaną wartość liczbową omawianej cechy był mały, poniżej statystycznej istotności. Korzystniejszą liczbę ziarniaków w kłosie obu odmian pszenicy ozimej uzyskano w warunkach klimatycznych sezonu 2017–2018(tab. 18).

Tab. 18. Liczba ziaren w kłosie (szt.) w zależności od lat badań i czynników agrotechnicznych

Lata	A. Odmiana		B. Termin siewu			C. Gęstość siewu			D. Dawka azotu			E. Ochrona przed chorobami			Średnia
	0	1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	
16–17	46,4	53,1	48,5	50,5	50,3	51,4	49,7	48,1	48,3	49,7	51,2	49,5	48,9	50,8	**49,8**
17–18	51,9	58,9	59,5	52,2	54,4	55,9	56,0	54,3	54,4	55,4	56,4	55,0	54,9	56,2	**55,4**
18–19	48,9	51,4	48,9	50,4	51,2	50,7	49,9	49,8	49,6	50,1	50,8	50,2	49,5	50,7	**50,2**
Średnia	**49,1**	**54,5**	**52,3**	**51,0**	**52,0**	**52,7**	**51,9**	**50,7**	**50.87b**	**51,7b**	**52,8a***	**51,6ab**	**51,1b***	**52,6a**	–

*a,b, c – grupy jednorodne testu Tukeya dla p<0,05, pozostałe nieistotne; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

Średnio biorąc, większa liczba ziaren w kłosie (statystycznie niepotwierdzona) była cechą mieszańcowej odmiany Hybery (wzrost o około 11% w stosunku do liniowej Artist) (tab. 19). Nie wykazano odmiennej reakcji odmian pszenicy ozimej w zależności od stosowanych poziomów czynników agrotechnicznych na liczbę ziaren w kłosie (tab. 19).

W badaniach udowodniono interakcję dawki azotu z ochroną przed chorobami na liczbę ziaren w kłosie (tab. 20). Pszenica nawożona azotem w dawce 90 kg N·ha^{-1} do wytworzenia największej liczby ziaren w kłosie wymagała ochrony w postaci zaprawiania ziarna lub wykonania dwóch oprysków fungicydem, które były jedynym warunkiem do uzyskania wzrostu liczby ziarniaków po zastosowaniu 150 kg N·ha^{-1}. Istotne zwiększenie liczby

ziarniaków pod wpływem największej dawki azotu (180 kg N·ha^{-1}) nie było modyfikowane poziomem intensywności zastosowanej ochrony przeciwgrzybowej.

Tabela 19. Liczba ziaren w kłosie (szt.) pszenicy liniowej i mieszańcowej (interakcja: odmiana x czynniki agrotechniczne, średnie z 3 lat)

A. Odmiana		B. Termin siewu			C. Gęstość siewu			D. Dawka azotu			E. Ochrona przed chorobami			Średnia
		0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	
Artist	0	48,2	48,6	50,4	49,9	49,3	48,0	47,7	49,6	49,8	49,4	48,2	49,6	**49,1**
Hybery	1	56,4	53,4	53,6	55,4	54,5	53,5	53,8	53,8	55,8	53,8	54,1	55,5	**54,5**

Odmiana x czynnik – nieistotne; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

Tab. 20. Liczba ziaren w kłosie (szt.) pszenicy ozimej (interakcja: dawka azotu x ochrona przed chorobami)

D. Dawka azotu	E. Ochrona przed chorobami		
	0	1	2
0	51,05ab*	49,47b	51,79ab
1	51,19ab	50,91ab	53,01a
2	52,54a	52,97a	52,89a

*a,b – grupy jednorodne testu Tukeya dla p<0,05; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

Tab. 21. Masa 1000 ziaren (g) w zależności od lat badań i czynników agrotechnicznych

Lata	A. Odmiana		B. Termin siewu			C. Gęstość siewu			D. Dawka azotu			E. Ochrona przed chorobami			Średnia
	0	1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	
16–17	53,9	51,6	52,2	52,7	53,3	53,1	52,6	52,6	51,4	52,9	54,0	52,3	52,2	53,7	52,8a*
17–18	47,3	46,7	47,1	47,5	46,4	47,2	47,0	46,8	46,9	47,1	46,9	46,5	46,9	47,6	47,0b
18–19	47,9	44,9	45,5	46,9	46,8	46,1	46,3	46,9	47,1	46,1	46,1	45,1	45,6	48,5	46,4c
Średnia	49,7	47,7	48,3	49,1	48,8	48,8	48,6	48,7	48,4	48,7	49,0	48,0	48,3	49,9	–

*a,b, c – grupy jednorodne testu Tukeya dla p<0,05, pozostałe nieistotne; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

Masa 1000 ziaren pszenicy ozimej była istotnie różnicowana w latach badań (tab. 21). Największą dorodność ziarna uzyskano w sezonie 2016–2017, w którym notowano obfite opady w czerwcu i lipcu. Wyższą, czyli korzystniejszą masę 1000 ziaren uzyskała odmiana liniowa Artist. Różnica w stosunku do mieszańcowej Hybery wyniosła średnio 2 g i nie była

statystycznie udowodniona (tab. 22). Nie wykazano istotnego wpływu terminu i gęstości siewu na badaną cechę. Mało znaczące oddziaływanie na masę 1000 ziaren miała także dawka azotu (tab. 21). Wzrost nawożenia tym składnikiem wywoływał jedynie trend do poprawy dorodności ziarna. Masa 1000 ziaren nie była również istotnie różnicowana liczbą wykonywanych zabiegów ochronnych. Wykazano jedynie słabą tendencję do większej dorodności ziarna w warunkach stosowania pełnej 2- zabiegowej ochrony fungicydowej w okresie wegetacji pszenicy ozimej (tab. 21). Reakcja badanych odmian pszenicy ozimej na czynniki agrotechniczne była jednakowa (tab. 22).

Tabela 22. Masa 1000 ziaren (g) pszenicy liniowej i mieszańcowej
(interakcja: odmian x czynniki agrotechniczne, średnie z 3 lat)

A. Odmiana		B. Termin siewu			C. Gęstość siewu			D. Dawka azotu			E. Ochrona przed chorobami			Średnia
		0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	
Artist	0	49,6	50,0	49,6	50,0	49,5	49,6	49,5	49,6	50,1	49,1	49,4	50,7	**49,7**
Hybery	1	47,0	48,1	48,0	47,5	47,8	47,9	47,4	47,8	47,9	46,8	47,1	49,1	**47,7**

Odmiana x czynnik – nieistotne; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

4.4 Plon ziarna w zależności od czynników agrotechnicznych

Uzyskany w badaniach plon ziarna pszenicy ozimej uprawianej na glebie kompleksu pszennego dobrego wynoszący średnio 7,91 $Mg \cdot ha^{-1}$, należy ocenić jako wysoki. Był on zróżnicowany w latach badań (tab. 23). Najniższą wydajność pszenica ozima uzyskała w sezonie 2017–2018 charakteryzującym się obfitymi opadami w okresie wegetacji jesiennej, suchej wiośnie (kwiecień, maj) oraz dużego uwilgotnienia w lipcu. W sezonie 2018–2019 o ciepłej jesieni i łagodnej zimie oraz ciepłej i wilgotnej wiośnie (maj, czerwiec) pszenica ozima plonowała zdecydowanie korzystniej.

Odmiana mieszańcowa Hybery plonowała średnio o 5,9% wyżej niż pszenica liniowa Artist. Różnice te należy ocenić jako niską. Nie wykazano interakcji lat z odmianą w plonie ziarna, to znaczy, że reagowały one na warunki klimatyczne jednakowo. Z naszych wyliczeń wynika, że nieco większą różnicę w plonie (między latami) wykazywała odmiana mieszańcowa Hybery (prawie 4,5 $Mg \cdot ha^{-1}$), a mniejszą odmiana populacyjna Artist (3,7 $Mg \cdot ha^{-1}$). Stanowiło to w stosunku do średniego plonu z 3 lat, odpowiednio 56 i 47%. Zmienność plonowania odmiany mieszańcowej Hybery w latach była więc nieco większa (tab. 23). Podkreślenia wymaga fakt, że korzystnych warunkach pogodowych sprzyjających wysokiej wydajności

pszenicy ozimej (sezon 2016–2017 i 2018–2019), różnica w plonie między odmianami była większa i wynosiła odpowiednio 9,1 i 6,8%, w roku mniej korzystnym dla plonu (sezon 2017–2018) było to tylko 2,7% plonu.

Tab. 23. Plon ziarna pszenicy ozimej (Mg·ha^{-1}) w zależności od poziomu agrotechniki i lat badań

Lata	A. Odmiana		B. Termin siewu			C. Gęstość siewu			D. Dawka azotu			E. Ochrona przed chorobami			Średnia
	0	1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	
16–17	8,53	9,37	9,14	9,18	8,53	8,69	9,08	9,08	8,10	9,31	9,43	8,73	8,94	9,17	**8,95b**
17–18	5,42	5,28	4,28	6,03	5,73	4,83	5,45	5,77	5,17	5,35	5,52	5,40	4,83	5,82	**5,35c**
18–19	9,12	9,74	9,14	9,18	9,96	8,96	9,55	9,78	9,09	9,49	9,70	9,17	9,02	10,1	**9,43a**
Średnia	**7,68**	**8,13**	**7,52**	**8,13**	**8,07**	**7,49b***	**8,03a**	**8,21a**	**7,46**	**8,05**	**8,22**	**7,76**	**7,60**	**8,37**	–

*a,b, c – grupy jednorodne testu Tukeya dla p<0,05, pozostałe nieistotne; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

Średnio biorąc, największy plon ziarna obu odmian pszenicy ozimej uzyskano w obiektach z optymalnym i opóźnionym siewem o 10 dni (tab. 23). Opóźnienie siewu o kolejne 10 dni (siew 10 lub 15 października) powodowało spadek plonu o 0,55–0,61 Mg ha^{-1}, który nie został jednak udowodniony statystycznie. Zastosowana gęstość siewu na poziomie 200, 300, 400 ziaren·m^{-2}, pomimo braku istotnych różnic w komponentach plonu, istotnie różnicowała wydajność ziarna pszenicy ozimej (tab. 23). Najniższy plon ziarna uzyskano z obiektów o najrzadszym siewie (200 ziaren·m^{-2}), jego zagęszczenie o 100 ziarniaków skutkowało istotnym wzrostem wydajności o 7,2%. Dalsze zwiększenie wysiewu o kolejne 100 ziaren wywołało jedynie trend do wzrostu plonu. Reakcja pszenicy ozimej w plonie na intensywność ochrony przed chorobami była niska (tab. 23). W zasadzie w każdym sezonie wegetacyjnym zastosowany jednokrotnie fungicyd (obok zaprawiania ziarna) nie powodował przyrostu plonu ziarna, a dopiero wykonanie drugiego oprysku fungicydem powodowało wzrost wydajności o 0,61 Mg·ha^{-1}, nie był on jednak statystycznie udowodniony.

W plonie ziarna udowodniono interakcję lat z odmianą i terminem siewu (tab. 24), z której wynika, że wydajność pszenicy liniowej Artist uzyskana w pierwszym (2016–2017) i trzecim (2018–2019) cyklu badań, w zależności od terminu siewu, ukształtowała się na jednakowym statystycznie poziomie, w przypadku pszenicy mieszańcowej Hybery wysoce plonotwórczy był odpowiednio siew opóźniony o 10 dni i optymalny. Reakcja obu odmian w drugim (2017–2018) cyklu badań wykazała największe ich wydajności w warunkach siewu

optymalnego lub opóźnionego o 10 dni. W badaniach wykazano także istotność różnic dla współdziałania odmiany z dawką azotu w latach badań, która dowodzi, że odmiana liniowa Artist największe plony w pierwszym (2016–2017) i trzecim (2018–2019) cyklu badań, uzyskała na dawce, odpowiednio 180 i 150–180 kg N·ha^{-1}, a odmiana Hybery odpowiednio na dawce 150–180 i 180 kg N·ha^{-1}. W drugim cyklu badań (2017–2018) wysoce plonotwórcza w uprawie liniowej odmiany Artist była już dawka 90 kg N·ha^{-1}, natomiast dla odmiany Hybery była to dawka 150 i 180 kg N·ha^{-1} (tab. 24).

Znamienne jest, że nie wystąpiła bezpośrednia interakcja odmian z agroczynnikami, co dowodzi jednakowej reakcji pszenicy mieszańcowej i liniowej na intensywność zastosowanych zabiegów agrotechnicznych (tab. 25).

Tabela 24. Plon ziarna pszenicy ozimej (Mg·ha^{-1})
(interakcja: lata x odmiana x termin siewu; lata x odmiana x poziom nawożenia N

Lata	Odmiana	B. Termin siewu			D. Dawka azotu		
		0	1	2	0	1	2
2016–2017	0	8,77d*	8,65d	8,18d	7,58d	8,93c	9,09bc
	1	9,50bc	9,72b	8,88cd	8,63cd	9,69ab	9,77ab
2017–2018	0	4,24f	6,35e	5,68e	5,54e	5,44ef	5,29ef
	1	4,33f	5,71e	5,78e	4,81f	5,26ef	5,76e
2018–2019	0	9,06c	9,11c	9,19c	8,62cd	9,24b	9,51b
	1	9,21c	9,26c	10,73a	9,56b	9,75ab	9,90a

*a,b, c, d – grupy jednorodne testu Tukeya dla p<0,05; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

Tabela 25. Plon ziarna (Mg ha^{-1}) pszenicy liniowej i mieszańcowej w zależności od poziomu czynników agrotechnicznych (interakcja: odmiana x czynniki agrotechniczne , średnie z 3 lat)

A. Odmiana		B. Termin siewu			C. Gęstość siewu			D. Dawka azotu			E. Ochrona przed chorobami			Średnia
		0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	
Artist	0	7,36	8,03	7,68	7,33	7,80	7,95	7,25	7,87	7,96	7,56	7,41	8,10	**7,68**
Hybery	1	7,68	8,23	8,46	7,66	8,25	8,47	7,67	8,23	8,48	7,97	7,78	8,63	**8,13**

Odmiana x czynnik – nieistotne; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

4.5 Plon ziarna w zależności od intensywności technologii

Na podstawie zbiorów ziarna pochodzących ze 108 poletek ze wszystkich 3 cykli badań wyodrębniono technologie pierwszego wyboru dające stabilnie duże plony (najlepszy wybór) i technologie drugiego wyboru dające stabilnie małe plony (najgorszy wybór). Przeprowadzona w ten sposób analiza plonów ziarna pozwoliła wyszczególnić po trzy najczęściej powtarzające się kombinacje czynników agrotechnicznych w latach badań w ramach tzw. grup „plonów dużych" i „plonów małych".

4.5.1 Pszenica ozima liniowa odmiana Artist

W grupie „plonów dużych" charakterystyczną cechą wytypowanych technologii produkcji ziarna dla liniowej odmiany Artist był siew wykonany w terminie opóźnionym o 10 dni w stosunku do optymalnego dla tego regionu (tab. 26). Największy i najbardziej stabilny plon w latach (średnio 8,89 Mg·ha^{-1}) gwarantował wariant technologii, w którym zastosowano: termin siewu opóźniony o 10 dni (B_1), gęstość siewu w ilości 300 ziaren·m^{-2} (C_1), dawkę azotu na poziomie 150 kg N·ha^{-1} (D_1) i ochronę przeciwgrzybową polegającej jedynie na zaprawianiu ziarna (E_0). Podobny efekt plonotwórczy (mniejszy jedynie o 0,11 Mg) uzyskano stosując technologię, która uwzględniała: opóźniony siew o 10 dni (B_1) największe zagęszczenie siewu – 400 ziaren·m^{-2} (C_2), największą dawkę azotu – 180 kg N·ha^{-1} (D_2) i intensywny program ochrony przeciwgrzybowej – zaprawianie + 2 opryski fungicydem w okresie wegetacji (E_2). Wysoki efekt plonotwórczy zapewniało również zastosowanie technologii opierającej się na wykonaniu: siewu opóźnionego o 10 dni (B_1), gęstości siewu na poziomie 300 ziaren·m^{-2} (C_1), nawożenia azotem w dawce 90 kg N ha^{-1} (D_0) i pełnej 2-zabiegowej ochrony przeciwgrzybowej (E_2). Średni plon z tej kombinacji czynników technologii wyniósł 8,38 Mg·ha^{-1} (tab. 26).

Technologie stosowane w pszenicy ozimej liniowej odmiany Artist dające stabilne plony w grupie „plonów małych" opierały się wyłącznie na niskim (0) i średnim (1) poziomie zastosowanych czynników agrotechnicznych (tab. 26). Najmniejszy plon ziarna liniowej odmiany Artist (średnio 6,50 Mg·ha^{-1}), uzyskano wysiewając 200 ziaren· m^{-2} (C_0) w późnym (10.–15. października) terminie siewu (B_0), z zastosowaniem dawki azotu na niskim poziomie (90 kg N·ha^{-1}) (D_0) oraz ochrony grzybobójczej składającej się tylko z zaprawiania ziarna (E_0). Pozostałe dwie technologie wchodzące w skład tej grupy „plonów małych" zapewniały bardzo zbliżony efekt plonotwórczy (6,70 i 6,78 Mg·ha^{-1}). Pierwsza z nich zakładała późny siew wykonany w terminie 10. lub 15. października (B_0), średnią (300 ziaren·m^{-2}) gęstość siewu (C_1), najmniejsze nawożenie azotem w dawce 90 kg N·ha^{-1} (D_0) oraz ochronę przeciwgrzybową

polegającą na zaprawianiu ziarna i wykonaniu jednego zabiegu fungicydem w okresie wegetacji (E_1). Druga technologia w grupie „plonów małych" różniła się jedynie terminem siewu, który stosowano jako opóźniony o 10 dni, czyli 30. września lub 5. października (B_1) i zagęszczeniem siewu na poziomie niskim (C_0).

Różnica w plonach ziarna pszenicy liniowej Artist pomiędzy najbardziej produktywną technologią i stabilną w latach wchodząca w skład grupy „plonów dużych", a najmniej korzystną technologią z grupy „plonów małych" była znaczna i wynosiła 2,39 $Mg \cdot ha^{-1}$.

Tab. 26. Efekt plonowania pszenicy ozimej liniowej odmiany Artist w technologiach złożonych z kombinacji czynników agrotechnicznych gwarantujących uzyskanie plonów dużych lub małych w zmiennych warunkach pogodowych

Grupa plonów	Czynniki agrotechniczne i ich poziom					Średni plon technologii ($Mg \cdot ha^{-1}$)
	A	B	C	D	E	
Duże	0	1	1	1	0	8,89
	0	1	2	2	2	8,78
	0	1	1	0	2	8,38
Małe	0	1	0	0	1	6,78
	0	0	1	0	1	6,70
	0	0	0	0	0	6,50

A,B,C,D,E – czynniki agrotechniczne; 0, 1, 2 – poziom czynnika, patrz str. 42 , tab. 1

4.5.2 Pszenica mieszańcowa odmiana Hybery

Charakterystyczną cechą technologii w podzbiorze „plonów dużych" gwarantujących najbardziej stabilne plony ziarna pszenicy mieszańcowej Hybery było zastosowanie intensywnego programu ochrony przeciwgrzybowej (E_2) polegającej na zaprawianiu ziarna oraz wykonaniu dwóch zabiegów fungicydami w okresie wegetacji (tab. 27). Osiągnięcie największego i stabilnego plonowania tej odmiany (średnio 9,87 $Mg \cdot ha^{-1}$) uzyskano stosując technologię o kombinacji czynników z siewem wykonanym 20. lub 25. września – optymalnym dla tego regionu (B_2), o gęstości 300 $ziaren \cdot m^{-2}$ (C_1), z nawożeniem azotem w dawce 150 kg $N \cdot ha^{-1}$ (D_1) i pełną ochroną przeciwgrzybową (E_2). Bardzo zbliżony efekt plonotwórczy (niższy o 0,30 Mg) notowano stosując technologię z siewem opóźnionym o 10 dni (30. września lub 5. października) (B_1), zagęszczeniem siewu na poziomie średnim – 1 (C_1) oraz z dawką azotu i ochroną przeciwgrzybową na poziomie wysokim – 2 (D_2E_2). Osiągnięty plon ziarna w tej technologii wyniósł średnio 9,57 $Mg \cdot ha^{-1}$. Trzecia z wysoko produktywnych technologii gwarantująca we wszystkich latach stabilne plony opiera się na siewie wykonanym w optymalnym terminie (B_2) o najmniejszej gęstości (C_0), najwyższym poziomie nawożenia

azotem (D_2) i pełnej ochronie przeciwgrzybowej (E_2). Technologia ta zapewniała plony ziarna średnio na poziomie 9,30 Mg·ha^{-1} (tab. 27).

Tab. 27. Efekt plonowania pszenicy ozimej mieszańcowej odmiany Hybery w technologiach złożonych z kombinacji czynników agrotechnicznych gwarantujących uzyskanie plonów dużych lub małych w zmiennych warunkach pogodowych

Grupa plonów	Czynniki agrotechniczne i ich poziom					Średni plon technologii (Mg·ha^{-1})
	A	B	C	D	E	
Duże	1	2	1	1	2	9,87
	1	1	1	2	2	9,57
	1	2	0	2	2	9,30
Małe	1	1	0	2	1	7,43
	1	0	0	2	0	7,07
	1	0	0	0	1	6,66

A,B,C,D,E – czynniki agrotechniczne; 0, 1, 2 – poziom czynnika, patrz str. 42 , tab. 1

W grupie technologii niskoproduktywnych („małe plony") zastosowanych w pszenicy mieszańcowej Hybery najmniej wydajna odznaczała się kombinacja czynników, w którym stosowano siew opóźniony o 20 dni (10. Lub 15. września) (B_0), najmniejszą gęstości wysiewu (200 szt.·m^{-2}) (C_0), niską dawkę azotu na poziomie 90 kg N·ha^{-1} (D_0) oraz ochronę przeciwgrzybową obejmującą zaprawianie ziarna i jeden zabieg fungicydem w okresie wegetacji (E_1). Pozwoliła ona osiągnąć średni plon ziarna mieszańca na poziomie 6,66 Mg·ha^{-1}. Pozostałe dwie technologie pozwoliły uzyskać polny na nieco wyższym poziomie (o 0,41 i 0,77 Mg). Odpowiednio w pierwszej z nich zastosowano dawkę azotu na poziomie wysokim – 2, a pozostałe czynniki agrotechniczne były na poziomie niskim – 0. W drugiej technologii czynnik gęstość siewu był na poziomie niskim – 0, termin siewu i ochrona przeciwgrzybowa były na poziomie średnim – 1, a dawka azotu na poziomie wysokim – 2 (tab. 27).

Różnica w poziomie plonów pomiędzy technologią najbardziej stabilną i wydajną w latach z tzw. grupy „plonów dużych", a technologią najmniej wydajną z grupy „plonów małych" była większa niż porównywalnych technologii pszenicy liniowej i wyniosła aż 3,21 Mg·ha^{-1} (tab. 27).

4.6 Jakość ziarna w zależności od odmiany i lat badań

Wartości cech technologicznych surowca były różnicowane warunkami termiczno-wilgotnościowymi w latach badań, w których formowało się ziarno (tab. 28). Najbardziej zmienna, potwierdzona statystycznie, była cecha szklistości ziarna oraz barwa mąki. Największy udział ziaren szklistych (ponad 86%) uzyskano w drugim cyklu badań (2017–2018), a istotnie jaśniejszą mąkę (78% bieli) w pierwszym cyklu badań (2016–2017). Mniejsze różnice między latami (nie potwierdzone statystycznie) dotyczyły masy objętościowej ziarna, a także cech wynikających z chemizmu ziarna. Czynnik klimatyczny decydował znacząco (nieistotnie) o wartości liczby opadania informującej o aktywności enzymów amylolitycznych, a także o wskaźniku sedymentacji świadczącego o jakości kompleksu białkowego.

Tab. 28. Wyróżniki jakości technologicznej ziarna i mąki badanych odmian pszenicy ozimej (średnio z 2 lat)

Wyróżnik jakości	Odmiana		Lata badań	
	Artist (A_0)	Hybery (A_1)	2016–2017	2017–2018
Gęstość ziarna ($kg \cdot hl^{-1}$)	78,1	78,1	78,3	77,8
Szklistość ziarna (%)	59,6a*	44,5b	17,6b*	86,5a
Białko w ziarnie (%)	12,4	11,1	10,4	13,2
Test Zeleny (ml)	57,16	35,43	30,7	53,7
Ilość glutenu mokrego (%)	27,1	22,4	20,8	28,8
Liczba opadania (s.)	329	256	277	306
Barwa mąki (%wzorca bieli)	73,0b*	79,4a	78,3a*	74,2b
Popiół w mące (% s.m.)	0,75	0,69	0,70	0,75
Wodochłonność mąki (%)	58,9	56,50	55,8	59,7
Rozwój ciasta (min)	3,27	3,01	2,29	4,03
Stałość ciasta (min)	9,54	5,39	5,45	9,48
Rozmiękczenie ciasta (j. B.)	39,9	82,6	59,1	64,9
Objętość chleba V100 (cm^3)	334	315	314	335
Gęstość miękiszu (g cm^3)	0,27	0,31	0,31	0,28

*a,b, – grupy jednorodne testu Tukeya dla $p<0,05$, pozostałe nieistotne ; 0, 1 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

Korzystniejsze wartości wyróżników jakości przemiałowej i wypiekowej uzyskało ziarno w drugim cyklu badań (2017–2018). Modyfikujący wpływ lat uwidocznił się także w cechach jakościowych ciasta, szczególnie w jego rozwoju, stałości i skłonności do rozmiękczenia. Były to wpływy widoczne, ale nie dające się udowodnić statystycznie, podobnie jak zróżnicowanie objętości chleba po wypieku próbnym. Nieco korzystniejszą objętość chleba, a także wodochłonność mąki oraz rozwój, stałość i rozmiękczenie ciasta uzyskano w drugim cyklu badań (2017–2018).

Zróżnicowanie cech jakościowych ziarna w zależności od badanych odmian pszenic było małe (tab. 28). Mieszańcowa odmiana Hybery i liniowa odmiana Artist gwarantowały dobrą i na jednakowym poziomie masę objętościową ziarna, których surowiec odznaczał się dużą odpornością na porastanie ziarna. Uzyskana, średnio z 2 lat badań, liczba opadania spełniała normy dla wysokości tego wskaźnika ocenianych w skupie interwencyjnym. Pszenica liniowa Artist zapewniała jednak ziarno o istotnie korzystniejszej szklistości (o 34%), a także wyróżniała się (statystycznie nieistotnie) większą zawartością białka w ziarnie (o 12%), wartością testu Zeleny'ego (o 61%) i ilością glutenu mokrego (o 21%) w porównaniu do ziarna pszenicy mieszańcowej odmiany Hybery. Minimalne kryterium przydatności do wykorzystania ziarna pszenicy do produkcji mąki na cele chlebowe odnośnie zawartości białka i ilości glutenu w ziarnie spełniała jedynie liniowa odmiana Artist. Uzyskane wartości dotyczące wskaźnika testu Zeleny'ego dla pszenicy mieszańcowej Hybery pozwalają określić jej przydatność ziarna na cele wypiekowe jako dobrą, natomiast ziarno pszenicy liniowej spełniało nawet rolę tzw. poprawiacza dla innych mąk (tab. 28).

Wykazano interakcję odmian z latami badań w cechach dotyczących liczby opadania i ilości glutenu mokrego w ziarnie (tab. 29). W sezonie 2017–2018 ilość glutenu mokrego w ziarnie u obu badanych odmian była statystycznie podobna. Natomiast w sezonie 2016–2017 była ona korzystniejsza dla liniowej odmiany Artist. Mniejsze wartości liczby opadania w obu sezonach wegetacyjnych były zawsze charakterystyczne dla mieszańcowej odmiany Hybery.

Czynnik odmianowy różnicował barwę mąki i zawartość popiołu w mące (tab. 28). Istotnie jaśniejszą mąkę, a także korzystnie (mniejszą) zawartość substancji mineralnych (powtarzalnie w latach) uzyskano z ziarna pszenicy mieszańcowej odmiany Hybery w stosunku do mąki liniowej odmiany Artist (interakcja odmiana x lata badań) (tab. 29).

Wyniki analiz określających właściwości reologiczne ciasta uzyskane podczas badań na konsystografie nie wykazały istotnych różnic wskaźnika wodochłonności mąki. Nie wykazano także istotnego zróżnicowania w ocenianych cechach ciasta dotyczących jego rozmiękczenia,

rozwoju i stałości. Notowano jedynie wyraźny trend do uzyskania korzystniejszych wartości omawianych cech reologicznych ciasta z surowca pozyskanego z liniowej odmiany Artist. Mieszańcowa odmiana Hybery ustępowała otrzymanymi wartościami badanych wyróżników jakościowych ciasta (tab. 28).

