UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNO-PRZYRODNICZY
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
W BYDGOSZCZY

ROZPRAWY NR 161

Iwona Jaskulska

ZALEŻNOŚCI PLONU I JAKOŚCI ZIARNA CHLEBOWEJ ODMIANY PSZENICY OZIMEJ OD WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI GLEBY W RÓŻNYCH STANOWISKACH W ZMIANOWANIU

BYDGOSZCZ – 2013

REDAKTOR NACZELNY
prof. dr hab. inż. Józef Flizikowski

REDAKTOR DZIAŁOWY
prof. dr hab. inż. Małgorzata Zalewska

OPINIODAWCY
prof. dr hab. Irena Małecka
prof. dr hab. Sławomir Stankowski

OPRACOWANIE REDAKCYJNE I TECHNICZNE
mgr Michał Górecki, mgr Patrycja Fereni-Morzyńska

© Copyright
Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego
Bydgoszcz 2013

ISSN 0209-0597

Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego
ul. Ks. A. Kordeckiego 20, 85-225 Bydgoszcz, tel. 52 3749482, 3749426
e-mail: wydawucz@utp.edu.pl http://www.wu.utp.edu.pl

Wyd. I. Nakład 100 egz. Ark. aut. 6,3. Ark. druk. 5.9. Zamówienie nr 1/2013
Oddano do druku i druk ukończono w styczniu 2013
Uczelniany Zakład Małej Poligrafii UTP Bydgoszcz, ul. Ks. A. Kordeckiego 20

Spis treści

1. Wstęp ... 5
2. Przedmiot, hipoteza robocza i cel badań ... 6
3. Przegląd literatury ... 7
4. Metodyka badań ... 11
   4.1. Badania polowe ... 11
      4.1.1. Lokalizacja i układ doświadczeń polowych ... 11
      4.1.2. Zakres badań ... 11
      4.1.3. Warunki siedliskowe ... 13
      4.1.4. Warunki agrotechniczne ... 20
   4.2. Analizy i oceny laboratoryjne ... 20
   4.3. Analiza statystyczna wyników ... 21
5. Omówienie i dyskusja wyników badań ... 23
   5.1. Związki korelacyjne pomiędzy właściwościami gleby a plonem i cechami jakości ziarna ... 23
   5.2. Zależności plonu i jakości ziarna od właściwości gleby ... 25
      5.2.1. Plon ziarna ... 25
      5.2.2. Plon a cechy jakości ziarna ... 33
      5.2.3. Masa tysiąca ziaren ... 34
      5.2.4. Wyrównanie ziarna ... 41
      5.2.5. Gęstość ziarna w stanie zsypnym ... 46
      5.2.6. Zawartość białka ogólnego ... 52
      5.2.7. Zawartość glutenu mokrego ... 57
      5.2.8. Wskaźnik sedymentacji ... 62
      5.2.9. Szklistość ziarna ... 65
      5.2.10. Liczba opadania ... 68
   5.3. Wielocechowe zależności plonu i jakości ziarna oraz warunków glebowych ... 69
      5.3.1. Składowe główne ... 69
      5.3.2. Zależności kanoniczne ... 72
6. Podsumowanie i wnioski ... 75

Literatura ... 77

Streszczenia ... 91

1. WSTĘP

Pszenica jest jedną z głównych roślin o kluczowym znaczeniu w strategii wyżywienia ludzkości [Cacak-Pietrzak i in. 2006, Podolska 2007, CIMMYT; ICARDA 2011, Budzyński 2012]. Fakt ten tłumaczy areał jej uprawy i udział w strukturze zasiewów zarówno w świecie, jak i w Polsce [FAO 2010, GUS 2011]. Wymagania siedliskowe, w tym glebowe oraz agrotechniczne pszenicy ozimej wobec zasobów gleb dobrej jakości i niewielu przedplonów o dużej wartości przyrodniczej sprawiają, że roślina ta jest często uprawiana w mało korzystnych warunkach siedliskowo-agrotechnicznych [Rudnicki 1998, Jaskulski i Jaskulska 2005]. Ogranicza to możliwość ujawnienia się w pełni jej potencjału genetycznego oraz jest jedną z przyczyn znacznie mniejszych i gorszych jakościowo plonów w warunkach produkcyjnych niż w badaniach [Harasim i Matyka 2011].

W polowej produkcji roślinnej ważnym czynnikiem siedliskowym jest gleba i jej jakość [Laudański i in. 2007ab]. Właściwości gleby kształtują się w wyniku procesu glebotwórczego zachodzącego w określonych warunkach środowiskowych przy mniejszej lub większej antropopresji. Na niektóre cechy gleby, np. skład granulometryczny, rolnicza i pozarolnicza działalność człowieka nie ma wpływu lub ma wpływ bardzo ograniczony [Horska-Schwarz 2005, Bryk i in. 2007, Pastuszko 2007]. Inne właściwości zależą od długotrwałych ukierunkowanych działań agrotechnicznych. Wieloletnie nawożenie czy zmianowanie roślin kształtują m.in.: zawartość materii organicznej, odczyn gleby oraz zasobność w składniki pokarmowe. Niektóre właściwości gleby, będące w dużym stopniu pochodną działań agrotechnicznych, jak zawartość mineralnych form azotu podlegają natomiast szybkim zmianom, nawet w okresie wegetacji [Małecka 2002, Körschens 2006, Gamzikov i in. 2007, Christensen i in. 2008].

Czynniki wzrostu i plonowania roślin oddziałują na nie w pewnym zakresie komplementarnie. Możliwa jest także częściowa wzajemna substytucja tych czynników. Stanowisko o gorszej wartości przyrodniczej może być rekompensowane wyborem gleby o dobrej jakości, a niektóre jej właściwości szybko korygowane, np. nawożeniem mineralnym. Efekty tych działań są na ogół ograniczone i nie pozwalają osiągać plonów i ich jakości na poziomie gwarantowanym przez optymalny układ czynników plonowania [Małecka i in. 2005, Smagacz i Kuś 2010]. Ważnym i aktualnym problemem badawczym oraz utylitarnym jest zatem pogłębianie wiedzy, dotyczącej reakcji roślin na właściwości gleby w zależności od elementów agrotechniki czy wpływu zabiegów agrotechnicznych w różnych warunkach siedliskowych na plony roślin uprawnych i ich jakość.

2. PRZEDMIOT, HIPOTEZA ROBOCZA I CEL BADAŃ

Praca badawcza jest próbą oceny zależności plonu i jakości ziarna pszenicy ozimej od warunków glebowych oraz wpływu stanowisk o różnej wartości przyrodniczo-gospodarczej na te zależności. Przedmiotem badań był plon i jakość ziarna pszenicy ozimej w stanowiskach po grochu siewnym, po sobie oraz po jej krótkotrwałej (2 lata) monokulturze w zależności od niektórych właściwości fizycznych i chemicznych gleby.

Hipoteza robocza badań zakłada, że gleba w polowej produkcji roślinnej jest ważnym czynnikiem kształtującym plonowanie roślin i jakość plonów. Różny jest jednak wpływ poszczególnych jej właściwości fizycznych oraz chemicznych na pszenicę ozimą. Odmienna bywa także jej reakcja w postaci zmian plonu i poszczególnych cech jakości ziarna na te właściwości. O jakości gleby stanowi wiele zależnych i niezależnych od agrotechniki właściwości, dlatego ważnym i możliwym jest poznanie przy użyciu procedur statystycznych stopnia nie tylko ich pojedynczego, ale zwłaszcza komplementarnego oddziaływania na plon i jakość ziarna w różnych stanowiskach. Określenie tych zależności umożliwi wnioskowanie o możliwości częściowej substytucji gorszego stanowiska w zmianowaniu przez poprawę niektórych właściwości gleby, a także rekompensowania mało korzystnych warunków glebowych przez wybór lepszego przedplonu.

Celem głównym badań była ocena zależności plonu i cech jakości ziarna chlebowej odmiany pszenicy ozimej od niektórych fizycznych i chemicznych właściwości gleby oraz wpływu stanowisk o różnej wartości przyrodniczej na związek plonu i jakości ziarna z warunkami glebowymi.

Szczegółowo badania obejmowały:

- określenie zmienności plonu oraz fizycznych i chemicznych parametrów jakościowych ziarna pszenicy ozimej pod wpływem zróżnicowanych warunków glebowych,
- ocenę siły i kierunku związku pomiędzy: uziarnieniem gleby, wskaźnikiem pH, zawartością węgla organicznego, azotu ogólnego, przyswajalnych makroskładników, wilgotnością gleby a plonem i cechami jakości ziarna, a także porównanie tych zależności w stanowiskach o różnej wartości przyrodniczej,
- określenie modeli najlepiej opisujących zależności pomiędzy zespołem właściwości gleby a plonem oraz właściwościami gleby a poszczególnymi cechami jakości ziarna,
- ocenę zależności pomiędzy łącznym oddziaływaniem właściwości gleby a zespołem cech określających plon i jakość ziarna pszenicy.

3. PRZEGLĄD LITERATURY

Gleba jest jednym z najistotniejszych czynników środowiskowych kształtujących warunki wzrostu, rozwoju i plonowania roślin uprawnych [Górski i in. 1999, Noworolnik 2009]. Jej jakość wynika z licznych, w dużym stopniu wzajemnie współzależnych, właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych. Do najważniejszych z nich należą: skład granulometryczny, struktura, gęstość, porowatość, zwięzłość, zasobność w składniki mineralne, zawartość próchnicy, odczyn i stosunki wodno-powietrzne [Listowski 1983, Dechnik i in. 1990, Pabin 1999, Usowicz i in. 2001].

Właściwości fizykochemiczne gleby jak: porowatość, gęstość, pojemność wodna, warunki powietrzne oraz pojemność sorpcyjna zależą w dużym stopniu od składu granulometrycznego i struktury gleby. Uziarnienie i trwała budowa agregatowa decydują o przepuszczalności gleby, retencji wody, wymianie gazowej, dynamice i kierunku przemian składników mineralnych oraz aktywności biologicznej. Warunki te określają konieczność i sposób wykonania zabiegów melioracyjnych, dobór roślin uprawnych oraz ich agrotechnikę [Wojtasik 1995, Rząsa i Owczarzak 2005].

Zawartość materii organicznej w glebie postrzegana jest jako podstawowy wyróżnik jej jakości [Liu i in. 2005]. Nawożenie organiczne i resztki pozbiorowe roślin będące jej głównymi źródłami wpływają m.in. na aktywność mikrobiologiczną gleby, zawartość różnych frakcji materii organicznej oraz ilość i dostępność azotu mineralnego w okresie wzrostu roślin [N'Dayegamiye i Tran 2001]. Nie mniej ważne jest ich korzystne oddziaływanie na powstawanie i trwałość struktury gruzełkowatej oraz warunki wodno-powietrzne [Domżał i Pranagal 1994, Suwara 2010, Giemza-Mikoda i in. 2011]. Właściwości agrochemiczne gleby określane są także przez zawartość składników pokarmowych, szczególnie ich form łatwo dostępnych dla roślin oraz odczyn [Lipiński 2000, 2009].

Pszenica, spośród roślin zbożowych, ma największe wymagania glebowe. Jej plonowanie zależy w dużym stopniu od składu granulometrycznego gleby oraz kompleksu glebowo-rolniczego, dlatego uprawiana na coraz gorszych glebach reaguje systematyczną obniżką plonu [Podolska i in. 2005b, Noworolnik 2008]. Plon pszenicy uprawianej na glebie kompleksu żytniego bardzo dobrego może być o kilkanaście, a kompleksu żytniego dobrego o ponad 40% mniejszy niż plon na kompleksie pszennym bardzo dobrym [Dmowski 1993]. Plonowanie zbóż determinowane jest przez interakcyjne oddziaływanie wielu właściwości gleby, m. in. takich jak: zawartość części spławianych i węgla organicznego, wskaźnik pH, a także elementów agrotechniki [Bednarek i in. 2009, Tkaczyk i in. 2010].

Warunki glebowe kształtują także cechy jakościowe ziarna, chociaż wyniki badań nie są jednoznaczne. Zdaniem niektórych autorów [Mazurek i Sułek 1996, Podolska 1998] ziarno pszenicy uprawianej na glebach lżejszych, zwłaszcza w latach o niewielkiej ilości opadów, charakteryzuje się niską celnością. Istnieje więc obawa, że ziarno takie może charakteryzować się małą wartością przemiałową. Badania Sułek [2010] wskazują, że uprawa pszenicy na glebach coraz lepszej jakości powoduje wzrost masy tysiąca ziaren i wskaźnika sedymentacji, natomiast zmniejsza się w tych warunkach zawartość białka, glutenu oraz liczba opadania. Kuś i Siuta [1995] wykazali, że pszenica ozima uprawiana na glebach zawierających więcej próchnicy (czarna ziemia i mada) wyróżniała się większą zawartością białka i glutenu w ziarnie w porównaniu z pszenicą uprawianą na glebie o składzie granulometrycznym piasku gliniastego. Według Podolskiej i in. [2005b] uprawa pszenicy na najlepszych glebach korzystnie wpłynęła na

gęstość ziarna w stanie zsypnym, wartość walorymetryczną oraz rozmiękczenie ciasta, pogarszała natomiast zawartość glutenu w ziarnie i wodochłonność mąki.

Niewłaściwy odczyn utrudnia roślinom pobieranie składników pokarmowych z gleby, co wpływa niekorzystnie na plon ziarna i pogarsza jego jakość [Filipek 2001]. Kwaśny odczyn gleby wpływa ujemnie na plony zbóż, zwłaszcza pszenica jest bardzo wrażliwa na zakwaszenie gleby reagując dużym spadkiem plonu. Dolna granica optymalnego pH gleby dla pszenicy ozimej wynosi 6,0 na glebach lekkich oraz 6,5 na glebach ciężkich [Listowski 1983, Panak i in. 1986, Dechnik i in. 1990, Podolska 2000]. W badaniach prowadzonych na obszarze całego kraju potwierdzono, że plonowanie pszenicy ozimej w istotny sposób zależy od odczynu gleby. Najkorzystniej jest, gdy jej wskaźnik pH wynosi powyżej 6,5 [Noworolnik 2008].

Pszenica ozima, jako roślina o dużych wymaganiach, reaguje zwiększeniem plonu na wzrastającą zawartość próchnicy czy węgla organicznego w glebie [Dresler i in. 2010, Seremesic i in. 2011]. Tahir i in. [2011] wykazali korzystne oddziaływanie kwasu huminowego aplikowanego do gleby na wzrost i plonowanie tej rośliny. Plonowaniu pszenicy sprzyja wieloletnie nawożenie organiczne zwiększające zawartość glebowej materii organicznej [Stefanescu 2004, Černý i in. 2010]. Podobnie wpływa także stosowanie obornika, kompostów lub słomy w bezpośrednim nawożeniu pszenicy [Barzegar i in. 2002].

Zasobność gleby w przyswajalne formy makro- i mikroskładników pozwala zaspokajać potrzeby pokarmowe roślin i wpływa na ich zdrowotność – jest zatem podstawowym czynnikiem plonowania pszenicy [Alvarez i Grigera 2005, Grzebisz i in. 2010]. Do najważniejszych pierwiastków plonotwórczych należy azot. Liczne źródła literatury zarówno światowej, jak i krajowej podają, że nawożenie tym składnikiem oraz jego zawartość w glebie ma największy wpływ zarówno na plonowanie, jak i parametry wartości technologicznej ziarna [Stankowski i Mortensen 1997, Mazurek i Sułek 1999, Podolska i Sułek 2002, Ducsay i Ložek 2004, Ehlert i in. 2004, Sułek i in. 2004, Knapowski i Ralcewicz 2004ab, Kocoń 2005, Kwiatkowski i in. 2006, Dubis i Borysewicz 2008, Ložek i in. 2008, Kocoń i Sułek 2010]. Wpływ azotu na plon oraz jakość ziarna zależy od jego aplikacji i współdziałania z wieloma czynnikami siedliskowymi, a także elementami agrotechniki. Istotne znaczenie mają dawka i jej podział, forma, termin oraz sposób stosowania nawozu [Blecharczyk i in. 2006, Stankowski i Rutkowska 2006, Podolska i in. 2007, Podolska 2008].

Oddziaływanie azotu na plonowanie pszenicy ozimej zależy m.in. od warunków siedliskowych, głównie pogodowych oraz stanowiska w zmianowaniu [Stankowski i in. 2004, Harasim i Wesołowska-Trojanowska 2010] i w niektórych przypadkach może być nieefektywne [Cacak-Pietrzak i in. 2005]. W przeciętnych warunkach przyrodniczo-agrotechnicznych wzrost plonu ziarna występuje do dawki około 140 kg N · ha^{-1} [Gawrońska-Kulesza i in. 1997], 160 kg N · ha^{-1} [Wróbel i Szempliński 1999], a nawet większej ilości azotu [Budzyński i in. 2004]. Według niektórych autorów [Chrzanowska-Drożdż 2001] po przekroczeniu dawki 150 kg N · ha^{-1} jego efektywność jest mała. Ze względu na labilność azotu w glebie jego plonotwórczy efekt zależy od dostępności zwłaszcza w okresach największego zapotrzebowania, czemu służy podział nawożenia tym składnikiem na kilka dawek [Podolska 2008, Rahman i in. 2011].

W uprawie pszenicy konsumpcyjnej wpływ warunków glebowych na jakość ziarna jest nie mniejszy niż na plon. Wyróżnikami jakości jest zespół parametrów charakteryzujących wielkość, dorodność i skład chemiczny ziarna. Należą do nich, m.in.: masa tysiąca ziaren, wyrównanie, gęstość w stanie zsypnym, zawartość białka i glutenu mokrego, rozpływalność glutenu, wskaźnik sedymentacyjny Zeleny'ego, szklistość oraz

liczba opadania [Kocoń 2005, Mazurkiewicz 2005, Cacak-Pietrzak 2008, Podolska 2008]. Masa tysiąca ziaren oraz gęstość ziarna świadczą o stopniu jego wypełnienia, celności i strukturze. Korzystnie na cechy te wpływa azot [Wróbel 1999, Wacławowicz i in. 2005, Dubis i Borysewicz 2008, Harasim i Wesołowska-Trojanowska 2010]. Niektórzy autorzy są jednak zdania, że większe dawki azotu powodują zdrobnienie ziarna, co wyraża się zmniejszeniem masy 1000 ziaren oraz gęstości w stanie zsypnym [Achremowicz i in. 1993, Budzyński i in. 2004, Stankowski i in. 2008].

Azot we wczesnych fazach wzrostu i rozwoju pszenicy oddziałuje głównie na plon, natomiast w późniejszych etapach rozwojowych (po kłoszeniu) wpływa na cechy jakościowe ziarna [Mazurek i in. 1999, Podolska i Sułek 2002, Sułek i in. 2002, Andersson 2005, Stankowski i Rutkowska 2006]. Powoduje on dobre jego wypełnienie oraz zwiększa zawartość azotu ogólnego w ziarnie i to zarówno jego formy białkowej, jak i niebiałkowej. Pod jego wpływem na ogół zwiększa się zawartość białka ogólnego i glutenu mokrego [Cygankiewicz 1997, Ciołek i Makarska 2004, Budzyński i Bielski 2008, Podolska 2008, Stankowski i in. 2008, Buczek i in. 2011]. Nadmierna ilość azotu może powodować jednak pogorszenie parametrów jakości ziarna. Gluten jest słabszy w rezultacie większego udziału niskocząsteczkowej gliadyny [Wooding i in. 2000, Johansson i in. 2001, Knapowski i Ralcewicz 2004a, Mazurkiewicz i Bojarczyk 2004, Kwiatkowski i in. 2006].

Ważnym parametrem świadczącym o ilości i jakości glutenu jest wskaźnik sedymentacji, którego wartość zwiększa się wraz z dawką azotu oraz jego dostępnością w końcowych fazach wzrostu i rozwoju [Ralcewicz i Knapowski 2004, Podolska i in. 2005a, Podolska 2008, Stankowski i in. 2008, Sułek i Podolska 2008]. Wyniki niektórych badań nie potwierdzają jednak silnej zależności między wskaźnikiem sedymentacji ziarna pszenicy a nawożeniem azotem [Spychaj-Fabisiak i in. 2006]. Azot wpływa natomiast na szklistość ziarna. Na ogół ziarno pszenic zawierających więcej białka jest bardziej szkliste [Mazurkiewicz i Bojarczyk 2004, Cacak-Pietrzak i in. 2005].

Aktywność enzymów amylolitycznych w ziarnie charakteryzuje liczba opadania. Jej wartość jest cechą genetyczną kształtowaną w różnym stopniu także przez czynniki siedliskowe i agrotechniczne. Wraz z obfitszym odżywianiem roślin azotem aktywność tych enzymów może się zmniejszać, co skutkuje większą wartością liczby opadania [Mazurek i Biskupski 1997, Hevia 1999, Borkowska i in. 2003, Knapowski i Ralcewicz 2004a]. Z badań Budzyńskiego i in. [2008] wynika natomiast, 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 natomiast związku między dawką i terminem stosowania azotu a liczbą opadania.

Fosfor, potas, magnez i inne składniki niezbędne w żywieniu roślin nie wpływają na ogół tak silnie jak azot na plon oraz cechy jakościowe ziarna pszenicy ozimej, chociaż stwierdza się dodatnią zależność między zawartością tych składników w glebie a plonowaniem zbóż [Noworolnik 2008, Bednarek i in. 2009, Dmowski i Dzieżyc 2009]. Niektórzy autorzy wskazują, że pszenica należy do roślin o niedużej wrażliwości na niedobór fosforu i potasu, a efektywność ich oddziaływania na plonowanie i jakość ziarna zależy od zasobności gleby. Przy średniej i wysokiej zasobności gleby nie stwierdza się bezpośredniego pozytywnego wpływu nawożenia tymi składnikami na plon oraz cechy technologiczne ziarna i mąki pszenicy jakościowej, takie jak: zawartość białka i glutenu, rozpływalność glutenu, wskaźnik sedymentacji, wodochłonność i objętość pieczywa. Korzystnie na plon oraz zawartość białka i glutenu oddziałuje natomiast nawożenie gleb o niskiej zasobności [Chrzanowska-Drożdż i Nowak 1995, Klupczyński i in. 2001, Mercik i Stępień 2001, Schmidt 2001]. Niedobór składników mineralnych

w glebie wpływa bowiem niekorzystnie nie tylko na plon, ale także na ich zawartość w ziarnie [Panak i in. 1986, Kopcewicz i Lewak 1998].

Składnikiem niezbędnym do wzrostu i rozwoju roślin jest również siarka. Bierze ona udział w wielu procesach fizjologicznych, m.in. metabolizmie azotu, biosyntezie niektórych aminokwasów i białek [Haneklaus i in. 2000, Kaczor i Zuzańska 2009]. Mimo że zapotrzebowanie pszenicy na siarkę jest stosunkowo małe, to może ona wpływać korzystnie na plon, zawartość białka i glutenu, szklistość ziarna, liczbę opadania oraz objętość pieczywa [Schnug i in. 1993, Zhao i in. 1999, Podleśna i in. 2003, Girma i in. 2005, Szulc 2008]. Deficyt siarki powoduje niekorzystne zmiany w składzie białek glutenowych ziarna pszenicy. Wzrasta synteza białek ubogich w siarkę, kosztem białek glutenowych bogatych w cysteinę i metioninę [Hagel 2005]. Zmiany te prowadzą do pogorszenia rozciągliwości i elastyczności ciasta [Podleśna 2010]. Zmiany cech jakościowych ziarna pszenicy oraz wielkości plonów mogą być spowodowane także niedoborem mikroelementów, szczególnie miedzi, manganu, cynku, żelaza, których źródłem są związki mineralne i glebowa substancja organiczna [Stanisławska-Glubiak i in. 1996, Podleśna 1999, Czuba 2000, Spiak 2000, Gondek i in. 2010].

Wilgotność gleby jest podstawowym czynnikiem siedliskowym kształtującym produkcyjność pszenicy oraz jakość jej ziarna. Niedobór wody powoduje spadek plonu, ale może także korzystnie oddziaływać na cechy jakościowe ziarna [Cacak-Pietrzak i in. 1999, Podolska i Sułek 2002, Podolska i in. 2006, Woźniak 2006]. Gromadzeniu białka w ziarnie pszenicy ozimej, a zwłaszcza dużej zawartości glutenu oraz wysokiej wartości wskaźnika sedymentacji sprzyja ciepły i umiarkowanie suchy sezon wegetacyjny. Zmniejszona ilość opadów pożądana jest zwłaszcza od fazy kłoszenia do dojrzałości woskowej [Goodling i Smith 1998, Woźniak i Gontarz 2005, Kocoń i Podolska 2008].

Pszenica ozima jest rośliną nie tylko o dużych wymaganiach glebowych, ale także agrotechnicznych. Wymaga najlepszych, niezbożowych stanowisk w zmianowaniu. Spośród wszystkich zbóż jest gatunkiem, który w największym stopniu reaguje zmniejszeniem plonu na uprawę w stanowisku po sobie, lub też po innych roślinach zbożowych [Suwara i Gawrońska-Kulesza 1994, Norwood 2000, Wesołowski i in. 2007]. Po przedplonach kłosowych uzyskuje się często ziarno o gorszej jakości [Blecharczyk i in. 1999, Smagacz 2004]. Ziarno pszenicy uprawianej w monokulturze zawierało istotnie mniej białka i glutenu mokrego niż w stanowisku po grochu i ziemniaku. Pogorszeniu uległy również wartość wskaźnika sedymentacji oraz gęstość i wyrównanie ziarna [Woźniak i Gontarz 2003, Woźniak 2004]. Buraczyńska i Ceglarek [2008] otrzymali większy plon i wyższą zawartość białka w ziarnie pszenicy ozimej uprawianej po grochu i mieszankach zbożowo-strączkowych niż w stanowiskach po pszenicy jarej i pszenżycie jarym. Według Buczka i Bobreckiej-Jamro [2010] większa zawartość białka i glutenu mokrego oraz wartość wskaźnika sedymentacji miała miejsce w przypadku ziarna pszenicy ozimej w stanowisku po grochu siewnym i pszenicy ozimej niż po owsie.

Wpływ licznych czynników genetycznych, siedliskowych i agrotechnicznych na plon i jego jakość sprawia trudności w ocenie ich oddziaływania w agroekosystemach. Z tego względu szczególnie cenne są analizy zależności plonów roślin uprawnych od dużej liczby różnorodnych czynników [Harasim i Matyka 2005]. W tym celu wykorzystuje się nie tylko analizę doświadczeń czynnikowych, ale również wiele innych metod statystycznych pozwalających określić związki pomiędzy cechami roślin a czynnikami siedliska i elementami agrotechniki jak: rachunek korelacji, regresję prostą i wielomianową, regresję wielokrotną, czy analizy wielowymiarowe [Weber 2004, Oleksiak 2009, Rymuza i in. 2012a].

4. METODYKA BADAŃ

4.1. Badania polowe

4.1.1. Lokalizacja i układ doświadczeń polowych

Badania polowe realizowano w Stacji Badawczej w Mochełku (53°13' N; 17°51' E) należącej do Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Część badań wykonano w ramach projektu MNiSW N N310 147335. W latach 2008-2011 wykonano dwa wielokrotne doświadczenia polowe o charakterze statycznym. Usytuowano je na polu eksperymentalnym obejmującym obiekty wieloletniego doświadczenia nawozowego założonego przez M. Batalina w 1948 roku na glebie płowej właściwej – wg Systematyki gleb Polski 2011. Gleba ta pod względem przydatności rolniczej należy do kompleksu żytniego bardzo dobrego, IVa klasy bonitacyjnej. Na polu doświadczalnym w latach 1948-2008 stosowano wielokrotnie modyfikowane zmianowanie roślin oraz nawożenie mineralne i organiczne [Urbanowski i in. 1988, Urbanowski i in. 1999]. Do 2000 roku występowało m.in. 14 obiektów nawozowych: brak nawożenia, słoma pszenna raz w rotacji zmianowania + NPK, NPK + wapnowanie, NPK, obornik raz w rotacji, a także obornik z corocznie stosowanym nawożeniem mineralnym – PK, NK, NKMg, NP, NPMg, NPK, NPKMg, NPK + wapnowanie, NPKMg + wapnowanie. Od 2000 roku na wszystkich obiektach stosowano dwa poziomy nawożenia mineralnego z wapnowaniem [Jaskulska 2011].

Doświadczenie pierwsze zlokalizowano na tym polu w obrębie czterech jego wcześniejszych replikacji obejmujących 112 jednostek eksperymentalnych – poletek (n = 112) zróżnicowanych pod względem warunków glebowych. Źródłem zróżnicowania właściwości fizycznych i chemicznych gleby była jej naturalna, niesystematyczna zmienność wynikająca z genezy i położenia oraz z wieloletniego zróżnicowanego nawożenia. Pszenicę ozimą uprawiano w trzech kolejnych latach (2008/2009-2010/2011). W pierwszym roku przedplonem był groch siewny, a następnie pszenica występowała po sobie w krótkotrwałej monokulturze – rok i dwa lata. Powierzchnia poletka wynosiła 24,0 m^2.

Doświadczenie drugie zlokalizowano na jednej z replikacji tego samego pola doświadczalnego, obejmującej 28 jednostek eksperymentalnych (n = 28) o powierzchni 12 m^2 każda. W latach 2008/2009-2010/2011, jednocześnie z doświadczeniem pierwszym, pszenicę ozimą w każdym roku uprawiano w trzech różnych stanowiskach w zmianowaniu. W stanowiskach tych przedplonami dla pszenicy były odpowiednio:
- groch siewny (groch),
- pszenica ozima (pszenica),
- dwuletnia monokultura pszenicy ozimej (monokultura).

4.1.2. Zakres badań

Corocznie na wszystkich jednostkach doświadczenia pierwszego (n = 112) oraz drugiego (3 stanowiska po n = 28) wykonywano standardowe analizy wybranych właściwości chemicznych i fizycznych gleby, określano plon pszenicy ozimej oraz cechy jakości ziarna. Skład granulometryczny gleby w poszczególnych doświadczeniach wykonywano raz w trzyletnim cyklu badań. Ilość azotu mineralnego w glebie i jej wilgotność określano kilkakrotnie w okresie wiosennej wegetacji pszenicy ozimej (tab. 1), odpowiednio:
- na przedwiośniu w momencie wznawiania wegetacji,
- na początku fazy strzelania w źdźbło do 2. kolanka (BBCH 30-32),
- w okresie intensywnego wzrostu – faza strzelania w źdźbło (BBCH 32-37),
- po kwitnieniu, w fazie rozwoju ziarniaków (BBCH 69-73).

Cechy te w analizie wyników traktowano jako zmienne.

Tabela 1. Właściwości gleby i ziarna pszenicy ozimej

Table 1. Properties of soil and winter wheat grain

Cecha (zmienna) – Property (vaiable)		
Pełna nazwa Full name	Skrócona nazwa Abbreviated name	Symbol Symbol
Udział (%) w składzie granulometrycznym frakcji: Share (%) in the granulometric composition		
– piaskowej – sand	Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1
– pyłowej – silt	Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2
– iłowej – clay	Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3
Wskaźnik pH gleby w 1 mol KCl · dm^{-3} Soil pH in 1 mol KCl · dm^{-3}	pH_{KCl}	x_4
Zawartość w glebie – Content in soil :		
– węgla organicznego (g · kg^{-1} gleby) organic carbon (g · kg^{-1} soil)	C_{org}	x_5
– azotu ogólnego (g · kg^{-1} gleby) total nitrogen (g · kg^{-1} soil)	$N_{ogól}$ N_{tot}	x_6
– przyswajalnego fosforu (mg P · kg^{-1} gleby) available phosphorus (mg P · kg^{-1} soil)	P	x_7
– przyswajalnego potasu (mg K · kg^{-1} gleby) available potassium (mg K · kg^{-1} soil)	K	x_8
– przyswajalnego magnezu (mg Mg · kg^{-1} gleby) available magnesium (mg Mg · kg^{-1} soil)	Mg	x_9
Ilość azotu mineralnego w glebie (kg N · ha^{-1}): Amount of mineral nitrogen in soil (kg N · ha^{-1}):		
▪ na przedwiośniu – in early spring	N_{min} – przedwiośnie N_{min} – early spring	x_{10}
▪ w fazie BBCH 30-32 pszenicy ozimej at BBCH 30-32 in winter wheat	N_{min} – BBCH 30-32	x_{11}
▪ w fazie BBCH 69-73 pszenicy ozimej at BBCH 69-73 in winter wheat	N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}
Wilgotność gleby (% wag.) Soil moisture (% by weight)		
▪ na przedwiośniu – in early spring	Wilgotność – przedwiośnie Moisture – early spring	x_{13}
▪ w fazie BBCH 32-37 – at BBCH 32-37	Wilgotność – BBCH 32-37 Moisture – BBCH 32-37	x_{14}
▪ w fazie BBCH 69-73 – at BBCH 69-73	Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	x_{15}
Plon ziarna (dt · ha^{-1}) – Grain yield (dt · ha^{-1})	Plon – Yield	y_1
Masa tysiąca ziaren (g) – Thousand grain weight (g)	MTZ – TGW	y_2
Wyrównanie ziarna (%) – Grain evenness (%)	Wyrównanie – Evenness	y_3
Gęstość ziarna w stanie zsypnym (kg · hl^{-1}) Test weight (kg · hl^{-1})	Gęstość Test weight	y_4
Zawartość białka w ziarnie (% s.m.) Protein content in grain (% d.m.)	Białko Protein	y_5
Zawartość glutenu mokrego (%) Wet gluten content (%)	Gluten Gluten	y_6
Wskaźnik sedymentacji (ml) Sedimentation index (ml)	Sedymentacja Sedimentation	y_7
Szklistość ziarna (%) – Grain glassiness (%)	Szklistość – Glassiness	y_8
Liczba opadania (s) – Falling number (s)	Liczba opadania – Falling number	y_9

4.1.3. Warunki siedliskowe

Pole doświadczalne w obrębie obu eksperymentów było zróżnicowane pod względem właściwości chemicznych i fizycznych. W doświadczeniu pierwszym udział frakcji piaskowej w uziarnieniu gleby wynosił od 60 do 85% i mimo mniejszego współczynnika zmienności odchylenie standardowe udziału tej frakcji w obrębie jednostek eksperymentalnych było większe niż frakcji pyłowej, a zwłaszcza iłowej (tab. 2).

Tabela 2. Zmienność właściwości gleby średnio w ogniwie zmianowania (n = 112) w latach 2009-2011

Table 2. Variation in soil properties; mean for the crop-rotation element (n = 112) over 2009-2011

Cecha gleby Soil property	Wartość cechy Property value			**s	***V (%)
	min.	max.	* $\bar{x}$		
Frakcja piaskowa – Sand fraction (%)	60,0	85,0	74,5	6,49	8,7
Frakcja pyłowa – Silt fraction (%)	13,0	35,0	22,9	5,78	25,3
Frakcja iłowa – Clay fraction (%)	2,0	5,0	2,7	0,74	27,7
pH_{KCl}	4,77	6,73	5,73	0,56	9,7
C_{org} (g · kg^{-1} gleby) – C_{org} (g · kg^{-1} soil)	5,00	9,81	7,04	1,14	16,3
$N_{ogół}$ (g · kg^{-1} gleby) – N_{tot} (g · kg^{-1} soil)	0,49	1,18	0,79	0,14	17,1
P (mg · kg^{-1} gleby) – P (mg · kg^{-1} soil)	59,0	137,8	94,9	19,66	20,7
K (mg · kg^{-1} gleby) – K (mg · kg^{-1} soil)	52,6	149,4	100,3	23,11	23,1
Mg (mg · kg^{-1} gleby) – Mg (mg · kg^{-1} soil)	13,3	34,3	20,5	4,57	22,2
N_{min} – przedwiośnie (kg · ha^{-1}) N_{min} – early spring (kg · ha^{-1})	33,6	62,6	44,7	5,94	13,3
N_{min} – BBCH 30-32 (kg · ha^{-1})	30,4	53,3	41,3	4,69	11,4
N_{min} – BBCH 69-73 (kg · ha^{-1})	29,9	80,4	55,1	12,35	22,4
Wilgotność – przedwiośnie (% wag.) Moisture – early spring (% by weight)	9,1	14,3	11,9	1,19	10,0
Wilgotność – BBCH 32-37 (% wag.) Moisture – BBCH 32-37 (% by weight)	10,5	14,4	12,5	1,14	9,2
Wilgotność – BBCH 69-73 (% wag.) Moisture – BBCH 69-73 (% by weight)	6,5	8,4	7,4	0,50	6,8

* $\bar{x}$ wartość średnia, **s odchylenie standardowe, ***V współczynnik zmienności

* $\bar{x}$ mean value, **s standard deviation, ***V coefficient of variation

Ponad 20% zmiennością charakteryzowała się zawartość przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu oraz ilość azotu w glebie w fazie rozwoju ziarniaków pszenicy ozimej. Zmienność ilości azotu była różna w latach zmianowania, w pierwszym roku w stanowisku po grochu siewnym relatywnie mała, a w kolejnych latach w stanowisku po pszenicy znacznie większa (tab. 3). Najmniej zmiennymi cechami gleby na 112 jednostkach doświadczalnych zarówno w kolejnych latach, jak i średnio w ogniwie zmianowania, były wielkość wskaźnika pH oraz jej wilgotność. W fazie rozwoju ziarniaków, gdy wilgotność gleby określano w okresie bezopadowym, wynosiła ona około 7-8% wag., a jej współczynnik zmienności w obrębie doświadczenia poniżej 10% (tab. 2, 3).