Tab. 29. Wyróżniki jakości technologicznej ziarna i mąki
(interakcja: lata x odmiana)

Lata badań	Odmiana	
	Artist (A_0)	Hybery (A_1)
	Ilość glutenu (%)	
2016–2017	24,31b*	17,67c
2017–2018	29,83a	27,73a
	Liczba opadania (s.)	
2016–2017	306b*	252c
2017–2018	352a	260c
	Zawartość popiołu w mące (%)	
2016–2017	0,72b*	0,68c
2017–2018	0,78a	0,72b
	Objętość chleba (cm^3)	
2016–2017	328b*	302c
2017–2018	340a	331b
	Gęstość miękiszu (g cm^3)	
2016–2017	0,27c*	0,33a
2017–2018	0,27c	0,29b

*a,b, c – grupy jednorodne testu Tukeya dla $p<0,05$; 0, 1 – poziom czynnika patrz str. 42 , tab. 1

Próbny wypiek chleba pochodzący z mąki pszenicy liniowej i mieszańcowej mieści się w tym samym przedziale istotności statystycznej, a otrzymane różnice w ocenianych wskaźnikach można jedynie określić w charakterze tendencji (tab. 28). Chleb otrzymany z mąki pszenicy liniowej Artist charakteryzował się corocznie nieco większą objętością, w przypadku pszenicy mieszańcowej Hybery uzyskano chleb o nieco większej gęstości miękiszu (interakcja: odmiana x lata badań) (tab. 29).

4.7 Jakość ziarna w zależności od czynników agrotechnicznych

4.7.1 Pszenica liniowa odmiana Artist

Badania laboratoryjne obejmujące ocenę jakości technologicznej ziarna pszenicy liniowej odmiany Artis wykazały, że wpływ zastosowanych czynników agrotechnicznych na wskaźniki jakościowe surowca są niewielkie i można je rozpatrywać przeważnie w kategoriach trendów (tab. 30).

Cechy przemiałowe ziarna takie jak masa objętościowa ziarna i jego szklistość nie były różnicowane istotnie przez badane czynniki agrotechniczne. Korzystnie na szklistość ziarna (nieistotnie) oddziaływał wzrost dawki azotu aż do najwyższej (D_2) i zwiększenie gęstość siewu do poziomu 300 ziaren$\cdot m^{-2}$ (C_1) oraz 10 dniowe opóźnienie czasu siewu poza optymalny (B_1). Wskaźnik gęstości ziarna pod wpływem różnej intensywności czynników agrotechnicznych był bardzo wyrównany. Zawartość białka i glutenu mokrego w ziarnie, a także wartość testu Zeleny'ego podlegały podobnym trendom różnicowania przez wszystkie badane czynnik agrotechniczne. Korzystnie na cechy chemizmu ziarna działał średni poziom agrotechniki związany z terminem siewu (B_1), gęstością siewu (C_1) i ochroną przed chorobami (E_1), a wysoki - odnośnie dawki azotu (D_2). Liczba opadania przy wysokiej ogólnie jej poziomie była różnicowana w małym stopniu. Niekorzystnie na wartość tego wyróżnika wpływała wysoka dawka azotu (D_2) oraz optymalny termin siewu dla tego regionu (B_2). Czynniki agrotechniczne nie wpływały na barwę mąki i zawartość popiołu w mące. Do podobnych konkluzji prowadzi także analiza cech jakościowych ciasta. Spośród ocenionych wyróżników tylko rozmiękczenie ciasta było istotnie różnicowane przez termin siewu, przyjmując najbardziej korzystną wartość w warunkach siewu optymalnego (B_2) lub opóźnionego o 10 dni (B_1). Trend do dłuższego rozwoju ciasta notowano pod wpływem niskiego poziomu wszystkich czynników agrotechnicznych, w przypadku stałości ciasta był to średni poziom terminu siewu (B_1), gęstości siewu (C_1) i ochrony przed chorobami (E_1), a wysoki dotyczył dawki azotu (D_2). Próbny wypiek nie wykazywał istotnych różnic w ocenianych składowych chleba. Obserwowano jedynie słaby trend do obniżki objętości pieczywa w przypadku surowca pochodzącego z obiektów o siewie opóźnionym o 20 dni w porównaniu do optymalnego (B_0) i nawożonych niskimi dawkami azotu (D_0). Wskaźnik ten był bardzo wyrównany i nie poddawał się wpływom zróżnicowanej gęstości siewu i ochrony przed chorobami. Badane czynniki agrotechniczne nie wpływały istotnie na gęstość miękiszu (tab. 30).

Tab. 30. Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych na cechy technologiczne ziarna, mąki, ciasta i chleba pszenicy ozimej liniowej odmiany Artist (średnio z 2 lat)

Wyróżniki jakości	B. Termin siewu			C. Gęstość siewu			D. Dawka azotu			E. Ochrona przed chorobami		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Cechy technologiczne ziarna												
Gęstość ziarna ($kg \cdot hl^{-1}$)	78,1	78,3	77,9	78,1	78,2	78,1	78,2	78,0	78,1	78,0	78,3	78,0
Szklistość ziarna (%)	57,1	61,3	60,4	58,8	60,8	59,2	57,0	59,6	62,0	59,8	59,4	59,6
Zawartość białka w ziarnie (%)	12,2	12,7	12,4	12,3	12,7	12,1	12,1	12,4	12,6	12,3	12,6	12,3
Test sedymentacji Zeleny'ego (ml)	54,5	62,2	55,2	60,2	58,2	53,3	54,5	56,9	60,2	58,5	58,8	54,4
Ilość glutenu mokrego (%)	26,7	28,3	26,4	27,3	28,1	25,9	26,7	26,9	28,0	27,2	28,2	26,2
Opadanie (s.)	339	326	321	332	328	328	337	332	320	324	331	333
cechy jakościowe mąki												
Barwa mąki (%wzorca bieli)	73,7	72,4	72,8	73,4	72,5	73,3	73,7	73,2	72,5	73,2	72,4	73,2
Zawartość popiołu w mące (% s.m.)	0,74	0,76	0,76	0,74	0,76	0,75	0,74	0,75	0,76	0,75	0,76	0,75
cechy jakościowe ciasta – Konsystogram												
Wodochłonność mąki (%)	58,2	59,9	58,9	59,1	59,4	58,3	58,2	57,8	59,7	59,3	59,3	58,4
Rozwój ciasta (min)	3,79	2,93	2,98	3,48	3,21	3,19	3,79	3,25	3,11	3,52	3,33	2,98
Stałość ciasta (min)	7,83	10,65	10,50	8,09	10,75	9,29	7,83	8,98	10,96	9,25	10,65	9,08
Rozmiękczenia ciasta (j. B.)	52,8a*	31,6b	32,7b	48,5	34,9	39,3	52,3	36,3	31,4	10,4	33,7	43,8
próbny wypiek chleba												
Objętość chleba (cm^3)	329	336	339	336	334	333	329	336	338	336	330	335
Gęstość miękiszu ($g\ cm^3$)	0,27	0,27	0,26	0,27	0,27	0,26	0,27	0,26	0,27	0,26	0,28	0,27

*a,b, – grupy jednorodne testu Tukeya dla $p<0,05$, pozostałe nieistotne; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 30 , tab. 1

4.7.2 Pszenica ozima mieszańcowa odmiana Hybery

Wpływom agrotechniki dotyczących cech technologicznych (przemiałowych) ziarna pszenicy mieszańcowej odmiany Hybery poddawała się jedynie szklistość ziarna (tab. 31). Korzystnie (istotnie) na wartość liczbową ocenianej cechy oddziaływało zwiększone nawożenie azotem oraz opóźnienie czasu siewu poza optymalny. Wyróżniki obejmujące ilość i jakość białka w ziarnie nie podlegały różnicującym wpływom stosowanej agrotechniki.

Tab. 31. Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych na cechy technologiczne ziarna, mąki, ciasta i chleba pszenicy ozimej mieszańcowej odmiany Hybery (średnio z 2 lat)

Wyróżniki jakości	B. Termin siewu			C. Gęstość siewu			D. Dawka azotu			E. Ochrona przed chorobami		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Cechy technologiczne ziarna												
Gęstość ziarna ($kg \cdot hl^{-1}$)	78,4	78,6	77,3	77,8	78,2	78,4	77,6	78,6	78,2	77,5	78,3	78,4
Szklistość ziarna (%)	51,0a*	44,8b	38,0c	41,5	47,3	44,8	37,3c	45,7b	50,5a	41,9	47,8	43,6
Zawartość białka w ziarnie (%)	11,8	11,1	10,6	10,9	11,5	10,9	10,5	11,2	12,0	11,2	11,3	10,9
Test sedymentacji Zeleny'ego (ml)	42,0	33,3	31,0	35,6	37,7	32,9	31,0	34,4	41,2	37,7	36,4	32,2
Ilość glutenu mokrego (%)	25,1	21,8	20,4	22,0	23,8	21,4	20,2	22,2	25,1	23,2	23,1	21,0
Opadanie (s)	277	251	241	253	259	256	240	253	275	259	259	249
cechy jakościowe mąki												
Barwa mąki (%wzorca bieli)	78,6	79,2	80,2	79,4	79,2	79,6	80,1	79,3	78,1	79,2	79,4	79,5
Zawartość popiołu w mące (% s.m.)	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,71	0,70	0,70	0,70
cechy jakościowe ciasta – Konsystogram												
Wodochłonność mąki (%)	57,4	56,2	55,9	56,5	56,8	56,2	55,8	56,4	58,1	57,1	56,5	56,1
Rozwój ciasta (min)	3,23	3,01	2,83	2,88	3,29	2,82	2,74	3,07	3,48	3,09	3,14	2,80
Stałość ciasta (min)	7,08	4,75	4,63	5,86	5,33	4,91	4,58	4,91	7,63	6,58	5,26	4,75
Rozmiękczenia ciasta (j. B.)	58,9b*	92,4a	92,5a	73,4	91,9	82,3	90,6	89,7	57,7	67,6	88,0	86,3
próbny wypiek chleba												
Objętość chleba (cm^3)	314	318	314	318	316	311	314	314	320	320	313	316
Gęstość miękiszu ($g\ cm^3$)	0,32	0,31	0,30	0,30	0,31	0,32	0,30	0,31	0,32	0,30	0,31	0,31

*a,b, – grupy jednorodne testu Tukeya dla p<0,05, pozostałe nieistotne; 0, 1, 2 – poziom czynnika patrz str. 30 , tab. 1

Widoczne korzystne trendy ocenianych cech, ale nie dające się udowodnić statystycznie, uzyskano w warunkach zwiększenia dawki azotu aż do najwyższej (D_2). Agrotechnicznie na zwiększenie zawartości glutenu mokrego i testu Zeleny'ego (trend korzystny) wpływało także opóźnienie siewu o 20 dni (B_0), niski poziom ochrony fungicydowej (E_0) i średni poziom gęstości siewu (C_1). Niekorzystnie na cechę liczby opadania wpływał opóźniony siew o 20 dni (B_0) i wysoka dawka azotu (D_2). Dość stałą cechą odmianową mąki

była jej barwa mierzona procentem bieli, a bardzo stałą zawartość popiołu w mące, które nie podlegały istotnym wpływom zastosowanej intensywności agrotechniki.

Pomiary na konsystogramie wykazały, że wskaźniki jakości ciasta były słabo różnicowane przez badane agroczynniki (tab. 31). Istotnie niższe osłabienie (rozmiękczenie) ciasta oraz korzystny trend do wydłużenia jego rozwoju i stałości, a także większą zdolność mąki do chłonienia wody (rozmiękczenia) uzyskiwano z ziarna pszenicy sianej o 20 dni później (B_0) niż optymalnie dla tego regionu. Z porównywanych dawek azotu korzystniejsze wskaźniki jakości ciasta reprezentował wysoki poziom nawożenia tym składnikiem (D_2 – 180 kg $N \cdot ha^{-1}$). Ograniczenie dawki azotu pogarszały wartości liczbowe oznaczonych cech ciasta. W małym stopniu na wszystkie wyróżniki jakości ciasta oddziaływała zróżnicowana gęstość siewu pszenicy mieszańcowej i intensywność stosowanych zabiegów ochronnych przed patogenami grzybowymi, których wpływy były zmienne, niejednokierunkowe. Przeprowadzona analiza objętości chleba i gęstości jego miękiszu po wypieku próbnym dowodzi, że cechy te nie były różnicowane przez agrotechnikę stosowaną w uprawie mieszańcowej odmiany Hybery

4.8 Jakość ziarna w zależności od intensywności technologii w latach badań

4.8.1 Pszenica liniowa odmiana Artist

Ocenę wartości surowca według wymagań granicznych dla jakościowego grupowania odmian pszenic, uwzględniających sześć z siedmiu wskaźników wartości wypiekowej, przeprowadzono w dwóch sezonach wegetacyjnych (2016–2017 i 2017–2018) zróżnicowanych pod względem warunków termiczno-wilgotnościowych w czasie wegetacji i zbioru, którego produkcja prowadzona była o różnym stopniu intensywności nakładów agrotechnicznych gwarantujących uzyskanie małych lub dużych plonów. Zmienne warunki pogodowe i agrotechniczne miały istotny wpływ na klasyfikację jakościową surowca (tab. 32).

W pierwszym roku uprawy pszenicy ozimej liniowej odmiany Artist (sezon 2016–2017) wszystkie porównywane technologie, o niskich (0), średnich (1) bądź wysokich (2) nakładach agrotechnicznych, skutkowały wytworzeniem surowca technologicznego zakwalifikowanego do grupy C – paszowej. Przebieg warunków pogodowych w tym sezonie wegetacyjnym wiosną i latem spowodował, że otrzymane ziarno z technologii (I, II, III) o niskim poziomie nakładów, a także w technologii V o wyższym ich udziale, charakteryzowało się znaczącym spadkiem zawartości białka w ziarnie w stosunku do roku następnego. Surowiec o najlepszych parametrach technologicznych uzyskano w technologii IV o wyższym poziomie nakładów, w którym stosowano siew opóźniony o 10 dni, największe zagęszczenie (400

ziaren·m^{-2}) oraz intensywny poziom nawożenia azotem (180 kg N·ha^{-1}) i ochrony przeciwgrzybowej (zaprawa + 2 zabiegi fungicydem). Najgorszy jakościowo okazał się surowiec pochodzący z technologii II o niskich nakładach opierającej się na siewie opóźnionym o 20 dni, największej gęstości siewu (400 ziaren·m^{-2}), z niską dawką azotu (90 kg N·ha^{-1}) oraz intensywną ochroną przeciwgrzybową (zaprawa + 2 zabiegi fungicydem).

Tab. 32. Klasyfikacja jakościowa ziarna liniowej odmiany Artis według wymagań granicznych dla grupowania odmian pszenicy ozimej w zależności od wybranych technologii i lat badań (Klockiewicz-Kamińska i Brzeziński 1997, Najewski 2021)

Wyszczególnienie	Czynniki agrotechniczne i ich poziom					
	$A_0B_0C_0D_0E_0$	$A_0B_0C_2D_0E_2$	$A_0B_0C_1D_0E_1$	$A_0B_1C_2D_2E_2$	$A_0B_2C_2D_1E_2$	$A_0B_2C_2D_2E_0$
Technologie	grupa plonów małych (niższy poziom nakładów)			grupa plonów dużych (wyższy poziom nakładów)		
	I	II	III	IV	V	VI
	rok zbioru 2017					
Grupa jakościowa	C	C	C	C	C	C
Liczba opadania	6	6	6	7	7	6
Zawartość białka	1	1	1	5	1	3
Test Zeleny	6	5	6	9	3	7
Wodochłonność mąki	7	5	6	9	7	9
Rozmiękczenie ciasta	9	9	9	9	9	9
Objętość chleba	2	2	2	3	3	3
	rok zbioru 2018					
Grupa jakościowa	B	C	C	C	C	C
Liczba opadania	8	9	9	8	7	6
Zawartość białka	7	8	9	6	6	6
Test Zeleny	9	9	9	9	9	9
Wodochłonność mąki	9	9	9	9	9	9
Rozmiękczenie ciasta	7	8	9	9	9	9
Objętość chleba	4	3	3	3	3	3

A,B,C,D,E – czynniki agrotechniczne; 0, 1, 2 – poziom czynnika, patrz str. 42 , tab. 1

Przedstawiona klasyfikacja jakościowa ziarna pszenicy liniowej odmiany Artist wykazała, że bardziej korzystniejszy dla jakości technologicznej surowca był sezon wegetacyjny 2017–2018, w którym otrzymane wartości ocenianych parametrów ziarna, mąki, ciasta i chleba były znacznie wyższe niż w pierwszym cyklu badań. Znamienne jest, że spośród

porównywanych wariantów technologii najwyższą jakość surowca (klasa B – chlebowa) uzyskano stosując technologię I o najniższych nakładach, która dopuszczała siew opóźniony o 20 dni (15. października), najmniejsze zagęszczenie (200 ziaren·m^{-2}), niską dawkę azotu (90 kg N·ha^{-1}) oraz ochronę przeciwgrzybową składającą się tylko z zaprawiania ziarna. Surowiec pozyskany z pozostałych ocenianych technologii był nieznacznie gorszy, nie spełniał jednak wymagań technologicznych i został zaliczony do grupy jakościowej C – paszowej, głównie na skutek uzyskania niezadawalającej objętości chleba (tab. 32).

4.8.2 Pszenica mieszańcowa odmiana Hybery

Ocena jakościowa ziarna pszenicy mieszańcowej Hybery była różnicowana głównie przez warunki pogodowe (tab. 33). W żadnym z dwóch badanych sezonów wegetacyjnych, niezależnie od intensywności technologii nie uzyskano surowca dobrego pod względem technologicznym. Uzyskane parametry jakościowe zawsze klasyfikowały surowiec pszenicy mieszańcowej do grupy C – paszowej.

Zbiór ziarna pszenicy ozimej mieszańcowej Hybery z sezonu 2016–17 okazał się mniej korzystny dla jakości otrzymanego surowca, głównie ze względu na niską zawartość białka w ziarnie, a także zbyt niskie wartości objętości chleba, co dyskwalifikowało ziarno do produkcji mąki na cele chlebowe.

W pierwszym oraz w drugim cyklu badań najwyższą jakość surowca otrzymano stosując technologię III o niskim poziomie nakładów, w której pszenicę mieszańcową siano w najbardziej opóźnionym terminie (10. lub 15. września) o najmniejszej gęstości (200 ziaren·m^{-2}), nawożono dawką azotu na poziomie 180 kg N·ha^{-1} oraz chroniono przed patogenami grzybowymi zaprawiając ziarno. Pozostałe technologie, niezależnie od intensywności nakładów charakteryzowały się otrzymaniem surowca o słabszych parametrach jakościowych. Zastosowanie w obu sezonach wegetacji I i II wariantu technologii charakteryzujących się odpowiednio siewem opóźnionym o 10 lub 20 dni o najrzadszym siewie (200 ziaren·m^{-2}), dawką azotu na niskim poziomie (90 kg N·ha^{-1}) oraz najwyższym (zaprawianie ziarna + 2 zabiegi fungicydem) i najniższym (zaprawianie ziarna) poziomem ochrony - skutkowało otrzymaniem surowca o najgorszej jakości technologicznej (tab. 33).

Tab. 33. Klasyfikacja jakościowa ziarna odmiany Hybery według wymagań granicznych dla grupowania odmian pszenicy ozimej w zależności od wybranych technologii i lat badań (Klockiewicz-Kamińska i Brzeziński 1997, Najewski 2021)

Wyszczególnienie	Czynniki agrotechniczne i ich poziom					
	$A_1B_1C_0D_0E_2$	$A_1B_2C_0D_0E_0$	$A_1B_0C_0D_2E_0$	$A_1B_0C_1D_2E_1$	$A_1B_1C_2D_1E_2$	$A_1B_2C_2D_0E_2$
Technologie	grupa plonów małych (niższy poziom nakładów)			grupa plonów dużych (wyższy poziom nakładów)		
	I	II	III	IV	V	VI
	rok zbioru 2017					
Grupa jakościowa	C	C	C	C	C	C
Liczba opadania	4	4	6	6	5	4
Zawartość białka	1	1	1	1	1	1
Test Zeleny	3	3	5	5	4	3
Wodochłonność mąki	4	5	8	6	6	5
Rozmiękczenie ciasta	7	8	9	8	7	8
Objętość chleba	2	2	2	2	2	2
	rok zbioru 2018					
Grupa jakościowa	C	C	C	C	C	C
Liczba opadania	5	4	6	5	5	6
Zawartość białka	3	2	8	7	5	6
Test Zeleny	5	5	5	7	5	6
Wodochłonność mąki	7	8	9	9	8	9
Rozmiękczenie ciasta	7	7	9	9	7	5
Objętość chleba	3	3	3	3	3	3

A,B,C,D,E – czynniki agrotechniczne; 0, 1, 2 – poziom czynnika, patrz str. 42 , tab. 1

4.9 Ekonomiczna efektywność produkcji ziarna wybranych technologii

4.9.1. Pszenica liniowa odmiana Artist

Analiza ekonomiczna produkcji ziarna pszenicy ozimej liniowej odmiany Artis wykazała, że koszty ogółem w technologiach gwarantujących duże plony kształtowały się na poziomie od 2 739 do 3 364 zł·ha^{-1}, natomiast w technologiach o niskich plonach były niższe i wahały się od 2 310 do 2 576 zł·ha^{-1} (tab. 34). Z porównywanych technologii, w strukturze kosztów, analizowanych według ich źródeł, największy udział stanowiły koszty materiałowe, spośród których w technologiach o dużych plonach (I – III) najwięcej pochłaniały nawozy mineralne (31 – 43%) oraz środki ochrony roślin (7 – 18%). Materiał siewny stanowił w tych kosztach od 10 do 11% całkowitych kosztów produkcji. W technologiach o niskich plonach

(IV – VI) nawozy mineralne stanowiły również największy koszt materiałowy (34 – 38%), Udział środków ochrony roślin i materiału siewnego był podobny i wynosił odpowiednio 8 – 14% i 8 – 12%.

Tab. 34. Koszty produkcji ziarna pszenicy ozimej liniowej odmiany Artist (A_0) (średnio z 3 lat)

Wyszczególnienie	Czynnik technologii	Technologie produkcji											
		grupa plonów dużych						grupa plonów małych					
		I		II		III		IV		V		VI	
	A	0		0		0		0		0		0	
	B	1		1		1		1		0		0	
	C	1		2		1		0		1		0	
	D	1		2		0		0		0		0	
	E	0		2		2		1		1		0	
		zł	%	zł	%	zł	%	zł	%	zł	%	zł	%
Koszty produkcji ogółem zł·ha^{-1}, %		2739	100	3364	100	2767	100	2478	100	2576	100	2310	100
		według operacji agrotechnicznych											
Uprawa roli		574	21	574	17	574	20	574	22	574	21	574	24
Siew		496	18	595	18	496	18	398	16	496	20	398	18
Nawożenie NPK		1215	44	1375	41	904	33	904	37	904	35	904	40
Regulacja zachwaszczenia		138	5	138	4	138	5	138	6	138	5	138	6
Regulacja wzrostu		78	3	78	2	78	3	78	3	78	3	78	3
Ochrona przed chorobami		-	-	366	11	366	13	168	7	168	7	-	-
Ochrona przed szkodnikami		30	1	30	1	30	1	30	1	30	1	30	1
Zbiór i transport ziarna		208	8	208	6	208	7	188	8	188	8	188	8
		według źródeł kosztów											
Siła robocza		38	1	40	1	39	1	37	2	37	1	36	2
Ciągniki i maszyny		680	24	699	21	684	25	664	27	664	26	652	28
Nośniki energii		365	13	373	11	368	13	352	14	352	14	347	15
Materiały w tym:		1656	62	2252	67	1676	61	1425	57	1523	59	1275	55
- materiał siewny		296	11	395	11	296	10	198	8	296	12	198	9
- nawozy w tym:		1185	43	1335	40	885	32	885	36	885	34	885	38
- azot		750	27	900	27	450	16	450	18	450	18	450	20
- środki ochrony roślin w tym:		192	7	522	15	855	18	342	14	342	13	342	8
- fungicydy		0	0	330	9	330	12	150	6	150	6	0	0

Spośród pozostałych źródeł kosztów w technologiach o dużych plonach kosztowna okazała się eksploatacja ciągników i maszyn osiągając udział na poziomie od 21 do 23%. W technologiach o niskich plonach ich udział w kosztach był nieco wyższy i wahał się od 26 do 28% całkowitych kosztów produkcji. Procentowy udział kosztów siły roboczej i nośników energii, niezależnie od zastosowanych technologii, był zbliżony i wynosił odpowiednio 1 – 2% i 11 – 15% (tab. 34).

Tab. 35. Ekonomiczne wyróżniki wybranych technologii produkcji ziarna pszenicy ozimej liniowej odmiany Artist (A_0) (średnia z 3 lat)

Wyszczególnienie	Czynnik technologii	Technologie produkcji					
		grupa plonów dużych			grupa plonów małych		
		I	II	III	IV	V	VI
	A	0	0	0	0	0	0
	B	1	1	1	1	0	0
	C	1	2	1	0	1	0
	D	1	2	0	0	0	0
	E	0	2	2	1	1	0
Wartość produkcji (zł·ha^{-1})		9335	9219	8799	7119	7035	6825
Koszty produkcji (zł·ha^{-1})		2739	3364	2767	2478	2576	2310
Dochód z działalności bez dopłat (zł·ha^{-1})		6596	5855	6032	4641	4459	4515
Koszt produkcji 1 t ziarna (zł)		308	383	330	366	385	355
Wskaźnik opłacalności (%)		340	274	317	287	273	295

Sprzedaż surowca technologicznego ustalona na podstawie średnich cen giełdowych pochodzących z IV kwartału 2021 roku na poziomie 1 050 zł za 1 Mg ziarna gwarantowała, niezależnie od zastosowanej technologii, opłacalność produkcji pszenicy (tab. 35). Zastosowanie technologii gwarantujących wysokie plony zapewniło średnio o 35% wyższy dochód z produkcji ziarna w porównaniu do technologii zapewniającej plony małe. Tak więc przyrost kosztów produkcji, który wynikał z większej intensywności technologii w niektórych ogniwach agrotechniki był ekonomicznie uzasadniony. Najwyższy dochód z działalności obejmujący produkcję ziarna osiągnięto w technologii I (6 596 zł·ha^{-1}), w której zastosowano siew opóźniony o 10 dni (30 września lub 5 listopada) (B_1) o średniej gęstości (300 ziaren·m^{-2}) (C_1), średnim poziomie nawożenia azotem (150 kg N·ha^{-1}) (D_1) oraz niskiej ochronie przeciwgrzybowej za pomocą zaprawiania ziarna (E_1). Technologia ta charakteryzowała się najniższym kosztem produkcji 1 Mg ziarna, który ukształtował się na poziomie 308 zł. Duży

dochód osiągnęły także pozostałe technologie (II i III) o dużych plonach, który był jednak mniejszy od wariantu technologii I średnio o 10 %. W analizowanych technologiach notowano również wzrost kosztów produkcji jednego megagrama ziarna do poziomu 330 – 385 zł.

Technologia I charakteryzowała się najwyższym współczynnikiem opłacalności produkcji, który osiągnął poziom 340% przy współczynniku 274 i 317, odpowiednio w technologiach II i III.

W porównywanych technologiach o małych plonach największy dochód zapewniała technologia IV (4 641 zł·ha^{-1}), która zakładała siew opóźniony o 10 dni (30. września lub 5. października) (B_1), dużą gęstość siewu (400 ziaren·m^{-2}) (C_1), najniższe nawożenie azotem (90 kg N·ha^{-1}) (D_0) i ochronę przeciwgrzybową składającą się z zaprawiania materiału siewnego i jednego zabiegu fungicydem w czasie wegetacji (E_1). Ekonomicznie najmniej korzystną okazała się technologia V, w której osiągnięto najniższy dochód z produkcji ziarna (4 459 zł·ha^{-1}), największe koszty jednostkowe produkcji jednego megagrama ziarna (385 zł) oraz najniższy wskaźnik opłacalności produkcji (273%). Najkorzystniejszą sprawność ekonomiczną oraz najmniejszy koszt jednostkowy produkcji ziarna pszenicy uzyskano w technologii VI, w której wszystkie badane agroczynniki były na poziomie niskim (tab. 35)

4.9.2 Pszenica mieszańcowa odmiana Hybery

Wyodrębnione technologie uprawy pszenicy mieszańcowej Hybery o dużych plonach generowały koszty ogółem na poziomie od 4 125 do 4 703 zł·ha^{-1}, na technologie o małych plonach wydatkowano od 3 436 do 3 907 zł·ha^{-1} (tab. 36). Były to koszty jednak znacznie wyższe (średnio o 51%) w stosunku do wybranych technologii uprawy pszenicy liniowej Artist.

W strukturze kosztów technologii o dużych plonach według ich źródeł, nakłady na materiały stanowiły 73–76%. Największy w nich udział stanowił materiał siewny (od 27% do 38%) oraz nawozy (od 26% do 32%). Koszty środków ochrony roślin w tych technologiach były stosunkowo niskie i kształtowały się na poziomie 11–13%. Struktura pozostałych kosztów w grupie technologii o dużych plonach analizowana według źródeł ich powstawania była następująca: ciągniki i maszyny 15–17%, nośniki energii 8–9%, a koszty siły roboczej osiągnęły poziom 1% całkowitych kosztów produkcji (tab. 36).

W wariantach technologii o małych plonach koszty zakupu materiałów osiągnęły poziom od 69–73% całkowitych kosztów produkcji. Największy udział w tych kosztach miał materiał siewny (30–34%) i nawozy (26–36%). Znaczący udział w strukturze kosztów wg ich źródeł stanowiła eksploatacja ciągników i maszyn (od 17 do 20%). Nakłady poniesione na

nośniki energii utrzymywały się na zbliżonym poziomie (około 9–10%), natomiast udział siły roboczej we wszystkich sposobach uprawy osiągnął jednakowy poziom (1%).

Tab. 36. Koszty produkcji ziarna pszenicy ozimej mieszańcowej odmiany Hybery (A_1) (średnia z 3 lat)

Wyszczególnienie	Czynnik technologii	Technologie produkcji											
		grupa plonów dużych						grupa plonów małych					
		I		II		III		IV		V		VI	
	A	1		1		1		1		1		1	
	B	2		1		2		1		0		0	
	C	1		1		0		0		0		0	
	D	1		2		2		2		2		0	
	E	2		2		2		1		0		1	
		zł	%	zł	%	zł	%	zł	%	zł	%	zł	%
Koszty produkcji ogółem zł·ha^{-1}, %		4543	100	4703	100	4125	100	3907	100	3739	100	3436	100
		według operacji agrotechnicznych											
Uprawa roli		574	12	574	12	574	14	574	15	574	15	574	17
Siew		1934	42	1934	41	1356	33	1356	34	1356	36	1356	40
Nawożenie NPK		1215	28	1375	29	1375	33	1375	35	1375	37	904	26
Regulacja zachwaszczenia		138	3	138	3	138	3	138	4	138	4	138	4
Regulacja wzrostu		78	2	78	2	78	2	78	2	78	2	78	2
Ochrona przed chorobami		366	8	366	8	366	9	168	4	-	-	168	5
Ochrona przed szkodnikami		30	0,5	30	0,5	30	1	30	1	30	1	30	1
Zbiór i transport ziarna		208	4,5	208	4,5	208	5	188	5	188	5	188	5
		według źródeł kosztów											
Siła robocza		39	1	40	1	40	1	38	1	37	1	37	1
Ciągniki i maszyny		691	15	699	15	699	17	678	17	667	18	665	20
Nośniki energii		370	8	373	8	373	9	357	9	352	9	352	10
Materiały w tym:		3443	76	3591	76	3013	73	2834	73	2683	72	2382	69
- materiał siewny		1734	38	1734	37	1156	28	1156	30	1156	31	1156	34
- nawozy w tym:		1185	26	1335	28	1335	32	1335	34	1335	36	885	26
- azot		750	17	900	19	900	22	900	23	900	24	450	13
- środki ochrony roślin w tym:		522	12	522	11	522	13	342	9	192	5	342	10
- fungicydy		330	7	330	7	330	8	150	4	0	0	150	4

W technologiach o dużych plonach największy dochód z produkcji (5 821 zł·ha^{-1}) zapewniał wariant technologii I oparty na siewie 20. lub 25. września (B_2) o średniej gęstości wysiewu (300 ziaren·m^{-2} – C_1), nawożeniu azotem w dawce 150 kg N·ha^{-1} (D_1) oraz na wysokim poziomie ochrony przeciwgrzybowej obejmującej zaprawianie ziarna i 2 zabiegi fungicydem w okresie wegetacji (E_2). Nieznacznie niższym dochodem (mniejszy tylko o 3%) charakteryzowała się technologia III, która obejmowała optymalny termin siewu (20 września - B_2) niską gęstość wysiewu (200 ziaren·m^{-2} – C_0), nawożenie azotem dużą dawką (180 kg N·ha^{-1} – D_2) oraz dwuzabiegową ochronę fungicydową + zaprawianie ziarna (E_2).Wariant ten gwarantował także najmniejsze koszty jednostkowe produkcji ziarna (444 zł·t^{-1}), a także najwyższy wskaźnik opłacalności produkcji na poziomie 236% (tab. 37).

Tab. 37. Ekonomiczne wyróżniki wybranych technologii produkcji ziarna pszenicy ozimej mieszańcowej odmiany Hybery (A_1) (średnia z 3 lat)

Wyszczególnienie	Czynnik technologii	Technologie produkcji					
		grupa plonów dużych			grupa plonów małych		
		I	II	III	IV	V	VI
	A	1	1	1	1	1	1
	B	2	1	2	1	0	0
	C	1	1	0	0	0	0
	D	1	2	2	2	2	0
	E	2	2	2	1	0	1
Wartość produkcji (zł·ha^{-1})		10364	10049	9765	7802	7424	6993
Koszty produkcji (zł·ha^{-1})		4543	4703	4125	3907	3739	3436
Dochód z działalności bez dopłat (zł·ha^{-1})		5821	5346	5640	3895	3685	3557
Koszt produkcji 1 t ziarna (zł·ha^{-1})		460	491	444	526	529	516
Wskaźnik opłacalności (%)		228	213	236	199	198	203

Technologie uprawy mieszańca Hybery w grupie plonów małych zapewniały dochód z produkcji na poziomie od 3 557 do 3 895 zł·ha^{-1}, czyli średnio o 34% mniejsze w stosunku do technologii o dużych plonach (tab. 37). Spośród technologii o małych plonach najbardziej dochodowa (3 895 zł·ha^{-1}) okazała się technologia IV, bazująca na siewie 30 września lub 5 października (B_1), zagęszczeniu 200 ziaren·m^{-2} (C_0) oraz wysokim nawożeniu azotem (180 kg N·ha^{-1} – D_2) i średnim poziomie ochrony fungicydowej (zaprawianie + jeden zabieg w czasie wegetacji – E_1). Technologie o małych plonach w porównaniu do technologii o dużych plonach

charakteryzowały się wyższym średnio o 13% kosztem jednostkowym produkcji ziarna oraz mniejszym średnio o 13% wskaźnikiem opłacalności produkcji ziarna (tab. 37).

Uzyskany dochód z produkcji mieszańca Hybery według grupy wydajnych technologii był jednak o 559 zł·ha^{-1} (czyli o 9%) mniejszy od analogicznych technologii uprawy pszenicy liniowej Artist. We wzajemnych odniesieniach obu odmian pszenicy ozimej produkowanych według technologii zapewniających małe plony – różnica w dochodzie była większa i wyniosła 826 zł·ha^{-1}, co stanowiło około 18%. Warto też nadmienić, że koszt produkcji 1 tony ziarna oraz wskaźnik opłacalności były u pszenicy mieszańcowej średnio o około 28% mniej korzystne niż w uprawie pszenicy liniowej.

5. DYSKUSJA

Wybór odmiany dostosowanej do określonych warunków siedliskowo-klimatycznych stanowi podstawę wysokich i stabilnych plonów pszenicy ozimej (Laidig i in. 2014). W badaniach własnych prowadzonych w latach 2016 – 2019 na kulturalnych glebach kompleksu pszennego dobrego, w warunkach agroekologicznych Bałcyn ujawniły się wysokie możliwości plonowania pszenicy ozimej testowanych odmian (liniowej Artist i mieszańcowej Hybery). Pomimo zróżnicowanych warunków pogodowych uzyskano średni plon ziarna na poziomie 7,91 Mg ha^{-1}, który był o 69% wyższy, od średniego plonu uzyskanego w produkcji krajowej za te same lata (Rynek zbóż 2021). Na dobrej glebie kompleksu pszennego wyżej plonowała mieszańcowa odmiana Hybery. Różnica w plonie w porównaniu do liniowej odmiany Artist wynosiła 5,9%. Podobny poziom heterozji dla odmiany Hybery uzyskali Janczak-Pieniążek i in. (2020a) oraz Prey i in. (2019a,b) podczas testowania różnych odmian mieszańcowych w stosunku do liniowych, a ponad dwie dekady wcześniej analogiczny wynik odnotował także Bodson i in. (1997). W innych badaniach przeprowadzonych w 11 regionach Chin, testowane mieszańce pszenicy (1 604 odmiany) przewyższały plony linii rodzicielskich (135 odmian), średnio o 10% (Jiang i in. 2017). Na wyższy wynik heterozji na poziomie od 10 do 15% wskazują opracowania Perenzin i in. (1998) oraz badania przeprowadzone przez Thorwarth i in. (2018) w warunkach klimatycznych Niemiec podczas testowania nowych odmian mieszańcowych. W warunkach indyjskich pszenica mieszańcowa plonowała wyżej nawet o 26% (Matuschke i in. 2007). Mniejsze przyrosty plonu odmian mieszańcowych uzyskuje się najczęściej w sprzyjających warunkach wzrostu (Morgan i in. 1989; Bodson i in. 2001; Kindred i Gooding 2005; Noorka i in. 2013), a większe w warunkach ich uprawy w siedliskach

dotkniętych suszą (Jordaan 1996; Longin i in. 2013; Noorka i in. 2013). Doświadczenia wykonane na terenie Polski południowej wykazały średni przyrost plonu odmian mieszańcowych w stosunku do liniowych na poziomie 2,8–4,6 % (Buczek i Bobrecka Jamro 2015; Jańczak-Pieniążek i in. 2020b) do 9,3–12% (Buczek i in. 2016; Jańczak-Pieniążek i in. 2022), a nawet 14% w przypadku odmian reprezentujących wysoki potencjał plonowania (Jańczak-Pieniążek i in. 2020a). Podobny wzrost wydajności mieszańców w zakresie od 3,5 do 15% wykazał Whitford i in. (2013) oraz Singh i in. (2015). Z porównań Krajowego Porejestrowego Doświadczalnictwa Odmianowego, pochodzących z lat 2017–2019, testowane odmiany Artist i Hybery, czyli takie same jak w badaniach własnych, plonowały w warunkach przeciętnego jak i wysokiego poziomu agrotechniki na bardzo zbliżonym poziomie (różnice nie przekraczały 1%) (Najewska i in. 2019). Zmienność plonu porównywanych odmian (liniowa Artist i mieszańcowa Hybery) w badaniach PDO była podobna, co jest zgodne z wynikami badań własnych, a także tych przedstawionych przez Bruns i Peterson (1998), Koemel i in. (2004) oraz Jańczak-Pieniążek i in. (2020b). Nie potwierdzono w tym względzie zatem wyników innych badań świadczących o większej stabilności plonowania odmian mieszańcowych w stosunku do linii rodzicielskich (Mühleisen i in. 2014; Longing i in. 2012; Whitford i in. 2013; Macholdt i Honermeier 2017). Dlatego ocena trendu stabilności plonu pszenicy ozimej mieszańcowej nadal wymaga dalszych badań.

W badaniach własnych większą wydajność ziarna mieszańca uzyskano pod wpływem nieco większej liczby kłosów na jednostce powierzchni i liczby ziaren w kłosie przy niższej masie 1000 ziaren. Uzyskanie korzystniejszej liczby ziaren w kłosie uzasadniały także konkurencję mieszańców w plonie w badaniach przeprowadzonych przez innych autorów (Mahajan i in. 1999; Kindred i Gooding 2005; Prey 2019a). Na większą masę ziaren z kłosa, a także masę 1000 ziaren odmian mieszańcowych pszenicy w porównaniu do liniowych wskazują również badania przeprowadzone przez Jańczak-Pieniążek (2019). Są także opracowania w których wyższe plonowanie mieszańców bardzo często nie można przypisać konsekwentnej zmianie tylko jednej składowej plonu (Bodson i in. 1997; Singh i in. 2010; Prey i in. 2019a).

Reasumując należy podkreślić, że otrzymane obecnie przyrosty plonów ziarna pszenicy mieszańcowej w badaniach własnych, a także innych autorów są porównywalne z wynikami starszych i nowszych badań, co wskazuje, że postęp w hodowli odmian liniowych w okresie ostatnich dwóch dekad był w stanie nadążyć za podjętymi próbami do wzmocnienia efektu plonowania odmian mieszańcowych.

Termin siewu pszenicy ozimej to ważny beznakładowy agroczynnik wpływający na plon i stabilność plonowania tego gatunku (Pisarek i in. 2013a; Oleksiak 2014; Macholdt i Honermeier 2017; Budzyński i in. 2018; Prey i in. 2019b). Wchodzi on w interakcję z układem warunków klimatycznych, które decydują o przezimowaniu roślin jako warunku produkcyjności oraz determinują rozwój głównych elementów składowych plonu (Budzyński 2012). W północno-wschodniej Polsce wysoce plonotwórcze są zasiewy wykonane do 20 września, natomiast w innych regionach naszego kraju można je opóźniać do końca tego miesiąca, a najdalej do 5 października. Reakcja pszenicy ozimej na termin siewu może być cechą odmianową przy dużym udziale czynnika pogodowego, dlatego powtarzalność wyników na przestrzeni lat może być niska lub w ogóle nie występować (Budzyński 2012), co jest zgodne z wynikami badań własnych.

Wyniki prezentowanych badań potwierdziły znaną zasadę, że pszenica ozima posiana w Polsce w październiku wyraźnie obniża plon ziarna (Dubis i Budzyński 2006; Weber i Biskupski 2007; Szumiło i Rachoń 2008; Podolska i Wyzińska 2011b; Budzyński 2012; Pisarek i in. 2013a; Oleksiak 2014). W niniejszych badaniach średnia wydajność uzyskana z uprawy dwóch odmian pszenicy ozimej (mieszańcowa, liniowa) z siewu wykonanego 10. lub 15. października była o 0,58 Mg (o 6,1%) mniejsza od uzyskanego z obiektów obsiewanych w drugiej dekadzie września lub ewentualnie na początku października. Otrzymana różnica w wartości plonu ziarna w zależności od terminu siewu nie dała się jednak statystycznie udowodnić. Słabą reakcję w plonie pszenicy zwyczajnej, orkiszu i pszenicy durum na 20 dniowe opóźnienie siewu w warunkach tego samego regionu Polski co przeprowadzony eksperyment badań własnych, uzyskał także Budzyński i in. (2018). Małe różnice w wydajności pszenicy ozimej na poziomie od 0,9 do 4,7%, pod wpływem opóźnienia siewu, w warunkach pól produkcyjnych gospodarstw rolnych naszego kraju, otrzymał również Oleksiak (2014). Taką reakcję badacz uzasadnił poprawną agrotechniką, w tym uprawę tego gatunku po dobrych przedplonach rekompensujących duże straty w plonie (Oleksiak 2014). Brak znaczącej reakcji na 15 dniowe opóźnienie siewu pszenicy zwyczajnej uzyskano także na obszarze północnych Chin (Dai i in. 2017). Reakcja pszenicy ozimej uprawianej w Polsce środkowej i południowej na 14 dniowe opóźnienie siewu w porównaniu do optymalnego skutkowała obniżką plonu o 15–17% (Szumiło i Rachoń 2008; Podolska i Wyzińska 2011b; Pisarek i in. 2013a), a dalsze opóźnienie o kolejne 2 tygodnie aż o 31% (Podolska i Wyzińska 2011b). Wyraźne spadki plonu (o 21%) na opóźnienie siewu o 30 dni otrzymano także w warunkach wschodniego wybrzeża Chin (Baloch i in. 2010). Badania przeprowadzone w Pakistanie wykazały, że pszenica ozima

na 10–20 dniowe opóźnienie siewu zmniejszyła plon o 7–12% (Sun i in. 2007; Ali i in. 2010). W eksperymentach (Prey i in. 2019b) przeprowadzonych na terenie południowo-wschodnich Niemiec testowane odmiany mieszańcowe i liniowe pszenicy ozimej plonowały korzystniej, gdy zostały wysiane 28 września, a ich wysiew 23 października obniżył plon średnio o 7,1%, co jest zgodne z wynikami badań własnych.

W niniejszych badaniach wykazano interakcję lat z terminem siewu i odmianą. W uprawie mieszańcowej odmiany Hybery najkorzystniejsze dla plonowania w każdym sezonie wegetacyjnym były zawsze siewy stosowane w terminie optymalnym lub opóźnionym o 10 dni, w przypadku liniowej odmiany Artist termin siewu nie różnicował wydajności w zależności od pory siewu. Na istotne współdziałanie między terminem siewu, genotypem i warunkami pogodowymi wskazują także inne badania (Sun i in. 2007; Ali i in. 2010; Baloch i in. 2010; Budzyński 2012; Pisarek i in. 2013a; Podolska i Wyzińska 2011b; Dai i in. 2017).

Gęstość siewu jest ważnym czynnikiem wpływającym na wzrost i plonowanie pszenicy (Hiltbrunner i in. 2007; Budzyński 2012; Hochman i Horan 2018; Jaenisch i in. 2019; Lollato i in. 2019). Zbyt mała ilość wysiewu może zmniejszyć efektywność wykorzystania dostępnych zasobów siedliska (Lollato i in. 2019; Fischer i in. 2019), czego efektem może być zmniejszona wydajność, a także końcowy zysk (Whaley i in. 2000). Z kolei zbyt duża ilość wysiewu zwiększa koszty produkcji i może potencjalnie obniżyć plon ze względu na zwiększoną konkurencję między roślinami w pobieraniu składników pokarmowych (Park i in. 2003), większe ich wyleganie, a także większą presję ze strony agrofagów (Lloveras i in. 2004; Laghari i in. 2011). Biorąc pod uwagę zróżnicowanie genetyczne odmian pszenicy pod względem wielkości plonu, konieczne jest zbadanie ich reakcji w szerokim zakresie gęstości siewu w celu określenia optymalnej ilości wysiewu (Wiersma 2002; Lloveras i in. 2004; Barbieri i in. 2013; Kondić i in. 2017).

Badania własne wykazały istotny wpływ gęstości siewu na plon ziarna testowanych odmian pszenicy ozimej, co jest zgodne z wynikami uzyskanymi przez Hiltbrunner i in. (2007), Buczek i Bobrecką-Jamro (2015) oraz Kondić i in. (2017). Według innych autorów (Ahmadi i in. 2011; Gross i in. 2012; Teixeira Filho i in. 2008; Sander i in. 2017; Budzyński i in. 2018; El-Metwally i in. 2018) gęstość siewu nie różnicuje plonu ziarna pszenicy ozimej. W niniejszych badaniach najrzadszy siew (200 ziaren·m^{-2}) był najmniej produktywny, a istotny przyrost plonu ziarna obu odmian pszenic następował po siewie o gęstości 300 ziaren·m^{-2}. Podobne zależności uzyskali Buczek i Bobrecka-Jamro (2015), w których wydajność odmian

mieszańcowych i liniowych pszenicy ozimej zwiększyła się wraz ze wzrostem zagęszczenia siewu, odpowiednio ze 120 do 220 ziaren·m^{-2} i z 300 do 400 ziaren·m^{-2}.

Gęstość siewu pszenicy ozimej powinna być dostosowana do określonych regionów uprawy ze względu na zróżnicowane warunki siedliskowe i pogodowe (Luo i in. 2011; Kondić i in. 2017). Badania Lloveras i in. (2004) wykazały, że zalecane gęstości siewu w Belgii i północnej Francji wynoszą 200 ziaren·m^{-2}, natomiast w Stanach Zjednoczonych wahają się od 67 ziaren·m^{-2} w warunkach suchych równin lądowych do 400 ziaren·m^{-2} we wschodnich regionach Ameryki Północnej. Najszerzej zalecany w USA jest jednak siew pszenicy o gęstości 200 ziaren·m^{-2}, który może zostać zwiększony o 50% podczas jej uprawy w systemie nawadnianym. Na obszarach wilgotnej Słowenii dla różnych genotypów pszenicy ozimej wysiewanych w optymalnym terminie siewu możliwe jest stosowanie mniej niż 500 ziaren·m^{-2} w porównaniu z zalecaną gęstością siewu dla tego regionu na poziomie od 600 do 800 ziaren·m^{-2} (Bavec i in. 2002). W warunkach klimatycznych Serbii najwyższe plony ziarna uzyskuje się podczas siewu o gęstości od 500 do 600 ziaren·m^{-2} (Bokan i Malešević 2004; Acin 2016), a w sytuacji, gdy siewy są opóźnione zagęszczenie wysiewu może wzrosnąć do nawet 700 ziaren·m^{-2} (Aćin 2016). Na potrzebę zwiększenia gęstości wysiewu związanych z opóźnionymi terminami siewu, które powodują skrócenie okresu wegetacji, a także ograniczony wzrost i produkcję pędów podczas procesu krzewienia, wskazują badania Dahlke i in. (1993); Staggenborg i in. (2003) i Lloveras i in. (2004). Nasze wyniki badań nie potwierdziły zależności gęstości siewu od terminu siewu (brak interakcji) na którą wskazuje doświadczenie wykonane przez Kristó i in. (2007). W badaniach Qu i in. (2009) zabiegi o średniej (225 ziaren·m^{-2}) i małej (150 ziaren·m^{-2}) gęstości z optymalnym terminem siewu oraz średniej (225 ziaren·m^{-2}) i dużej (300 ziaren·m^{-2}) gęstości z późnym terminem siewu wpłynęły istotnie korzystnie na plon ziarna pszenicy ozimej.

W badaniach krajowych przeprowadzonych przez Podolską i Wyzińską (2011b) nad wpływem gęstości siewu w uprawie pszenicy ozimej wynika, że najkorzystniejszy plonotwórczo był siew w zagęszczeniu 300 ziaren·m^{-2}, co jest zgodne z ustaleniami badań własnych. Dubis i Budzyński (2006) wykazali, że wysokie plony pszenicy ozimej, w latach o przeciętnych warunkach wilgotnościowych lub posusznej wiosny, zapewniają siewy gęste (od 480 do 600 ziaren·m^{-2}), a jedynie w przypadku wilgotnej wiosny mogą być one rzadsze (od 120 do 240 ziaren·m^{-2}) ze względu na intensywne krzewienie roślin, co wpływa korzystnie na wydajność. Również inne wyniki sugerują, że niższe ilości wysiewu mogą być odpowiednie w dobrych warunkach wzrostu (Lloveras i in. 2004).

Gęstość siewu to czynnik który modeluje bezpośrednio liczbę kłosów produktywnych na jednostce powierzchni, czyli najważniejszy komponent struktury plonu, przekładający się bezpośrednio na jego wielkość (Podolska i Wyzińska 2011b; Budzyński 2012). Uprawa pszenicy w siewie o małej gęstości charakteryzuje ogólnie mniejsza liczba kłosów wysoce produktywnych (Valerio i in. 2009) przy zwiększonym udziale źdźbeł kłosonośnych o zmniejszonej produktywności wytwarzających w kłosie mniejsze ziarniaki o mniejszej ich masie (Baloch i in. 2010; Fernandes 2009). Taki układ wartości składowych plonu pszenicy prawdopodobnie jest spowodowany wysoką konkurencją między roślinami o zasoby środowiska podczas ich rozwoju (Sander i in. 2017). W przypadku wzrostu gęstości siewu obserwuje się zwiększenie liczby kłosów produktywnych pochodzących w większości z pędów głównych (Bavec i in. 2002; Bokan i Malešević 2004; Valerio i in. 2008; Fernandes 2009; Que i in. 2009; Kondić 2017). Na wzrost liczby kłosów, a ograniczenie liczby ziaren w kłosie i masy 1000 ziaren w warunkach zagęszczania siewu w uprawie różnych genotypów pszenic uzyskali Podolska i Wyzińska (2011b), Buczek i Bobrecka-Jamro (2015) oraz Sander i in. (2017). W niniejszych badaniach zastosowane gęstości siewu (200, 300, 400 ziaren·m^{-2}) nie różnicowały istotnie składowych plonu u każdej z badanych odmian pszenicy ozimej. Podobnie Tavares i in. (2014) nie stwierdzili różnic w masie ziarna pszenicy wysiewanej w zagęszczeniu od 150 do 450 ziaren·m^{-2}, a także Valerio i in. (2013), w których zróżnicowana gęstość siewu stosowana dla różnych genotypów pszenicy ozimej nie wpływała na liczbę ziaren w kłosie i masę 1000 ziaren. Słabej zależności dorodności ziarna od gęstości siewu dowodzą także inne opracowania (Donaldson i in. 2001; Lloveras i in. 2004; Hiltbrunner i in. 2005; Ozturk i in. 2006).

Kluczowym czynnikiem plonotwórczym w produkcji ziarna pszenicy jest dawka azotu (Fageria i in. 2008; Budzyński 2012; Basso i in. 2013; Olszewski i in. 2014; Prey i in. 2019a), której efektywność plonotwórcza zależy od współdziałania odmian z czynnikami agrotechnicznymi i siedliskowymi (Budzyński i in. 2004; Podolska i in. 2007; Harasim i Wesołowska Trojanowska 2010; Piekarczyk i in. 2011; Budzyński i in. 2018; Tsvey i in. 2021).

Badania własne nie potwierdziły interakcji odmiany z dawką azotu, wg której formy mieszańcowe reagują korzystniej w plonie na zmniejszone nawożenie tym składnikiem w porównaniu do dawek wyższych. Na taką reakcję wskazywały prace badawcze przeprowadzone przez Le Gouis i in. (2002), a także niektóre wyniki badań uzyskane przez Prey i in. (2019a) oraz Jańczak-Pieniążek i in. (2020b, 2022). Również Thorwarth i in. (2018) podaje, że pszenica mieszańcowa zapewnia wyższy plon ziarna niż odmiany liniowe przy tej

samej dawce azotu i regionu uprawy, co sprawia, że jest obiecująca dla zrównoważonego rolnictwa. Zwiększona efektywność wykorzystania azotu przez odmiany hybrydowe może być ich większą zaletą szczególnie podczas uprawy w warunkach niedoboru wilgoci w glebie (Prey i in. (2019a). Badania przeprowadzone przez Buczek i in. (2016) dowiodły jednakowej reakcji odmian liniowych i mieszańcowych na poziom nawożenia azotem, które zostały potwierdzone przez wyniki badań własnych, w których efekt zastosowanych dawek azotu był widoczny dopiero w zróżnicowanych warunkach pogodowych. Na mniejsze oddziaływanie nawożenia azotem, a większe genotypu i roku uprawy wskazują badania Svečnjak i in. (2013).

W niniejszym doświadczeniu zróżnicowanie wydajności badanych odmian pszenic (Artist i Hybery), w zależności od poziomu nawożenia azotem, było małe, statystycznie nieistotne. Bezwzględny przyrost plonu ziarna pod wpływem azotu następował do dawki 150 kg N ha^{-1}(statystycznie niepotwierdzony), a dalsze zwiększenie dawki azotu o 30 kg odbywało się już przy bardzo niskiej produktywności tego składnika. Potwierdzone zostały w ten sposób wyniki uzyskane przez Cacak-Pietrzak i in. (2005a), Harasim i Wesołowską-Trojanowską (2010) oraz Pisarek i in. (2013b), w których zastosowanie azotu w różnych dawkach nie różnicowało istotnie plonowania pszenicy ozimej. W literaturze dominują wyniki, w których pszenica niezależnie od typu odmiany reagowała przyrostem plonu do dawki 120 kg N·ha^{-1} (Podolska 2008; Abedi i in. 2011; Piekarczyk i in. 2011; Haile i in. 2012; Mandić i in. 2015; Rasmussen i in. 2015; Yi i in. 2015; Buczek i in. 2016; Rekaby i in. 2016; Zen El-Dein i Seif El-Nasr 2016; El-Temsah 2017; Solomon i Anjulo 2017; Walsh i in. 2018; Liu i in. 2019; Prey et al. 2019b; Elashry i in. 2020; Tsvey i in. 2021), a co najwyżej do poziomu 150 kg N ha^{-1} (Budzyński i in. 2004; Harasim i in. 2016; Budzyński i in. 2018). Niektóre wyniki badań uwzględniały korzystny wpływ na plon ziarna pszenicy ozimej zastosowania wyższych dawek azotu w przedziale 160–165 kg N·ha^{-1} (Budzyński i in. 2004; Kocoń 2005; Podolska i in. 2007), a nawet 200–240 kg N·ha^{-1}, w których stosowano technologie wysokonakładowe (Sieling i in. 2005; Shekoofa i Emam 2008).