Tabela 3. Zmienność właściwości gleby w kolejnych latach ogniwa zmianowania po różnych przedplonach (n = 112)

Table 3. Variation in soil properties in successive years of crop-rotation element after various forecrops (n = 112)

Cecha gleby – Soil property	Wartość cechy – Property value			**s	***V (%)
	min.	max.	* $\overline{x}$		
2009 – groch/ pea					
pH_{KCl}	4,50	6,80	5,71	0,65	11,4
C_{org} (g · kg^{-1} gleby) – C_{org} (g · kg^{-1} soil)	5,02	10,67	7,29	1,26	17,3
$N_{ogól}$ (g · kg^{-1} gleby) – N_{tot} (g · kg^{-1} soil)	0,41	1,19	0,82	0,14	17,5
P (mg · kg^{-1} gleby) – P (mg · kg^{-1} soil)	42,7	139,5	93,0	23,24	25,0
K (mg · kg^{-1} gleby) – K (mg · kg^{-1} soil)	58,1	157,7	105,1	24,60	23,4
Mg (mg · kg^{-1} gleby) – Mg (mg · kg^{-1} soil)	11,0	37,0	16,7	4,09	24,5
N_{min} – przedwiośnie (kg · ha^{-1}) N_{min} – early spring (kg · ha^{-1})	47,4	89,4	61,3	10,43	17,0
N_{min} – BBCH 30-32 (kg · ha^{-1})	39,7	70,4	56,6	5,96	10,5
N_{min} – BBCH 69-73 (kg · ha^{-1})	44,8	81,1	63,7	8,41	13,2
Wilgotność – przedwiośnie (% wag.) Moisture – early spring (% by weight)	8,2	13,9	11,2	1,34	12,0
Wilgotność – BBCH 32-37 (% wag.) Moisture – BBCH 32-37 (% by weight)	10,5	15,1	12,6	1,22	9,6
Wilgotność – BBCH 69-73 (% wag.) Moisture – BBCH 69-73 (% by weight)	6,4	9,1	7,6	0,63	8,3
2010 – pszenica/ wheat					
pH_{KCl}	4,60	6,90	5,78	0,62	10,8
C_{org} (g · kg^{-1} gleby) – C_{org} (g · kg^{-1} soil)	5,06	9,55	7,07	1,13	16,0
$N_{ogól}$ (g · kg^{-1} gleby) – N_{tot} (g · kg^{-1} soil)	0,46	1,06	0,78	0,14	17,7
P (mg · kg^{-1} gleby) – P (mg · kg^{-1} soil)	38,8	141,7	98,0	19,90	20,3
K (mg · kg^{-1} gleby) – K (mg · kg^{-1} soil)	49,8	161,9	103,4	27,53	26,6
Mg (mg · kg^{-1} gleby) – Mg (mg · kg^{-1} soil)	15,0	48,0	28,6	7,49	26,2
N_{min} – przedwiośnie (kg · ha^{-1}) N_{min} – early spring (kg · ha^{-1})	25,9	65,2	38,1	8,43	22,1
N_{min} – BBCH 30-32 (kg · ha^{-1})	19,8	52,0	35,4	7,33	20,7
N_{min} – BBCH 69-73 (kg · ha^{-1})	16,9	77,1	47,6	16,41	34,5
Wilgotność – przedwiośnie (% wag.) Moisture – early spring (% by weight)	8,8	15,5	12,4	1,46	11,8
Wilgotność – BBCH 32-37 (% wag.) Moisture – BBCH 32-37 (% by weight)	11,0	15,3	13,6	1,35	10,0
Wilgotność – BBCH 69-73 (% wag.) Moisture – BBCH 69-73 (% by weight)	6,1	8,4	7,1	0,54	7,6
2011 – monokultura pszenicy/ wheat monoculture					
pH_{KCl}	4,80	6,80	5,69	0,47	8,2
C_{org} (g · kg^{-1} gleby) – C_{org} (g · kg^{-1} soil)	4,47	9,66	6,78	1,19	17,6
N_{tot} (g · kg^{-1} gleby) – N_{tot} (g · kg^{-1} soil)	0,42	1,30	0,78	0,18	22,6
P (mg · kg^{-1} gleby) – P (mg · kg^{-1} soil)	48,0	133,4	93,6	18,79	20,1
K (mg · kg^{-1} gleby) – K (mg · kg^{-1} soil)	49,8	137,0	92,2	21,54	23,4
Mg (mg · kg^{-1} gleby) – Mg (mg · kg^{-1} soil)	10,0	30,0	16,3	4,12	25,2
N_{min} – przedwiośnie (kg · ha^{-1}) N_{min} – early spring (kg · ha^{-1})	19,8	47,4	34,7	6,77	19,6
N_{min} – BBCH 30-32 (kg · ha^{-1})	14,0	48,6	31,9	8,13	25,5
N_{min} – BBCH 69-73 (kg · ha^{-1})	15,7	92,8	54,0	22,41	41,5
Wilgotność – przedwiośnie (% wag.) Moisture – early spring (%by weight)	8,2	15,0	12,1	1,30	10,7
Wilgotność – BBCH 32-37 (% wag.) Moisture – BBCH 32-37 (% by weight)	9,0	13,8	11,2	1,28	11,4
Wilgotność – BBCH 69-73 (% wag.) Moisture – BBCH 69-73 (% by weight)	6,1	9,1	7,6	0,72	9,4

*, **, *** – patrz tab. 2 – see Table 2

W doświadczeniu drugim obejmującym mniejszą liczbę jednostek eksperymentalnych (28 w każdym z trzech stanowisk) zmienność poszczególnych cech była mniejsza niż w obrębie doświadczenia pierwszego. Jednak podobnie jak w nim najbardziej zmienne (wartość współczynnika zmienności powyżej 10%) były: zawartość makroskładników oraz ilość azotu w fazie rozwoju ziarniaków w stanowiskach po pszenicy i po jej monokulturze (tab. 4, 5, 6). Najmniejszy współczynnik zmienności opisywał natomiast zróżnicowanie wilgotności gleby na przedwiośniu. Duża zmienność wyrażona współczynnikiem zmienności *V* dotyczyła także udziału frakcji iłowej w uziarnieniu gleby. Jest to jednak miara względna i przy małej wielkości cechy, wyrażanej w jednostkach całkowitych, współczynnik zmienności był relatywnie duży. Odchylenie standardowe, miara bezwzględna zmienności, udziału frakcji piaskowej w uziarnieniu gleby w każdym stanowisku było znacznie większe niż udziału frakcji pyłowej, a zwłaszcza iłowej w składzie granulometrycznym.

Tabela 4. Zmienność właściwości gleby w stanowisku po grochu siewnym (n = 28)

Table 4. Variation in soil properties in the stand after pea (n = 28)

Cecha gleby – Soil property	Wartość cechy – Property value			**s	***V (%)
	min.	max.	* $\bar{x}$		
Frakcja piaskowa – Sand fraction (%)	71,0	82,0	75,6	3,07	4,1
Frakcja pyłowa – Silt fraction (%)	16,0	26,0	22,0	2,73	12,4
Frakcja iłowa – Clay fraction (%)	2,0	3,0	2,36	0,49	20,7
pH_{KCl}	4,76	6,60	5,37	0,46	8,6
C_{org} (g · kg^{-1} gleby) – C_{org} (g · kg^{-1} soil)	6,11	8,01	7,09	0,62	8,8
$N_{ogól}$ (g · kg^{-1} gleby) – N_{tot} (g · kg^{-1} soil)	0,63	0,87	0,75	0,08	10,7
P (mg · kg^{-1} gleby) – P (mg · kg^{-1} soil)	45,6	100,6	78,2	14,55	18,6
K (mg · kg^{-1} gleby) – K (mg · kg^{-1} soil)	122,8	176,5	145,1	15,82	10,9
Mg (mg · kg^{-1} gleby) – Mg (mg · kg^{-1} soil)	11,4	24,8	18,5	3,33	18,0
N_{min} – przedwiośnie (kg · ha^{-1}) N_{min} – early spring (kg · ha^{-1})	51,9	64,2	57,2	2,99	5,2
N_{min} – BBCH 30-32 (kg · ha^{-1})	43,6	59,5	51,1	4,58	9,0
N_{min} – BBCH 69-73 (kg · ha^{-1})	54,2	69,3	62,1	3,94	6,3
Wilgotność – przedwiośnie (% wag.) Moisture – early spring (% by weight)	10,6	12,4	11,6	0,52	4,5
Wilgotność – BBCH 32-37 (% wag.) Moisture – BBCH 32-37 (% by weight)	11,4	14,6	13,3	0,80	6,0
Wilgotność – BBCH 69-73 (% wag.) Moisture – BBCH 69-73 (% by weight)	6,9	9,3	8,2	0,64	7,9

* $\bar{x}$ wartość średnia, **s odchylenie standardowe, ***V współczynnik zmienności

* $\bar{x}$ mean value, **s standard deviation, ***V coefficient of variation

Tabela 5. Zmienność właściwości gleby w stanowisku po pszenicy (n = 28)
Table 5. Variation in soil properties in the stand after wheat (n = 28)

Cecha gleby – Soil property	Wartość cechy – Property value			**s	***V (%)
	min.	max.	* $\overline{x}$		
Frakcja piaskowa – Sand fraction (%)	72,0	82,0	75,8	3,10	4,1
Frakcja pyłowa – Silt fraction (%)	16,0	25,0	21,9	2,78	12,7
Frakcja iłowa – Clay fraction (%)	2,0	3,0	2,3	0,48	20,5
pH_{KCl}	4,52	6,51	5,37	0,46	8,5
C_{org} (g · kg^{-1} gleby) – C_{org} (g · kg^{-1} soil)	6,08	8,02	7,08	0,61	8,6
$N_{ogół}$ (g · kg^{-1} gleby) – N_{tot} (g · kg^{-1} soil)	0,62	0,86	0,74	0,07	9,8
P (mg · kg^{-1} gleby) – P (mg · kg^{-1} soil)	54,2	94,9	78,2	11,93	15,3
K (mg · kg^{-1} gleby) – K (mg · kg^{-1} soil)	107,9	166,2	132,5	17,99	13,6
Mg (mg · kg^{-1} gleby) – Mg (mg · kg^{-1} soil)	10,0	21,0	16,7	2,70	16,2
N_{min} – przedwiośnie (kg · ha^{-1}) N_{min} – early spring (kg · ha^{-1})	41,8	52,3	47,3	2,71	5,7
N_{min} – BBCH 30-32 (kg · ha^{-1})	50,8	68,9	59,1	5,61	9,5
N_{min} – BBCH 69-73 (kg · ha^{-1})	43,4	67,9	54,3	7,76	14,3
Wilgotność – przedwiośnie (% wag.) Moisture – early spring (% by weight)	10,7	12,3	11,7	0,46	3,9
Wilgotność – BBCH 32-37 (% wag.) Moisture – BBCH 32-37 (% by weight)	10,6	13,7	12,4	0,70	5,6
Wilgotność – BBCH 69-73 (% wag.) Moisture – BBCH 69-73 (% by weight)	6,7	8,4	7,7	0,47	6,1

* $\overline{x}$ wartość średnia, **s odchylenie standardowe, ***V współczynnik zmienności
* $\overline{x}$ mean value, **s standard deviation, ***V coefficient of variation

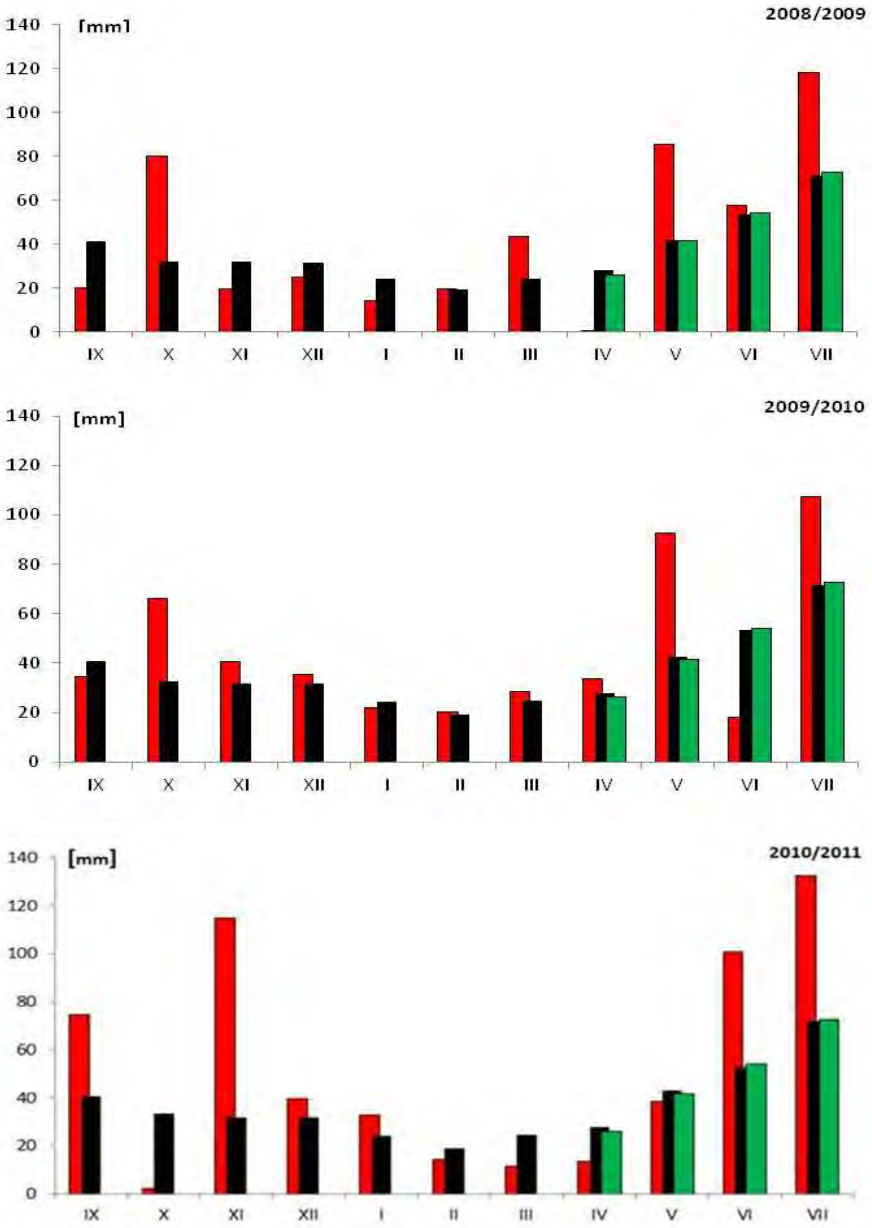
Tabela 6. Zmienność właściwości gleby w stanowisku po monokulturze pszenicy (n = 28)
Table 6. Variation in soil properties in the stand after wheat monoculture (n = 28)

Cecha gleby – Soil property	Wartość cechy – Property value			**s	***V (%)
	min.	max.	* $\overline{x}$		
Frakcja piaskowa – Sand fraction (%)	70,0	82,0	75,6	3,19	4,2
Frakcja pyłowa – Silt fraction (%)	16,0	27,0	22,0	2,85	12,9
Frakcja iłowa – Clay fraction (%)	2,0	3,0	2,4	0,50	20,8
pH_{KCl}	4,62	6,46	5,37	0,48	8,9
C_{org} (g · kg^{-1} gleby) – C_{org} (g · kg^{-1} soil)	6,20	8,08	7,08	0,60	8,5
$N_{ogół}$ (g · kg^{-1} gleby) – N_{tot} (g · kg^{-1} soil)	0,60	0,85	0,74	0,07	9,2
P (mg · kg^{-1} gleby) – P (mg · kg^{-1} soil)	47,9	97,1	73,3	12,81	17,5
K (mg · kg^{-1} gleby) – K (mg · kg^{-1} soil)	100,1	168,0	129,6	19,75	15,2
Mg (mg · kg^{-1} gleby) – Mg (mg · kg^{-1} soil)	13,3	20,0	16,4	1,79	11,0
N_{min} – przedwiośnie (kg · ha^{-1}) N_{min} – early spring (kg · ha^{-1})	33,5	45,8	38,3	3,03	7,9
N_{min} – BBCH 30-32 (kg · ha^{-1})	43,7	63,1	51,4	4,79	9,3
N_{min} – BBCH 69-73 (kg · ha^{-1})	42,1	86,1	68,1	11,81	17,4
Wilgotność – przedwiośnie (% wag.) Moisture – early spring (% by weight)	10,8	12,5	11,7	0,44	3,7
Wilgotność – BBCH 32-37 (% wag.) Moisture – BBCH 32-37 (% by weight)	12,1	14,5	13,2	0,60	4,6
Wilgotność – BBCH 69-73 (% wag.) Moisture – BBCH 69-73 (% by weight)	6,7	9,9	8,1	0,77	9,6

* $\overline{x}$ wartość średnia, **s odchylenie standardowe, ***V współczynnik zmienności
* $\overline{x}$ mean value, **s standard deviation, ***V coefficient of variation

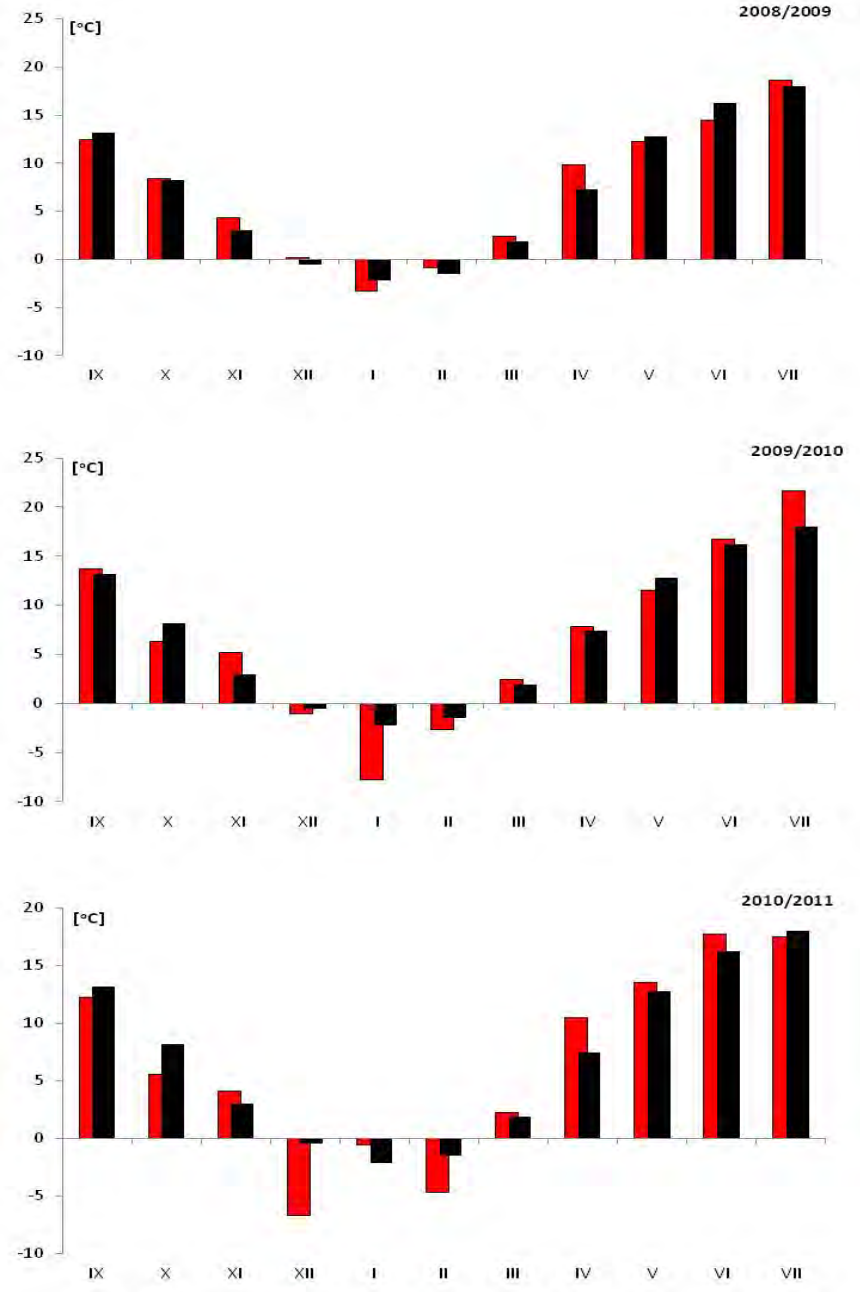
W latach realizacji badań polowych zmienne były także warunki meteorologiczne. W pierwszym okresie wegetacji pszenicy ozimej miesięczne sumy opadów w: październiku, marcu, maju, czerwcu i lipcu były większe niż średnio w wieloleciu, a w pozostałych miesiącach, zwłaszcza w kwietniu, mniejsze (rys. 1).