Dotychczasowe badania z pszenicą mieszańcową dowodzą, że najwyższe plony ziarna uzyskuje się stosując nawożenie azotem w dawce od 50 kg N ha^{-1} (Buczek i in. 2017) do 120 kg N·ha^{-1} (Buczek i in. 2016; Prey i in. 2019b; Jańczak-Pieniążek i in. 2020a), a nawet 200 kg N ha^{-1} (Jańczak-Pieniążek i in. 2020b). Wysokie nawożenie azotem skutkuje najczęściej spadkiem efektywności pobierania tego składnika, które jest zależne od sposobu jego aplikacji i sezonu wegetacyjnego (Latshaw i in. 2016; Lammerts van Bueren i Struik 2017). Dlatego

strategie nawożenia azotem pszenicy powinny być tworzone na podstawie wyników badań uzyskanych w różnych środowiskach (Tsvey i in. 2021).

Bardzo ważnym elementem agrotechniki w uprawie pszenicy ozimej jest dostosowanie ochrony roślin do odmiany, ponieważ istnieje znaczący efekt interakcji odmiany, a stosowaniem fungicydów (Loyce i in. 2008, Jaenisch i in. 2019). W badaniach własnych, w warunkach małego nasilenia patogenami grzybowymi, najkorzystniejszą w kontekście uzyskanego plonu ziarna obu odmian pszenicy ozimej była ochrona przeciwgrzybowa przez zastosowanie zaprawy nasiennej i dwóch zabiegów fungicydowych w okresie wegetacji. Taki sposób ochrony wpływał jedynie nieistotnie na zwyżkę plonu ziarna pszenicy mieszańcowej Hybery (o 8%), który był podobny jak w uprawie pszenicy liniowej Artist (wzrost o 7%) (brak interakcji odmian z poziomem ochrony przed chorobami). Potwierdzone zostały w tym względzie rezultaty uzyskane przez Prey i in. (2019b), którzy stwierdzili, że na skutek intensywnego działania środków ochrony roślin (2 zabiegi fungicydem) średni wzrost plonu ziarna dla 3 odmian mieszańcowych i 3 odmian liniowych wyniósł 13,3%.

Niektóre badania dowodzą, że fungicydy mają mniejsze szanse na zwiększenie plonów ziarna pszenicy w chłodniejszym klimacie Europy (Olesen i in. 2003; Podolska 2008; Kulik i Pszczółkowska 2011). Zdaniem Olesen i in. (2003) w warunkach klimatycznych Danii pojedynczy zabieg fungicydem skutkuje wzrostem plonu ziarna pszenicy zwyczajnej o 6–7%. W Europie południowej (Włochy, Hiszpania) zabiegi fungicydowe zwiększyły plon ziarna pszenicy zwyczajnej o 8–15% (Cerón i Martel 2003; Scarpino i in. 2015). W Polsce zastosowanie jednego lub dwóch zabiegów fungicydowych spowodowało 4–5% wzrost plonów pszenicy zwyczajnej (Podolska 2008), natomiast w innych badaniach po wykonaniu dwóch oprysków uzyskano zwyżkę wydajności pszenicy ozimej odmiany Oliwin i Tonacji odpowiednio o 11,4 i 14,6% (Adamiak i in. 2009). W nowszych badaniach przeprowadzonych przez Budzyńskiego i in. (2018) ochrona dwuzabiegowa skutkowała wzrostem plonu ziarna o około 10–11% w uprawie pszenicy ozimej zwyczajnej i twardej oraz o 7% w przypadku zastosowania jej w pszenicy orkisz. Sawinska i Zawada (2009) udowodnili, że trzykrotne zastosowanie fungicydu w pszenicy ozimej odmiany Sukces pozwalało osiągnąć zwyżkę plonu na poziomie nawet 24,5%.

Z badań niektórych autorów wynika, że nasilenie występowania patogenów zostaje wzmocnione przy wyższych poziomach nawożenia azotem (Bancal i in. 2007; Fagard i in. 2014). W konsekwencji tego rzekomo szkodliwego efektu notuje się stagnację plonu ziarna w przypadku odmian liniowych, a wzrost wydajności w przypadku odmian mieszańcowych

średnio nawet o 0,5 $Mg \cdot ha^{-1}$, co może sugerować lepszą tolerancję mieszańców na stres biotyczny (Prey i in. 2019a). Nasze badania tego nie potwierdzają, co może być wynikiem zbyt niskiej presji patogenów w sezonach wegetacyjnych prowadzonego eksperymentu.

Efekt wzrostu plonu w niniejszych badaniach na skutek zastosowania fungicydów w okresie wegetacji związany był głównie z istotnie większą liczbą ziaren w kłosie, a także z uzyskaniem korzystniejszej ich dorodności, co potwierdza poprzednie ustalenia odnoszące się do zwiększania masy 1000 ziaren u różnych genotypów pszenic na skutek aplikacji środków (Puppala i in. 1998; Kelley 2001; Pisarek i in. 2013a; Batha i in. 2018; Prey i in. 2019b). Niektóre badania sugerują, że kontrola chorób liści i kłosa za pomocą fungicydów powoduje wtórny fizjologiczny efekt zazieleniania powierzchni liści, co wydłuża okres aktywnej fotosyntezy, następstwem czego notuje się zwiększoną dostępność asymilatów potrzebnych do wypełnienia ziarna (Bertelsen i in. 2001).

Jakość technologiczną ziarna pszenicy różnicuje czynnik genetyczny, czyli odmianowy (Gąsiorowski 2004; Podolska i in. 2007; Budzyński 2012, Jańczak-Pieniążek i in. 2019b, Buczek i in. 2020), które jak wykazały badania własne, a także wielu innych autorów była także modyfikowana przez warunki klimatyczne (Bahrman i in. 2004; Lloveras i in. 2004; Dupont i in. 2006; Erekul i Köhn 2006; Budzyński 2012; Nörnberg i in. 2015; Buczek i in. 2016, 2021; Jaskulska i in. 2018; Woźniak i Rachoń 2020). W niniejszych badaniach z porównywanych odmian pszenicy ozimej korzystniejsze wartości cech jakościowych otrzymano z ziarna i mąki liniowej odmiany Artist. Wyraźnie wyższa zawartość białka w ziarnie u tej odmiany skutkowała widoczną poprawą ilości i jakości kompleksu białkowego. Ziarno mieszańcowej odmiany Hybery cechowało się niekorzystnymi parametrami odnośnie zawartości białka i ilości glutenu, a także notowano pogorszenie niektórych cech reologicznych ciasta. W zasadzie wpływ każdego badanego czynnika agrotechnicznego na jakość surowca można uznać za mały, nieistotny. Spośród badanych czynników agrotechnicznych jedynie dawka azotu i termin siewu modyfikowały istotnie szklistości ziarna u odmiany mieszańcowej Hybery, a termin siewu u obu odmian (odmiennie - różnokierunkowo) różnicował statystycznie cechę rozmiękczenia ciasta. Zagadnienia związane z jakością surowca różnych genotypów pszenicy w zależności od czynników agrotechnicznych zostały przedstawione w wielu opracowaniach krajowych (Budzyński i in. 1995; Kościelniak i Rothkaehl 2000; Kinder i in. 2005; Sułek i Podolska 2008; Budzyński 2012; Dubis 2012; Jankowski i in. 2015; Buczek i in. 2017; Skrajda i in. 2017; Jańczak-Pieniążek i in. 2020b) i zagranicznych (Geleta i in. 2002; Olaru i in. 2008; Otteson i

in. 2008; Caglar i in. 2011, Ellmann 2011a; Zecewicz i in. 2014; Watson i in. 2010; Gooding 2017; Bhatta i in. 2018; Matzen i in. 2019; Simon i in. 2020).

Bardzo ważnym wyróżnikiem wartości przemiałowej określającej przydatność ziarna do celów młynarskich jest gęstość ziarna (Carson i Edwards 2009; Edwards 2010; Rozbicki i in. 2015; Guzman i in. 2016; Sanders i in. 2017). W badaniach własnych masa objętościowa otrzymana z ziarna testowanych odmian była taka sama i ukształtowała się na poziomie 78,1 $kg \cdot hl^{-1}$. Podobną lub wyższą masę objętościową trzech odmian mieszańcowych w porównaniu do liniowej uzyskała Jańczak-Pieniążek i in. (2020b). Na małe zróżnicowanie gęstości ziarna pszenic liniowych (79,1 – 80,2 $kg \cdot hl^{-1}$) wskazują badania Stępniewskiej i Słowik (2016) oraz Cacak-Pietrzak i Gondek (2010) (76,6 - 78,6 $kg \cdot hl^{-1}$), a w uprawie odmiany Tonacja (77,7 $kg \cdot hl^{-1}$) Rachoń i in. (2011). Opracowanie Budzyńskiego (2012), a także Rothkaehl (2012) dowodzą, że ziarno pszenicy zwyczajnej, aby osiągnąć wysoki wyciąg mąki jasnej powinno charakteryzować się gęstością usypową co najmniej na poziomie 72 $kg \cdot hl^{-1}$, a najlepiej kiedy wartość tej cechy kształtuje się powyżej 76 $kg \cdot hl^{-1}$, czyli taką jaką uzyskano w badaniach własnych. Na surowiec o dużej masie objętościowej jest większe zapotrzebowanie i jest ona zwykle droższa (Budzyński 2012).

W ocenie wartości przemiałowej surowca ważna jest analiza cech fizycznych do których zalicza się parametr szklistości ziarna (Dziki i in. 2011; Rachoń i in. 2012). W badaniach własnych większą szklistością ziarna (59,6%) odznaczała się liniowa odmiana Artist. Istotnie niższą wartość ocenianej cechy (35,4%) uzyskało ziarno mieszańcowej odmiany Hybery. Zróżnicowanie cechy szklistości ziarna w zależności od odmian (mieszańcowe, liniowa) wykazali Jańczak-Pieniążek i in. (2020b). Wysoki udział ziaren szklistych pszenic liniowych, w zakresie od 73 do 86% otrzymali Stępniewska i Słowik (2016). Parametr ten charakteryzuje większą zawartość w ziarnie białek glutenowych i dobitnie świadczy o możliwości uzyskania z tego surowca korzystniejszej wartości wypiekowej (Sadkiewicz 1998). W niniejszych badaniach istotnie większą szklistość ziarna uzyskano w warunkach opóźnionego siewu o 20 dni w stosunku do optymalnego i największej dawki azotu (180 kg N ha^{-1}) stosowanych w uprawie pszenicy mieszańcowej, nie różnicując statystycznie tego parametru w ziarnie pszenicy liniowej. Zwiększenie szklistości ziarna w wyniku opóźnionego siewu notowali Dubis (2012), a podczas intensyfikacji nawożenia azotem pszenicy Narkiewicz-Jodko i in. (2008), Ellmann (2011a) oraz Jankowski i in. (2015).

Bardzo istotna dla jakości mąki jest zawartość białka w ziarnie (Li i in. 2018). Przeprowadzona analiza chemiczna surowca w niniejszych badaniach wykazała zróżnicowaną

(nieistotnie) zawartość białka w ziarnie badanych odmian pszenicy ozimej. Największą zawartością tego składnika charakteryzowało się ziarno pszenicy liniowej Artist, średnio na poziomie 12,4%. Zawartości białka w ziarnie pszenicy mieszańcowej Hybery była wyraźnie mniejsza i wyniosła 11,1%, co wskazuje, że nie spełniała ona kryterium przydatności zaliczenia jej do klasy technologicznej na cele chlebowe (minimum 11,5%) ustalonych dla jednostek skupujących i przetwarzających ziarno pszenicy (Budzyński 2012). Potwierdzone zostały w tym względzie rezultaty Prey i in. (2019a), Buczek i Bobreckiej-Jamro (2015), a także badania Buczek i in. (2016), które dowodzą, że odmiany mieszańcowe Hybred i Hymack odznaczały się mniejszą zawartością białka w ziarnie (13 i 12,4%) w stosunku do odmian liniowych Batuta i Bogatka (13,5 i 13,7%), których nie potwierdzono w badaniach Jańczak-Pieniążek i in. (2022) Uzyskanie niższych wartości białka w ziarnie odmian mieszańcowych może być spowodowane efektem rozcieńczenia tego składnika na skutek uzyskiwania wyższych plonów w porównaniu do odmian liniowych (Oury i Godin 2007).

Najważniejszą rolę w kształtowaniu wypiekowości mąki pszennej przypisuje się frakcji białek tworzących gluten, którego zawartość jest ściśle związana z zawartością białka w ziarnie (Giuliani i in. 2011; Budzyński i in. 2012; Jańczak-Pieniążek i in. 2020b). W badaniach własnych największą zawartością glutenu mokrego, średnio na poziomie 27,1%, odznaczało się ziarno odmiany liniowej Artist. Ziarno odmiany mieszańcowej Hybery zawierało znacznie mniej glutenu mokrego – średnio wyniosło 22,4%, co oznacza, że nie spełniało ono warunku zawartości glutenu niezbędnego do zakwalifikowania jej do grupy pszenic chlebowych (Budzyński 2012). Mniejsze zawartości glutenu w ziarnie odmian mieszańcowych w porównaniu do liniowych wykazał także Buczek i in. (2016) oraz Skrajda i in. (2017), a odmienne w badaniach Jańczak-Pieniążek i in. (2022). Obniżone wskaźniki jakości ziarna odmian mieszańcowych mogą być wynikiem ich skomplikowanej hodowli twórczej (Whitford i in. 2013; Zhao i in. 2013) lub ich większego wyleganiem przed zbiorem (Ingver i in. 2010). Na duże zróżnicowanie zawartości białka i glutenu w zależności od genotypu i środowiska wskazuje również opracowanie Budzyńskiego (2012), a także Jańczak-Pieniążek i in. (2020b).

Miernikiem jakości kompleksu białkowego, a także w pewnym stopniu i ilości substancji białkowych jest objętość osadu sedymentującej zawiesiny mącznej, którą można oznaczać za pomocą testu Zeleny`ego (Kała i in. 2017; Simon i in. 2020). Przeprowadzone badania własne wykazały bardzo wysoką wartość wskaźnika Zeleny`ego w mące pochodzącej z ziarna pszenicy liniowej odmiany Artist, który ustalono na poziomie, średnio 57,2 ml . Wyróżnik ten oceniony w mące pszenicy mieszańcowej Hybery osiągnął wartość 35,4 ml.

Minimalne kryterium przydatności surowca do produkcji mąki powinno osiągnąć poziom 22 lub 25 ml (Budzyński 2012). Jego wartość wynosząca powyżej 30 cm^3 wskazuje na dobrą przydatność ziarna na cele wypiekowe (Gąsiorowski 2004; Rothkaehl 2012, 2015), co oznacza, że surowiec otrzymany w badaniach własnych liniowej odmiany Artist był zdecydowanie lepszej jakości niż mieszańcowej Hybery i może spełniać rolę tzw. poprawiacza mąk, ponieważ wartość tego wskaźnika przekroczyła poziom 40 ml (Budzyński 2012). Na niższą jakość wypiekową odmian mieszańcowych w stosunku do liniowych wskazują badania Prey i in. (2019a), a brak zróżnicowania stwierdzono w badaniach porównawczych przeprowadzonych przez Thorwarth i in. (2018). W nowszych badaniach przeprowadzonych przez Jańczak-Pieniążek i in. (2020b) porównywane trzy odmiany mieszańcowe charakteryzowały się korzystniejszym wskaźnikiem sedymentacyjnym niż odmiana liniowa.

Bardzo cenne z punktu widzenia żywieniowego jest zawartość w ziarnie substancji mineralnych ocenionych na podstawie zawartości popiołu (Budzyński 2012). W niniejszych badaniach ziarno pszenicy mieszańcowej charakteryzowało się mniejszą zawartością popiołu i jaśniejszą mąką od ziarna odmiany liniowej. Jasna mąka i niska popiołowość ma duże znaczenie w produkcji pieczywa pszennego i cukierniczego (Budzyński 2012).

Wartość wypiekową ziarna ocenia się także na podstawie aktywności enzymatycznej ziarna i mąki (Szafrański i Rothkaehl 2011; Rothkaehl 2012, 2015; Newberry i in. 2018). W badaniach własnych spośród badanych odmian pszenicy ozimej wyższą liczbą opadania charakteryzowała się mąka pochodząca z ziarna pszenicy liniowej Atrist, średnio 329 sekund. Niższą wartość ocenianej cechy (256 sekund) mieszczącej się w przedziale zalecanej aktywności enzymatycznej odnotowano z surowca pszenicy mieszańcowej Hybery. Uzyskane wyniki dowodzą, że obie odmiany cechuje duża odporność na porastanie, co daje gwarancję uzyskania dobrej mąki pszennej przeznaczonej na cele chlebowe, którego niezbędnym wymogiem jest przemiał ziarna o liczbie opadania od 250 do 350 sekund (Gąsiorowski 2004; Budzyński 2012; Rothkaehl 2012). W badaniach przeprowadzonych przez Skrajda i in. (2017) uzyskane wartości liczby opadania różnych genotypów pszenic były niższe niż w badaniach własnych i dla odmian hybrydowych (Hybred i Hymack) wyniosły, średnio 154 sekund, a dla liniowych (Batuta i Bogatka), średnio 219 sekund. W doświadczeniu Jańczak-Pieniążek i in. (2020b) liczba opadania mieszańców w zależności od odmiany wahała się od 255 do 352 sekund, a odmiana liniowa osiągnęła poziom 337 sekund. Zróżnicowanie liczby opadania jest głównie efektem hodowli twórczej odmian (Newberry i in. 2018), która może być modyfikowana szczególnie przebiegiem warunków pogodowych w okresie dojrzewania ziarna

(Dojczew i in. 2004; Muralikrishna i Nirmal 2005; Podolska i in. 2005a; Dojczew 2010), a w mniejszym stopniu intensywnością zabiegów agrotechnicznych (Gooding 2017; Skrajda i in. 2017; Matzen i in. 2019).

Klasyfikacja uzyskanego surowca pszenic według grup użytkowych w dwóch sezonach badań pozwoliła konkludować, że warunki pogodowe i technologie (kompleksowy wpływ poszczególnych czynników agrotechnicznych) decydowały o jakości testowanych odmian pszenicy ozimej. Biorąc pod uwagę sześć wskaźników oceniających jakość wypiekową surowca niezbędną do ich grupowania na cele chlebowe (Klockiewicz-Kamińska i Brzeziński 1997; Najewski 2021), pożądaną jakość surowca pszenicy liniowej odmiany Artist (B – chlebowa), uzyskano jedynie podczas zbioru w 2018 roku stosując technologię o najniższym poziomie nakładów, która dopuszczała w badanym sezonie wegetacyjnym opóźniony siew o 20 dni (15 października) w porównaniu do optymalnego, zagęszczenie 200 ziaren·m^{-2}, niską dawkę azotu (90 kg N ha^{-1}) oraz ochronę przed patogenami grzybowymi za pomocą zaprawiania ziarna. Zastosowanie pozostałych technologii gwarantujących małe i duże plony opartych na różnych poziomach intensywności zastosowanych agroczynników nie gwarantowało jakości chlebowej lecz tylko paszową (C), głównie ze względu na niską zawartość białka w ziarnie i małą objętość chleba (zbiór 2017) lub tylko ze względu na zbyt niską osiągniętą wartość objętości chleba (zbiór 2018).

W żadnym sezonie wegetacyjnym pszenica mieszańcowa odmiana Hybery w warunkach różnej intensywności technologii nie osiągnęła dobrej jakości surowca przeznaczonego na cele chlebowe. Niekorzystne wartości cech ziarna, mąki i chleba występowały zarówno w technologiach o małych jak i dużych plonach. Otrzymane parametry jakościowe klasyfikowały zawsze ziarno i mąkę do grupy C – paszowej. Dyskwalifikowały ją przede wszystkim niska zawartość białka i niski poziom testu wskaźnika sedymentacji, a w konsekwencji zbyt mała objętość chleba po wypieku. Warto zauważyć, że zbiory w 2018 roku dawały jednak surowiec o wyższej jakości technologicznej. Bliskie spełnienia wymagań w tym cyklu badań dla grupowania odmian pszenicy ozimej na cele chlebowe były wszystkie wyodrębnione technologie mieszańca gwarantujące jego duże plony (technologie IV, V, VI) oraz jedna technologia (III) z grupy o małych plonach, które nie spełniały jakości wypiekowej jedynie w cesze dotyczącej objętości chleba. Uzyskane rezultaty badań własnych dotyczące uprawy pszenicy liniowej i mieszańcowej potwierdzają powszechnie znany pogląd, że czynnikiem decydującym o wartości technologicznej surowca są odmianowe uwarunkowanie jakości (Cacak-Pietrzak i in. 2005; Cacak-Pietrzak i Gondek 2010; Klepacka i Fornal 2008;

Olaru i in. 2008; Buczek i in. 2016; Stępniewska 2016a), które mogą być silnie modyfikowane czynnikami klimatycznymi (Buczek i in. 2016; Jaskulska i in. 2018; Woźniak i Rachoń 2020; Buczek i in. 2021), a w mniejszym stopniu poziomem agrotechniki (Budzyński 2012; Famera i in. 2015; Szempliński 2020).

Najistotniejsze z punktu widzenia praktyki rolniczej w ocenie rolniczych skutków stosowania różnych technologii produkcji roślinnej są efekty ekonomiczne (Skarzyńska i Jabłoński 2011; Budzyński 2012; Sułek 2017; Jaenisch i in. 2019; Augustyńska i Czułowska 2021; Skarżyńska 2021). Z badań wynika, że zastosowanie technologii intensywnych pomimo ponoszenia wyższych kosztów, a także negatywnego oddziaływania na środowisko daje lepsze efekty produkcyjne (Jończyk i Kawalec 2001; Kuś i in. 2007, Jańczak-Pieniążek i in. 2020a; 2022). Jednak w warunkach wysokich cen na środki produkcji i ograniczonych zasobach finansowych wielu producentów rolnych poszukuje technologii mniej intensywnych, które zapewniałyby wysoką efektywność ekonomiczną prowadzonej produkcji (Prusiński i Skinder 2002; Niezgoda 2009; Barczak 2011).

W badaniach Augustyńskiej i Czułowskiej (2021) całkowite koszty uprawy odmian liniowych pszenicy ozimej, w warunkach produkcyjnych Polski, uzyskanych w latach 2018-2020 wyniosły średnio 3 323 zł·ha^{-1}, a dochód (bez dopłat) osiągnął wartość 1 098 zł ha^{-1}. W naszych badaniach w realiach rynkowych 2021 roku, pszenica liniowa odmiana Artist przy wydajnych technologiach wymagała niższego poziomu nakładów (od 2 739 do 2 767 zł·ha^{-1}), które zapewniały najwyższy dochód (średnio 6 314 zł·ha^{-1}), najniższe koszty produkcji 1 Mg ziarna i najwyższe współczynniki sprawności ekonomicznej. Zastosowanie wyższego wolumenu nakładów w uprawie tej odmiany na poziomie 3 364 zł·ha^{-1} jaki i ich obniżenie do poziomu od 2 310 do 2 576 zł·ha^{-1} skutkowało wyraźnym zmniejszeniem ocenionych wyróżników ekonomicznych.

Uprawa pszenicy mieszańcowej Hybery w technologiach o dużych plonach wymagała zdecydowanie większych nakładów (od 4 125 do 4 703 zł·ha^{-1}). Takie koszty produkcji skutkowały otrzymaniem wysokiego dochodu (średnio 5 602 zł·ha^{-1}) zapewniając przy tym najkorzystniejsze wartości pozostałych wskaźników ekonomicznych. Obserwowany wzrost nakładów uprawy mieszańca w tych technologiach, średnio o 62% w stosunku do pszenicy liniowej gwarantujących najkorzystniejsze wskaźniki ekonomiczne powodowało spadek dochodu o około 11%. Gorszy aspekt ekonomiczny mieszańcowej odmiany Hybery był powodowany głównie wysokim udziałem w kosztach ogółem materiału siewnego.

Potwierdzone zostały w tym względzie opinie wyrażone przez innych autorów (Khah i in. 1989; Cisar i in. 2002; Schmitz i Ranson 2021).

W niniejszych badaniach w warunkach uzyskania dużych plonach ziarna pszenicy ozimej uzyskano wysokie wskaźniki efektywności ekonomicznej. Były one różnicowane przez odmianę i intensywność zastosowanych czynników agrotechnicznych. Bardziej opłacalna była produkcja pszenicy liniowej Artist niż mieszańcowej Hybery. Poprawę opłacalności odmian mieszańcowych należy oczekiwać po wprowadzeniu do praktyki rolniczej nowych bardziej wydajnych kreacji, a także w wyniku doskonalenia agrotechniki ich uprawy w różnych warunkach środowiska (Boeven 2019).

W naszych badaniach korzystniejsze wskaźniki opłacalności ekonomicznej uprawy pszenic uzyskiwano przeważnie w technologiach gwarantujących duże wydajności, które dla odmiany liniowej wyniosły 317–340%, natomiast dla odmiany mieszańcowej były mniejsze i osiągnęły poziom 213–236%, co świadczy o znaczącym zróżnicowaniu wartości tej kategorii ekonomicznej w zależności od zastosowanej odmiany. Na taką reakcję wskazują badania, które opisali wcześniej Szmigiel i in. (2006), a także Sułek (2017).

Niniejsze badania dowiodły, że niezależnie od ocenianych technologii uprawy zapewniających małe lub duże plony obu odmian pszenicy ozimej każda z nich skutkowała korzystnym wynikiem sprawności ekonomicznej. Coroczną opłacalność uprawy pszenicy ozimej wyrażoną wskaźnikiem opłacalności ekonomicznej na poziomie od 123 do 141% uzyskaną w warunkach produkcyjnych krajowych gospodarstw rolnych przedstawiono również w opracowaniu Augustyńskiej i Czułowskiej (2021).

Biorąc pod uwagę zmienność i poziom wydajności mieszańca, wydaje się, że jest on obecnie zbyt niski, aby można było zrekompensować wysokie koszty produkcji i zakupu nasion w porównywalnych warunkach. Przewaga konkurencyjna odmian hybrydowych w uprawie rolniczej będzie zależeć od szerokiej dystrybucji dostępnych odmian, a także od doskonalenia poszczególnych ogniw agrotechniki głównie dotyczyć to będzie gęstości siewu, a także strategii nawożenia azotem i ochrony roślin przed patogenami grzybowymi. Zależeć także będzie od jakości otrzymanego surowca decydującego o wyższej jego płatności. Dlatego ważne jest ciągłe testowanie nowych odmian mieszańcowych w różnych warunkach środowiska. Ponadto hodowla odmian mieszańcowych pszenicy ozimej w ostatnich latach korzysta ze zwiększonych inwestycji i jest prawdopodobne, że wykaże wyższe efekty produkcyjne, szczególnie w regionach mniej sprzyjających uprawie tego gatunku (Prey i in. 2019a).

6. WNIOSKI

Trzyletnie wyniki badań pozwalają na następujące wnioskowanie:

1. Warunki pogodowe istotnie różnicowały wydajność pszenicy ozimej. Największy plon ziarna uzyskano w trzecim cyklu badań (9,43 Mg·ha^{-1}), który był większy w porównaniu do otrzymanego w pierwszym i drugim sezonie wegetacji odpowiednio o 5,4 i 76,3%.
2. Na glebie kompleksu pszennego dobrego pszenica ozima mieszańcowa reprezentowana przez odmianę Hybery plonowała na statystycznie tym samym poziomie jak liniowa odmiana Artist. Obie odmiany wykazywały także podobną zmienność plonu w latach badań.
3. Plonowanie pszenicy ozimej w zależności od terminu siewu było statystycznie podobne. W wartościach bezwzględnych lepsze efekty dawały siewy wrześniowe niż wykonywane 10 lub 15 października. W każdym sezonie wegetacji korzystniejsze dla plonu mieszańcowej Hybery były siewy w terminie optymalnym lub opóźnionym o 10 dni, natomiast liniowa odmiana Artist taką reakcję wykazywała jedynie w sezonie o niekorzystnych warunkach pogodowych.
4. Zastosowane w doświadczeniu gęstości siewu (200, 300, 400 ziaren·m^{-2}) modyfikowały istotnie wielkość plonu ziarna pszenicy ozimej. Obie testowane odmiany istotnie największe plony ziarna wydały po wysiewie 300 ziaren·m^{-2}
5. Stosowane dawki azotu nie różnicowały istotnie plonu ziarna pszenicy ozimej. Zwiększenie dawki azotu z 90 do 150 kg N ha^{-1} wywołało jedynie tendencję do wyraźnego wzrostu wydajności, która nie zwiększała się istotnie po dodaniu kolejnych 30 kg N ha^{-1}. Najbardziej plonotwórcza w uprawie pszenicy mieszańcowej Hybery, we wszystkich sezonach wegetacyjnych, była dawka azotu wynosząca 150 lub 180 kg N ha^{-1}, natomiast liniowa odmiana Artist, w sezonie niskiego plonowania pszenicy, wysoce korzystnie reagowała w plonie już na dawce 90 kg N ha^{-1}.
6. Poziom ochrony przed chorobami (zaprawianie ziarna, jeden lub dwa zabiegi fungicydem w okresie wegetacji) nie różnicował istotnie plonu ziarna pszenicy ozimej. Uzyskane większe wydajności mieszańcowej Hybery i liniowej Artist w warunkach pełnej dwuzabiegowej ochrony fungicydowej miały jedynie charakter tendencji.
7. Ziarno pszenicy mieszańcowej odmiany Hybery charakteryzowało się mniej korzystnymi wyróżnikami wartości technologicznej w porównaniu do liniowej odmiany Artist w zakresie takich cech jak: szklistość ziarna, zawartość białka i glutenu mokrego

w ziarnie oraz wskaźnika sedymentacji. Mieszaniec w stosunku do liniowej Artist wyróżniał się istotnie korzystniejszą barwą mąki i mniejszą zawartością popiołu w mące.

8. Wpływ czynników agrotechnicznych na jakość technologiczną surowca pszenicy ozimej był niewielki. Jedynie termin siewu i dawka azotu różnicowały szklistość ziarna u odmiany mieszańcowej Hybery, a w przypadku obu odmian termin siewu istotnie wpływał na rozmiękczenie ciasta.
9. Pszenica mieszańcowa Hybery w analizowanych wybranych technologiach, w żadnym cyklu badań, nie wydała dobrego ziarna pod względem jakości technologicznej, ponieważ zawsze było ono klasyfikowane do grupy C – paszowej. Na cele technologiczne surowiec dyskwalifikowały zbyt mała zawartość białka, niski poziom wskaźnika sedymentacyjnego oraz mała objętość chleba po wypieku. W przypadku pszenicy liniowej Artist pożądaną jakość chlebową ziarna (grupa B) uzyskano tylko w sezonie 2017– 2018 w warunkach technologii charakteryzującej się niskim poziomem intensywności czynników agrotechnicznych.
10. W realiach rynkowych 2021 roku, ze względu na znaczący udział w kosztach materiału siewnego pszenicy mieszańcowej Hybery, poniesiono większe nakłady ekonomiczne niż w przypadku liniowej Artist. Uprawa mieszańca powodowała otrzymanie mniejszego dochodu, podrażała koszt jednostkowy i charakteryzowała się mniejszym wskaźnikiem efektywności ekonomicznej. Niezależnie od intensywności technologii produkcji ziarna pszenicy ozimej uprawa każdej odmiany skutkowała korzystnym wynikiem ekonomicznym. Bardziej sprawne ekonomicznie w uprawie obu odmian były technologie gwarantujące duże plony.
11. Na podstawie przeprowadzonych badań w warunkach północno-wschodniej Polski można określić, że głównymi elementami technologii gwarantującymi stabilne i obfite plony ziarna pszenicy ozimej mieszańcowej odmiany Hybery uprawianej na glebie kompleksu pszennego kształtują się następująco: termin siewu od 20. września do 5. października, gęstość siewu w zakresie 200 – 300 ziaren m^{-2}, dawka azotu w przedziale 150 – 180 kg N ha^{-1} i pełna ochrona roślin przed chorobami grzybowymi (zaprawianie + 2 zabiegi w okresie wegetacji). W przypadku liniowej odmiany Artist wysokie plonowanie powinna zapewnić technologia z identycznymi dawkami azotu, terminem siewu od 30. września do 5. października, gęstość siewu w zakresie 300 – 400 ziaren m^{-2} oraz ochrona przeciwgrzybowa ograniczona do zaprawiania ziarna w warunkach siewu o gęstości 300 ziaren$\cdot m^{-2}$ i nawożenia azotem w dawce 150 kg N ha^{-1} lub zastosowania

pełnej 2-zabiegowej ochrony w siewie o gęstości 400 ziaren·m^{-2} i nawożenia azotem w dawce 180 kg N ha^{-1}.

7. SPIS PIŚMIENNICTWA

Abdullah B.F. 2011. Evaluation of Nitrogen Use Efficiency (NUE) in Wheat. M.sc.Thesis.

Abedi T., Alemzadeh A., Kazemeini S.A. 2011. Wheat yield and grain protein response to nitrogen amount and timing. Australian Journal of Crop Science, 5(3): 330–336.

Aćin V., 2016. Sowing dates and densities in a function of winter wheat yield in the long-term field trial. PhD Thesis, University of Novi Sad, Faculty of Agriculture. (In Serbian)

Adamiak J., Adamiak E., Bruderek A., 2009. Wpływ ochrony fungicydami na plonowanie pszenicy ozimej uprawianej w płodozmianie i wieloletniej monokulturze. Prog. In Plant Prot., 49 (2): 591–594.

Adamiak J., Adamiak E., Zawiślak K. 1994. Reakcja pszenicy ozimej na udział zbóż w płodozmianie i dobór przedplonów. Fragm. Agron., 11(1): 82–88.

Agrios G.N. 2005. *Plant Pathology*, 5th Edn, Burlington, MA: Elsevier Academic Press: 922.

Ahmadi G.H., Kahrizi D., Mohammadi G., Shirkhani A. 2011. Effects of sowing density on yield and yield components of irrigated bread wheat cultivars. Biharean biol., 5(2): 91–95.

Ali M., Ali L., Sattar M., Ali M.A. 2010. Improvement in wheat (Triticum aestivum L.) yield by manipulating seed rate and row spacing in Vehari zone. Journal of Animal and Plant Sciences, 20: 225–230.

Alvarenga C.B., Sobrinho J.S., Santos E.M. 2009. Comportamento de cultivares de trigo em diferentes densidades de semeadura sob irrigação indicadas para a região do Brasil Central. Biosci. J., 25(5): 98–107.

Anderson W.K., Sharma D.L., Shackley B.J., D'antuono M.F. 2004. Rainfall, sowing time, soil type, and cultivar influence optimum plant population for wheat in Western Australia. Australian Journal of Agricultural Research, 55(9): 921–930.

Andersson A., 2005. Nitrogen redistribution in spring wheat: root contribution, spike translocations and protein quality. PhD thesis. Acta Univ. Agricult. Suec., Agr., 10: 36.

Augustyńska I., Czułowska M. 2021. Efektywność produkcji wybranych zbóż w Polsce w latach 2018-2020. Zagadnienia Doradztwa Rolniczego, 1: 5–22.

Bahrman N., Le Gouis J., Negroni L., Amilhat L., Leroy P., Laine A.L., Jaminon O., 2004. Differential protein expression assessed by two dimensional gel electrophoresis for two wheat varieties grown at four nitrogen levels. Proteomics, 4(3): 709–719.

Baloch M.S., Shah I.T.H., Nadim M.A., Khan M.I., Khakwani A.A. 2010. Effect of seeding density and planting time on growth and yield attributes of wheat. Journal of Animal and Plant Sciences, 20: 239–240.

Baloch S.M., Shah I.T., Nadim M.A., Khan M. I., Khakwani A.A. 2010. Effect of seeding density and planting time on growth and yield attributes of wheat. The J. Anim. Plant Sci., 20: 239–240.

Bancal M.O., Robert, C., Ney B. 2007. Modelling wheat growth and yield losses from late epidemics of foliar diseases using loss of green leaf area per layer and pre-anthesis reserves. Ann. Bot., 100: 777–789.

Bancal M.O., Roche R., Bancal P. 2008. Late foliar diseases in wheat crops decrease nitrogen yield through N uptake rather than through variations in N remobilization. Ann. Bot., 102: 579–590.

Barbieri A.P.P., Martin T.N., Mertz L.M., Nunes U.R., Conceição G.M. 2013. Redução populacional de trigo no rendimento e na qualidade fisiológica das sementes. Revista Ciência Agronômica, 44: 724–731.

Barbottin A., Lecompte, C., Bouchard, C., Jeuffroy, M.H. 2005. Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: genotypic and environmental effects. Crop Sci., 45: 1141–1150.

Barczak A. 2011. Wykorzystanie metody mnożników Lagrange'a do oceny efektywności produkcji na przykładzie wybranych grup gospodarstw rolnych. Rozprawa doktorska, IERiGŻ-PIB, Warszawa, 57: 76-79, 81–82.

Barraclough P.B., Leigh R.A. 1984. The growth and activity of winter wheat roots in the field: the effect of sowing date and soil type on root growth of high yielding crops. J. Agric. Sci. 103: 59–74.

Basso B., Cammarano D., Fiorentino C., Ritchie J.T. 2013. Wheat yield response to spatially variable nitrogen fertilizer in Mediterranean environment. European Journal of Agronomy, 51: 65–70.

Bastos, L.M., Carciochi, W., Lollato, R.P., Jaenisch, B.R., Rezende, C.R., Schwalbert, R., ... & Ciampitti, I.A. 2020. Winter wheat yield response to plant density as a function of yield environment and tillering potential: A review and field studies. Frontiers in plant science, 11: 54.

Bateman G., Hornby D. 1999. Comparison of natural and artificial epidemics of take-all in sequences of winter wheat crops. Ann. Appl. Biol., 135: 555–571..

Bavec M., Bavec F., Varga B., Kovacevic V. 2002. Relationship among yield, it's quality and yield components in winter wheat (Triticum aestivum L.) cultivars affected by seeding rates, Die Bodenkultur, 53 (3): 143–151.

Beres B.L., Turkington T.K., Kutcher H.R., Irvine B., Johnson, E.N., et al. 2016. Winter wheat cropping system response to seed treatments, seed size, and sowing density. Agron. J., 108 (3): 1101.

Bertelsen, J.R.; de Neergaard, E.; Smedegaard-Petersen, V. 2001. Fungicidal effects of azoxystrobin and epoxiconazole on phylloshere fungi, senescence and yield of winter wheat. Plant Pathol., 50: 190–205.

Bhatta M., Regassa T., Wegulo S.N., Baenziger P.S. 2018. Foliar fungicide effects on disease severity, yield, and agronomic characteristics of modern winter wheat genotypes. Agronomy Journal, 110(2): 602–610.

Biel W., Maciorowski R. 2012. Ocena wartości odżywczej ziarna wybranych odmian pszenicy. Żywność Nauka Technologia Jakość, 2(81): 45–55.

Blandino M., Reyneri A. 2009. Effect of fungicide and foliar fertilizer application to winter wheat at anthesis on flag leaf senescence, grain yield, flour bread-making quality and DON contamination. Eur. J. Agron., 30: 275–282.

Blecharczyk A., Skrzypczak G., Małecka I. 1999. Reakcja pszenicy ozimej na przedplon i siew bezpośredni. Pam. Puł., 118: 9–16.

Blecharczyk A., Śpitalniak J., Małecka I., 2006. Wpływ doboru przedplonów oraz systemów uprawy roli i nawożenia azotem na plonowanie pszenicy ozimej. Fragm. Agron., 23(2): 273–286.

Bobrecka-Jamro D., Kruczek G., Romaniak M., Jarecki W., Buczek J. 2013. Effect of the dose and method of top-dressing with nitrogen on the yield and quality of winter wheat grain. *Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura*, *12*(4): 19–30.

Bodson B., Franc J., Destain J.P., Durdu M.H., Falisse A. 1997. Hybrid wheat-a different wheat crop? Asp. Appl. Biol., 50: 23–30.

Bodson B., Vancutsem F., Falisse, A. 2001. Timing of nitrogen application to improve quality, reduce lodging and minimise disease risks for hybrid and inbred wheat. Asp. Appl. Biol., 64: 193–200.

Boeven P.H.G., Longin C.F.H., Würschum T. 2016. A unified framework for hybrid breeding and the establishment of heterotic groups in wheat. Theor Appl Genet., 129: 1231–1245.

Boeven, P.H.G. 2019. Design and assessment of breeding strategies for hybrid wheat in Europe.

Bokan N., Malešević M. 2004. The planting density effect on wheat yield structure. Acta Agric. Serb., 9(18): 65–79.

Borkowska H., Grundas S., Styk B. 2003. Zmiany wybranych cech jakościowych ziarna kilku odmian pszenicy pod wpływem zróżnicowanego nawożenia azotowego. Acta Agrophys., 2(4): 717–723.

Bruns R., Peterson C. 1998. Yield and stability factors associated with hybrid wheat. Euphytica, 100: 1–5.

Buczek J., Bobrecka-Jamro D., Jarecki W. 2011. Plon i jakość ziarna wybranych odmian pszenicy jarej w zależności od dawki i terminu stosowania azotu. Fragm. Agron., 28(4): 7–15.

Buczek J., Jarecki W., Bobrecka-Jamro D. 2016. The response of population and hybrid wheat to selected agro-environmental factors. Plant, Soil and Environment, 62(2): 67–73.

Buczek J., Jarecki W., Bobrecka-Jamro D. 2017. Hybrid wheat response to topdressing and foliar application of nitrogen. Journal of Elementology, 22(1): 7–20.

Buczek J., Jarecki W., Bobrecka-Jamro D. 2020. Hybrid wheat yield and quality related to cultivation intensity and weather condition. Journal of Elementology, *25*(1): 71–83.

Buczek J., Migut D., Jańczak-Pieniążek M. 2021. Effect of Soil Tillage Practice on Photosynthesis, Grain Yield and Quality of Hybrid Winter Wheat. Agriculture, 11(6): 479.

Buczek, J., Bobrecka-Jamro, D. 2015. Reakcja pszenicy populacyjnej i mieszańcowej na zróżnicowaną ilość wysiewu. Fragm. Agron., 32(3): 7–16.

Budzyński W. (red.) 2012. Pszenice – zwyczajna, orkisz, twarda. Uprawa i zastosowanie. PWRiL, Poznań, ss 328.

Budzyński W., Bielski S., 2008. Wpływ nawożenia azotem na plonowanie pszenicy ozimej. Fragm. Agron., 25(1): 27–38.

Budzyński W., Borysewicz J., Bielski S. 2004. Wpływ poziomu nawożenia azotem na plonowanie i jakość technologiczną ziarna pszenicy ozimej. Pam. Puł., 135: 33–44.

Budzyński W., Fedejko B., Szempliński W., Majewska K. 1995. Energetyczna, produkcyjna oraz jakościowa ocena rożnych technologii uprawy ozimej pszenicy chlebowej. Fragm. Agronom., 12 (3): 33–52.

Budzyński W.S., Bepirszcz K., Jankowski K.J., Dubis B., Hłasko-Nasalska A., Sokólski M.M., ... & Załuski D. 2018. The responses of winter cultivars of common wheat, durum wheat and spelt to agronomic factors. The Journal of Agricultural Science, 156(10): 1163–1174.

Buendía-Ayala B.L., Martínez-Cruz E., Villaseñor H.E., Hortelano Santa Rosa R., Espitia-Rangel E., Buendía-González M.O. 2019. The incidence of yellow rust and the industrial quality of the grain and the dough in bread wheat. Rev. Mex. Cienc. Agríc., 10: 143–154.

Cacak-Pietrzak G., Ceglińska A., Sulek A. 2005a. Wpływ nawożenia azotem i antywylegaczy na plon i jakość ziarna pszenicy ozimej. Pam. Puł., 140: 25–33.

Cacak-Pietrzak G., Ceglińska A., Torba J., 2005b. Wartość przemiałowa wybranych odmian pszenicy z hodowli „Nasiona Kobierzyc". Pam. Puł., 139: 27–38.

Cacak-Pietrzak G., Gondek E. 2010. Właściwości przemiałowe ziarna orkiszu i pszenicy zwyczajnej. Acta Agroph., 16 (2): 263–273.

Caglar O., Bulut S., Karaoglu M.M., Kotancilar H.G., Ozturk A. 2011. Quality response of facultative wheat to winter sowing, freezing sowing and spring sowing at different seeding rates. Journal of Animal and Veterinary Advances, 10 (Suppl.): 3368–3374.

Caporaso N., Whitworth M.B., Fisk I.D. 2017. Protein content pre-diction in single wheat kernels using hyperspectral imaging.Foodchemistry, 240: 32–42.

Capouchová I., Petr J., 2004. The effect of variety and agroecological factors on the yield and quality of winter wheat. Scientia Agric. Bohem., 35: 1–11.

Carson, G. R., and Edwards, N. M. 2009. Criteria of wheat and flour quality. Wheat: Chemistry and Technology, 4th Ed. K. Khan and P. R. Shewry, eds. AACC International: St. Paul, MN Pages: 97–118.

Castellarín J. M., González M., Pedrol H.M., Salvagiotti F., Roso O. 2004. Control de enfermedades foliares en trigo: tipo de molécula fúngica y momento de aplicación, in Para Mejorar la Producción INTA Oliveros. N° 25, ed. A. Longo (Oliveros, AR: INTA EEA Oliveros): 67–69.

Castro A.C., Fleitas M.C., Schierenbeck M., Gerard G.S., Simón M.R. 2018. Evaluation of different fungicides and nitrogen rates on grain yield and bread-making quality in wheat affected by *Septoria tritici* blotch and yellow spot. J. Cereal Sci., 83: 49–57.

Castro A.C., Simón M.R. 2016. The effect of tolerance to *Septoria tritici* blotch in grain yield, yield components and quality among Argentinean wheat cultivars. Crop Prot., 90: 66–76.

Cerón M.M.C., Martel I.S. 2003. Effects of a fungicide treatment on yield and quality parameters of new varieties of durum wheat (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) and bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in Western Andalusia (Spain). Spanish Journal of Agricultural Research, 1: 19–26.

Chrzanowska – Drożdż B. 2001. Reakcja pszenicy ozimej na dawki i terminy stosowania azotu. Cześć I. Rozwój i plonowanie pszenicy ozimej w zależności od dawki i terminu stosowania azotu. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Rolnictwo, 80: 257–270.

Cichoń Z., Ptak M. 2005. Analiza jakości wybranych rodzajów mąki pszennej. Zesz. Nauk. AE Kraków, (678): 89–102.

Cisar G., Cooper D.B. 2002. Hybrid wheat. In Bread Wheat: Improvement and Production; Curtis, C., Rajaram, S., Macpherson, H.G., Eds., FAO, Rome, Italy: 157–174.

Conner R.L., Kuzyk A.D., Su H. 2003. Impact of powdery mildew on the yield of soft white spring wheat cultivars. Can. J. Plant Sci., 83: 725–728.

Constantinescu (Pop) G., Dabija A., Buculei A., Rebenciuc I. 2011. Evaluation of wheat quality using modern methods. J. Agroaliment. Process. Technol., 17(4): 469–472.

Czuba R. 1996. Nawożenie mineralne roślin uprawnych. Zakłady Chemiczne Police

Dahlke B.J., Oplinger E.S., Gaska J.M., Martinka M.J. 1993. Influence of planting date and seeding rate on winter wheat grain yield and yield components. Jpa, 6 (3): 408.

Dai X., Wang Y., Dong X., Qian T., Yin L., Dong S., Chu J., He M. 2017. Delayed sowing can increase lodging resistance while maintaining grain yield and nitrogen use efficiency in winter wheat. The Crop Journal, 5: 541–552.

Daniel C., Triboi E. 2000. Effects of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter wheat: Effects on gliadin content and composition. Journal of Cereal Science, 32: 45–56.

Devadas R., Simpfendorfer S., Backhouse D., Lamb D.W. 2014. Effect of stripe rust on the yield response of wheat to nitrogen. Crop J., 2: 201–206.

Dojczew D. 2010. Wpływ czasu porastania ziarniaków na wartość technologiczną mąki pszennej. Post. Tech. Przetw. Spoż., 1: 31–35.

Dojczew D., Sobczyk M., Grodzicki K., Haber T., 2004. Wpływ porostu ziarna na wartość wypiekową mąki pszennej, pszenżytniej i żytniej. Acta Sci. Pol., Technol. Aliment. 3(2): 127–136.

Donaldson E., Schillinger F.W., Dofing S.M. 2001. Straw production and grain yield relationships in winter wheat. Crop Science, 41: 100–106.

Dubis B. 2012. Rolnicza i energetyczno-ekonomiczna ocena produkcji ziarna pszenicy jarej na cele konsumpcyjne. Rozprawy i Monografie, Wyd. UWM, 171: ss.130.

Dubis B., Borysewicz J., 2008. Wpływ nawożenia azotem na plon i technologiczną jakość wybranych odmian pszenicy ozimej. Fragm. Agron., 25(1): 110–120.

Dubis B., Budzyński W. 2006. Reakcja pszenicy ozimej na termin i gęstość siewu. Acta Scient. Polon., Agricultura, 5 (2): 15–24.

Dupont F.M., Hurkman W.J., Vensel W.H., Tanaka C., Kothari K.M., Chung O.K., Altenbach S. 2006. Protein accumulation and composition in wheat grains: effects of mineral nutrients and high temperature. Eur. J. Agron., 25: 96–107.

Dziki D., Różyło R., Laskowski J. 2011. Przemiał pszenicy i wpływ twardości ziarna na ten proces. Acta Agrophysica, T. 18, 1 (192): 33–43.

Edwards M.A. 2010. Morphological features of wheat grain and genotype affecting flour yield. Doctoral dissertation, Southern Cross University: 1–203.

Efretuei A., Gooding M., White E., Spink J. 2016. Hackett R. Effect of nitrogen fertilizer application timing on nitrogen use efficiency and grain yield of winter wheat in Ireland. Ir. J. Agric. Food Res., 55: 63–73.

Elashry S., Bakheit B.R., Kheiralla K.A., Elnaksh S.F. 2020. Influence of Nitrogen Fertilization on Traits Related to Lodging and Yield in Bread Wheat Genotypes. Assiut J. Agric. Sci., 51 (2): 1–23.

Ellmann T. 2011. Effect of plant protection, nitrogen fertilization and date of harvest on yield of winter wheat. Fragm. Agron., 28(2): 15–25.

El-Metwally E.A., Mekkei M.E.R., El-Salam A., Abo Shama H.M. 2018. Effect of some mineral and bio fertilization treatments on yield and yield components of bread wheat under two seeding rates. Journal of Plant Production, 9(9): 733–738.

El-Temsah M.E. 2017. Response of wheat yield, its components and technological characteristics to different nitrogen rates and planting methods. Egypt. J. Agron., 39 (3): 421–429.

Erekul O., Köhn W. 2006. Effect of weather and soil conditions on yield components and bread-making quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and winter triticale (*Triticosecale* Wittm.) varieties in North-East Germany. J. Agron. Crop Sci., 192: 452–464.

Everts K.L., Leath S., Finney P.L. 2001. Impact of powdery mildew and leaf rust on milling and baking quality of soft red winter wheat. Plant Dis., 85: 423–429.

Fagard, M., Launay, A., Clement, G., Courtial, J., Dellagi, A., Farjad, M., et al. (2014). Nitrogen metabolism meets phytopathology. J. Exp. Bot., 65: 5643–5656.

Fageria N.K, Baligar V.C., Li Y.C. 2008. The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. Journal of Plant Nutrition, 31: 1121–1157.

Faměra O., Mayerová M., Burešová I., Kouřimská L., Prášilová M. (): Influence of selected factors on the content and properties of starch in the grain of non-food wheat. Plant, Soil and Environment, 61: 241–246.

FAOSTAT. 2020. http:/faostat. fao.org. Dostęp 2022

Fernandes E.C. 2009. População de plantas e regulador de crescimento afetando a produtividade de cultivares de trigo. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de PósGraduação em Agronomia, Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Ferrise R., Triossi A., Stratonovitch P., Bindi M., Martre P. 2010. Sowing date and nitrogen fertilisation effects on dry matter and nitrogen dynamics for durum wheat: An experimental and simulation study. Field Crop. Res., 117: 245–257.

Figueroa M., Hammond-Kozack K., Solomon P.S. 2018. A review of wheat diseases - a field perspective. Mol. Plant Pathol., 19: 1523–1536.

Fischer E.M., Sedláček J., Hawkins E., Knutti R. 2014. Models agree on forced response pattern of precipitation and temperature extremes. Geophysical Research Letters, 41(23): 8554–8562.

Fischer R.A., Moreno Ramos O.H., Ortiz Monasterio I., and Sayre K.D. 2019. Yield response to plant density, row spacing and raised beds in low latitude spring wheat with ample soil resources: an update. Field Crops Res., 232: 95–105.

Fleitas M.C., Gerard G.S., Simón M.R. 2015. Eficacia residual de fungicidas sobre la roya de la hoja del trigo y su efecto sobre componentes del rendimiento y porcentaje de proteínas en grano. Rev. FAVE Sección Ciencias Agrarias, 14: 69–84.

Fleitas M.C., Schierenbeck M., Gerard G.S., Dietz J.I., Golik S.I., Campos P.E., et al. 2018. How leaf rust disease and its control with fungicides affect dough properties, gluten quality and loaf volume under different N rates in wheat. J. Cereal. Sci., 80: 119–127.

Foley J.A., Ramankutty N., Brauman K.A., Cassidy E.S., Gerber J.S., Johnston M., Mueller N.D., O'Connell C., Ray D.K., West P.C., Balzer C., Bennett E.M., Carpenter S.R., Hill J., Monfreda C., Polasky S., Rockström J., Sheehan J., Siebert S., Tilman D., Zaks D.P.M. 2011. Solutions for a cultivated planet. Nature, 478: 337–342.

Fotyma E, Fotyma M, Pietruch C. 2004. Zawartość azotu mineralnego w glebach gruntów ornych w Polsce. Nawozy i nawożenie IUNG Puławy, 3(20): 11–54.

Fotyma E., Fotyma M. 2002. Parametry modelu optymalizacji dawek azotu pod pszenicę ozimą. Nawozy i Nawożenie IUNG Puławy, 1: 83–89.

Gaines C.S., Finney P.L., Andrews L.C. 1997. Influence of kernel size and shriveling on soft wheat milling and baking quality. Cereal Chem., 74: 700–704.

Gaju O., Allard V., Martre P., Le Gouis J., Moreau D., Bogard M., et al. 2014. Nitrogen partitioning and remobilization in relation to leaf senescence, grain yield and grain nitrogen concentration in wheat cultivars. Field Crops Res., 155: 213–223.

García-Molina D.M., Barro F. 2017. Characterization of changes in gluten proteins in low-gliadin transgenic wheat lines in response to application of different nitrogen regimes. Front. Plant Sci., 8: 257.

Gardner P., Angus J., Pitson A., Wong P. 1998. A comparison of six methods to control take-all in wheat. Aust. J. Agric. Res., 49(8): 1225–1240.

Gawrońska-Kulesza A., Lenart S., Suwara I. 2005. Wpływ zmianowania i nawożenia na zachwaszczenie łanu i gleby. Fragm. Agron., 22(2): 53–62.

Gąsiorowska B., Makarewicz A. 2007. Wpływ różnych sposobów nawożenia azotem na jakość ziarna odmian pszenicy jarej. Fragm. Agron, 2(94): 102–109.

Gąsiorowski H. 2004. Pszenica. Chemia i technologia. PWRiL Poznań.

Geleta B., Atak M., Baenziger P.S., Nelson L.A., Baltenesperger D.D., Eskridge K.M., et al. 2002. Seeding rate and genotype effect on agronomic performance and end use quality of winter wheat. Crop Science, 42: 827–832.

Giuliani M.M., Giuzio L., De Caro A., Flagella Z. 2011. Relationships between nitrogen utilization and grain technological quality in durum wheat: II. Grain yield and quality. Agron. J., 103(6): 1668–1675.

Goć E., Muzalewski A., 1997. Koszty eksploatacji maszyn. IBMER Warszawa.

Godfray H.C.J., Beddington J.R., Crute I.R., Haddad L., Lawrence D., Muir J.F., Pretty J., Robinson S., Thomas S.M., Toulmin C. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. Science, 327: 8.

Gooding M.J. 2007. Influence of foliar diseases and their control by fungicides on grain yield and quality in wheat. In Wheat production in stressed environments. Springer, Dordrecht: 567–581.

Gooding M.J., Davies W.P. 1997. Wheat Production and Utilization. Wallingford: CAB International.

Gooding M.J., Gregory P.J., Ford K.E., Pepler S. 2005. Fungicide and cultivar affect post-anthesis patterns of nitrogen uptake, remobilization and utilization efficiency in wheat. J. Agric. Sci., 143: 503–518.

Gooding, M. 2017. The effects of growth environment and agronomy on grain quality. In Cereal Grains, Woodhead Publishing: 493–512.

Goraj L., Mańko S. 2012. Model obliczania jednostkowych kosztów produkcji na podstawie danych Polskiego FADN, IERiGŻ- PIB, Warszawa.

Gowda M., Kling C., Würschum T., Reif J.C. 2010. Hybrid breeding in durum wheat: heterosis and combining ability. Crop Sci., 50: 2224–2230.

Gowda M., Longin C.F.H., Lein V., Reif J.C. 2012. Relevance of specifc versus general combining ability in winter wheat. Crop Sci., 52: 2494–2500.