W sezonie wegetacyjnym 2009/2010 miesięczne sumy opadów były zbliżone do średnich sum w wieloleciu. Tylko październik, maj i lipiec obfitowały w opady, natomiast w czerwcu było ich prawie trzykrotnie mniej niż przeciętnie. Bardzo zmienne były warunki opadowe w trzecim roku badań. Duża ilość opadów wystąpiła we wrześniu, a następnie w listopadzie. Październik był natomiast miesiącem prawie bezopadowym. W okresie wiosennoletniej wegetacji większa niż przeciętnie ilość opadów wystąpiła dopiero w czerwcu i lipcu. Były one jednocześnie znacznie większe niż potrzeby opadowe pszenicy ozimej. We wcześniejszych latach wyraźnie większe opady niż potrzeby opadowe miały miejsce w maju i lipcu. Wyższe temperatury powietrza jesienią, z wyjątkiem września, niż średnio w wieloleciu występowały w pierwszym roku badań (rys. 2). Cieplejszymi były także miesiące zimowe, luty i marzec. W kolejnych latach chłodniejsze niż przeciętnie były październik i grudzień, a zimą styczeń i luty 2010 roku oraz grudzień i luty 2011 roku. W okresie wiosennej wegetacji wyższa temperatura niż przeciętnie panowała w kwietniu każdego roku, a ponadto w lipcu 2009, czerwcu i lipcu 2010 oraz maju i czerwcu 2011 roku.



Rys. 1. Warunki opadowe w kolejnych okresach wegetacji pszenicy ozimej na tle średnich opadów wieloletnich i jej potrzeb opadowych w miesiącach wiosennoletnich

Fig. 1. Precipitation conditions in successive periods of winter wheat vegetation against mean-many–year period precipitation and winter wheat precipitation requirements in spring and summer months



Rys. 2. Warunki termiczne w kolejnych okresach wegetacji pszenicy ozimej na tle średnich miesięcznych temperatur w wieloleciu

Fig. 2. Temperature conditions in successive winter wheat vegetation periods against mean monthly temperatures in the many-year period

4.1.4. Warunki agrotechniczne

Do badań użyto pszenicę ozimą 'Batuta', odmianę chlebową, klasy jakościowej B. Wybór tej odmiany był celowy i wynikał z tolerancji przez nią gorszych warunków siedliskowych i przedplonowych, a jednocześnie z korzystnych cech jakości ziarna do wypieku chleba. W obu doświadczeniach stosowano klasyczną, orkową uprawę roli. W jej skład wchodziły: podorywka pielęgnowana, orka siewna oraz uprawa powierzchniowa biernym agregatem uprawowym. Nawożenie stosowano w ograniczonej ilości, odpowiadającej potrzebom pszenicy ozimej na wytworzenie około 4,0-4,5 t ziarna, aby reakcja roślin na nawożenie, zwłaszcza azotem, nie ograniczała silnie wpływu zróżnicowanych właściwości gleby na plon ziarna i jego jakość. Fosfor i potas stosowano przedsiewnie w dawkach 40 kg $P_20_5 \cdot ha^{-1}$ i 80 kg $K_20 \cdot ha^{-1}$. Azot aplikowano doglebowo w ilości 110 kg $N \cdot ha^{-1}$ w dwóch dawkach (60% w momencie wiosennego wznowienia wegetacji oraz 40% w fazie drugiego kolanka – BBCH 32). Ochrona roślin obejmowała zwalczanie chwastów jedno- i dwuliściennych jesienią w fazie BBCH 13-14 przy użyciu herbicydu Legato Plus 600 SC – 1,33 $l \cdot ha^{-1}$ oraz dwa zabiegi przeciwko chorobom grzybowym. Pierwszy zabieg w stadium BBCH 30-32 (Capalo 337,5 SE 2,0 $l \cdot ha^{-1}$), drugi na liść flagowy/początek kłoszenia BBCH 49-51 (Duett Ultra 497 SC 0,6 $l \cdot ha^{-1}$). Szkodniki zwalczano interwencyjnie w momencie ich wystąpienia, zgodnie z zaleceniami IOR-PIB. Zbiór przy użyciu kombajnu poletkowego Wintersteiger wykonywano w pełnej dojrzałości ziarna przy jego wilgotności poniżej 15%. Po zbiorze pobierano próbki ziarna do ocen i analiz laboratoryjnych.

4.2. Analizy i oceny laboratoryjne

Próbki gleby do analiz pobierano corocznie (z wyjątkiem oceny składu granulometrycznego) z każdej jednostki eksperymentalnej według zasad określonych w PN-R-04031:1997 z wierzchniej warstwy gleby do głębokości 20-30 cm, w zależności od oznaczanych parametrów. Zawartość azotu mineralnego, oprócz warstwy 0-30 cm, określano również w warstwie głębszej (30-60 cm), a następnie uwzględniając gęstość objętościową wyrażano jego ilość w kg $N \cdot ha^{-1}$. Azot mineralny i wilgotność gleby oceniano trzykrotnie w okresie wiosennej wegetacji pszenicy ozimej. Pierwszy raz na przedwiośniu w momencie wznawiania wegetacji i drugi raz w fazie strzelania w źdźbło pszenicy BBCH 32-37. Próbki gleby pobierano kilka dni po opadach wynoszących ponad 10 mm, co miało umożliwić ocenę wilgotności gleby wynikającą z jej właściwości, a nie nadmiaru wody opadowej lub spływającej. W fazie rozwoju ziarniaków (BBCH 69-73) próbki do oznaczenia wilgotności gleby pobierano w okresie bezopadowym. Wówczas ona była efektem nie tylko właściwości gleby, ale także intensywnego pobierania wody przez łan roślin. Uziarnienie gleby w obu doświadczeniach oceniano jednokrotnie, na początku badań. Próbki gleby pobierano przy użyciu laski Egnera i cylinderków glebowych. Analizy glebowe wykonano:

- skład granulometryczny – metodą dyfrakcji laserowej,
- pH - potencjometrycznie w roztworze KCl 1 mol $\cdot dm^{-3}$ wg PN-ISO 10390: 1997,
- zawartość węgla organicznego oraz azotu ogólnego określono przy użyciu aparatu Variomax CN f-my Elementar,
- zawartość przyswajalnego fosforu – metodą Egnera-Riehma, PN-R-04023:1996,
- zawartość przyswajalnego potasu wg Egnera-Riehma, PN-R-04022:1996 +Az1:2002,

- zawartość przyswajalnego magnezu metodą Schachtschabela, PN-R-04020:1994 + Az1:2004,
- zawartość azotu mineralnego (NH_4^+, NO_3^-) metodą analizy przepływowej z detekcją spektrofotometryczną (ekstrakcja azotu w 1% roztworze siarczanu potasu),
- wilgotność gleby – metodą wagową, PN-ISO 11465:1999.

Cechy jakościowe ziarna pszenicy oznaczono według odpowiednich norm przy użyciu właściwego sprzętu laboratoryjnego:

- masę 1000 ziaren – PN-68/R-74017 (licznik ziaren, waga laboratoryjna),
- wyrównanie ziarna – BN-69/9131-02 (separator ziarna SZD, waga laboratoryjna),
- gęstość ziarna w stanie zsypnym – PN-ISO 7971-2 (gęstościomierz ziarna typu SH),
- zawartość białka ogólnego, metodą NIR – bliskiej podczerwieni (Instalab 600),
- zawartość glutenu mokrego – PN-A-74043-2 (linia do oznaczania glutenu Sadkiewicz Instruments),
- test sedymentacji, wg Zeleny'ego – PN-ISO-5529 (zestaw do określania liczby sedymentacji Sadkiewicz Instruments),
- szklistość ziarna – PN-70/R-74008 (Farinotom),
- liczbę opadania – PN-ISO 3093 (aparat do oznaczania liczby opadania typ SWD).

4.3. Analiza statystyczna wyników

Dane źródłowe dotyczące właściwości gleby, plonu i cech jakości ziarna z każdej jednostki eksperymentalnej obu doświadczeń polowych poddano analizom oceniającym ich zmienność oraz wzajemne proste i wielokrotne zależności. Określono kierunek oraz siłę oddziaływania i współoddziaływania właściwości gleby na plon i jakość ziarna pszenicy ozimej w różnych stanowiskach. Oceniono również związek plonu ziarna z jego jakością. Zastosowano następujące procedury statystyczne:

- charakterystykę próby (wartości: minimalne, maksymalne, średnie; odchylenie standardowe; współczynnik zmienności – jako procentowy stosunek odchylenia standardowego i średniej wartości danej cechy),
- analizę korelacji prostej Pearsona dla liniowych związków między poszczególnymi właściwościami gleby a plonem i tymi właściwościami gleby a cechami jakości ziarna pszenicy (średnio w ogniwie zmianowania – doświadczenie pierwsze oraz dla poszczególnych stanowisk – doświadczenie drugie),
- analizę regresji prostej w modelu liniowym i kwadratowym dla związków plonu oraz parametrów ziarna pszenicy ozimej z cechami gleby średnio w ogniwie zmianowania w doświadczeniu pierwszym i w różnych stanowiskach w doświadczeniu drugim,
- analizę regresji wielokrotnej wielomianowej drugiego stopnia z wyborem optymalnego podzbioru zmiennych niezależnych metodą krokowej selekcji zmiennych dla zależności: plonu ziarna od zespołu cech określających właściwości gleby, a także poszczególnych cech jakości ziarna od zespołu cech określających właściwości gleby średnio w ogniwie zmianowania i w różnych stanowiskach. W analizie unikano autokorelacji, pomijano cechy gleby silnie skorelowane z innymi,
- aglomerację metodą Warda odległości euklidesowych pomiędzy plonem oraz cechami jakości ziarna a poszczególnymi właściwościami gleby,

- analizę głównych składowych dla zbioru cech określających plon ziarna i jego jakość kształtowanych przez ogół badanych właściwości gleby w ogniwie zmianowania i w różnych stanowiskach,
- analizę kanoniczną w celu ustalenia zależności pomiędzy zespołem cech określających plon i jakość ziarna a zbiorem cech charakteryzujących właściwości gleby.

Oprócz analiz powszechnie wykorzystywanych w tego typu opracowaniach, użyto również metod rzadziej stosowanych jak aglomeracja odległości euklidesowych, analiza głównych składowych czy analiza kanoniczna [Ward 1963, Krzyśko 2009].

Analizy danych z doświadczenia pierwszego wykonano na wartościach średnich z ogniwa zmianowania w latach 2009-2011 (lata zbioru pszenicy ozimej). Wobec różnych przedplonów w kolejnych latach zmianowania – czynnik agrotechniczny oraz naturalnie zróżnicowanych warunków meteorologicznych – czynnik siedliskowy, wyniki takiej analizy upoważniają do uogólniającego wnioskowania o zależnościach plonu i jakości ziarna od właściwości gleby. W doświadczeniu drugim wykonano analizy danych kolejno z trzech stanowisk o różnej wartości przyrodniczej, gdzie przedplonami dla pszenicy ozimej były: groch siewny, pszenica oraz krótkotrwała (2 lata) monokultura tej rośliny, a badania powtórzono w takim samym układzie płodozmiennym w trzech latach. Pozwala to wnioskować o wpływie stanowiska w zmianowaniu na zależności plonu i jakości ziarna pszenicy ozimej od właściwości gleby.

Obliczenia i analizy wykonano przy użyciu arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel oraz pakietu programów statystycznych Statistica 7.0.

5. OMÓWIENIE I DYSKUSJA WYNIKÓW BADAŃ

5.1. Związki korelacyjne pomiędzy właściwościami gleby a plonem i cechami jakości ziarna

Korelacja prosta określa siłę związku pomiędzy dwoma cechami, dlatego też jest często wykorzystywana jako element pogłębionej analizy wyników badań nad oddziaływaniem ilościowych czynników siedliskowych oraz agrotechnicznych na plon i jakość ziarna pszenicy [Rharrabti i in. 2003, Weber i in. 2004, Bashirov 2009]. W badaniach własnych cechy te były związane w różnym stopniu, nie zawsze istotnym, z poszczególnymi właściwościami gleby. Plon (y_1) oraz parametry fizyczne określające wielkość i dorodność ziarna jak masa tysiąca ziaren (y_2), wyrównanie (y_3) i gęstość w stanie zsypnym (y_4) korelowały dodatnio ze wzrastającymi wartościami większości cech gleby w obrębie 112 jednostek eksperymentalnych doświadczenia pierwszego (n = 112). Zmniejszały się tylko wraz ze wzrostem udziału frakcji piaskowej w składzie granulometrycznym oraz ilości azotu i wilgotności gleby w okresie rozwoju ziarniaków (tab. 7). Wartość współczynnika korelacji prostej Pearsona wynosiła od -0,92 do +0,88, choć zależała również od stanowiska uprawy pszenicy ozimej w doświadczeniu drugim (tab. 8a, b).

Tabela 7. Współczynniki korelacji prostej pomiędzy właściwościami gleby średnio w ogniwie zmianowania w latach 2009-2011(n = 112) a plonem i cechami jakości ziarna

Table 7. Coefficients of simple correlation between soil properties; mean for the crop- rotation element over 2009-2011 (n = 112) and the yield and grain quality parameters

Cecha* – Property	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9
Frakcja piaskowa – Sand fraction (%)	-0,87	-0,73	-0,81	-0,73	0,47	0,56	0,58	n.i.**	n.i.
Frakcja pyłowa – Silt fraction (%)	0,86	0,73	0,81	0,73	-0,45	-0,55	-0,57	n.i.	n.i.
Frakcja iłowa – Clay fraction (%)	0,81	0,64	0,73	0,67	-0,41	-0,51	-0,52	n.i.	n.i.
pH_{KCl}	0,39	0,20	0,29	0,29	-0,44	-0,40	-0,32	n.i.	n.i.
C_{org} ($g \cdot kg^{-1}$ gleby) – C_{org} ($g \cdot kg^{-1}$ soil)	0,78	0,69	0,76	0,69	-0,61	-0,56	-0,51	-0,28	n.i.
$N_{ogół}$ ($g \cdot kg^{-1}$ gleby) – N_{tot} ($g \cdot kg^{-1}$ soil)	0,69	0,61	0,68	0,62	-0,55	-0,51	-0,44	-0,30	n.i.
P ($mg \cdot kg^{-1}$ gleby) – P ($mg \cdot kg^{-1}$ soil)	0,48	0,40	0,43	0,37	-0,44	-0,41	-0,30	n.i.	n.i.
K ($mg \cdot kg^{-1}$ gleby) – K ($mg \cdot kg^{-1}$ soil)	0,34	0,38	0,40	0,28	n.i.	-0,22	n.i.	n.i.	n.i.
Mg ($mg \cdot kg^{-1}$ gleby) – Mg ($mg \cdot kg^{-1}$ soil)	0,75	0,54	0,62	0,60	-0,60	-0,63	-0,51	-0,28	n.i.
N_{min} – przedwiośnie ($kg \cdot ha^{-1}$) N_{min} – early spring ($kg \cdot ha^{-1}$)	0,50	0,39	0,48	0,45	-0,53	-0,42	-0,48	n.i.	n.i.
N_{min} – BBCH 30-32 ($kg \cdot ha^{-1}$)	0,61	0,50	0,63	0,57	-0,43	-0,36	-0,36	n.i.	n.i.
N_{min} – BBCH 69-73 ($kg \cdot ha^{-1}$)	-0,92	-0,70	-0,83	-0,73	0,44	0,54	0,51	n.i.	n.i.
Wilgotność – przedwiośnie (% wag.) Moisture – early spring (% by weight)	0,88	0,77	0,83	0,73	-0,48	-0,49	-0,51	n.i.	n.i.
Wilgotność – BBCH 32-37 (% wag.) Moisture – BBCH 32-37 (% by weight)	0,80	0,71	0,81	0,75	-0,51	-0,53	-0,57	-0,20	n.i.
Wilgotność – BBCH 69-73 (% wag.) Moisture – BBCH 69-73 (% by weight)	-0,87	-0,70	-0,81	-0,72	0,44	0,56	0,54	n.i.	n.i.

* pełna nazwa cechy w tab. 1, ** współczynnik korelacji nieistotny

* full name of the property in Table 1, ** non-significant coefficient of correlation

Tabela 8a. Współczynniki korelacji prostej pomiędzy właściwościami gleby w różnych stanowiskach w zmianowaniu (n = 28) a plonem i cechami jakości ziarna

Table 8a. Coefficients of simple correlation between soil properties in various stands in crop rotation (n = 28) and the yield and and the grain quality parameters

Cecha* – Property	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9
Stanowisko po grochu – Stand after pea									
Frakcja piaskowa – Sand fraction (%)	-0,54	-0,50	-0,62	-0,53	n.i.**	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
Frakcja pyłowa – Silt fraction (%)	0,51	0,47	0,62	0,51	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
Frakcja iłowa – Clay fraction (%)	0,50	0,52	0,43	0,45	-0,40	-0,48	-0,38	-0,46	n.i.
pH_{KCl}	n.i.	n.i.	0,54	n.i.	0,46	0,54	0,38	0,59	n.i.
C_{org} ($g \cdot kg^{-1}$ gleby) – C_{org} ($g \cdot kg^{-1}$ soil)	0,38	n.i.	n.i.	0,42	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
$N_{ogół}$ ($g \cdot kg^{-1}$ gleby) – N_{tot} ($g \cdot kg^{-1}$ soil)	0,41	n.i.	0,47	0,57	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
P ($mg \cdot kg^{-1}$ gleby) – P ($mg \cdot kg^{-1}$ soil)	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	0,40	0,42	n.i.	0,47	n.i.
K ($mg \cdot kg^{-1}$ gleby) – K ($mg \cdot kg^{-1}$ soil)	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
Mg ($mg \cdot kg^{-1}$ gleby) – Mg ($mg \cdot kg^{-1}$ soil)	n.i.	n.i.	0,43	n.i.	0,40	0,54	0,49	0,49	n.i.
N_{min} – przedwiośnie ($kg \cdot ha^{-1}$) N_{min} – early spring ($kg \cdot ha^{-1}$)	0,48	0,51	0,38	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
N_{min} – BBCH 30-32 ($kg \cdot ha^{-1}$)	0,60	0,38	0,60	0,43	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
N_{min} – BBCH 69-73 ($kg \cdot ha^{-1}$)	-0,48	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
Wilgotność – przedwiośnie (% wag.) Moisture – early spring (% by weight)	0,60	0,44	0,47	0,40	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
Wilgotność – BBCH 32-37 (% wag.) Moisture – BBCH 32-37 (% by weight)	n.i.	0,43	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
Wilgotność – BBCH 69-73 (% wag.) Moisture – BBCH 69-73 (% by weight)	-0,49	-0,40	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.

* pełna nazwa cechy w tab. 1, ** współczynnik korelacji nieistotny

* full name of the property in Table 1, ** non-significant coefficient of correlation

Tabela 8b. Współczynniki korelacji prostej pomiędzy właściwościami gleby w różnych stanowiskach w zmianowaniu (n = 28) a plonem i cechami jakości ziarna, c.d.