Gross T.F., Dias A.R., Kappes C., Schiebelbein L.M., Anselmo J.L., Holanda H.V. 2012. Comportamento produtivo do trigo em diferentes métodos e densidades de semeadura. Sci. Agrar. Paranaensis, 11(4): 50–60.

Grzebisz W. 2008. Azot na masę i jakość ziarna. Nowoczesna Uprawa, 5: 8–9.

Grzebisz W. 2009. Nawożenie roślin uprawnych. Cz. 2. Nawozy i systemy nawożenia. Warszawa. PWRiL.

Gupta P.K., Balyan H.S., Gahlaut V., Saripalli G., Pal B., Basnet B.R., Joshi A.K. 2019. Hybrid wheat: past, present and future. Theoretical and Applied Genetics, 132(9): 2463–2483.

Guzmán C., Peña R.J., Singh R., Autrique E., Dreisigacker S., Crossa J., et al. 2016. Wheat quality improvement at CIMMYT and the use of genomic selection on it. Appl. Transl. Genom., 11: 3–8.

Haidukowski M., Visconti A., Perrone G., Vanadia S., Pancaldi D., Covarelli L. et al. 2012. Effect of prothioconazole-based fungicides on Fusarium head blight, grain yield and deoxynivalenol accumulation in wheat under field conditions. Phytopathol. Mediterr., 51: 236–246.

Haile D., Nigussie D., Ayana A. 2012. Nitrogen use efficiency of bread wheat: Effects of nitrogen rate and time of application. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 12(3): 389–410.

Harasim A., Matyka M. 2009. Zmiany technologii produkcji pszenicy ozimej w ujęciu długookresowym. Journal of Agribusiness and Rural Development, 12(2): 61–66.

Harasim E., Wesołowska–Trojanowska M. 2010. Wpływ nawożenia azotem na plonowanie i jakość technologiczną ziarna pszenicy ozimej. Pam. Puł., 152: 77–84.

Harasim E., Wesołowski M., Kwiatkowski C., Harasim P., Staniak M., Feledyn-Szewczyk B. 2016. The contribution of yield components in determining the productivity of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Acta Agrobotanica, 69: 1675.

Hawkesford M.J., Araus J.L., Park R., Calderini D., Miralles D., Shen T. et al. 2013. Prospects of doubling global wheat yields. Food and Energy Security, 2: 34–48

Herrman T.J., Bowden R.L., Loughin T., Bequette R.K. 1996. Quality response to the control of leaf rust in Karl hard red winter wheat. Cereal Chem., 73: 235–238.

Hiltbrunner J, Streit B, Liedgens M. 2007. Are seeding densities an opportunity to increase grain yield of winter wheat in a living mulch of white clover? Field Crops Res., 102(3): 163–171.

Hiltbrunner J., Liedgens M., Stamp P., Streit B. 2005. Effects of row spacing and liquid manure on directly drilled winter wheat in organic farming. European Journal of Agronomy, 22: 441–447.

Hochman Z., Horan H. 2018. Causes of wheat yield gaps and opportunities to advance the water-limited yield frontier in Australia. Field Crops Res., 228: 20–30.

Hruščová M., Švec I., Kocourková Z. 2011. Interaction between wheat variety and harvest year analysed by statistical methods. Cereal Techn., 4: 152–159.

Hrušková M., Švec I. 2009. Wheat hardness in relation to other quality factors. Czech J. Food Sci., 27(4): 240–248.

Inwati D.K., Yadav J., Yadav J.S., Pandey G., Pandey A. 2018. Effect of different levels, sources and methods of application of nitrogen on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci., 7: 2398–2407.

Ishikawa S., Hare M.C., Kettlewell P.S. 2012. Effects of strobilurin fungicide programmes and fertilizer nitrogen rates on winter wheat: leaf area, dry matter yield and nitrogen yield. The Journal of Agricultural Science, 150(4): 427–441.

Jaczewska-Kalicka A. 2002. Występowanie i szkodliwość najważniejszych chorób pszenicy ozimej w Polsce Centralnej. Prog. in Plant Prot., 42 (1): 93–101.

Jaczewska-Kalicka A. 2005. Warunki pogodowe jako czynnik silnie modyfikujący wielkość i jakość plonu ziarna pszenicy ozimej w świetle występowania chorób grzybowych. Prog. in Plant Prot., 45 (1): 176–184.

Jaczewska-Kalicka A. 2008. Wpływ zmiennych warunków klimatycznych na występowanie i szkodliwość grzybów patogenicznych w uprawie pszenicy ozimej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 531: 63–69.

Jaenisch B.R., de Oliveira Silva A., DeWolf E., Ruiz-Diaz D.A., Lollato R. P. 2019. Plant population and fungicide economically reduced winter wheat yield gap in Kansas. Agron. J. 111 (2): 650.

Jaenisch B.R., de Oliveira Silva A., DeWolf E., Ruiz-Diaz, D.A., Lollato, R.P. 2019. Plant population and fungicide economically reduced winter wheat yield gap in Kansas. Agron. J., 111 (2): 650.

Jankowski K.J., Kijewski L., Dubis B. 2015. Milling quality and flour strength of the grain of winter wheat grown in monoculture. Romanian Agricuture Research, 32: 191–200.

Jańczak C., Pawlak A. 2006. Występowanie i szkodliwość mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis*) w pszenicy ozimej w latach 2003 – 2005. Prog. in Plant Prot., 46 (2): 668 – 672.

Jańczak-Pieniążek M., Buczek J., Kwiatkowski C.A., Harasim E. 2022. The Course of Physiological Processes, Yielding, and Grain Quality of Hybrid and Population Wheat as Affected by Integrated and Conventional Cropping Systems. Agronomy, 12(6): 1345.

Jańczak-Pieniążek M., Buczek J., Tobiasz-Salach R., Bobrecka-Jamro D. 2020a. Wpływ intensywności uprawy na produkcyjność mieszańcowych i populacyjnych odmian pszenicy ozimej. Biuletyn IHAR, 288: 59–66.

Jańczak-Pieniążek, M., Buczek, J., Jarecki, W., Bobrecka-Jamro, D. 2020b. Effect of high nitrogen doses on yield, quality and chemical composition grain of winter wheat cultivars. Journal of Elementology, 25(3): 1005–1017.

Jaskulska I., Jaskulski D., Gałęzewski L., Knapowski T., Kozera W., Wacławowicz R. 2018. Mineral composition and baking value of the winter wheat grain under varied environmental and agronomic conditions. J. Chem.,: 2018.

Jiang, Y., Schmidt, R. H., Zhao, Y., & Reif, J. C. (2017). A quantitative genetic framework highlights the role of epistatic effects for grain-yield heterosis in bread wheat. Nature genetics, 49(12): 1741–1746.

Johansson E., Prieto-Linde M.L., Svensson G. 2004. Influence of nitrogen application rate and timing on grain protein composition and gluten strength in Swedish wheat cultivars. J. Plant Nutr. Soil Sci., 167: 345–350.

Jończyk K. 2003. Czynniki kształtujące plonowanie pszenicy ozimej w różnych stanowiskach i systemach produkcji roślinnej. Pam. Puł., 132: 141–149.

Jończyk K., Kawalec A. 2001. „Wstępna ocena przydatności wybranych odmian pszenicy ozimej do uprawy w różnych systemach produkcji roślinnej". Biuletyn IHAR 220: 35-43.

Jordaan J.P. 1996. Hybrid wheat: advances and challenges, in Increasing Yield Potential in Wheat: Breaking the Barriers, Vol. 66, eds M.P. Reynolds, S. Sajaram, and A. McNab (Sonora): 66–75.

Jurga R. 2006. Ocena efektywności przemiału ziarna pszenicy na podstawie zależności zawartości popiołu i barwy mąki. Prz. Zboż.-Młyn., 50 (3): 19–21.

Kaczmarska M., Gawrońska-Kulesza A. 2000. Wpływ zmianowania na plonowanie pszenicy ozimej. Post. Nauk Rol., 4: 51–63.

Kała M., Przyborowski M., Ługowska B., Gasparis S., Nadolska-Orczyk A. 2017. Charakterystyka białek glutenu w materiałach hodowlanych pszenicy. Biuletyn IHAR, (282): 41–49.

Kaniuczak Z., Bereś P.K. 2008. Efektywność ekonomiczna zastosowanych fungicydów w ochronie pszenżyta ozimego i pszenicy ozimej przed chorobami grzybowymi. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 531: 71–80.

Keed B.R., White N.H. 1971. Quantitative effects of leaf and stem rusts on yield and quality of wheat. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husband, 11: 550–555.

Kelley K.W. 2001. Planting date and foliar fungicide effects on yield components and grain traits of winter wheat. Agron. J., 93: 380–389.

Kempe K., Gils M. 2011. Pollination control technologies for hybrid breeding. Mol Breed, 27: 417–437.

Khah E.M., Roberts E.H., Ellis R.H. 1989. Effects of seed ageing on growth and yield of spring wheat at different plant-population densities. F. Crop. Res., 20: 175–190.

Khalil J.K., Sawaya W.N., Hamdallah G., Devi Prasad J. 1987. Effect of nitrogen fertilization on the nutritional quality of wheat variety, Yecora Rojo. Plant Foods Hum. Nutr., 36: 279–293.

Kindred D.R., Gooding M.J., Ellis R.H. 2005. Nitrogen fertilizer and seed rate effects on Hagberg falling number of hybrid wheats and their parents are associated with α-amylase activity, grain cavity size and dormancy. J. Sci. Food Agr., 85(5): 727–742.

Kindred, D.R., Gooding, M.J. 2004. Heterotic and seed rate effects on nitrogen efficiencies in wheat. J. Agric. Sci., 142: 639–657.

Klepacka J., Fornal Ł., 2008. Określenie zależności między zawartością wybranych związków fenolowych a wartością przemiałową ziarna pszenicy. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 6 (61): 55–64.

Klockiewicz-Kamińska E., Brzeziński W.J. 1997. Metoda oceny i klasyfikacji jakościowej odmian. Wiadomości Odmianoznawcze, COBORU, Słupia Wielka, z. 67: 3–18.

Knapowski T., Ralcewicz M. 2004a. Ocena wskaźników jakościowych ziarna i mąki pszenicy ozimej w zależności od zróżnicowanego nawożenia azotem. Ann. UMCS, sec. E 59(2): 959–968.

Kochurko, V.I. 2009. Rola nawozów azotowych w kształtowaniu wielkości plonów pszenicy ozimej. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, (538).

Kocoń A. 2005. Nawożenie jakościowej pszenicy jarej i ozimej a plon i jakość ziarna. Pam. Puł., 139: 55–64.

Koekemoer F., van Eden E, Bonjean A.P. 2011. An overview of hybrid wheat production in South Africa and review of current worldwide wheat hybrid developments. In: Bonjean A.P.,

Angus W.J., van Ginkel M., Pagesse P. (eds) The world wheat book: A history of wheat breeding, Volume 2. Lavoisier, London, Paris, New York: 907–950.

Koemel J.E., Guenzi A.C., Carver B.F. et al. 2004. Hybrid and pure line hard winter wheat yield and stability. Crop Sci., 44: 107–113.

Kondić D., Bajić M., Hajder Đ., Bosančić B. 2017. The rate of productive tillers per plant of winter wheat (Triticum aestivum L.) cultivars under different sowing densities. АГРОЗНАЊЕ, 17(4): 345–357.

Konopka I., Fornal Ł., Dziuba M., Czaplicki S., Nałęcz D. 2007a. Composition of proteins in wheat grain streams obtained by sieve classification. Journal of the Science of Food and Agriculture, 87: 2198–2206.

Konvalina P., Moudry J., Capouchova, I. 2009. Baking quality of winter wheat varieties in organic farming. Agronomy Research, 7: 612–617.

Korbas M. 2005. Choroby kłosów zbóż. Ochrona Roślin, 50 (6): 7–10.

Korbas M., Martyniuk S., Rozbicki J., Beale R. 2001. Pszenica po pszenicy. Zgorzel podstawy źdźbła oraz inne choroby podsuszkowe. Wyd. Fundacja Rozwój SGGW: ss. 59

Korbas M., Mrówczyński M. (red.). 2020. Metodyka integrowanej produkcji pszenicy ozimej i jarej. Państwowa Inspekcja Ochrony Roślin i Nasiennictwa, Warszawa.

Kościelniak W., Rothkaehl J. 2000. Wpływ nawożenia azotem na plonowanie i wartość technologiczną ziarna jakościowych odmian pszenicy ozimej. Prz.. Zboż. Młyn., 44 (7): 8–11.

Kotwica K., Jaskulska I., Jaskulski D., Gałęzewski L., Walczak D. 2011. Wpływ nawożenia azotem i sposobu użyźniania gleby na plonowanie pszenicy ozimej w zależności od przedplonu. Fragm. Agron., 28(3): 53–62.

Kristó I., Gyuris K., Torma M., Hódi-Szél M., Petróczi, I.M. 2007. Investigation of sowing date and seeding rate on the yield of winter wheat. Cereal Res. Commun., 35(2): 685–688.

Ktenioudaki A., Butler F., Gallagher E., 2010. Rheological properties and baking quality of wheat varieties from various geographical regions. J. Cereal Sci., 51: 402–408.

Kulik T., Pszczółkowska A. 2011. Multilocus sequence analysis of *Fusarium poae*. Journal of Plant Pathology, 93: 119–126.

Kuś J., Jończyk K., Kawalec A. 2007. „Czynniki ograniczające plonowanie pszenicy ozimej w różnych systemach gospodarowania". Acta Agrophysica, 10 (2): 407–417.

Kwiatkowski C., Wesołowski M., Harasim E., Kubecki J. 2006. Plon i jakość ziarna odmian pszenicy ozimej w zależności od poziomu agrotechniki. Pam. Puł., 142: 277–286.

Laghari G.M., Oad F.C., Tunio S., Chachar Q., Ghandahi A., et al. 2011. Growth and yield attributes of wheat at different seed rates. Sarhad J. Agric., 27 (2): 177–183.

Laidig F., Piepho H. P., Drobek T., Meyer U. 2014. Genetic and nongenetic long-term trends of 12 different crops in German official variety performance trials and on-farm yield trends. Theor. Appl. Genet., 127: 2599–2617.

Lammerts van Bueren E.T., Struik P.C. 2017. Diverse concepts of breeding for nitrogen use efficiency. a review. Agron. Sustain. Dev., 37: 50.

Lassaletta L., Billen G., Grizzetti B., Anglade J., Garnier J. 2014. 50 year trends in nitrogen use efficiency of world cropping systems: the relationship between yield and nitrogen input to cropland. Environ. Res. Lett., 9: 105011.

Latshaw S. P., Vigil M. F., Haley S. D. 2016. Genotypic differences for nitrogen use efficiency and grain protein deviation in hard winter wheat. Agron. J., 108: 2201.

Le Gouis J., Beghin D., Heumez E., Pluchard P. 2002. Diallel analysis of winter wheat at two nitrogen levels. Crop Sci., 42: 1129.

Li J., Liu X., Yang X., Li Y., Wang C., He D. 2018. Proteomic analysis of the impacts of powdery mildew on wheat grain. Food Chem., 261: 30–35.

Litke L., Gaile Z., Ruža A. 2018. Effect of nitrogen fertilization on winter wheat yield and yield quality. Agronomy research, Vol. 16, nr 2.

Liu Z., Gao F., Liu Y., Yang J., Zhen X., Li X., Li Y., Zhao J., Li J., Qian B., Yang D., Li X. 2019. Timing and splitting of nitrogen fertilizer supply to increase crop yield and efficiency of nitrogen utilization in a wheat-peanut relay intercropping system in China. The Crop Journal, 7(1): 101–112.

Lloveras J., Manent J., Viudas J., López, A., Santiveri, P. 2004. Seeding rate influence on yield and yield components of irrigated winter wheat in a mediterranean climate. Agron. J., 96: 1258.

Lobell D.B., Schlenker W., Costa-Roberts J. 2011. Climate trends and global crop production since 1980. Science, 333: 616–620.

Lollato R.P., Ruiz Diaz D.A., DeWolf E., Knapp, M., Peterson D.E., et al. 2019. Agronomic practices for reducing wheat yield gaps: a quantitative appraisal of progressive producers. Crop Sci., 59 (1): 333.

Longin C.F.H., Gowda M., Mühleisen J., Ebmeyer E., Kazman E., Schachschneider R., Schacht J., Kirchhoff M., Zhao Y., Reif J.C. 2013. Hybrid wheat: quantitative genetic parameters and consequences for the design of breeding programs. Theor Appl Genet., 126: 2791–2801.

Longin C.F.H., Mühleisen J.., Maurer H.P., Zhang H.., Gowda M., Reif J.C. 2012. Hybrid breeding in autogamous cereals. Theor Appl Genet., 125: 1087–1096.

Longin C.F.H., Reif J.C., Würschum T. 2014. Long-term perspective of hybrid versus line breeding in wheat based on quantitative genetic theory. Theor Appl Genet., 127: 1635–1641.

Lopez J.A., Rojas K., Swart J. 2015. The economics of foliar fungicide applications in winter wheat in Northeast Texas. Crop Prot., 67: 35– 42.

Loyce, C.; Meynard, J.M.; Bouchard, C.; Rolland, B.; Lonnet, P.; Bataillon, P.; Bernicot, M.H.; Bonnefoy, M.; Charrier, X.; Debote, B.; et al. 2008. Interaction between cultivar and crop management effects on winter wheat diseases, lodging, and yield. Crop Prot., 27, 1131–1142.

Luo C., Branlard G., Griffin W.B., McNeil D.L. 2000. The Effect of Nitrogen and Sulphur Fertilisation and their Interaction with Genotype on Wheat Glutenins and Quality Parameters. J. Cereal Sci., 31: 185–194.

Łukanowski A., Sadowski C. 2005. Wykorzystanie metody PCR do badania jakości ziarna pszenicy ozimej uprawianej w systemach ekologicznym, integrowanym, konwencjonalnym oraz monokulturze w aspekcie fitopatologicznym. Acta Agrobot., 58: 55–70.

Macholdt J., Honermeier B. 2017. Yield stability in winter wheat production: a survey on German farmers' and advisors' views. Agronomy, 7(3): 45.

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: 225–238.

MacLean D.E., Lobo J.M., Coles K., Harding M.W., May W.E., Peng G., et al. 2018. Fungicide application at anthesis of wheat provides effective control of leaf spotting diseases in western Canada. Crop Prot., 112: 343–349.

Mahajan V., Nagarajan S., Srivastava M., Kumar V., Ganga Rao N. 1999. Commercial heterosis in wheat: an overview. RACHIS Newsl., 18: 13.

Majewska K. 1999. Podstawy klasyfikacji i syntezy białek glutenowych ziarna pszenicy. Żyw. Nauk. Technol. Jakość, 6 (2): 15–25.

Malik A.H., Kuktaite R., Johansson E. 2013: Combined effect of genetic and environmental factors on the accumulation of proteins in the wheat grain and their relationship to bread-making quality. Journal of Cereal Science, 57:170–174

Mandic V, Krnjaja V, Tomic Z, Bijelic Z, Simic A, Muslic D and Gogic M. 2015. Nitrogen fertilizer influence on wheat yield and use efficiency under different environmental conditions. Chilean Journal of Agricultural Research, 75(1): 92–97.

Martinez M.C., Ruiz M., Carrillo J.M. 2005. Effects of different prolamin alleles on durum wheat quality properties. J. Cereal Sci., 41: 123–131.

Matuschke I., Mishra R. R., Qaim M. 2007. Adoption and impact of hybrid wheat in India. World Dev, 35: 1422–1435.

Matuschke I., Qaim M. 2006. Adoption and impact of hybrid wheat in India. Presented at 'International Association of Agricultural Economists Conference' held during August 12–18, at Gold Cost, Australia.

Matzen N., Jørgensen J.R., Holst N., Jørgensen L. N. 2019. Grain quality in wheat—Impact of disease management. Eur. J. Agron., 103: 152–164.

Matzen N., Jørgensen J.R., Holst N., Jørgensen L.N. 2019. Grain quality in wheat—Impact of disease management. Eur. J. Agron., 103: 152–164.

Mazurek J., Sułek A. 1997. Wpływ głównych czynników agrotechnicznych na plon i cechy struktury plonu nowych odmian pszenicy jarej. Biul. IHAR 204: 81–88

McLeod J.G., Campbell C.A., Gan Y., Dyck F.B., Vera C.L. 1996. Seeding depth, rate and row spacing for winter wheat grown on stubble and chemical fallow in the semiarid prairies. Can. J. Plant Sci., 76 (2): 207–214.

Michniewicz J., Klockiewicz-Kamińska E., Kołodziejczyk P, 2000. Przydatność parametrów jakościowych do oceny wartości technologicznej ziarna pszenicy w piekarstwie. Prz. Zboż. Młyn., 3: 23–26.

Milford G.F.J., Penny A., Prew R.D., Darby R.J., Todd A.D. 1993. Effects of previous crop, sowing date, and winter and spring applications of nitrogen on the growth, nitrogen uptake and yield of winter wheat. The Journal of Agricultural Science, 121(1): 1–12.

Milus E.A. 1994. Effect of foliar fungicides on disease control, yield and test weight of soft red winter wheat. Crop Prot., 13: 291–295.

Morgan C.L., Austin R.B., Ford M.A., Bingham J., Angus W.J., Chowdhury S. 1989. An evaluation of F1 hybrid winter wheat genotypes produced using a chemical hybridizing agent. J. Agric. Sci., 112: 143.

Morris C.F., Rose S.P. 1996. "Wheat," in *Cereal Grain Quality*, eds R. J. Henry and P. S. Kettle (London: Chapman and Hall): 160–224.

Mróz A., Jelinowski S., Kuś J. 1990. Wpływ zmianowania na porażenie pszenicy ozimej przez Gaeumannomyces graminis i Pseudocercosporella herpotrichoides. Pam. Puł., 97: 55–63.

Mühleisen J., Piepho H.P., Maurer H.P., Longin C.F.H., Reif J.C. 2014. Yield stability of hybrids versus lines in wheat, barley and triticale. Theor. Appl. Genet., 127: 309–316.

Muralikrishna G., Nirmala M., 2005. Cereal alpha-amylases – an overview. Carbohyd. Polym., 60: 163–173.

Muste S., Modoran C., Man S., Muresan V., Birou A. 2010. The influence of wheat genotype on its quality. J. Agroaliment. Proc. Technol., 16(2): 99–103.

Najewska A, Drążkiewicz K, Skrzypek A. 2019. Wstępne wyniki plonowania odmian w doświadczeniach porejestrowych. Zboża ozime (pszenica, żyto, pszenżyto). Prejestrowe doświadczalnictwo odmianowe. COBORU, Słupia Wielka.

Najewski A. 2021. Wstęp. W: Lista opisowa odmian rolniczych. Zboża (red. H. Bujak, J. Zych). COBORU, Słupia Wielka: 5–16.

Narkiewicz-Jodko, M., Gil, Z., Wojciechowski, W., & Zmijewski, M. (2008). Zdrowotnosc i jakosc ziarna pszenicy jarej w zaleznosci od miedzyplonu i nawozenia azotem. *Fragmenta Agronomica*, *25*(1): 251–260.

Neumann S., Paveley N.D., Beed F.D., Sylvester-Bradley R. 2004. Nitrogen per unit leaf area affects the upper asymptote of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* epidemics in winter wheat. Plant Pathol., 53: 725–732.

Newberry M., Zwart A.B., Whan A., Mieog J.C., Sun M., Leyne E., ... & Ral J.P.F. 2018. Does late maturity alpha-amylase impact wheat baking quality?. Frontiers in Plant Science, 9: 1356.

Nguyen G. N., Kant S. 2018. Improving nitrogen use efficiency in plants: effective phenotyping in conjunction with agronomic and genetic approaches. *Functional* Plant Biology, 45(6): 606–619.

Niewiadomski W. 1998. Nauka o płodozmianie – stan i perspektywy. Post. Nauk Rol., 3: 127–138.

Niezgoda D. 2009. Zróżnicowanie dochodu w gospodarstwach rolnych oraz jego przyczyny. Zagadnienia Ekonomiki Rolnej / Problems of Agricultural Economics, 318(1): 24–37.

Noorka I.R., Batool A., Rauf S., da Silva J.A., Ashraf E. 2013. Estimation of heterosis in wheat (Triticum aestivum L.) under contrasting water regimes. Int. J. Plant Breed., 7: 55–60.

Nörnberg R., Silva J.A.G.D., Luche H.D.S., Tessmann E.W., Kavalco S.A.F., Zimmer, C.M., ... & Oliveira A.C.D. 2015. Tolerance to preharvest sprouting and yield of wheat genotypes from different breeding programs. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 50: 698–706.

O'Brien A.B.J., Brown J.S., Panozzo J.F., Archer M.J. 1990. The effect of stripe rust on the quality of Australian wheat varieties. Aust. J. Agric. Res., 41: 827–833.

Oktaba W. 1971. Metody statystyki matematycznej w doświadczalnictwie. PWN, Warszawa: ss. 488.

Olaru L., Oncică F., Matei G. 2008. Responses of wheat grain yield and quality to seed rate in central part of Oltenia, Romania. In Proceedings of 43rd Croatian and 3rd International Symposium on Agriculture, Opatija, Croatia: 588–590.

Oleksiak T. 2014. Effect of sowing date on winter wheat yields in Poland. Journal of Central European Agriculture, 15(4): 83–99.

Olesen J.E., Jorgensen L.N., Petersen J., Mortensen J.V. 2003. Effects of rates and timing of nitrogen fertilizer on disease control by fungicides in winter wheat. 2. Crop growth and disease development. J. Agric. Sci., 140: 15–29.

Olszewski J., Makowska M., Pszczółkowska A., Okorski A., Bieniaszewski T. 2014. The effect of nitrogen fertilization on flag leaf and ear photosynthesis and grain yield of spring wheat. Plant Soil and Environment, 60: 531–536.

Otteson B.N., Mergoum M. Ransom J.K. 2007. Seeding rate and nitrogen management effect on spring wheat yield and yield components. Agron. J., 99(6): 1615–1621.

Otteson B.N., Mergoum M., Ransom J.K. 2008. Seeding rate and nitrogen management on milling and baking quality of hard red spring wheat genotypes. Crop Science, 48: 749–755.

Oury F.-X., Godin C. 2007. Yield and grain protein concentration in bread wheat: how to use the negative relationship between the two characters to identify favourable genotypes? Euphytica, 157: 45–57.

Ozturk A., Caglar O., Bulut S. 2006. Growth and yield response of facultative wheat to winter sowing, freezing sowing and spring sowing at different seeding rates. J. Agron. Crop Sci., 192(1): 10–16.

Ozturk, A.; Caglar, O.; Bulut, S. 2006. Growth and yield response of facultative wheat to winter sowing, freezing sowing and spring sowing at different seeding rates. Journal of Agronomy and Crop Science, 192: 10–16.

Palazzini J.M., Torres A.M., Chulze S.N. 2018. Tolerance of triazole–based fungicides by biocontrol agents used to control Fusarium head blight in wheat in Argentina. Lett. Appl. Microbiol., 66: 434–438.

Paradowski A., Korbas M. 2012. Agrotechniczne czynniki plonochronne. W: Pszenice – zwyczajna, orkisz twarda. Uprawa i zastosowanie. (red. W. Budzyński). PWRiL, Poznań.

Park S.E., Benjamin L.R., Watkinson A.R. 2003. The theory and application of plant competition models: an agronomic perspective. Annals of Botany, 92: 471–478.

Paul P.A., McMullen M.P., Hershman D.E., Madden L.V. 2010. Meta-analysis of the effects of triazole-based fungicides on wheat yield and test weight as influenced by Fusarium head blight intensity. Phytopathology, 100: 160–171.

Perenzin, M., Corbellini, M., Accerbi, M., Vaccino, P., and Borghi, B. 1998. Bread wheat: F1 hybrid performance and parental diversity estimates using molecular markers. Euphytica,100: 273–279.

Piekarczyk M., Jaskulski D., Gałęzewski L. 2011. Effect of nitrogen fertilization on yield and grain technological quality of some winter wheat cultivars grown on light soil. Acta Scient. Polon. Agricultura, 10 (2): 87–95.

Pisarek M., Rozbicki J., Samborski S., Wawryło B., Golba J. 2013a. Wpływ wybranych siedmiu czynników agrotechnicznych na produkcyjność pszenicy ozimej w warunkach dużego udziału zbóż w zmianowaniu. Część II. Plon ziarna i składowe plonu. Fragm. Agron., 30(1): 113–120.

Pisarek M., Rozbicki J., Samborski S., Wawryło B., Golba J. 2013b. Wpływ siedmiu czynników agrotechnicznych na produkcyjność pszenicy ozimej w warunkach nadmiernego udziału zbóż w zasiewach. Część I. Plon biomasy nadziemnej, odżywienie roślin azotem oraz porażenie roślin zgorzelą podstawy źdźbła. Fragm. Agron., 30(1): 99–112.

Pląskowska E., Chrzanowska-Drożdż B. 2009. The health status of winter durum wheat grain in relation to fungicyde treatment. Phytopathologia, 54: 23–32.

Plett D.C., Ranathunge K., Melino V.J., Kuya N., Uga Y., Kronzucker, H.J. 2020. The intersection of nitrogen nutrition and water use in plants: new paths toward improved crop productivity. Journal of experimental botany, 71(15): 4452–4468.

Podolska G. 1997. Reakcja odmian i rodów pszenicy ozimej na wybrane czynniki agrotechniczne. Cześć I. Wpływ gęstości siewu na plon i strukturę plonu nowych odmian i rodów pszenicy ozimej. Biuletyn IHAR, 204: 57–162.

Podolska G. 2008. Wpływ dawki i sposobu nawożenia azotem na plon i wartość technologiczną ziarna odmian pszenicy ozimej. Acta Sci. Pol., Agricultura, 7(1): 57–65.

Podolska G. 2009. Reakcja odmian pszenicy ozimej na nawozenie azotem w doświadczeniach wazonowych. Biuletyn IHAR, (253): 83–91.

Podolska G. 2010. Plonowanie odmian pszenicy ozimej na glebie kompleksu żytniego dobrego. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 549: 165–173.

Podolska G., Krasowicz S., Sułek A. 2005. Ocena ekonomiczna i jakościowa uprawy pszenicy ozimej przy różnym poziomie nawożenia azotem. Pam. Puł., 139: 175–188.

Podolska G., Mikos M. 2010. Wady i zalety pszenicy Orkisz. Wieś Jutra, 4: 21–22.

Podolska G., Stankowski S. 2001. Plonowanie i jakość ziarna pszenicy ozimej w zależności od gęstości siewu i dawki nawożenia azotem. Biuletyn IHAR., 218/219: 127–136.

Podolska G., Stankowski S., Dworakowski T., 2007. Wpływ dawki nawożenia azotem na wielkość plonu i wartość technologiczną ziarna wybranych odmian pszenicy ozimej. Fragm. Agron., 24(2): 274–282.

Podolska G., Wyzińska M. 2011a. Reakcja odmian pszenicy ozimej na nawożenie azotem w doświadczeniach wazonowych. Pol. Journal of Agron., 5: 43–48.

Podolska G., Wyzińska M. 2011b. Reakcja nowych odmian pszenicy ozimej na gęstość i termin siewu. Pol. J. Agron., 6: 44–51.

Pomianowska K. 2002. Gluten pszenny - właściwości i zastosowanie. Prz. Zboż. Młyn., 46 (4): 10–11.

Prey L., Germer M., Schmidhalter U. 2019b. Temporal and Organ-specific Responses in NUE Traits to N Fertilization, Fungicide Intensity and Early Sowing in Winter Wheat Cultivars. Agronomy, 9 (6): 313.

Prey L., Kipp S., Hu, Y., Schmidhalter, U. 2019a. Nitrogen use efficiency and carbon traits of high-yielding European hybrid vs. line winter wheat cultivars: potentials and limitations. Frontiers in Plant Science, 9: 1988.

Prusiński J., Skinder Z. 2002. Analiza technologii rolnych stosowanych w rejonach intensywnego rolnictwa w powiązaniu z przyrodniczą jakością rolniczej przestrzeni produkcyjnej. [W] Uwarunkowania rozwoju i koncepcje monitoringu rejonów intensywnego rolnictwa, (red. S. Łojewski i Z. Skinder), Wyd. AT-R Bydgoszcz: 135-159.

Puppala V., Herrman T.J., Bockus W.W., Loughin T.M. 1998. Quality responses of twelve hard red winter wheat cultivars to foliar disease across four locations in central Kansas. Cereal Chem., 75: 94–99.

Qu H.J., Li J.C., Shen X.S., Wei F.Z., Wang C.Y., Zhi S.J. 2009. Effects of plant density and seeding date on accumulation and translocation of dry matter and nitrogen in winter wheat cultivar Lankao Aizao 8. Acta Agron. Sin., 35(1): 124–131.

Qu H.J., Li J.C., Shen X.S., Wei F.Z., Wang C.Y., Zhi S.J. 2009. Effects of plant density and seeding date on accumulation and translocation of dry matter and nitrogen in winter wheat cultivar Lankao Aizao 8. Acta Agron. Sin., 35(1): 124–131.

Rachoń L., Szumiło G., Czubacka M. 2012. Ocena szklistości ziarna wybranych odmian i gatunków pszenicy. Ann. UMCS, sec. E 67 (1): 17–23.

Rachoń L., Szumiło G., Stankowski S. 2011. Porównanie wybranych wskaźników wartości technologicznej pszenicy zwyczajnej (Triticum aestivum ssp. vulgare), twardej (Triticum durum) i orkiszowej (Triticum aestivum ssp. spelta). Frag. Agronom., 28(4): 52–59.

Rahman M.A.. Sarker M.A.Z., Amin M.F., Jahan A.H.S., Akhter M.M. 2011. Yield response and nitrogen use efficiency of wheat under different doses and split application of nitrogen fertilizer. Bangladesh J. Agric. Res., 36(2): 231–240.

Ransom J.K., McMullen M.V. 2008. Yield and disease control on hard winter wheat cultivars with foliar fungicides. Agron. J., 100: 1130–1137.

Rasmussen I.S., Dresboll D.B., Thorup-Kristensen K. 2015. Winter wheat cultivars and nitrogen (N) fertilization-Effects on root growth, N uptake efficiency and N use efficiency. European Journal of Agronomy, 68: 38–49.

Ray D.K., Mueller N.D., West P.C., Foley J.A. 2013. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. PLoS One, 8: e66428.

Ray D.K., Ramankutty N., Mueller N.D., West P.C., Foley J.A. 2012. Recent patterns of crop yield growth and stagnation. Nat Commun, 3:129.

Rekaby S.A., Eissa M.A., Hegab S.A., Ragheb H.M. 2016. Effect of nitrogen fertilization rates on wheat grown under drip irrigation system. Assiut J. Agric. Sci., 47 (3): 104–119.

Rothkaehl J. 2012. Konsumpcyjne ziarno pszenicy w obrocie i przetwórstwie. W: Pszenice – zwyczajna, orkisz, twarda. Uprawa i zastosowanie. Pod red. W. Budzyńskiego. PWRiL, Poznań.

Rothkaehl J., 2015. Jakość ziarna pszenicy ze zbiorów 2014 roku w Polsce. Przegl. Piekarski i Cukierniczy, 5: 10–14.

Rozbicki J. 2002. Kształtowanie wielkości i jakości plonu zbóż. Produkcja i rynek zbóż. Wyd. Wieś Jutra, Warszawa: 141–290.

Rozbicki J., Ceglińska A., Gozdowski D., Jakubczak M., Cacak-Pietrzak G., Mądry W., Golba J., Piechociński M., Sobczyński G., Studnicki M., Drzazga T. 2015. Influence of the cultivar, environment and management on the grain yield and bread-making quality in winter wheat. Journal of Cereal Science, 61: 126–132.

Ruske R.E., Gooding M. J., Jones S.A. 2003. The effects of adding picoxystrobin, azoxystrobin and nitrogen to a triazole programme on disease control, flag leaf senescence, yield and grain quality of winter wheat. Crop Prot., 22: 975–987.

Ruske R.E., Gooding M.J., Dobraszczyk B.J. 2004. Effects of triazole and strobilurin fungicide programmes, with and without late-season nitrogen fertiliser, on the baking quality of Malacca winter wheat. Journal of Cereal Science, 40 (1): 1–8.

Rynek zbóż. 2021.

Sadkiewicz J. 1998. Szklistość ziarna – ważny parametr w ocenie jakości pszenicy. Przegl. Zboż.- Młyn., 7: 18–19.

Saint Pierre C., Peterson C.J., Ross A.S., Ohm J.B., Verhoeven M.C., Larson M., Hoefer B. 2008. White Wheat Grain Quality Changes with Genotype, Nitrogen Fertilization, and Water Stress. Agron. J., 100: 414–420.

Sander G., da Costa A. C.T., únior, J.B.D. 2017. Agronomic performance of wheat as a function of different spacing and sowing densities in two agricultural years. African Journal of Agricultural Research, 12(42): 3099–3105.

Santa-Rosa R.H., Espitia Rangel E., Martínez-Cruz E., Villaseñor-Mir H.E., Huerta-Espino J., Mariscal-Amaro L.A. 2016. Productividad y calidad industrial de trigos harineros en relación a enfermedades. Agrociencia, 50 (8): 1027–1039.

Savary S., Willocquet L., Pethybridge S.J., Esker P., McRoberts N., Nelson A. 2019. The global burden of pathogens and pests on major food crops. Nat. Ecol. Evol., 3: 430–439.

Sawinska Z., Zawada D. 2009. Intensywność ochrony fungicydami a zdrowotność i plonowanie pszenicy ozimej. Prog. in Plant Protect., 49 (1): 279–283.

Scarpino V., Reyneri A., Sulyok M., Krska R., Blandino M. 2015. Effect of fungicide application to control Fusarium head blight and 20 Fusarium and alternaria mycotoxins in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). World Mycotoxin Journal, 8: 499–510.

Schachschneider R. 1997. Hybrid weizen-Stand und Erfahrungen. Bericht 48. Arbeitstagung ¨osterreichischer Pflanzenz¨uchter, Gumpenstein, Osterreich: 27–32.

Schierenbeck M., Fleitas M.C., Cortese F., Golik S.I., Simón M.R. 2019a. Nitrogen accumulation in grains, remobilization, and post-anthesis uptake under tan spot and leaf rust infections on wheat. Field Crops Res., 235: 27–37.

Schierenbeck M., Fleitas M.C., Gerard G.S., Dietz J.I., Simón M.R. 2019b. Combinations of fungicide molecules and nitrogen fertilization revert nitrogen yield reductions generated by *Pyrenophora tritici-repentis* infections in bread wheat. Crop Prot., 121: 173–181.

Schierenbeck M., Fleitas M.C., Simón M.R. 2019c. Nitrogen fertilization and ungicide mixtures in wheat: how do they affect the severity, yield and dynamics of nitrogen under leaf rust infections? Eur. J. Plant Pathol., 155: 1061–1075.

Schmitz P.K., Ransom J.K. 2021. Seeding rate effects on hybrid spring wheat yield, yield components and quality. Agronomy, 11 (6): 1240.

Šekularac A.,Torbica A., Živančev D., Tomić J., Knežević D. 2018. The influence of wheat genotype and environmental factors on gluten index and the possibility of its use as bread quality predictor. Genetika, 50: 85–93.

Shekoofa A., Emam Y. 2008. Effects of nitrogen fertilization and plant growth regulators (PGRs) on yield of wheat (Triticum aestivum L.) cv. Shiraz. Journal of Agricultural Science and Technology, 10: 101–108.

Shi R., Zhang Y., Chen X., Sun Q., Zhang F., Römheld V., Zou C. 2010. Influence of long-term nitrogen fertilization on micronutrient density in grain of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Cereal Science, 51 (1): 165–170.

Shiferaw B., Smale M., Braun H.J., Duveiller E., Reynolds M., Muricho G. 2013. Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. Food Security, 5(3): 291–317.

Silveira G, Carvalho F.I.F., Oliveira A.C., Valério I.P., Benin G., Ribeiro G., Crestani G., Luche H.S., Silva J.A.G. 2010. Efeito da densidade de semeadura e potencial de afilhamento sobre a adaptabilidade e estabilidade em trigo. Bragantia, 69 (1): 63–70.

Simón M.R., Fleitas M.C., Castro A.C., Schierenbeck M. 2020. How foliar fungal diseases affect nitrogen dynamics, milling, and end-use quality of wheat. Frontiers in Plant Science, 11, 1568.

Simón M.R., Fleitas M.C., Schalamuk S. 2013. "Recent advances on integrated foliar disease management in wheat in Argentina," in *Fungicides*, ed. M. Nita (Ithaca, NY: College of Agriculture and Life Sciences): 3–34.

Singh S.K., Chatrath R., Misra B. 2010. Perspective of hybrid wheat research: a review. Indian J Agric Sci., 80: 1013–1027.

Singh S.P., Srivastava R., Kumar J. 2015. Male sterility systems in wheat and opportunities for hybrid wheat development. Acta Physiol. Plant., 37: 1713.

Šip V., Vavera R., Chrpova J., Kusa P. 2013. Winter wheat yield and quality related to tillage practice. input level and environmental condition. Soil Tillage Res., 132: 77–85.

Skarżyńska A. 2021. Koszty jednostkowe i dochody wybranych produktów w 2019 roku– wyniki badań w systemie agrokoszty. Zagadnienia Ekonomiki Rolnej, 367(2): 148–163.

Skarżyńska A., Jabłoński K. 2011. Jednostkowe i dochody wybranych produktów w 2011 roku – Wyniki badań w systemie agrokoszt. Koszty i Dochodowość, IERiGŻ – PIB Warszawa: 124–143.

Skrajda M., Dąbrowski G., Konopka U., Tanska M., Buczek J. 2017. Effect of different cultivation technologies on correlations between the selected wheat grain quality features and the content of phenolic compounds. Polish Journal of Natural Sciences, 32(3): 537–548.

Snyder C.S. 2017. Enhanced nitrogen fertiliser technologies support the '4R' concept to optimise crop production and minimise environmental losses. Soil Research, 55: 463–472.

Soare A., Voicu G. 2013. Sowing density influence on autumn wheat production. Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture, 70(2): 463–464.

Solomon W., Anjulo A. 2017. Response of Bread Wheat Varieties to Different Levels of Nitrogen at Doyogena, Southern Ethiopia. Int. J. Sci. and Res. Public., 7(2): 452– 459.

Song X., Ni Z., Yao Y., Xie C., Li Z., Wu H., et al. 2007. Wheat (*Triticum aestivum* L.) root proteome and differentially expressed root proteins between hybrid and parents. Proteomics, 7: 3538–3557.

Soofizada Q., Pescatore A., Guerrini L., Fabbri C., Mancini M., Orlandini S., Napoli, M. 2022. Effects of Nitrogen plus Sulfur Fertilization and Seeding Density on Yield, Rheological Parameters, and Asparagine Content in Old Varieties of Common Wheat (*Triticum aestivum* L.). Agronomy, 12(2): 351.

Staggenborg S., Whitney D., Fjell D., Shroyer J. 2003. Seeding and nitrogen rates required to optimize winter wheat yields following grain sorghum and soybean. Agron. J., 95 (2): 253–259.

Stankowski S., Podolska G., Pacewicz K. 2004. Wpływ nawożenia azotem na plonowanie i jakość ziarna odmian pszenicy ozimej. Annales UMCS. Sectio E. Agricultura, 59 (3): 1363–1369.

Stankowski S., Rutkowska A. 2006. Kształtowanie się cech jakościowych ziarna i mąki pszenicy ozimej w zależności od dawki i terminu nawożenia azotem. Acta Sci. Pol., Agricultura, 5(1): 53–61.

Stankowski S., Smagacz J., Hury G., Ułasik S. 2008. Wpływ intensywności nawożenia azotem na jakość ziarna i mąki odmian pszenicy ozimej. Acta Sci. Pol., Agric., 7(3): 105–114.

Stępniewska S. 2016. Wartość przemiałowa ziarna wybranych odmian pszenicy ze zbiorów z lat 2012-2014. Acta Agrophysica, 23(1): 75–87.

Stępniewska S., Słowik E. 2016. Assessment of technological value of selected winter and spring wheat varieties. Acta Agrophysica, 23(2): 275–285.

Stoeva I., 2012. Technological evaluation of new common winter wheat lines developed at Dobrudzha Agricultural Institute – General Toshevo. Agric. Sci. Technol., 4 (1): 10–14.

Sułek A. 2017. Ocena ekonomiczna produkcji pszenicy ozimej z różnych grup użytkowych w zależności od intensywności technologii. *Roczniki* Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu, T. XIX, z. 2*:* 226–231.

Sułek A., Cacak-Pietrzak G., Ceglińska A. 2004. Wpływ różnych sposobów aplikacji azotu na plon, elementy jego struktury oraz wybrane cechy jakościowe ziarna odmian pszenicy jarej. Ann. UMCS, sec. E 59(2): 543–551.

Sułek A., Podolska G. 2008. Plonowanie i wartość technologiczna ziarna pszenicy jarej odmiany Nawra w zależności od dawki i terminu stosowania azotu. Acta Sci. Pol., Agric., 7(1): 103–110.

Sun H., Zhang X., Chen S., Pei D., Liu C. 2007. Effects of harvest and sowing time on the performance of the rotation of winter wheat–summer maize in the North China Plain. Industrial Crops and Products, 25: 239–247.

Švec I., Hrušková M. 2009. Modelling of wheat, flour and bread quality parameters. Sci. Agric. Bohem., 40(2): 58–66.

Svečnjak Z., Jenel M., Bujan M., Vitali D., Dragojevic V.I. 2013. Trace element concentrations in the grain of wheat cultivars as affected by nitrogen fertilization. Agr. Food Sci., 22: 445–451.

Szafrańska A. 2016. Metody oznaczania ilości i jakości glutenu. Przegląd Zbożowo-Młynarski, 60 (2): 28–31.

Szafrańska A., Rothkaehl J., 2011. Liczba opadania a maksymalna lepkość kleiku skrobiowego mąki pszennej. Przegl. Zboż.-Młyn., 10: 6–7.

Szempliński W., Budzyński W. 1999. Plonowanie pszenicy ozimej na różnych poziomach nakładów na nawożenie i ochronę przed chorobami. Pam. Puł., 118: 415–421.

Szempliński W., Budzyński W., Bielski S. 2020. Pszenica. W: Uprawa roślin (red. A. Kotecki) Wyd. UP, Wrocław, t. 2.

Szmigiel A., Oleksy A., Kołodziejczyk M. 2006. Porównanie opłacalności różnych grup użytkowych pszenicy ozimej w zależności od poziomu agrotechniki. Pamię. Puł. 142: 525–535.

Szumiło G., i Rachoń L. 2008. Reakcja wybranych gatunków pszenicy ozimej na termin siewu. Annales UMCS, Agricultura, 63 (4): 78–86.

Tanács, L., Gregová E., Bodnár K., Lantos F., Monostori T. 2010. Effects of fertilizers and fungicides applied in various doses and combinations on baking characteristics of wheat. Cereal Res. Commun., 38: 579–588.

Tavares L.C.V., Foloni J.S.S., Bassoi M.C., Prete C.E.C. 2014. Genótipos de trigo em diferentes densidades de semeadura. Pesqui. Agropecu. Trop., 44 (2):166–174.

Teixeira Filho M.C.M., Buzetti S., Alvarez R.C.F., Freitas J.G., Arf O., Sá M.E. 2008. Desempenho agronômico de cultivares de trigo em resposta a população de plantas e adubação nitrogenada. Científica, 36 (2): 97–106.

Tester M., Langridge P. 2010. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. Science, 327: 818–822.

Thanhaeuser S.M., Wieser H., Koehler P. 2014. Correlation of quality with the baking performance of wheat flours. Cereal Chem., 91 (4): 333–341.

Thompson, N.M., Epplin F.M., Edwards J.T., Hunger R.M. 2014. Economics of foliar fungicides for hard red winter wheat in the USA southern Great Plains. Crop Prot., 59: 1–6.

Thorwarth P., Piepho H.P., Zhao Y., Ebmeyer E., Schacht J., Schachschneider R., ... & Longin, C.F.H. 2018. Higher grain yield and higher grain protein deviation underline the potential of hybrid wheat for a sustainable agriculture. Plant Breeding, 137(3): 326–337.

Tilman D., Balzer C., Hill J., Befort B.L. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proceedings of the national academy of sciences, 108 (50): 20260–20264.

Tsvey Y., Ivanina R., Ivanina V., Senchuk, S. 2021. Yield and quality of winter wheat (Triticum aestivum L.) grain in relation to nitrogen fertilization. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, *74* (1): 9413–9422.

Valerio I.P., Carvalho F.I.F., Oliveira A.C., Benin G., Souza V.Q., Machado A.A., Bertan I., Busato C.C., Silveira G. Fonseca D.A.R. 2009. Seeding density in wheat genotypes as a function of tillering potential. Scientia Agricola, 66 (1), 28–39.

Valério I.P., Carvalho F.I.F., Oliveira A.C., Machado A.A., Benin G., Scheeren P.L., Souza V.Q., Hartwig I. 2008. Desenvolvimento de afilhos e componentes do rendimento em genótipos de trigo sob diferentes densidades de semeadura. Pesqui. Agropecu. Bras., 43 (3): 319–326.

Valério I.P., de Carvalho F. I. F., Benin G., da Silveira, G., da Silva, J. A. G., et al. 2013. Seeding density in wheat: the more, the merrier? Sci. Agric., 70 (3): 176– 184.

Varga B., Svecnjak Z., Jurkovic Z., Popisil W. 2007. Quality responses of winter wheat cultivars to nitrogen and fungicide application in Croatia. Acta Agron. Acad. Sci. Hung., 55: 37–48.

Vizitiu D., Ognean M., Danciu I. 2012. Rheological evaluation of laboratory mills. Bulletin UASVM Agriculture, 69(2): 440–446.

Wachowska, U., Kucharska K., Pluskota W., Czaplicki S., Stuper-Szablewska K. 2020. Bacteria Associated with Winter Wheat Degrade Fusarium Mycotoxins and Triazole Fungicide Residues. Agronomy, 10(11): 1673.

Walsh O.S., Shafian S., Christiaens R.J. 2018. Nitrogen Fertilizer Management in Dryland Wheat Cropping Systems. Plants (Basel), 7(1): 9.

Wang J., Pawelzik E., Weinert J., Zhao Q., Wolf G. 2004. Effect of fungicide treatment on the quality of wheat flour and breadmaking. J. Agric. Food Chem., 52: 7593–7600.

Wang Z., Ni Z., Wu H., Nie X., Sun Q. 2006. Heterosis in root development and differential gene expression between hybrids and their parental inbreds in wheat (*Triticum aestivum* L.). Theor. Appl. Genet., 113:1283–1294.

Watson A.M., Hare M.C., Kettlewell P.S., Brosnanand J.M., Agu R.C. 2010. Relationships between disease control, green leaf duration, grain quality and the production of alcohol from winter wheat. J. Sci. Food Agric., 90: 2602–2607.

Weber E.A., Graeff S., Koller W.D., Hermann W., Merkt N., Claupein W. 2008. Impact of nitrogen amount and timing on the potential of acrylamide formation in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Field Crops Research, 106(1): 44–52.

Weber R., Biskupski A. 2007. Wpływ gęstości oraz terminu siewu na elementy struktury plonu i plon odmian pszenicy ozimej w warunkach gleby lekkiej. Acta Scient. Polon. Agricultura, 6 (3): 77–85.

Wegulo S.N., Breathnach J. A., Baenziger P.S. 2009. Effect of growth stage on the relationship between tan spot and spot blotch severity and yield in winter wheat. Crop Prot. 28: 696–702.

Wegulo S.N., Zwingman M.V., Breathnach J.A., Baenziger P.S. 2011. Economic returns from fungicide application to control foliar fungal diseases in winter wheat. Crop Prot. 30: 685–692.

Weissmann S., Weissmann E.A. 2002. Hybrid triticale-prospects for research and breeding. Proceedings of the 5th International Triticale Symp. Radzikow, Poland:188–191.

Whaley J.M., Sparkes D.L., Foulkes M.J., Spink J.H., Semere T., et al. 2000. The physiological response of winter wheat to reductions in plant density. Ann. Appl. Biol. 137 (2): 165–177.

Whitford R., Fleury D., Reif J.C., Garcia M., Okada T., Korzun V., Langridge P. 2013. Hybrid breeding in wheat: technologies to improve hybrid wheat seed production. J. Exp. Bot., 64: 5411–5428.

Wiersma J.J. 2002. Determining an optimum seeding rate for spring wheat in Northwest Minnesota. Crop Management, 18: 1–7.

Wiersma J.J., Motteberg C.D. 2005. Evaluation of five fungicide application timings for control of leaf-spot diseases and Fusarium head blight in hard red spring wheat. Can. J. Plant Pathol., 27:25–37.

Wieser H. 2007. Chemistry of gluten proteins. Food Microbiol., 24: 115–119.

Wojcieska U. 1994. Fizjologiczna rola azotu w kształtowaniu plonu roślin. Cz. I. Oddziaływanie azotu na wielkość plonu roślin. Postępy Nauk Rolniczych, 1: 115–126.

Woźniak A., Rachoń L. 2020. Effect of tillage systems on the yield and quality of winter wheat grain and soil properties. Agriculture, 10: 405.

Wróbel E., Szempliński W. 1999. Plonowanie i wartość technologiczna ziarna pszenicy ozimej nawożonej zróżnicowanymi dawkami azotu. Pam. Puł., 118: 463–469.

Yang X.B., Zeng S.M. 1989. Effect of yellow rust on yield components of winter wheat in China. Plant Pathol. 38: 1–8.

Yao Y., Ni Z., Zhang Y., Chen Y., Ding Y., Han Z., et al. 2005. Identification of differentially expressed genes in leaf and root between wheat hybrid and its parental inbreds using PCR-based cDNA subtraction. Plant Mol. Biol., 58: 367–384.

Yi Q., He P., Zhang X.Z., Yang L., Xiong G.Y. 2015. Optimizing fertilizer nitrogen for winter wheat production in Yangtze river region in China. Journal of Plant Nutrition, 38: 1639–1655

Yu Z., Juhasz A., Islam S., Diepeveen D., Zhang J., Wang P., Ma W. 2018. Impact of mid-season sulphur deficiency on wheat nitrogen metabolism and biosynthesis of grain protein. Sci. Rep., 8: 2499.

Załuski D., Gołaszewski J., 2006. Efficiency of 3^{5-p} fractional factorial designs determined using additional information on the spatial variability of the experimental field. J. Agron. Crop Sci. 192: 303–309.

Zecevic V., Boskovic J., Knezevic D., Micanovic D. 2014. Effect of seeding rate on grain quality of winter wheat. Chil. J. Agric. Res., 74: 23–28.

Zehr B. 2001. Emerging biovision: Hybrid wheat. Paper presented at MSSRF-FAO expert meeting. Chennai, June: 25–28.

Zen El-Dein A.A.M., Seif ElNasr F.M. 2016. Effect of residual and straw for three preceding crops on growth, yield and yield components of wheat under different nitrogen fertilizer levels. J. Agric. Res. Kafr El-Sheikh Univ., 42 (2): 160–172.

Zhang Y., Dai X., Jia D., Li H., Wang Y., Li C., Xu H., He M. 2016. Effects of plant density on grain yield, protein size distribution, and breadmaking quality of winter wheat grown under two nitrogen fertilisation rates. Eur. J. Agron., 73: 1–10.

Zhao Y., Li Z., Liu G., Jiang Y., Maurer H.P., Würschum T., Mock H.P., Matros A., Ebmeyer E., Schachschneider R., Kazman E., Schacht J., Gowda M., Longin C.F.H., Reif J.C. 2015. Genome-based establishment of a high-yielding heterotic pattern for hybrid wheat breeding. Proc. Natl. Acad. Sci., USA, 112: 15624–15629.

Zhao Y., Mette M.F., Gowda M., Longin C.F.H., Reif J.C. 2014. Bridging the gap between marker-assisted and genomic selection of heading time and plant height in hybrid wheat. Heredity, 112: 638–645.

Zhao Y., Zeng J., Fernando R., Reif J.C. 2013. Genomic prediction of hybrid wheat performance. Crop Sci., 53(3): 802–810.