Table 8b. Coefficients of simple correlation between soil properties in various stands in crop rotation (n = 28) and the yield and and the grain quality parameters, continuation

Cecha* – Property	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9
Stanowisko po pszenicy – Stand after wheat									
Frakcja piaskowa – Sand fraction (%)	-0,67	-0,63	-0,63	-0,44	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
Frakcja pyłowa – Silt fraction (%)	0,69	0,62	0,63	0,46	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
Frakcja iłowa – Clay fraction (%)	n.i.	0,48	0,43	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	0,40
pH_{KCl}	0,61	0,45	0,49	0,56	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
C_{org} ($g \cdot kg^{-1}$ gleby) – C_{org} ($g \cdot kg^{-1}$ soil)	0,58	0,48	0,48	0,52	-0,55	-0,50	-0,50	-0,46	n.i.
$N_{ogół}$ ($g \cdot kg^{-1}$ gleby) – N_{tot} ($g \cdot kg^{-1}$ soil)	0,64	0,51	0,50	0,54	-0,48	-0,42	-0,44	-0,45	n.i.
P ($mg \cdot kg^{-1}$ gleby) – P ($mg \cdot kg^{-1}$ soil)	0,41	0,38	0,45	0,50	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
K ($mg \cdot kg^{-1}$ gleby) – K ($mg \cdot kg^{-1}$ soil)	0,49	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
Mg ($mg \cdot kg^{-1}$ gleby) – Mg ($mg \cdot kg^{-1}$ soil)	0,41	n.i.	0,45	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
N_{min} – przedwiośnie ($kg \cdot ha^{-1}$) N_{min} – early spring ($kg \cdot ha^{-1}$)	0,44	n.i.	n.i.	0,39	n.i.	n.i.	n.i.	-0,39	0,39
N_{min} – BBCH 30-32 ($kg \cdot ha^{-1}$)	0,68	0,59	0,49	0,57	n.i.	n.i.	-0,38	-0,43	n.i.
N_{min} – BBCH 69-73 ($kg \cdot ha^{-1}$)	-0,68	-0,59	-0,52	-0,54	0,46	0,49	0,50	0,44	n.i.
Wilgotność – przedwiośnie (% wag.) Moisture – early spring (% by weight)	0,49	0,53	0,54	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
Wilgotność – BBCH 32-37 (% wag.) Moisture – BBCH 32-37 (% by weight)	0,39	0,43	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
Wilgotność – BBCH 69-73 (% wag.) Moisture – BBCH 69-73 (% by weight)	-0,50	-0,45	-0,39	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.

cd. tabeli 8b

Table 8b continued

Stanowisko po monokulturze pszenicy – Stand after wheat monoculture									
Frakcja piaskowa – Sand fraction (%)	-0,86	-0,53	-0,45	-0,44	0,81	0,66	0,67	0,39	n.i.
Frakcja pyłowa – Silt fraction (%)	0,84	0,53	0,44	0,46	-0,79	-0,63	-0,67	n.i.	n.i.
Frakcja iłowa – Clay fraction (%)	0,66	n.i.	n.i.	n.i.	-0,67	-0,64	-0,49	-0,52	n.i.
pH_{KCl}	0,40	0,51	0,53	0,47	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
C_{org} ($g \cdot kg^{-1}$ gleby) – C_{org} ($g \cdot kg^{-1}$ soil)	0,65	n.i.	n.i.	0,38	-0,59	-0,64	-0,60	-0,39	n.i.
$N_{ogól}$ ($g \cdot kg^{-1}$ gleby) – N_{tot} ($g \cdot kg^{-1}$ soil)	0,71	0,44	0,38	0,40	-0,65	-0,65	-0,60	n.i.	n.i.
P ($mg \cdot kg^{-1}$ gleby) – P ($mg \cdot kg^{-1}$ soil)	0,53	0,46	0,41	0,57	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
K ($mg \cdot kg^{-1}$ gleby) – K ($mg \cdot kg^{-1}$ soil)	0,50	0,52	0,45	0,53	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
Mg ($mg \cdot kg^{-1}$ gleby) – Mg ($mg \cdot kg^{-1}$ soil)	0,47	0,64	0,56	0,38	-0,38	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
N_{min} – przedwiośnie ($kg \cdot ha^{-1}$) N_{min} – early spring ($kg \cdot ha^{-1}$)	0,48	0,43	0,41	n.i.	n.i.	n.i.	-0,47	n.i.	n.i.
N_{min} – BBCH 30-32 ($kg \cdot ha^{-1}$)	0,45	n.i.	n.i.	0,42	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
N_{min} – BBCH 69-73 ($kg \cdot ha^{-1}$)	-0,73	-0,42	-0,40	-0,60	0,56	0,52	0,44	0,43	n.i.
Wilgotność – przedwiośnie (% wag.) Moisture – early spring (% by weight)	0,46	n.i.	n.i.	n.i.	-0,37	n.i.	-0,38	n.i.	n.i.
Wilgotność – BBCH 32-37 (% wag.) Moisture – BBCH 32-37 (% by weight)	0,59	n.i.	n.i.	n.i.	-0,56	-0,48	-0,60	n.i.	n.i.
Wilgotność – BBCH 69-73 (% wag.) Moisture – BBCH 69-73 (% by weight)	-0,66	-0,46	-0,44	-0,51	0,41	0,40	n.i.	n.i.	-0,42

* pełna nazwa cechy w tab. 1, ** współczynnik korelacji nieistotny

* full name of the property in Table 1, ** non-significant coefficient of correlation

Wynik taki wskazuje na zmianę plonu i fizycznych parametrów ziarna wraz ze zmieniającymi się warunkami glebowymi, co potwierdza znaną silną reakcję pszenicy na warunki siedliskowe i agrotechniczne [Bauer i Black 1994, Rudnicki 1998, Ravankar i in. 2004, Weber i Zalewski 2004, Oleksiak i Mańkowski 2005, Seremesic i in. 2011].

Zależności pomiędzy cechami jakości ziarna wynikającymi z zawartości i składu białka a właściwościami gleby były na ogół słabsze niż związki plonu i parametrów fizycznych ziarna z tymi właściwościami. Słabsza była także korelacja tych cech w przyrodniczo korzystnym dla pszenicy ozimej stanowisku po grochu siewnym niż w uprawie po sobie (tab. 7, 8a,b). Zawartość białka (y_5), glutenu mokrego (y_6), wskaźnik sedymentacji (y_7) oraz szklistość ziarna (y_8) korelowały z właściwościami gleby w stanowiskach po pszenicy i jej monokulturze – głównie dodatnio z ilością azotu i wilgotnością gleby w fazie rozwoju ziarniaków BBCH 69-73 i ujemnie z zawartością węgla organicznego i azotu ogólnego, a w stanowisku po monokulturze także z składem granulometrycznym gleby. Nieistotna była natomiast na ogół korelacja wartości liczby opadania ziarna pszenicy ozimej (y_9) z właściwościami gleby, gdyż cecha ta poza czynnikiem genetycznym kształtowana jest przede wszystkim przez warunki opadowo-termiczne w okresie dojrzewania ziarna [Rothkaehl 2010, Makarewicz i in. 2012].

5.2. Zależności plonu i jakości ziarna od właściwości gleby

5.2.1. Plon ziarna

Plon pszenicy ozimej w ogniwie zmianowania wahał się średnio w latach 2009-2011 od 44,5 do 71,2 $dt \cdot ha^{-1}$. Różne przedplony oraz zróżnicowany przebieg pogody

w kolejnych latach pozwalają zakładać, że zmienność plonów średnich z 3 lat, wyrażająca się współczynnikiem V = 12,0% wynikała głównie ze zróżnicowanych warunków glebowych w obrębie 112 jednostek doświadczalnych (tab. 9).

Tabela 9. Zmienność plonu ziarna pszenicy ozimej (dt · ha^{-1}) powodowana właściwościami gleby na jednostkach doświadczalnych średnio w ogniwie zmianowania (n = 112) w latach 2009-2011 i w różnych stanowiskach (n = 28)

Table 9. Variation in the winter wheat grain yield (dt · ha^{-1}) due to soil properties in the experimental plots; mean for the crop-rotation element (n = 112) over 2009-2011 and in various stands (n = 28)

Wartość – Value	2009-2011 (n = 112)	Stanowisko (n = 28) po: – Stand (n = 28) after:		
		grochu pea	pszenicy wheat	monokulturze monoculture
Minimalna – Minimum	44,5	57,0	52,0	41,7
Maksymalna – Maximum	71,2	63,7	58,8	51,5
Średnia – Mean	56,2	59,7	55,1	47,0
Odchylenie standardowe Standard deviation	6,73	1,84	1,97	3,15
Współczynnik zmienności Coefficient of variation (%)	12,0	3,09	3,58	6,70

Potwierdza to, znany silny związek plonowania pszenicy ozimej z warunkami siedliskowymi i agrotechnicznymi [Małecka 2003]. Dane z doświadczenia drugiego, w którym pszenica ozima występowała w tych samych stanowiskach płodozmiennych przez 3 lata, pozwoliły natomiast ocenić wpływ tych stanowisk nie tylko na jej plonowanie, ale także znaczenie właściwości gleby dla plonów pszenicy uprawianej w różnych stanowiskach. Zgodnie z oczekiwaniami i wynikami innych badań [Woźniak 2006, Buraczyńska i Ceglarek 2008, Buczek i in. 2009] pszenica plonowała najlepiej w stanowisku po grochu siewnym, a zróżnicowane właściwości gleby w obrębie 28 jednostek doświadczalnych tego stanowiska w niewielkim stopniu wpływały na plony ziarna. Świadczą o tym względnie duże plony, zwłaszcza w porównaniu ze stanowiskiem po dwuletniej monokulturze pszenicy, o małym ich rozstępie, niska wartość odchylenia standardowego i współczynnika zmienności.

Na podstawie średnich wartości plonów oraz właściwości gleby na jednostkach doświadczalnych wykazano, że przeciętnie w ogniwie zmianowania plon ziarna pszenicy ozimej był w największym stopniu ($r^2 > 0,5$) zależny od składu granulometrycznego gleby, zawartości w niej węgla organicznego i przyswajalnego magnezu oraz od wilgotności gleby po zimie i w fazie strzelania w źdźbło. Wystąpił też silny ujemny liniowy związek plonu z ilością azotu i wilgotnością gleby w okresie rozwoju ziarniaków BBCH 69-73 (tab. 10).

Tabela 10. Zależność plonu ziarna pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby średnio w ogniwie zmianowania w latach 2009-2011 (n = 112)

Table 10. Dependence of the winter wheat grain yield on respective soil properties; mean for the crop-rotation element over 2009-2011 (n = 112)

Cecha gleby – Soil property		Równanie regresji – Regression equation	r^2
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_1 = 122,95 - 0,8969x_1$	0,745
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_1 = 33,20 + 1,0032x_2$	0,744
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_1 = 21,60 + 18,2676x_3 - 1,8532x_3^2$	0,680
pH_{KCl}	x_4	$y_1 = 28,96 + 4,7473x_4$	0,154
C_{org}	x_5	$y_1 = 23,92 + 4,5758x_5$	0,606
$N_{ogół} - N_{tot}$	x_6	$y_1 = 28,90 + 34,3104x_6$	0,482
P	x_7	$y_1 = 40,72 + 0,1627x_7$	0,226
K	x_8	$y_1 = 46,28 + 0,0985x_8$	0,114
Mg	x_9	$y_1 = 15,25 + 2,8096x_9 - 0,0380x_9^2$	0,588
N_{min} – przedwiośnie N_{min} – early spring	x_{10}	$y_1 = 30,83 + 0,567x_{10}$	0,251
N_{min} – BBCH 30-32	x_{11}	$y_1 = 19,92 + 0,878x_{11}$	0,374
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_1 = 83,66 - 0,4993x_{12}$	0,841
Wilgotność – przedwiośnie Moisture – early spring	x_{13}	$y_1 = 78,31 - 9,1035x_{13} + 0,6028x_{13}^2$	0,789
Wilgotność – BBCH 32-37 Moisture – BBCH 32-37	x_{14}	$y_1 = -2,81 + 4,7258x_{14}$	0,643
Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	x_{15}	$y_1 = 335,63 - 63,7278x_{15} + 3,4992x_{15}^2$	0,770

Gorsze plonowanie pszenicy wraz z udziałem piasku w glebie jest zrozumiałe, uwzględniając duże wymagania glebowe tej rośliny [Kuś i Siuta 1995, Kuś i in. 1999] oraz jej silną reakcję na wskaźniki żyzności gleby związane bezpośrednio lub pośrednio ze składem granulometrycznym jak wilgotność czy zasobność w składniki mineralne [Ismail i Ozawa 2007, Mojid i in. 2009, Arshad i in. 2011]. Ujemny natomiast związek plonu z ilością azotu w glebie po kwitnieniu pszenicy wynika przypuszczalnie z różnej dynamiki wyczerpywania zasobów tego pierwiastka przez pszenicę. Inne czynniki sprzyjając dobremu plonowaniu prawdopodobnie powodowały, że rośliny pobierały większe ilości azotu we wcześniejszych fazach rozwojowych [Fotyma 1999, Sharma i in. 2012]. Oznacza to, że w późniejszym czasie zasób azotu w glebie był względnie mały a plon duży. Z kolei dostatek wody w glebie, w okresach pod tym względem krytycznych dla pszenicy, sprzyjał produkcji biomasy i jej plonowaniu, co jest zgodne z wynikami badań w tym zakresie [Kocoń i Podleśna 2004, Olszewski i in. 2007, Chmura i in. 2009]. Duże pobranie wody, a tym samym mała wilgotność gleby w późniejszych fazach wegetacji korelowała z większym plonem. Mniejsza wilgotność gleby w końcu okresu wegetacji pszenicy nie wpływała już negatywnie na plon, choć reakcja tej rośliny na stres wodny, nawet w późniejszych fazach rozwojowych jest silna [Ozturk i Ayolin 2004, Kocoń i Podolska 2008].

W wielokrotnej analizie regresji łącznie 7 cech gleby dobrze charakteryzuje możliwości plonowania pszenicy ozimej. Świadczy o tym wysoka wartość współczynnika determinacji ($R^2 = 0,938$) i poniższe równanie (1). Zgodnie z nim dobremu plonowaniu pszenicy sprzyjają większe wartości: pH gleby (x_4), zawartości w niej magnezu przyswajalnego (x_9), ilości azotu w glebie w okresie intensywnego wzrostu roślin (x_{11}) oraz wczesnowiosennej wilgotności gleby (x_{13}), a nie sprzyja duży udział frakcji piaskowej w glebie (x_1) oraz duża ilość azotu (x_{12}) i wilgotność w końcowej części okresu wegetacji roślin (x_{15}).

$$y_1 = 66,79 - 0,1939x_1 + 1,0943x_4 + 0,1535x_9 + 0,1448x_{11} - 0,1799x_{12} + + 1,095x_{13} - 1,9791x_{15} ; R^2 = 0,938 \quad (1)$$

Podobnie Bednarek i in. [2009] analizując wielkość plonu pszenicy ozimej w zależności od warunków glebowych i agrotechnicznych konkludują, że jest on tym większy, im gleba zawiera więcej frakcji spławialnej w składzie granulometrycznym, próchnicy, składników pokarmowych oraz ma większą wartość wskaźnika pH. Według tych autorów udział poszczególnych właściwości gleby w tworzeniu plonu wynosił 3-11%. Najmniejsze znaczenie miała zawartość azotu amonowego i azotanowego w glebie jesienią oraz wczesną wiosną, a największe skład granulometryczny, zawartość węgla organicznego i zasobność w przyswajalne formy makroskładników, a zwłaszcza w magnez.

W badaniach własnych wpływ poszczególnych właściwości gleby i ich współoddziaływanie na plon pszenicy ozimej zależały od stanowiska w zmianowaniu. W przyrodniczo korzystnym stanowisku po grochu siewnym wpływ warunków glebowych na plonowanie pszenicy ozimej był słaby. Świadczą o tym nieistotne lub niskie wartości współczynników determinacji dla zależności między plonem ziarna a poszczególnymi właściwościami gleby (tab. 11). Dlatego w wielokrotnej analizie regresji, z eliminacją wyrazów nieistotnych (równanie nr 2), jedynie trzy cechy gleby (ilość azotu w glebie w fazach strzelanie w źdźbło – x_{11} i rozwoju ziarniaków – x_{12} oraz wilgotność gleby na przedwiośniu w momencie ruszania wegetacji – x_{13}) ujawniły istotny łączny wpływ na plon ziarna pszenicy, ale wyjaśniły tylko 62% jego zmienności.

$$y_1 = 46,59 + 0,1559x_{11} - 0,1646x_{12} + 1,3292x_{13} ; R^2 = 0,622 \quad (2)$$

Tabela 11. Zależność plonu ziarna pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby w stanowisku po grochu siewnym (n = 28)

Table 11. Dependence of winter wheat grain yield on respective soil properties in the stand after pea (n = 28)

Cecha gleby* – Soil property		Równanie regresji – Regression equation	r^2
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_1 = 84,06 - 0,3223x_1$	0,288
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_1 = 52,04 + 0,3474x_2$	0,264
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_1 = 55,19 + 1,9089x_3$	0,255
C_{org}	x_5	$y_1 = 55,59 + 0,0810x_5^2$	0,149
$N_{ogól} - N_{tot}$	x_6	$y_1 = 52,61 + 9,4343x_6$	0,169
N_{min} – przedwiośnie N_{min} – early spring	x_{10}	$y_1 = 42,87 + 0,2943x_{10}$	0,228
N_{min} – BBCH 30-32	x_{11}	$y_1 = 47,37 + 0,2413x_{11}$	0,358
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_1 = 73,61 - 0,2240x_{12}$	0,229
Wilgotność – przedwiośnie Moisture – early spring	x_{13}	$y_1 = 35,12 + 2,1257x_{13}$	0,356
Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	x_{15}	$y_1 = 71,09 - 1,3909x_{15}$	0,235

* istotnie wpływająca na plon ziarna – a significant effect on the grain yield

Wynik taki, jak i porównywalny plon pszenicy ekstensywnie nawożonej w stanowisku po soi z jej plonem w warunkach intensywnego nawożenia, ale po gorszym przedplonie [Kumbhar i in. 2007], potwierdzają założenie o częściowej substytucji czynników plonowania roślin. Upoważniają także do wnioskowania, że w gorszych warunkach glebowych znaczenie stanowiska w zmianowaniu jest duże i pszenicę ozimą należy uprawiać w najlepszych stanowiskach, a na glebach najlepszych znaczenie

przedplonu jest mniejsze. Częściowe potwierdzenie takiego założenia w warunkach produkcyjnych daje analiza wyników badań Rudnickiego [2005]. Autor stwierdził, że wartość stanowisk dla pszenicy ozimej zależy od jakości gleby. Na glebach najwyższych klas bonitacji jej plony w stanowisku po sobie nie były gorsze niż po rzepaku ozimym czy warzywach jako przedplonach.

W badaniach własnych plony pszenicy ozimej w stanowisku po sobie, a zwłaszcza po monokulturze pszenicy były silniej związane z właściwościami gleby niż po grochu (tab. 12, 13). Wystąpiły istotne zależności plonu pszenicy od składu granulometrycznego gleby, głównie udziału frakcji piaskowej i pyłowej, zawartości węgla organicznego i azotu ogólnego, a także zasobności gleby w przyswajalne formy fosforu, potasu i magnezu. Z równań regresji wynika, że wraz ze wzrostem udziału frakcji piaskowej w uziarnieniu gleby o 1,0 p.p. plon ziarna w stanowisku po pszenicy zmniejszał się o około 0,43 dt · ha^{-1} (tab. 12), a w stanowisku po grochu o 0,32 dt · ha^{-1} (tab. 11). Zależność plonu ziarna od udziału frakcji piaskowej w glebie w stanowisku po 2-letniej monokulturze jest zgodna natomiast z równaniem drugiego stopnia, co wskazuje na coraz to większy spadek plonu wraz ze wzrastającym udziałem piasku w uziarnieniu gleby (tab. 13). W stanowiskach monokulturowych na glebie lekkiej duże znaczenie dla plonowania pszenicy miała także zawartość węgla organicznego i azotu ogólnego. Zależności plonu od tych właściwości gleby na ogół dobrze opisywały równania kwadratowe (r^2 około 0,4-0,5). Zatem zwiększającej się zawartości węgla organicznego w glebie i skorelowanego z nim azotu ogólnego towarzyszył coraz to większy przyrost plonu ziarna. Wynik ten należy uznać za prawidłowość, gdyż niska zawartość węgla organicznego w glebie jest podstawowym czynnikiem ograniczającym jej produkcyjność [Loveland i Webb 2003].