ANEKS

Tabela Aneks - 1. Warunki pogodowe w okresach fenologicznych pszenicy zwyczajnej odmiany Artist w sezonie wegetacyjnym 2016/17

Okres fenologiczny	Pierwszy termin siewu				Drugi termin siewu				Trzeci termin siewu			
	Czas trwania fenofazy	Liczba dni okresu	Suma opadów w okresie [mm]	Średnia temperatura dobowa okresu [ºC]	Czas trwania fenofazy	Liczba dni okresu	Suma opadów w okresie [mm]	Średnia temperatura dobowa okresu [ºC]	Czas trwania fenofazy	Liczba dni okresu	Suma opadów w okresie [mm]	Średnia temperatura dobowa okresu [ºC]
Siew – pełnia wschodów	20.09.16-30.09.16	11	11,6	11,5	30.09.16-15.10.16	16	65,1	8,2	10.10.16-27.10.16	18	31,7	5,8
Okres wegetacji jesiennej	20.09.16-05.11.16	47	145,8	7,6	30.09.16-05.11.16	37	136,2	6,7	10.10.16-05.11.16	27	77,6	5,5
Spoczynek zimowy	05.11.16-23.03.17	139	220,3	0,4	05.11.16-23.03.17	139	220,3	0,4	05.11.16-23.03.17	139	220,3	0,4
Wznowienie wegetacji – pełnia strzelania w źdźbło	23.03.17-02.05.17	40	57,2	6,9	23.03.17-02.05.17	40	57,2	6,9	23.03.17-06.05.17	44	57,2	7,4
Pełnia strzelania w źdźbło – pełnia kłoszenia	02.05.17-05.06.17	34	36,4	13,4	02.05.17-05.06.17	34	36,4	13,4	06.05.17-09.06.17	34	36,2	14,0
Pełnia kłoszenia-pełnia dojrzałości mlecznej	05.06.17-08.07.17	32	135,5	16,7	05.06.17-08.07.17	32	135,5	16,7	09.06.17-13.07.17	34	139,9	17,0
Pełnia dojrzałości mlecznej - pełnia dojrzałości woskowej	08.07.17-23.07.17	15	51,6	17,6	08.07.17-23.07.17	15	51,6	17,6	13.07.17-29.07.17	16	49,5	17,4
Pełnia dojrzałości woskowej – dojrzałość pełna	23.07.17-01.08.17	9	26,5	19,4	23.07.17-01.08.17	9	26,5	19,4	29.07.17-07.08.17	9	10,6	20,5
Okres wegetacji wiosennej	23.03.17-01.08.17	130	307,2	14,8	23.03.17-01.08.17	130	307,2	14,8	23.03.17-07.08.17	137	293,4	15,3
Okres pełnej wegetacji	20.09.17-01.08.17	316	673,3	7,6	30.09.17-01.08.17	306	663,7	7,3	10.10.17-07.08.17	303	591,3	7,1

Występowanie i grubość pokrywy śnieżnej: 28.11 – 29.11 = 8 cm ; 01 – 07. 12 = 7 cm ; 04 – 31.01= 5 cm ; 01.02 – 19.02 = 10 cm

Tabela Aneks - 2. Warunki pogodowe w okresach fenologicznych pszenicy zwyczajnej odmiany Hybery w sezonie wegetacyjnym 2016/17

Okres fenologiczny	Pierwszy termin siewu				Drugi termin siewu				Trzeci termin siewu			
	Czas trwania fenofazy	Liczba dni okresu	Suma opadów w okresie [mm]	Średnia temperatura dobowa okresu [ºC]	Czas trwania fenofazy	Liczba dni okresu	Suma opadów w okresie [mm]	Średnia temperatura dobowa okresu [ºC]	Czas trwania fenofazy	Liczba dni okresu	Suma opadów w okresie [mm]	Średnia temperatura dobowa okresu [ºC]
Siew – pełnia wschodów	20.09.16-30.09.16	11	11,6	11,5	30.09.16-15.10.16	16	65,1	8,2	10.10.16-27.10.16	18	31,7	5,8
Okres wegetacji jesiennej	20.09.16-05.11.16	47	145,8	7,6	30.09.16-05.11.16	37	136,2	6,7	10.10.16-05.11.16	27	77,6	5,5
Spoczynek zimowy	05.11.16-23.03.17	139	220,3	0,4	05.11.16-23.03.17	139	220,3	0,4	05.11.16-23.03.17	139	220,3	0,4
Wznowienie wegetacji – pełnia strzelania w źdźbło	23.03.17-02.05.17	40	57,2	6,9	23.03.17-02.05.17	40	57,2	6,9	23.03.17-06.05.17	44	57,2	7,4
Pełnia strzelania w źdźbło – pełnia kłoszenia	02.05.17-08.06.17	37	50,6	13,7	02.05.17-08.06.17	37	50,6	13,7	06.05.17-12.06.17	37	40,3	14,4
Pełnia kłoszenia-pełnia dojrzałości mlecznej	08.06.17-09.07.17	31	121,3	16,9	08.06.17-09.07.17	31	121,3	16,9	12.06.17-17.07.17	35	129,7	16,8
Pełnia dojrzałości mlecznej - pełnia dojrzałości woskowej	09.07.17-24.07.17	15	51,6	17,6	09.07.17-24.07.17	15	51,6	17,6	17.07.17-29.07.17	12	46	17,9
Pełnia dojrzałości woskowej – dojrzałość pełna	24.07.17-03.08.17	10	26,9	20,0	24.07.17-03.08.17	10	26,9	20,0	29.07.17-08.08.17	5	10,4	22,5
Okres wegetacji wiosennej	23.03.17-03.08.17	133	307,6	15,0	23.03.17-03.08.17	133	307,6	15,0	23.03.17-08.08.17	133	226,4	15,8
Okres pełnej wegetacji	20.09.17-03.08.17	319	673,7	7,7	30.09.17-03.08.17	309	664,1	7,4	10.10.17-08.08.17	299	524,3	7,0

Występowanie i grubość pokrywy śnieżnej: 28.11 – 29.11 = 8 cm ; 01 – 07. 12 = 7 cm ; 04 – 31.01= 5 cm ; 01.02 – 19.02 = 10 cm

Tabela Aneks - 3. Warunki pogodowe w okresach fenologicznych pszenicy zwyczajnej odmiany Artist w sezonie wegetacyjnym 2017/18

Okres fenologiczny	Pierwszy termin siewu				Drugi termin siewu				Trzeci termin siewu			
	Czas trwania fenofazy	Liczba dni okresu	Suma opadów w okresie [mm]	Średnia temperatura dobowa okresu [ºC]	Czas trwania fenofazy	Liczba dni okresu	Suma opadów w okresie [mm]	Średnia temperatura dobowa okresu [ºC]	Czas trwania fenofazy	Liczba dni okresu	Suma opadów w okresie [mm]	Średnia temperatura dobowa okresu [ºC]
Siew – pełnia wschodów	25.09.17-10.10.17	16	55,8	10,4	05.10.17-22.10.17	18	57,5	10,7	15.10.17-31.10.17	17	88,7	9,1
Okres wegetacji jesiennej	25.09.17-28.11.17	65	196,7	7,7	05.10.17-28.11.17	55	177,4	7,0	15.10.17-28.11.17	45	123,1	6,4
Spoczynek zimowy	28.11.17-03.04.18	127	133,5	-0,5	28.11.17-07.04.18	127	133,5	-0,5	28.11.17-07.04.18	127	133,5	-0,5
Wznowienie wegetacji – pełnia strzelania w źdźbło	07.04.18-04.05.18	28	31,6	13,2	07.04.18-06.05.18	30	31,6	13,1	07.04.18-08.05.18	32	31,6	13,2
Pełnia strzelania w źdźbło – pełnia kłoszenia	04.05.18-01.06.18	28	46,2	17,0	06.05.18-03.06.18	28	46,2	17,7	08.05.18-04.06.18	27	46,2	18,0
Pełnia kłoszenia-pełnia dojrzałości mlecznej	01.06.18-02.07.18	31	54,5	17,5	03.06.18-05.07.18	32	54,5	17,4	04.06.18-05.07.18	31	54,5	17,2
Pełnia dojrzałości mlecznej - pełnia dojrzałości woskowej	02.07.18-17.07.18	15	83,7	18,7	05.07.18-20.07.18	15	95,7	19,4	05.07.18-20.07.18	15	95,7	19,4
Pełnia dojrzałości woskowej – dojrzałość pełna	17.07.18-24.07.18	7	12,0	21,1	20.07.18-27.07.18	7	0,7	21,4	20.07.18-27.08.18	7	0,7	21,4
Okres wegetacji wiosennej	07.04.18-24.07.18	109	228	17,5	07.04.18-27.07.18	112	228,7	17,8	07.04.18-27.08.18	112	228,7	17,8
Okres pełnej wegetacji	25.09.17-24.07.18	301	558,2	8,2	05.10.17-27.07.18	294	539,6	8,1	15.10.17-27.08.18	284	485,3	7,9

Występowanie i grubość pokrywy śnieżnej: 01.11 – 05.12 = 5 cm ; 17 – 24. 01 = 10 cm ; 02 – 12.02= 1 cm ; 22.02 – 28.02 = 2 cm ; 01 – 06.03 = 2 cm.

Tabela Aneks - 4. Warunki pogodowe w okresach fenologicznych pszenicy zwyczajnej odmiany Hybery w sezonie wegetacyjnym 2017/18

Okres fenologiczny	Pierwszy termin siewu				Drugi termin siewu				Trzeci termin siewu			
	Czas trwania fenofazy	Liczba dni okresu	Suma opadów w okresie [mm]	Średnia temperatura dobowa okresu [ºC]	Czas trwania fenofazy	Liczba dni okresu	Suma opadów w okresie [mm]	Średnia temperatura dobowa okresu [ºC]	Czas trwania fenofazy	Liczba dni okresu	Suma opadów w okresie [mm]	Średnia temperatura dobowa okresu [ºC]
Siew – pełnia wschodów	25.09.17-10.10.17	16	55,8	10,4	05.10.17-22.10.17	18	57,5	10,7	15.10.17-31.10.17	17	88,7	9,1
Okres wegetacji jesiennej	25.09.17-28.11.17	65	196,7	7,7	05.10.17-28.11.17	55	177,4	7,0	31.10.17-28.11.17	45	123,1	6,4
Spoczynek zimowy	28.11.17-07.04.18	127	133,5	-0,5	28.11.17-07.04.18	127	133,5	-0,5	28.11.17-07.04.18	127	133,5	-0,5
Wznowienie wegetacji – pełnia strzelania w źdźbło	07.04.18-04.05.18	28	31,6	13,2	07.04.18-06.05.18	30	31,6	13,1	07.04.18-08.05.18	32	31,6	13,2
Pełnia strzelania w źdźbło – pełnia kłoszenia	04.05.18-01.06.18	28	46,2	17,0	06.05.18-03.06.18	28	46,2	17,7	08.05.18-04.06.18	27	46,2	18,0
Pełnia kłoszenia-pełnia dojrzałości mlecznej	01.06.18-02.07.18	31	54,5	17,5	03.06.18-05.07.18	32	54,5	17,4	04.06.18-05.07.18	31	54,5	17,2
Pełnia dojrzałości mlecznej - pełnia dojrzałości woskowej	02.07.18-17.07.18	15	83,7	18,7	05.07.18-20.07.18	15	95,7	19,4	05.07.18-20.07.18	15	95,7	19,4
Pełnia dojrzałości woskowej – dojrzałość pełna	17.07.18-24.07.18	7	12,0	21,1	20.07.18-27.07.18	7	0,7	21,4	20.07.18-27.08.18	7	0,7	21,4
Okres wegetacji wiosennej	07.04.18-24.07.18	109	228	17,5	07.04.18-27.07.18	112	228,7	17,8	03.04.18-27.08.18	112	228,7	17,8
Okres pełnej wegetacji	25.09.17-24.07.18	301	558,2	8,2	05.10.17-27.07.18	294	539,6	8,1	15.10.17-27.08.18	284	485,3	7,9

Występowanie i grubość pokrywy śnieżnej: 01.11 – 05.12 = 5 cm ; 17 – 24. 01 = 10 cm ; 02 – 12.02= 1 cm ; 22.02 – 28.02 = 2 cm ; 01 – 06.03 = 2 cm.

Tabela Aneks - 5. Warunki pogodowe w okresach fenologicznych pszenicy zwyczajnej odmiany Artist w sezonie wegetacyjnym 2018/19

Okres fenologiczny	Pierwszy termin siewu				Drugi termin siewu				Trzeci termin siewu			
	Czas trwania fenofazy	Liczba dni okresu	Suma opadów w okresie [mm]	Średnia temperatura dobowa okresu [ºC]	Czas trwania fenofazy	Liczba dni okresu	Suma opadów w okresie [mm]	Średnia temperatura dobowa okresu [ºC]	Czas trwania fenofazy	Liczba dni okresu	Suma opadów w okresie [mm]	Średnia temperatura dobowa okresu [ºC]
Siew – pełnia wschodów	20.09.18-02.10.18	13	21,5	11,8	30.09.18-20.10.18	21	6,6	11,4	05.10.18-26.10.18	22	34	10,5
Okres wegetacji jesiennej	20.09.18-20.11.18	62	92,7	9,5	30.09.18-20.11.18	52	71,2	8,9	05.10.18-20.11.18	47	64,6	8,9
Spoczynek zimowy	20.11.18-23.03.19	123	162,3	0,9	20.11.18-23.03.19	123	162,3	0,9	20.11.18-23.03.19	123	162,3	0,9
Wznowienie wegetacji – pełnia strzelania w źdźbło	23.03.19-22.04.19	31	1,2	6,2	23.03.19-23.04.19	32	1,2	6,4	23.03.19-23.04.19	32	1,2	6,4
Pełnia strzelania w źdźbło – pełnia kłoszenia	22.04.19-27.05.19	35	70	12,7	23.04.19-30.05.19	36	93,5	12,6	23.04.19-02.06.19	39	97,9	12,9
Pełnia kłoszenia-pełnia dojrzałości mlecznej	27.05.19-03.07.19	37	131,0	20,1	30.05.19-06.07.19	37	114,7	20,3	02.06.19-06..07.19	34	110,3	20,6
Pełnia dojrzałości mlecznej - pełnia dojrzałości woskowej	03.07.19-18.07.19	14	51,0	15,3	06.07.19-20.07.19	14	43,9	16,2	06.07.19-21.07.19	15	61,1	16,2
Pełnia dojrzałości woskowej – dojrzałość pełna	18.07.19-25.07.19	7	19,0	20,0	20.07.19-26.07.19	6	22,5	19,5	21.07.19-28.07.19	7	6,3	20,1
Okres wegetacji wiosennej	23.03.19-25.07.19	124	272,2	14,9	23.03.19-26.07.19	125	275,8	15,0	23.03.19-28.07.19	127	276,8	15,2
Okres pełnej wegetacji	20.09.18-25.07.19	309	527,2	8,4	30.09.18-26.07.19	300	509,3	8,3	05.10.18-28.07.19	297	504,7	8,3

Występowanie i grubość pokrywy śnieżnej: 15.12 – 25.12 = 3 cm ; 04 – 12. 01 = 5 cm ; 16 – 31.01= 5 cm ; 01.02 – 05.02 = 5 cm ; 07.02 – 12.02 = 10 cm

Tabela Aneks - 6. Warunki pogodowe w okresach fenologicznych pszenicy zwyczajnej odmiany Hybery w sezonie wegetacyjnym 2018/19

Okres fenologiczny	Pierwszy termin siewu				Drugi termin siewu				Trzeci termin siewu			
	Czas trwania fenofazy	Liczba dni okresu	Suma opadów w okresie [mm]	Średnia temperatura dobowa okresu [ºC]	Czas trwania fenofazy	Liczba dni okresu	Suma opadów w okresie [mm]	Średnia temperatura dobowa okresu [ºC]	Czas trwania fenofazy	Liczba dni okresu	Suma opadów w okresie [mm]	Średnia temperatura dobowa okresu [ºC]
Siew – pełnia wschodów	20.09.18-02.10.18	13	21,5	11,8	30.09.18-20.10.18	21	6,6	11,4	05.10.18-26.10.18	22	34	10,5
Okres wegetacji jesiennej	20.09.18-20.11.18	62	92,7	9,5	30.09.18-20.11.18	52	71,2	8,9	26.10.18-20.11.18	47	64,6	8,9
Spoczynek zimowy	20.11.18-23.03.19	123	162,3	0,9	20.11.18-23.03.19	123	162,3	0,9	20.11.18-23.03.19	123	162,3	0,9
Wznowienie wegetacji – pełnia strzelania w źdźbło	23.03.19-22.04.19	31	1,2	6,2	23.03.19-23.04.19	32	1,2	6,4	23.03.19-23.04.19	32	1,2	6,4
Pełnia strzelania w źdźbło – pełnia kłoszenia	22.04.19-27.05.19	35	70	12,7	23.04.19-30.05.19	36	93,5	12,6	23.04.19-02.06.19	39	97,9	12,9
Pełnia kłoszenia-pełnia dojrzałości mlecznej	27.05.19-03.07.19	37	131,0	20,1	30.05.19-06.07.19	37	114,7	20,3	02.06.19-06.07.19	34	110,3	20,6
Pełnia dojrzałości mlecznej - pełnia dojrzałości woskowej	03.07.19-18.07.19	14	51,0	15,3	06.07.19-20.07.19	14	43,9	16,2	06.07.19-21.07.19	15	61,1	16,2
Pełnia dojrzałości woskowej – dojrzałość pełna	18.07.19-25.07.19	7	19,0	20,0	20.07.19-26.07.19	6	22,5	19,5	21.07.19-28.07.19	7	6,3	20,1
Okres wegetacji wiosennej	23.03.19-25.07.19	124	272,2	14,9	23.03.19-26.07.19	125	275,8	15,0	23.03.19-28.07.19	127	276,8	15,2
Okres pełnej wegetacji	20.09.18-25.07.19	309	527,2	8,4	30.09.18-26.07.19	300	509,3	8,3	05.10.18-28.07.19	297	504,7	8,3

Występowanie i grubość pokrywy śnieżnej: 15.12 – 25.12 = 3 cm ; 04 – 12. 01 = 5 cm ; 16 – 31.01= 5 cm ; 01.02 – 05.02 = 5 cm ; 07.02 – 12.02 = 10 cm

Reakcja pszenicy ozimej na różnicowanie wybranych czynników agrotechnicznych

Witold Smaciarz, MSc, Eng.

Streszczenie

Wyniki prezentowanych badań z pszenicą ozimą uzyskano na podstawie ścisłych doświadczeń polowych zlokalizowanych w Zakładzie Produkcyjno-Doświadczalnym „Bałcyny" Spółka z o.o. w Bałcynach (53°40´N,19°50´E). Doświadczenie zakładano w układzie wieloczynnikowym typu 2^{1} x 3^{4-1}, w dwóch powtórzeniach, w którym testowano 5 czynników agrotechnicznych. Zmiennymi eksperymentu były: odmiana pszenicy ozimej (mieszańcowa Hybery, liniowa Artist), termin siewu (optymalny; opóźniony o 10 dni; opóźniony o 20 dni), gęstość siewu (200, 300, 400 ziaren·m^{-2}), dawka azotu (90, 150, 180 kg N·ha^{-1}) i ochrona przed chorobami (zaprawianie; zaprawianie + 1 zabieg fungicydem; zaprawianie + 2 zabiegi fungicydem).

W badaniach określono wpływy wybranych czynników agrotechnicznych na jakość technologiczną i efektywność produkcji ziarna pszenicy ozimej mieszańcowej odmiany Hybery i liniowej odmiany Artist. Dokonano wyboru technologii produkcji ziarna dla obu odmian gwarantujących uzyskanie stabilnych plonów dużych (najlepszy wybór) i plonów małych (najgorszy wybór), a następnie zbadano ich wpływ na klasyfikację jakościową surowca oraz określono dla nich nakłady finansowe i efektywność ekonomiczną.

Wykazano, że warunki pogodowe istotnie różnicowały wydajność pszenicy ozimej. Na glebie kompleksu pszennego dobrego pszenica mieszańcowa Hybery plonowała na statystycznie tym samym poziomie jak liniowa odmiana Artist. Obie odmiany wykazywały także podobną zmienność plonu w różnych cyklach badań. Plonowanie pszenicy ozimej w zależności od terminu siewu było statystycznie podobne. W wartościach bezwzględnych lepsze były siewy wrześniowe niż wykonywane 10. lub 15. października. W każdym sezonie wegetacji korzystniejsze dla plonu mieszańcowej odmiany Hybery były siewy w optymalnym terminie lub opóźnione o 10 dni. Liniowa odmiana Artist taką reakcję wykazywała jedynie w sezonie niskiego plonowania, a w pozostałych latach badań nie przejawiała istotnego zróżnicowania. Zastosowane w doświadczeniu gęstości siewu (200, 300, 400 ziaren·m^{-2}) modyfikowały istotnie wielkość plonu ziarna pszenicy ozimej. Statystycznie odmiana mieszańcowa Hybery i liniowa Artist reagowały zwyżką wydajności na wysiew ziarna do gęstości 300 ziaren·m^{-2}. Stosowane dawki azotu nie różnicowały istotnie plonu ziarna pszenicy ozimej. Zwiększenie dawki azotu z 90 do 150 kg N·ha^{-1} wywołało jedynie tendencję do wyraźnego wzrostu wydajności, która nie zwiększała się zauważalnie po dodaniu kolejnych 30 kg N·ha^{-1}. Najbardziej plonotwórczy w uprawie pszenicy mieszańcowej Hybery, we wszystkich sezonach wegetacyjnych, był azot stosowany w dawce 150 lub 180 kg N·ha^{-1}. W przypadku liniowej odmiany Artist, w cyklu niskiego plonowania pszenicy ozimej, wysoce korzystna dla plonu była już dawka 90 kg N·ha^{-1}. Sposób ochrony przed chorobami (zaprawianie ziarna, 1 lub 2 zabiegi fungicydem w okresie wegetacji) nie

różnicował istotnie plonu ziarna pszenicy ozimej. Uzyskane wyższe plonowanie badanych odmian przy pełnej dwuzabiegowej ochronie fungicydowej miało jedynie charakter tendencji. Głównymi elementami technologii gwarantujących stabilne i największe plony ziarna pszenicy mieszańcowej Hybery był optymalny termin siewu (20. lub 25. września) o średniej gęstości (300 ziaren·m^{-2}), nawożenie azotem w dawce 150 kg N·ha^{-1} i pełna (zaprawianie + 2 zabiegi w okresie wegetacji) ochrona przed chorobami grzybowymi. Najkorzystniejsze plonowanie liniowej odmiany Artist zapewniała technologia, która wymagała takiego samego zagęszczenia siewu i dawki azotu oraz tolerowała siew opóźniony o 10 dni (30. września lub 5. października) i niski poziom ochrony przeciwgrzybowej (tylko zaprawianie). Parametry jakościowe ziarna mieszańcowej odmiany Hybery charakteryzowały się mniej korzystnymi wyróżnikami wartości technologicznej. Dotyczy to przede wszystkim istotnie gorszej szklistości ziarna, a także niższego wskaźnika sedymentacji oraz mniejszej zawartości białka i glutenu mokrego w ziarnie. Wpływ pojedynczych czynników agrotechnicznych na jakość technologiczną surowca pszenicy ozimej był niewielki, przeważnie nieistotny. Różnicującym wpływom terminu siewu i dawki azotu podlegała jedynie szklistość ziarna u mieszańcowej Hybery oraz rozmiękczenie ciasta notowane u obu odmian na skutek zmiennego terminu siewu. Pszenica mieszańcowa Hybery w warunkach porównywanych technologii, w żadnym cyklu badań, nie osiągnęła dobrego surowca pod względem jakości technologicznej, ponieważ zawsze był on klasyfikowany do grupy C – paszowej. Na cele technologiczne dyskwalifikowały go zbyt mała zawartość białka, niski poziom wskaźnika sedymentacji oraz mała objętość chleba podczas wypieku. Pszenica liniowa Artist pożądaną jakość chlebową surowca (grupa B) uzyskała tylko w sezonie 2017–2018 w warunkach technologii charakteryzującej się niskim poziomem intensywności wszystkich agroczynników. W realiach rynkowych 2021 roku, wybrane technologie zapewniające duże i małe plony pszenicy mieszańcowej Hybery, ze względu na znaczący udział w kosztach materiału siewnego, wymagały większych nakładów niż technologie produkcji pszenicy liniowej Artist. Takie technologie uprawy mieszańca skutkowały otrzymaniem mniejszego dochodu, podrażały koszt jednostkowy i wykazywały mniejszy wskaźnik efektywności ekonomicznej. Niezależnie od intensywności technologii produkcji ziarna pszenicy ozimej uprawa każdej odmiany skutkowała korzystnym wynikiem ekonomicznym. Bardziej sprawne ekonomicznie w uprawie obu odmian były technologie gwarantujące duże plony.

Słowa kluczowe: pszenica ozima, odmiana mieszańcowa, termin siewu, gęstość siewu, dawka azotu, ochrona przed chorobami, plon ziarna i jego jakość, efektywność ekonomiczna

The response of winter wheat to different agronomic factors

Witold Smaciarz, MSc, Eng.

Summary

This dissertation presents the results of a small-area field experiment with winter wheat, conducted in the Agricultural Experiment Station in Bałcyny ("Bałcyny" Ltd., 53°40′N,19°50′E). The experiment had a 2^{1} x 3^{4-1} design with two replications, and five agronomic factors were tested. The experimental variables were as follows: winter wheat cultivar (hybrid cv. Hybery, open-pollinated cv. Artist), sowing date (optimal, delayed by 10 days, delayed by 20 days), seeding rate (200, 300, 400 kernels/m^{-2}), nitrogen rate (90, 150, 180 kg N ha^{-1}) and disease control method (seed dressing, seed dressing + one fungicide treatment, seed dressing + two fungicide treatments).

The effects of selected agronomic factors on the technological quality of grain and production efficiency of two cultivars of winter wheat, hybrid cv. Hybery and open-pollinated cv. Artist, were determined in the study. Production technologies were selected for both cultivars to obtain high stable grain yields (best choice) and low yields (worst choice). In the next step, their influence on grain quality classification was evaluated, and agricultural inputs and economic efficiency were determined for each technology.

It was found that winter wheat yields were significantly affected by weather conditions. The grain yields of hybrid cv. Hybery and open-pollinated cv. Artist grown on soil of good wheat complex (according to the Polish soil quality classification system) were comparable. Yield variability across years of the study was also similar in both cultivars. No significant differences were found in winter wheat yields in response to different sowing dates. In terms of absolute values, early sowing in September was preferable to sowing on 10 or 15 October. In each growing season, the hybrid cv. Hybery produced higher yields when the sowing date was optimal or delayed by 10 days. Such a response was noted in the open-pollinated cv. Artist only in the season characterized by low yields, whereas no significant differences were observed in the remaining years of the study. The applied seeding rates (200, 300, 400 kernels m^{-2}) significantly modified the grain yields of winter wheat. A significant increase in grain yields was noted in the hybrid cv. Hybery and open-pollinated cv. Artist at a seeding rate of 300 kernels/m^{-2}. The applied nitrogen rates had no significant effect on the grain yields of winter wheat. Grain yields tended to increase when the nitrogen rate was increased from 90 to 150 kg ha^{-1}, but a further increase in nitrogen rate (by 30 kg ha^{-1}) did not induce a considerable yield increment. A nitrogen rate of 150 or 180 kg ha^{-1} exerted the greatest yield-forming effect on winter wheat cv. Hybery in all growing seasons. In winter wheat cv. Artist, in the season characterized by low yields, a nitrogen rate of 90 kg ha^{-1} had a beneficial influence on grain yields. Disease control methods (seed dressing, one or two fungicide treatments during the growing season) had no significant effect on the grain yields of winter wheat. The analyzed cultivars tended to produce higher yields in response to full fungicide control (two treatments). The main components of the production technologies ensuring the highest and

stable grain yields of winter wheat cv. Hybery were the optimal sowing date (20 or 25 September), a seeding rate of 300 kernels/m^{-2}, a nitrogen rate of 150 kg ha^{-1} and full control of fungal diseases (seed dressing + two fungicide treatments during the growing season). The open-pollinated cv. Artist produced the highest grain yields under the production technology involving a seeding rate of 300 kernels/m^{-2} and a nitrogen rate of 150 kg ha^{-1}; this cultivar positively responded to delayed sowing (30 September or 5 October) and a low level of fungal disease control (only seed dressing). The technological quality of grain was lower in the hybrid cv. Hybery, mostly due to significantly lower grain vitreousness, lower sedimentation value, and a lower content of protein and wet gluten in grain. In most cases, individual agronomic factors exerted a minor and non-significant effect on the technological quality of winter wheat grain. Only grain vitreousness was affected by sowing date and nitrogen rate in cv. Hybery, and softening of dough was affected by sowing date in both cultivars. Under the compared production technologies, the technological quality of grain in cv. Hybery was not satisfactory in any year of the study, and grain was always classified to group C (fodder). Its processing suitability was low due to too low protein content, low sedimentation value and low baking volume of bread. The grain of cv. Artist was classified to group B (bread) only in the 2017–2018 growing season under the production technology characterized by low levels of all agronomic factors. Under the market conditions of 2021, selected technologies ensuring high and low grain yields required higher inputs in winter wheat cv. Hybery than cv. Artist due to a considerable share of seeds in overall costs. The analyzed technologies resulted in lower income, higher unit cost and lower efficiency ratio in cv. Hybery. The achieved economic results were satisfactory in both winter wheat cultivars, regardless of grain production technology. In both cultivars, the technologies ensuring high grain yields were more economically viable.

Key words: winter wheat, hybrid cultivar, sowing date, seeding rate, nitrogen rate, disease control, grain yield and quality, economic efficiency