Tabela 12. Zależność plonu ziarna pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby w stanowisku po pszenicy (n = 28)

Table 12. Dependence of winter wheat grain yield on respective soil properties in the stand after wheat (n = 28)

Cecha gleby* – Soil property		Równanie regresji – Regression equation	r^2
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_1 = 87{,}36 - 0{,}4263x_1$	0,449
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_1 = 44{,}42 + 0{,}4857x_2$	0,470
pH_{KCl}	x_4	$y_1 = 40{,}94 + 2{,}6282x_4$	0,374
C_{org}	x_5	$y_1 = 146{,}80 - 28{,}1248x_5 + 2{,}1269x_5^2$	0,446
$N_{ogól} – N_{tot}$	x_6	$y_1 = 42{,}11 + 17{,}4915x_6$	0,410
P	x_7	$y_1 = 52{,}16 + 0{,}0005x_7^2$	0,177
K	x_8	$y_1 = 47{,}92 + 0{,}0538x_8$	0,241
Mg	x_9	$y_1 = 50{,}08 + 0{,}2976x_9$	0,166
N_{min} – przedwiośnie N_{min} – early spring	x_{10}	$y_1 = 39{,}82 + 0{,}3217x_{10}$	0,195
N_{min} – BBCH 30-32	x_{11}	$y_1 = 40{,}95 + 0{,}2386x_{11}$	0,462
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_1 = 64{,}42 – 0{,}1726x_{12}$	0,462
Wilgotność – przedwiośnie Moisture – early spring	x_{13}	$y_1 = 30{,}43 + 2{,}1047x_{13}$	0,238
Wilgotność – BBCH 32-37 Moisture – BBCH 32-37	x_{14}	$y_1 = 41{,}28 + 1{,}1098x_{14}$	0,153
Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	x_{15}	$y_1 = 71{,}34 – 2{,}1137x_{15}$	0,254

* istotnie wpływająca na plon ziarna – a significant effect on the grain yield

Tabela 13. Zależność plonu ziarna pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby w stanowisku po monokulturze pszenicy (n = 28)

Table 13. Dependence of the winter wheat grain yield on respective soil properties in the stand after wheat monoculture (n = 28)

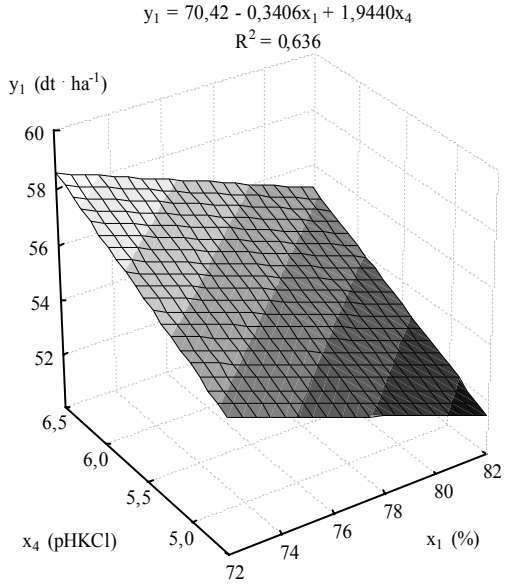
Cecha gleby – Soil property		Równanie regresji – Regression equation	r^2
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_1 = 78{,}79 - 0{,}0056x_1^2$	0,737
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_1 = 26{,}43 + 0{,}9327x_2$	0,713
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_1 = 36{,}99 + 4{,}177x_3$	0,436
pH_{KCl}	x_4	$y_1 = 32{,}6 + 2{,}6787x_4$	0,164
C_{org}	x_5	$y_1 = 34{,}65 + 0{,}2442x_5^2$	0,434
$N_{ogól} – N_{tot}$	x_6	$y_1 = 34{,}47 + 22{,}6624x_6^2$	0,513
P	x_7	$y_1 = 37{,}38 + 0{,}131x_7$	0,285
K	x_8	$y_1 = 36{,}68 + 0{,}0795x_8$	0,249
Mg	x_9	$y_1 = 33{,}4 + 0{,}8307x_9$	0,224
N_{min} – przedwiośnie N_{min} – early spring	x_{10}	$y_1 = 27{,}85 + 0{,}4991x_{10}$	0,231
N_{min} – BBCH 30-32	x_{11}	$y_1 = 31{,}92 + 0{,}2934x_{11}$	0,199
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_1 = 54{,}03 - 0{,}0015x_{12}^2$	0,548
Wilgotność – przedwiośnie Moisture – early spring	x_{13}	$y_1 = 8{,}47 + 3{,}291x_{13}$	0,209
Wilgotność – BBCH 32-37 Moisture – BBCH 32-37	x_{14}	$y_1 = 6{,}08 + 3{,}1031x_{14}$	0,350
Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	x_{15}	$y_1 = 68{,}76 - 2{,}6897x_{15}$	0,437

Jeszcze lepiej zależności plonu ziarna pszenicy ozimej, uprawianej bezpośrednio po sobie i w stanowisku po 2-letniej monokulturze, od właściwości gleby wyjaśniają równania wielokrotne. Plon w stanowisku po pszenicy podlegał wyraźnemu współzależnemu oddziaływaniu zawartości frakcji piaskowej (x_1) w glebie i wskaźnika pH – x_4 (rys. 3). Model opisujący plon ziarna, a uwzględniający ponadto ilość azotu w glebie w fazie strzelania w źdźbło – x_{11} wyjaśnia blisko 77% zmienności plonu w tym stanowisku – równanie (3).

$$y_1 = 62{,}07 - 0{,}2933x_1 + 1{,}2421x_4 + 0{,}1445x_{11} \; ; \; R^2 = 0{,}766 \qquad (3)$$

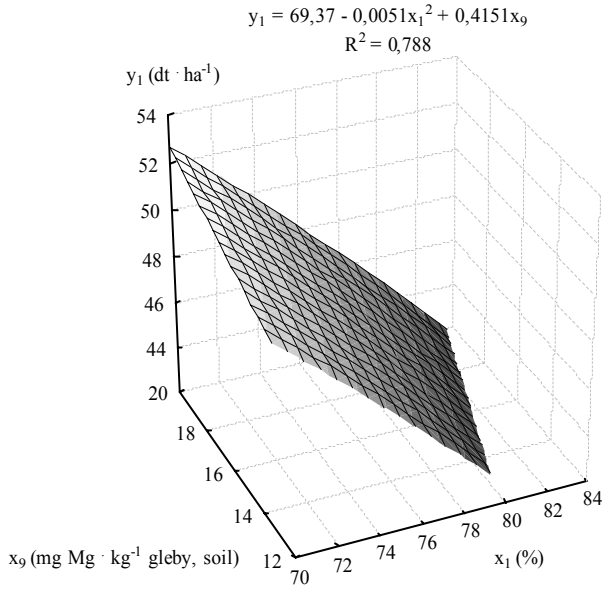
Zależności te wskazują na znaczne możliwości wpływania na plonowanie pszenicy poprzez odkwaszanie gleby lekkiej. Potrzeba tego zabiegu i jego efekt produkcyjny zależą jednak od pH gleby. Wyniki badań Thomason i in. [2001] oraz Zhang i in. [2004] wskazują bowiem, że przy zmianie jego wartości z 4,5 do ponad 6,0 plon zwiększył się, natomiast wzrost wskaźnika pH gleby z 5,8 do 6,1 nie wpłynął na plon ziarna pszenicy.

W stanowisku po monokulturze pszenicy plon jej ziarna zwiększał się wraz ze słabo krzywoliniowym spadkiem udziału frakcji piaskowej w uziarnieniu gleby, a jednocześnie prostoliniowym wzrostem zawartości magnezu przyswajalnego (rys. 4).



Rys. 3. Plon ziarna pszenicy ozimej (y_1) w stanowisku po pszenicy w zależności od udziału frakcji piaskowej (x_1) w uziarnieniu gleby i wskaźnika pH (x_4)

Fig. 3. Winter wheat grain yield (y_1) in the stand after wheat depending on the share of sand fraction (x_1) in the soil grain size composition and pH (x_4)



Rys. 4. Plon ziarna pszenicy ozimej (y_1) w stanowisku po monokulturze pszenicy w zależności od udziału frakcji piaskowej w uziarnieniu gleby (x_1) i zawartości magnezu przyswajalnego (x_9)

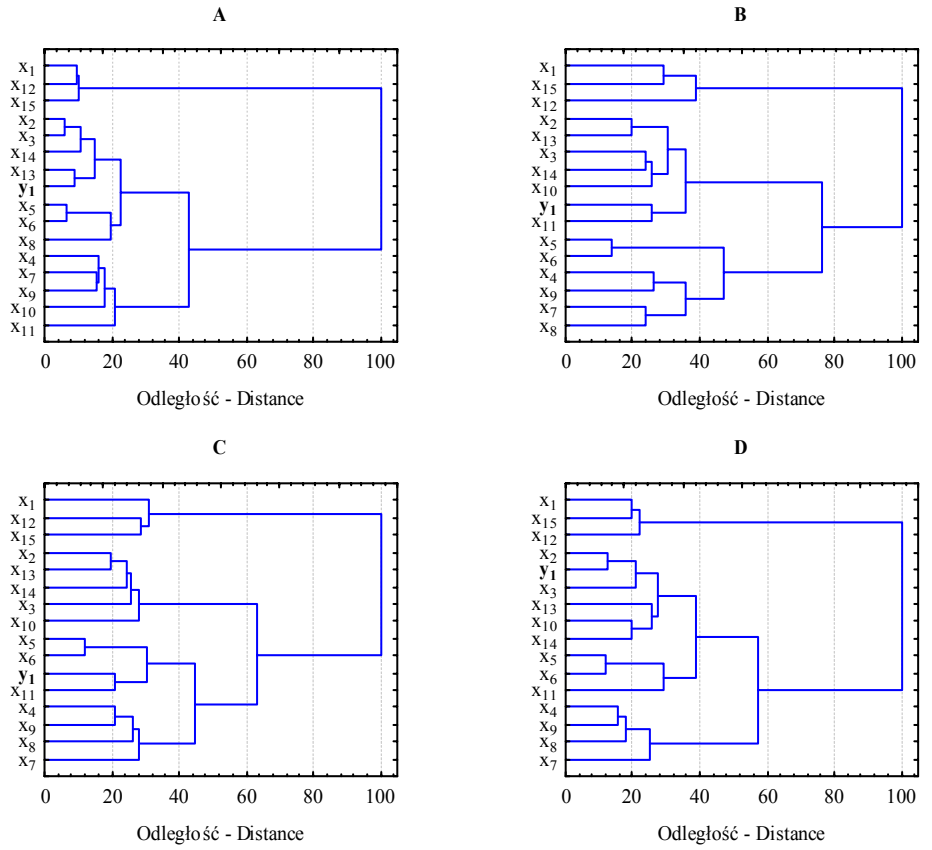
Fig. 4. Winter wheat grain yield (y_1) in the stand after wheat monoculture depending on the share of sand fraction in the soil grain size composition (x_1) and the content of available magnesium (x_9)

Łączne oddziaływanie tych dwóch cech gleby wyjaśniało około 79% zmienności plonu. Włączenie do równania regresji wielokrotnej także zawartości przyswajalnego fosforu, ilości azotu w fazie strzelania w źdźbło i rozwoju ziarniaków oraz wilgotności gleby w fazie BBCH 32-37 prowadziło do wyjaśnienia około 91% zmienności plonów pszenicy – równanie 4.

$$y_1 = 34{,}78 - 0{,}2468x_1 + 0{,}0367x_7 + 0{,}3528x_9 + 0{,}1082x_{11} - 0{,}0915x_{12} + \\ + 1{,}7501x_{14}\ ;\ R^2 = 0{,}912 \qquad (4)$$

Korzystnie na plon wpływała wzrastająca zasobność gleby w fosfor (x_7), magnez (x_9) oraz jej wilgotność w fazie strzelania w źdźbło (x_{14}), a niekorzystnie większy udział frakcji piaskowej w uziarnieniu (x_1). Fakt sprzyjającej plonowaniu ilości azotu w glebie w fazie BBCH 30-32 (x_{11}) oraz jej ujemnej korelacji z plonem w okresie późniejszym BBCH 69-73 (x_{12}) został zinterpretowany wyżej. Efektywność oddziaływania fosforu, a zwłaszcza magnezu należy wiązać z ich zawartością w glebie. Wyniki badań z zakresu nawożenia roślin wskazują na dużą plonotwórczą efektywność składników pokarmowych, szczególnie na glebach ubogich w te składniki. Na glebach zasobnych, w których zawartość przyswajalnych form makroskładników przekracza wartości krytyczne efektywność jest mniejsza lub nawożenie, nawet roślin o dużych wymaganiach, często nie wpływa na ich plon [Fotyma i in. 1989, Duan i in. 2004, Khan i in. 2004, Dmowski i Dzieżyc 2009]. W odniesieniu do badań własnych dotyczyło to głównie magnezu łatwo przyswajalnego dla roślin, którego zawartość w glebie była na ogół bardzo niska lub niska.

Cechy biologiczne, plonowanie i jakość ziarna pszenicy w zależności od genotypu oraz warunków siedliskowo-agrotechnicznych mogą być analizowane statystycznie także z wykorzystaniem procedur wielowymiarowych [Leilah i Al-Khateeb 2005, Qian i in. 2009, Ukalska i in. 2009]. Aglomeracja cech oparta na względnych odległościach euklidesowych wskazuje, że plon ziarna pszenicy ozimej (rys. 5A) był silnie związany z wilgotnością gleby na przedwiośniu (x_{13}) oraz w fazie strzelania w źdźbło (x_{14}), a także udziałem frakcji pyłowej (x_2) i iłowej (x_3) w uziarnieniu gleby. Nieco inaczej związki te układały się w poszczególnych stanowiskach. Po grochu (rys. 5B) i pszenicy (rys. 5C) jako przedplonach plon ziarna związany był bezpośrednio z ilością azotu w glebie w fazie strzelania w źdźbło (x_{11}), a po monokulturze pszenicy (rys. 5D) z udziałem frakcji pyłowej w uziarnieniu (x_2). Ponadto plon w stanowisku po grochu oraz monokulturze pszenicy wiązał się z obecnością frakcji pyłowej i iłowej w składzie granulometrycznym oraz ilością azotu i wilgotnością gleby w okresie wiosennego wzrostu, a w stanowisku po pszenicy z zawartością węgla organicznego i azotu ogólnego. Niezależnie od stanowiska i zmienności warunków pogodowych w latach, a także w każdym stanowisku nie ujawnił się bliski związek plonu ziarna pszenicy ozimej z zawartością w glebie przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu. W każdym przypadku uwzględniającym zróżnicowane warunki siedliskowo-agrotechniczne w zakresie prowadzonych badań stwierdzono największą odległość pomiędzy plonem ziarna a udziałem frakcji piaskowej w uziarnieniu oraz ilością azotu i wilgotnością gleby w okresie rozwoju ziarniaków (rys. 5A-D), co wynikało z ujemnej korelacji tych cech.



Rys. 5. Aglomeracja właściwości gleby (x_1-x_{15}) i plonu ziarna (y_1) średnio w latach 2009-2011 (A) oraz w stanowiskach po grochu siewnym (B), pszenicy ozimej (C) i monokulturze pszenicy (D)

Fig. 5. Agglomeration of soil properties (x_1-x_{15}) and grain yield (y_1); mean for the years 2009-2011 (A) and in the stands after pea (B), winter wheat (C) and wheat monoculture (D)

5.2.2. Plon a cechy jakości ziarna

Na podstawie wyników ze 112 jednostek eksperymentalnych stwierdzono istotny związek pomiędzy plonem a większością cech jego jakości (tab. 14), co ma potwierdzenie we wcześniejszych badaniach [Zecevic i in. 2004, Qury i Godin 2007, Tayyar 2010, Bilgin i in. 2011].

Plon był silnie ($r > 0,5$) dodatnio skorelowany z cechami fizycznymi ziarna, tj. masą tysiąca ziaren, wyrównaniem i gęstością ziarna w stanie zsypnym. Plon ujemnie korelował z zawartością białka i glutenu mokrego oraz wskaźnikiem sedymentacji. Nie stwierdzono natomiast istotnego związku pomiędzy plonem a szklistością ziarna i liczbą opadania.

Tabela 14. Współczynniki korelacji prostej pomiędzy plonem a cechami jakości ziarna średnio w ogniwie zmianowania (n = 112) w latach 2009-2011 i w różnych stanowiskach w zmianowaniu (n = 28)

Table 14. Coeficients of simple correlation between the yield and the grain quality parameters; mean for the crop-rotation element (n = 112) over 2009-2011 and in various crop rotation stands (n = 28)

Cecha ziarna Grain parameter	2009-2011 (n = 112)	Stanowisko (n = 28) po: – Stand (n = 28) after:		
		grochu pea	pszenicy wheat	monokulturze monoculture
Masa tysiąca ziaren Thousand grain weight	0,78	0,57	0,84	0,67
Wyrównanie – Evenness	0,84	0,46	0,76	0,50
Gęstość w stanie zsypnym Test weight	0,86	0,50	0,81	0,63
Zawartość białka Protein content	-0,55	n.i.	-0,43	-0,85
Zawartość glutenu Gluten content	-0,63	n.i.	-0,48	-0,76
Wskaźnik sedymentacji Sedimentation index	-0,59	n.i.	-0,49	-0,71
Szklistość – Glassiness	n.i.*	n.i.	-0,48	-0,55
Liczba opadania Falling number	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.

* współczynnik korelacji nieistotny – non-significant coefficient of correlation

Bardziej wartościowym poznawczo jest natomiast stwierdzenie zróżnicowania siły związku pomiędzy plonem a jego jakością w różnych stanowiskach. Po grochu siewnym korelacja pomiędzy plonem ziarna a cechami jego jakości była relatywnie słaba i tylko w przypadku parametrów fizycznych jak: masa tysiąca ziaren, wyrównanie i gęstość ziarna statystycznie istotna. W przypadku uprawy pszenicy w narastającej monokulturze związki te były silniejsze, a w odniesieniu do zawartości białka i glutenu oraz wskaźnika sedymentacji i szklistości ziarna także istotne. Na podstawie uzyskanych wyników można wywnioskować o możliwości wpływania nie tylko na plon, ale jednocześnie na jakość ziarna pszenicy poprzez zmianę niektórych właściwości gleby w zależności od stanowiska w zmianowaniu. Możliwe jest bowiem przełamanie ujemnej korelacji pomiędzy plonem a zawartością białka czy glutenu określanej mianem efektu rozcieńczenia. Wynika on z szybszego gromadzenia węglowodanów i przyrostu masy roślin o dużej produktywności niż zawartości białka [Pleijel i in. 1999, Fowler 2003, Barczak i Nowak 2008]. W badaniach własnych w stanowisku po grochu, w którym w okresie wegetacji pszenicy stwierdzano większe ilości azotu mineralnego wraz ze wzrostem plonu nie pogarszały się istotnie cechy ziarna, wynikające z koncentracji i jakości białka.

5.2.3. Masa tysiąca ziaren

Masa tysiąca ziaren, podobnie jak plon ziarna, podlegała zmienności pod wpływem warunków glebowych, choć była cechą względnie stabilną. Współczynnik jej zmienności zarówno średnio w latach 2009-2011, jak i w różnych stanowiskach wynosił około 2-3% (tab. 15). Zmienność masy tysiąca ziaren częściowo wyjaśnia omówiona zależność plonu od właściwości gleby. Cecha ta, jako element plonowania, wnosi bowiem na ogół istotny wkład w zmiany wielkości plonu pod wpływem warunków siedliskowych czy agrotechnicznych [Rudnicki 2000, Brzozowska i in. 2008].

Tabela 15. Zmienność masy tysiąca ziaren pszenicy ozimej (g) powodowana właściwościami gleby na jednostkach doświadczalnych średnio w ogniwie zmianowania (n = 112) w latach 2009-2011 i w różnych stanowiskach (n = 28)

Table 15. Variation in winter wheat thousand grain weight (g) due to soil properties in experimental plots; mean for the crop-rotation element (n = 112) over 2009-2011 and in various stands (n = 28)

Wartość – Value	2009-2011 (n = 112)	Stanowisko (n = 28) po: – Stand (n = 28) after:		
		grochu pea	pszenicy wheat	monokulturze monoculture
Minimalna – Minimum	39,1	40,1	39,3	37,8
Maksymalna – Maximum	42,9	43,9	42,8	41,9
Średnia – Mean	41,4	41,4	41,0	39,9
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,88	0,87	1,18	1,06
Współczynnik zmienności Coefficient of variation (%)	2,12	2,11	2,87	2,67

Niezależnie od przebiegu pogody i różnych przedplonów w latach 2009-2011 masa tysiąca ziaren zmieniała się pod wpływem poszczególnych właściwości gleby zgodnie z równaniami regresji zawartymi w tabeli 16.

Tabela 16. Zależność masy tysiąca ziaren pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby średnio w ogniwie zmianowania w latach 2009-2011 (n = 112)

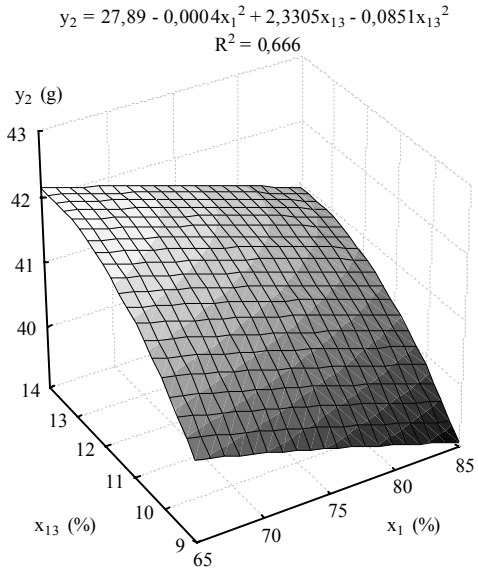
Table 16. Dependence of winter wheat thousand grain weight on respective soil properties; mean for the crop-rotation element over 2009-2011 (n = 112)

Cecha gleby – Soil property		Równanie regresji – Regression equation	r^2
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_2 = 22{,}73 + 0{,}6156x_1 - 0{,}0049x_1^2$	0,578
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_2 = 35{,}72 + 0{,}3970x_2 - 0{,}0061x_2^2$	0,573
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_2 = 36{,}85 + 2{,}6248x_3 - 0{,}3159x_3^2$	0,457
pH_{KCl}	x_4	$y_2 = 39{,}64 + 0{,}3127x_4$	0,039
C_{org}	x_5	$y_2 = 29{,}30 + 2{,}9807x_5 - 0{,}1740x_5^2$	0,550
$N_{ogól} - N_{tot}$	x_6	$y_2 = 32{,}06 + 20{,}1041x_6 - 10{,}1484x_6^2$	0,452
P	x_7	$y_2 = 39{,}75 + 0{,}0177x_7$	0,157
K	x_8	$y_2 = 39{,}98 + 0{,}0145x_8$	0,145
Mg	x_9	$y_2 = 35{,}13 + 0{,}4942x_9 - 10{,}1484x_9^2$	0,368
N_{min} – przedwiośnie N_{min} – early spring	x_{10}	$y_2 = 38{,}88 + 0{,}0572x_{10}$	0,149
N_{min} – BBCH 30-32	x_{11}	$y_2 = 37{,}57 + 0{,}0937x_{11}$	0,249
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_2 = 44{,}19 - 0{,}0501x_{12}$	0,495
Wilgotność – przedwiośnie Moisture – early spring	x_{13}	$y_2 = 34{,}60 + 0{,}5746x_{13}$	0,599
Wilgotność – BBCH 32-37 Moisture – BBCH 32-37	x_{14}	$y_2 = 34{,}64 + 0{,}5448x_{14}$	0,501
Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	x_{15}	$y_2 = 50{,}57 - 1{,}2294x_{15}$	0,494

Model kwadratowy równań i współczynniki determinacji wynoszące ponad 0,5 wskazują na coraz to większą redukcję wartości tej cechy wraz ze zwiększającym się udziałem frakcji piaskowej w uziarnieniu gleby oraz duży wpływ wzrostu zawartości węgla organicznego i udziału frakcji pyłowej w glebie, przy niskich wartościach tych

cech, na kształtowanie się masy 1000 ziaren pszenicy. Korzystnie na tę cechę ziarna, w podobnym stopniu ($r^2 > 0,5$), wpływała również wilgotność gleby wczesną wiosną oraz w fazie krzewienia pszenicy. Ujemny był natomiast związek masy tysiąca ziaren z ilością azotu i wilgotnością gleby w fazie rozwoju ziarniaków. Przy wykazanym wcześniej silnym dodatnim związku plonu z masą tysiąca ziaren oraz małą ilością azotu i wody w glebie w końcu wegetacji roślin wysokoplonujących, ujemna korelacja tych cech gleby i masy tysiąca ziaren jest zrozumiała.

Zmienność masy tysiąca ziaren pod wpływem właściwości gleby w większym stopniu wyjaśnia współzależne ich oddziaływanie. Cecha ta była w 66,6% zależna od współoddziaływania frakcji piaskowej w uziarnieniu gleby i jej wilgotności na przedwiośniu (rys. 6). Kwadratowy przebieg zależności wskazuje na coraz silniejszą redukcję wartości tej cechy ziarna pod wpływem zwiększającego się udziału frakcji piaskowej w uziarnieniu, a jednocześnie silny jej wzrost w rezultacie zwiększającej się wilgotności gleby, zwłaszcza o małej zawartości wody.



Rys. 6. Masa tysiąca ziaren pszenicy ozimej (y_2) średnio w ogniwie zmianowania w latach 2009-2011 w zależności od udziału frakcji piaskowej w uziarnieniu (x_1) i wilgotności gleby na przedwiośniu (x_{13})

Fig. 6. Winter wheat thousand grain weight (y_2); mean for the crop-rotation element over 2009-2011 depending on the share of the sand fraction in the grain size composition (x_1) and soil moisture in early spring (x_{13})

Wpływ warunków glebowych na masę tysiąca ziaren pszenicy ozimej zależał od stanowiska jej uprawy. W przyrodniczo korzystnym stanowisku po grochu, w którym plon i dorodność ziarna były największe, stwierdzono zależność masy 1000 ziaren tylko od uziarnienia gleby, jej wilgotności oraz ilości azotu mineralnego. Żadna jednak z właściwości gleby nie wyjaśniała więcej niż 30% zmienności tej cechy (tab. 17). W stanowisku po pszenicy ozimej (tab. 18) ujawniło się natomiast korzystne oddziaływanie wyższych wartości wskaźnika pH gleby, zawartości węgla organicznego i azotu ogólnego, a także fosforu przyswajalnego na masę tysiąca ziaren, a w stanowisku po

monokulturze (tab. 19) również potasu i magnezu. Wskaźnik determinacji niezależnego wpływu tych cech sięgał w stanowisku po pszenicy 47%, a po jej monokulturze 41%.

Tabela 17. Zależność masy tysiąca ziaren pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby w stanowisku po grochu siewnym (n = 28)

Table 17. Dependence of the winter wheat thousand grain weight on respective soil properties in the stand after pea (n = 28)

Cecha gleby* – Soil property		Równanie regresji – Regression equation	r^2
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_2 = 52{,}15 - 0{,}1428x_1$	0,252
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_2 = 38{,}02 + 0{,}1515x_2$	0,224
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_2 = 39{,}18 + 0{,}9222x_3$	0,266
N_{min} – przedwiośnie N_{min} – early spring	x_{10}	$y_2 = 32{,}92 + 0{,}1475x_{10}$	0,256
N_{min} – BBCH 30-32	x_{11}	$y_2 = 37{,}66 + 0{,}0724x_{11}$	0,144
Wilgotność – przedwiośnie Moisture – early spring	x_{13}	$y_2 = 32{,}75 + 0{,}7443x_{13}$	0,195
Wilgotność – BBCH 32-37 Moisture – BBCH 32-37	x_{14}	$y_2 = 35{,}16 + 0{,}4646x_{14}$	0,181
Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	x_{15}	$y_2 = 45{,}85 - 0{,}5480x_{15}$	0,163

* istotnie wpływająca na masę 1000 ziaren – a significant effect on thousand grain weight

Tabela 18. Zależność masy tysiąca ziaren pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby w stanowisku po pszenicy (n = 28)

Table 18. Dependence of winter wheat thousand grain weight on respective soil properties in the stand after wheat (n = 28)

Cecha gleby* – Soil property		Równanie regresji – Regression equation	r^2
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_2 = 59{,}19 - 0{,}2406x_1$	0,401
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_2 = 35{,}19 + 0{,}2634x_2$	0,388
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_2 = 38{,}19 + 1{,}193x_3$	0,233
pH_{KCl}	x_4	$y_2 = 34{,}75 + 1{,}1556x_4$	0,203
C_{org}	x_5	$y_2 = 34{,}43 + 0{,}9219x_5$	0,229
$N_{ogól} – N_{tot}$	x_6	$y_2 = 34{,}79 + 8{,}3317x_6$	0,261
P	x_7	$y_2 = 38{,}00 + 0{,}0378x_7$	0,147
N_{min} – BBCH 30-32	x_{11}	$y_2 = 33{,}60 + 0{,}1245x_{11}$	0,353
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_2 = 45{,}83 - 0{,}0898x_{12}$	0,351
Wilgotność – przedwiośnie Moisture – early spring	x_{13}	$y_2 = 24{,}83 + 1{,}3786x_{13}$	0,286
Wilgotność – BBCH 32-37 Moisture – BBCH 32-37	x_{14}	$y_2 = 31{,}87 + 0{,}7322x_{14}$	0,187
Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	x_{15}	$y_2 = 220{,}32 - 46{,}0672x_{15} + 2{,}9470x_{15}^2$	0,468

* istotnie wpływająca na masę 1000 ziaren – a significant effect on thousand grain weight

Tabela 19. Zależność masy tysiąca ziaren pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby w stanowisku po monokulturze pszenicy (n = 28)

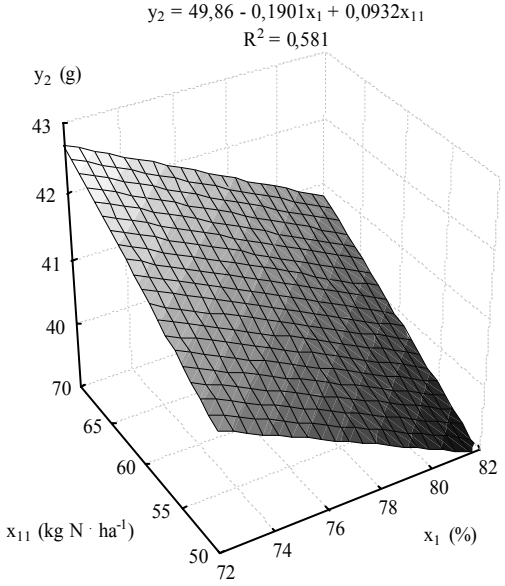
Table 19. Dependence of winter wheat thousand grain weight on respective soil properties in the stand after wheat monoculture (n = 28)

Cecha gleby* – Soil property		Równanie regresji – Regression equation	r^2
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_2 = 53,15 – 0,1755\ x_1$	0,277
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_2 = 35,55 + 0,1969\ x_2$	0,278
pH_{KCl}	x_4	$y_2 = 33,70 + 1,1532\ x_4$	0,265
$N_{ogól} – N_{tot}$	x_6	$y_2 = 34,78 + 6,9021\ x_6$	0,194
P	x_7	$y_2 = 38,37 + 0,0003x_7^2$	0,221
K	x_8	$y_2 = 15,63 + 0,3378x_8 – 0,0011x_8^2$	0,399
Mg	x_9	$y_2 = 33,66 + 0,3811\ x_9$	0,412
N_{min} – przedwiośnie N_{min} – early spring	x_{10}	$y_2 = 34,13 + 0,1501\ x_{10}$	0,183
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_2 = 42,44 – 0,0375\ x_{12}$	0,173
Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	x_{15}	$y_2 = 44,96 – 0,6265\ x_{15}$	0,207

* istotnie wpływająca na masę 1000 ziaren – a significant effect on thousand grain weight

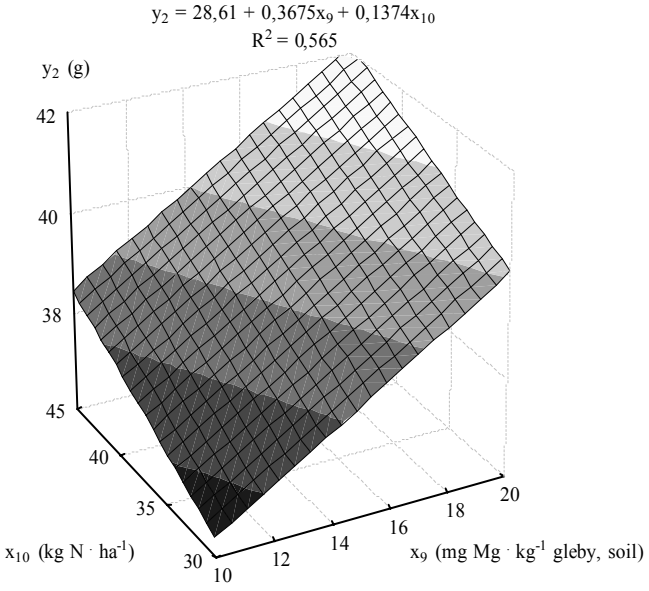
Większy wpływ właściwości gleby na masę tysiąca ziaren pszenicy ozimej, uprawianej w niekorzystnych dla niej stanowiskach po sobie niż po grochu siewnym, pośrednio potwierdzają rezultaty badań nad użyźnianiem gleby [Kotwica i in. 2011]. Wynika z nich, że wkład masy tysiąca ziaren w różnicę plonów pszenicy ozimej, spowodowaną zwiększonym nawożeniem w krótkotrwałej monokulturze, był większy niż w korzystnym dla niej stanowisku po rzepaku ozimym.

Współzależne oddziaływanie właściwości gleby na masę tysiąca ziaren było silniejsze niż pojedynczych jej cech, a wskaźnik determinacji wyniósł około 60%. W stanowisku po pszenicy cecha ta była tym większa, im mniejszy był udział frakcji piaskowej w składzie granulometrycznym gleby i jednocześnie większa ilość azotu w fazie strzelania w źdźbło pszenicy ozimej (rys. 7). W stanowisku po monokulturze pszenicy masa 1000 ziaren zwiększała się wraz ze wzrostem zawartości przyswajalnego magnezu i ilości azotu w glebie na przedwiośniu (rys. 8).



Rys. 7. Masa tysiąca ziaren pszenicy ozimej (y_2) w stanowisku po pszenicy w zależności od udziału frakcji piaskowej w uziarnieniu (x_1) i ilości azotu w glebie w fazie BBCH 30-32 (x_{11})

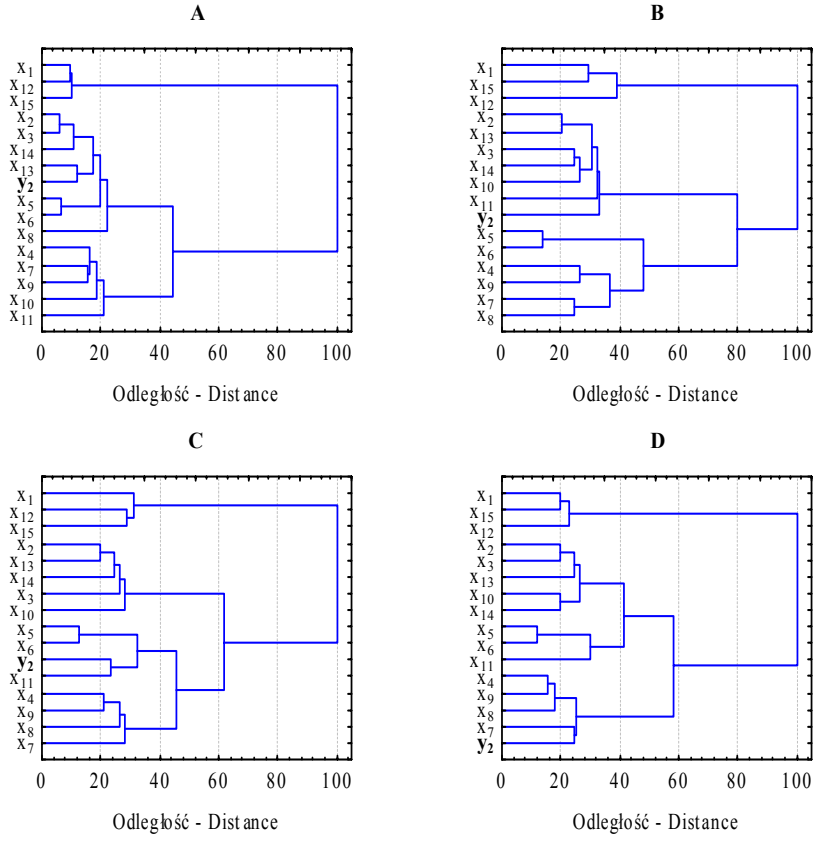
Fig. 7. Winter wheat thousand grain weight (y_2) in the stand after wheat depending on the share of sand fraction in grain size composition (x_1) and the amount of nitrogen in soil at BBCH 30-32 (x_{11})



Rys. 8. Masa tysiąca ziaren pszenicy ozimej (y_2) w stanowisku po monokulturze pszenicy w zależności od zawartości magnezu przyswajalnego w glebie (x_9) i ilości azotu na przedwiośniu (x_{10})

Fig. 8. Winter wheat thousand grain weight (y_2) in the stand after wheat monoculture depending on the content of available magnesium in soil (x_9) and the amount of nitrogen in early spring (x_{10})

Wydzielając na podstawie względnych odległości euklidesowych jedną z trzech grup cech określających właściwości gleby można stwierdzić, że masa 1000 ziaren pszenicy ozimej (rys. 9A) była najsilniej związana z: udziałem frakcji pyłowej i iłowej w składzie granulometrycznym ($x_{2,3}$), zawartością węgla organicznego, azotu ogólnego i potasu przyswajalnego ($x_{5,6,8}$) oraz wilgotnością gleby wiosną do fazy strzelania w źdźbło ($x_{13,14}$). Z kolei wydzielając w poszczególnych stanowiskach po 4 grupy takich cech zauważa się, że masa tysiąca ziaren pszenicy uprawianej po grochu (rys. 9B) była silnie związana także z zawartością azotu w glebie na przedwiośniu i w fazie BBCH 30-32 ($x_{10,11}$). Uprawiając pszenicę w stanowiskach po sobie masa tysiąca ziaren wiązała się z zawartością węgla organicznego i azotu ogólnego w glebie – $x_{5,6}$ (rys. 9C) oraz przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu – $x_{7,8,9}$, a także wskaźnikiem pH – x_4 (rys. 9D).



Rys. 9. Aglomeracja właściwości gleby (x_1-x_{15}) i masy 1000 ziaren (y_2) średnio w latach 2009-2011 (A) oraz w stanowiskach po grochu siewnym (B), pszenicy ozimej (C) i monokulturze pszenicy (D)

Fig. 9. Agglomeration of soil properties (x_1-x_{15}) and thousand grain weight (y_2); mean for the years 2009-2011 (A) and in the stands after pea (B), winter wheat (C) and wheat monoculture (D)

5.2.4. Wyrównanie ziarna

Wyrównanie ziarna pszenicy ozimej średnio w trzyletnim ogniwie zmianowania zawierało się pomiędzy 77,6 a 84,1%, a jego współczynnik zmienności, w obrębie 112 obiektów o zróżnicowanych właściwościach gleby, wynosił tylko nieco ponad 2% (tab. 20). Najbardziej stabilna była ta cecha w stanowisku po grochu, a nieco bardziej zmienna po sobie i monokulturze pszenicy.

Tabela 20. Zmienność wyrównania ziarna pszenicy ozimej (%) powodowana właściwościami gleby na jednostkach doświadczalnych średnio w ogniwie zmianowania (n = 112) w latach 2009-2011 i w różnych stanowiskach (n = 28)

Table 20. Variation in the winter wheat grain evenness (%) due to soil properties in experimental plots; mean for the crop-rotation element (n = 112) over 2009-2011 and in various stands (n = 28)

Wartość – Value	2009-2011 (n = 112)	Stanowisko (n = 28) po: – Stand (n = 28) after:		
		grochu pea	pszenicy wheat	monokulturze monoculture
Minimalna – Minimum	77,6	81,7	79,4	78,2
Maksymalna – Maximum	84,1	86,1	85,2	83,3
Średnia – Mean	81,3	83,5	82,8	81,0
Odchylenie standardowe Standard deviation	1,72	1,03	1,65	1,58
Współczynnik zmienności Coefficient of variation (%)	2,12	1,24	1,99	1,96

W przeprowadzonych badaniach potwierdził się zauważony przez Duggana i Fowlera [2006] wpływ warunków środowiskowych na wyrównanie ziarna pszenicy, gdyż zależało ono, w różnym stopniu – od wszystkich uwzględnionych w niniejszych badaniach właściwości gleby (tab. 21).

Tabela 21. Zależność wyrównania ziarna pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby średnio w ogniwie zmianowania w latach 2009-2011 (n = 112)

Table 21. Dependence of winter wheat grain evenness on respective soil properties; mean for the crop-rotation element over 2009-2011 (n = 112)

Cecha gleby – Soil property		Równanie regresji – Regression equation	r^2
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_3 = 57{,}20 + 0{,}8829x_1 - 0{,}0075x_1^2$	0,682
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_3 = 71{,}37 + 0{,}6364x_2 - 0{,}0084x_2^2$	0,669
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_3 = 68{,}90 + 7{,}4232x_3 - 0{,}9712x_3^2$	0,642
pH_{KCl}	x_4	$y_3 = 76{,}18 + 0{,}8887x_4$	0,083
C_{org}	x_5	$y_3 = 73{,}23 + 1{,}1418x_5$	0,575
$N_{ogól} – N_{tot}$	x_6	$y_3 = 74{,}44 + 8{,}6029x_6$	0,462
P	x_7	$y_3 = 77{,}68 + 0{,}0378x_7$	0,186
K	x_8	$y_3 = 78{,}31 + 0{,}0295x_8$	0,156
Mg	x_9	$y_3 = 68{,}81 + 0{,}9496x_9 - 0{,}0159x_9^2$	0,457
N_{min} – przedwiośnie N_{min} – early spring	x_{10}	$y_3 = 75{,}10 + 0{,}1382x_{10}$	0,227
N_{min} – BBCH 30-32	x_{11}	$y_3 = 71{,}70 + 0{,}2318x_{11}$	0,398
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_3 = 84{,}76 - 0{,}0011x_{12}^2$	0,707
Wilgotność – przedwiośnie Moisture – early spring	x_{13}	$y_3 = 66{,}84 + 1{,}2133x_{13}$	0,696
Wilgotność – BBCH 32-37 Moisture – BBCH 32-37	x_{14}	$y_3 = 32{,}55 + 6{,}6614x_{14} - 0{,}2191x_{14}^2$	0,672
Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	x_{15}	$y_3 = 101{,}78 - 2{,}7594x_{15}$	0,649

Wyrównanie ziarna zwiększało się wraz ze wzrostem wartości poszczególnych cech, a współczynnik determinacji wynosił od 0,08 dla wskaźnika pH do 0,70 – wilgotność gleby na przedwiośniu. Kwadratowy model zależności wyrównania ziarna od udziału drobnych frakcji glebowych w uziarnieniu i zawartości magnezu przyswajalnego w glebie wskazuje na silny wpływ tych właściwości przy niskich ich wartościach i słabnący przy wysokich. Tylko wzrost udziału frakcji piaskowej w uziarnieniu gleby powodował zmniejszanie się wyrównania ziarna. Pozostawało ono również w ujemnej zależności z ilością azotu mineralnego i wilgotnością gleby w fazie rozwoju ziarniaków BBCH 69-73.

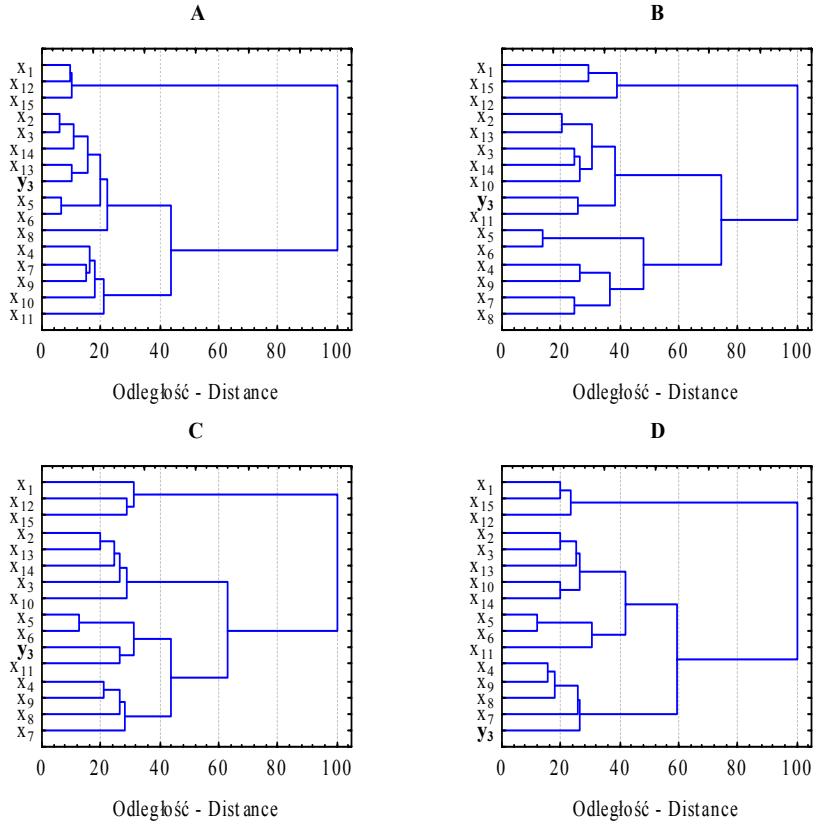
O dużej roli współzależnego oddziaływania właściwości gleby, wynikających z jej pochodzenia, przebiegu pogody i zabiegów agrotechnicznych na wyrównanie ziarna świadczy model regresji wielokrotnej wyjaśniający ponad 81% zmienności tej cechy – równanie (5). Wyrównanie ziarna było tym większe, im gleba zawierała mniej frakcji piaskowej (x_1), więcej azotu mineralnego w fazie strzelania pszenicy w źdźbło (x_{11}), była bardziej wilgotna na przedwiośniu (x_{13}), a jednocześnie zawierała mniej wody pod koniec wegetacji (x_{15}).

$$y_3 = 83{,}65 - 0{,}0711x_1 + 0{,}0878x_{11} + 0{,}4433x_{13} - 0{,}8043x_{15} \; ; \; R^2 = 0{,}812 \qquad (5)$$

Graficzna prezentacja wyników analizy skupień wskazuje, że wyrównanie ziarna było silnie związane z udziałem frakcji pyłowej i iłowej w uziarnieniu gleby oraz jej wilgotnością wczesną wiosną i w fazie strzelania w źdźbło (rys. 10A).

Zatem glebę o małym udziale piasku w uziarnieniu oraz zawierającą dostateczną ilość wody i azotu w okresie intensywnego wzrostu wiosną można uznać za odpowiednią do wykształcania przez pszenicę ozimą dorodnego i wyrównanego wielkością ziarna.

Udział poszczególnych właściwości gleby w kształtowaniu wyrównania ziarna pszenicy ozimej zależał również od stanowiska w zmianowaniu. W każdym z nich istotne znaczenie miał skład granulometryczny, wartość wskaźnika pH oraz zawartość azotu ogólnego. Różne, w zależności od przedplonu, było natomiast znaczenie ilości azotu mineralnego oraz wilgotności gleby w poszczególnych fazach rozwojowych pszenicy (tab. 22-24). W stanowisku po grochu i pszenicy żadna z cech gleby nie wyjaśniała więcej niż 40% zmienności wyrównania ziarna (tab. 22, 23). Wskaźnik determinacji jego współzależności od malejącego udziału frakcji piaskowej w uziarnieniu i wzrastającego wskaźnika pH wyniósł 53,5% – po roślinie strączkowej (rys. 11) i 49,3% w stanowisku po sobie (rys. 12), a cecha ta była bezpośrednio związana z ilością azotu w glebie w fazie krzewienia pszenicy (rys. 10B,C). Jeszcze słabsza była zależność wyrównania ziarna od właściwości gleby w stanowisku po monokulturze pszenicy (tab. 24). Prawdopodobnie wystąpiły w nim inne czynniki silnie wpływające na tę cechę ziarna. W monokulturze pszenicy mogła być to presja patogenów, zwłaszcza podstawy źdźbła i kłosa [Lemańczyk 2002, Jończyk i Solarska 2004, Żółtańska 2005], co było obserwowane, choć nie ewidencjonowane w niniejszych badaniach. W warunkach tych korzystnie na wyrównanie ziarna wpływała zwiększająca się jednocześnie zawartość przyswajalnego magnezu i ilości azotu mineralnego na przedwiośniu – R^2 = 45,7% (rys. 13). Ścisły związek tej cechy z zasobnością gleby w makroskładniki wynika także z bliskości wiązania aglomeracyjnego (rys. 10D).



Rys. 10. Aglomeracja właściwości gleby (x_1-x_{15}) i wyrównania ziarna (y_3) średnio w latach 2009-2011 (A) oraz w stanowiskach po grochu siewnym (B), pszenicy ozimej (C) i monokulturze pszenicy (D)

Fig. 10. Agglomeration of soil properties (x_1-x_{15}) and grain evenness (y_3); mean for the years 2009-2011 (A) and in the stands after pea (B), winter wheat (C) and wheat monoculture (D)

Tabela 22. Zależność wyrównania ziarna pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby w stanowisku po grochu siewnym (n = 28)

Table 22. Dependence of winter wheat grain evenness on respective soil properties in the stand after pea (n = 28)

Cecha gleby* – Soil property		Równanie regresji – Regression equation	r^2
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_3 = 99{,}23 - 0{,}2079x_1$	0,381
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_3 = 78{,}35 + 0{,}2343x_2$	0,382
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_3 = 81{,}37 + 0{,}9111x_3$	0,185
pH_{KCl}	x_4	$y_3 = 76{,}99 + 1{,}2155x_4$	0,294
$N_{ogól} – N_{tot}$	x_6	$y_3 = 78{,}94 + 6{,}0871x_6$	0,223
Mg	x_9	$y_3 = 81{,}02 + 0{,}1345x_9$	0,187
N_{min} – przedwiośnie N_{min} – early spring	x_{10}	$y_3 = 76{,}03 + 0{,}1310x_{10}$	0,144
N_{min} – BBCH 30-32	x_{11}	$y_3 = 76{,}54 + 0{,}1366x_{11}$	0,365
Wilgotność – przedwiośnie Moisture – early spring	x_{13}	$y_3 = 72{,}74 + 0{,}9322x_{13}$	0,218

* istotnie wpływająca na wyrównanie ziarna – a significant effect on grain evenness

Tabela 23. Zależność wyrównania ziarna pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby w stanowisku po pszenicy (n = 28)

Table 23. Dependence of winter wheat grain evenness on respective soil properties in the stand after wheat (n = 28)

Cecha gleby* – Soil property		Równanie regresji – Regression equation	r^2
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_3 = 108{,}13 - 0{,}3342x_1$	0,393
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_3 = 74{,}68 + 0{,}3710x_2$	0,391
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_3 = 79{,}37 + 1{,}4795x_3$	0,182
pH_{KCl}	x_4	$y_3 = 73{,}36 + 1{,}7593x_4$	0,239
C_{org}	x_5	$y_3 = 73{,}54 + 1{,}3091x_5$	0,235
$N_{ogól} – N_{tot}$	x_6	$y_3 = 74{,}31 + 11{,}4883x_6$	0,252
P	x_7	$y_3 = 77{,}93 + 0{,}0624x_7$	0,204
Mg	x_9	$y_3 = 78{,}25 + 0{,}2727x_9$	0,199
N_{min} – BBCH 30-32	x_{11}	$y_3 = 74{,}30 + 0{,}1440x_{11}$	0,240
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_3 = 88{,}76 - 0{,}1096x_{12}$	0,266
Wilgotność – przedwiośnie Moisture – early spring	x_{13}	$y_3 = 59{,}79 + 1{,}9671x_{13}$	0,296
Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	x_{15}	$y_3 = 304{,}18 - 56{,}8748x_{15} + 3{,}6397x_{15}^2$	0,359

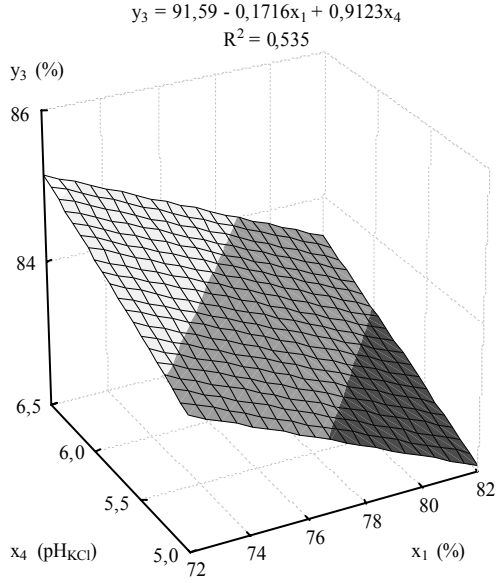
* istotnie wpływająca na wyrównanie ziarna – a significant effect on grain evenness

Tabela 24. Zależność wyrównania ziarna pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby w stanowisku po monokulturze pszenicy (n = 28)

Table 24. Dependence of winter wheat grain evenness on respective soil properties in the stand after wheat monoculture (n = 28)

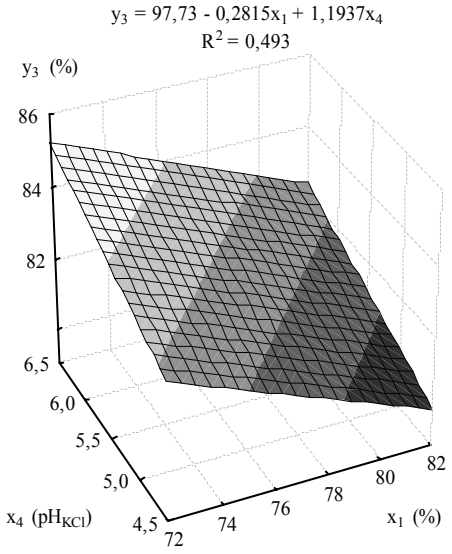
Cecha gleby* – Soil property		Równanie regresji – Regression equation	r^2
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_3 = 97{,}90 - 0{,}2241x_1$	0,204
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_3 = 75{,}52 + 0{,}2472x_2$	0,198
pH_{KCl}	x_4	$y_3 = 71{,}54 + 1{,}7567x_4$	0,278
$N_{ogól} – N_{tot}$	x_6	$y_3 = 74{,}35 + 8{,}9486x_6$	0,147
P	x_7	$y_3 = 77{,}28 + 0{,}0503x_7$	0,166
K	x_8	$y_3 = 76{,}30 + 0{,}0360\ x_8$	0,202
Mg	x_9	$y_3 = 77{,}87 + 0{,}4951x_9$	0,314
N_{min} – przedwiośnie N_{min} – early spring	x_{10}	$y_3 = 72{,}77 + 0{,}2140x_{10}$	0,168
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_3 = 84{,}65 - 0{,}0540x_{12}$	0,162
Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	x_{15}	$y_3 = 88{,}29 - 0{,}9048x_{15}$	0,195

* istotnie wpływająca na wyrównanie ziarna – a significant effect on grain evenness



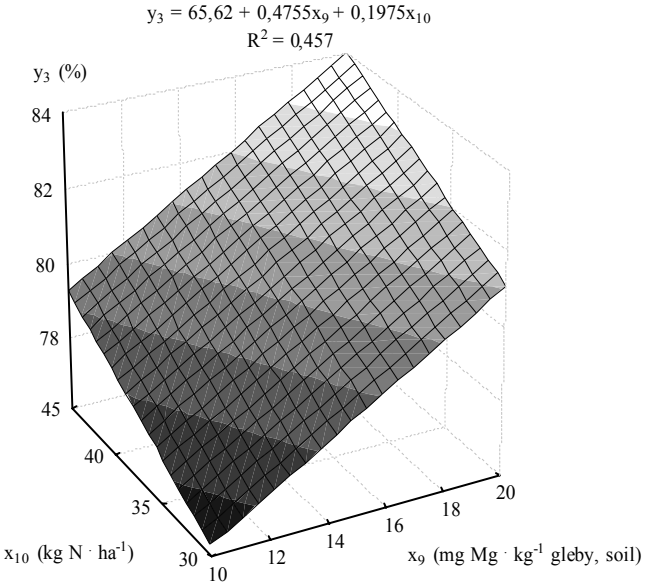
Rys. 11. Wyrównanie ziarna pszenicy ozimej (y_3) w stanowisku po grochu w zależności od udziału frakcji piaskowej (x_1) w uziarnieniu gleby i wskaźnika pH (x_4)

Fig. 11. Winter wheat grain evenness (y_3) in the stand after pea depending on the share of sand fraction (x_1) in the soil grain size composition and pH (x_4)



Rys. 12. Wyrównanie ziarna pszenicy ozimej (y_3) w stanowisku po pszenicy w zależności od udziału frakcji piaskowej (x_1) w uziarnieniu gleby i wskaźnika pH (x_4)

Fig. 12. Winter wheat grain evenness (y_3) in the stand after wheat depending on the share of sand fraction (x_1) in the soil grain size composition and pH (x_4)



Rys. 13. Wyrównanie ziarna pszenicy ozimej (y_3) w stanowisku po monokulturze pszenicy w zależności od zawartości magnezu przyswajalnego (x_9) i ilości azotu w glebie na przedwiośniu (x_{10})

Fig. 13. Winter wheat grain evenness (y_3) in the stand after wheat monoculture depending on the available magnesium content (x_9) and nitrogen amount in soil in early spring (x_{10})

Wpływ zmianowania i przedplonów na wyrównanie oraz gęstość ziarna różnych form pszenicy wykazują w swych badaniach także inni autorzy [Woźniak 2004, Woźniak i Gontarz 2005, Woźniak 2006]. Według nich w korzystnych stanowiskach dla uprawy tej rośliny jak groch czy ziemniak, ziarno jest bardziej wyrównane i o większej gęstości. Oddziaływanie stanowiska jest jednak związane z przebiegiem pogody w poszczególnych latach i nie zawsze istotne.

5.2.5. Gęstość ziarna w stanie zsypnym

Gęstość ziarna w stanie zsypnym, charakteryzująca jego wielkość i wypełnienie, wyniosła średnio w ogniwie zmianowania 75,3 kg · hl^{-1}, a w poszczególnych stanowiskach od 74,3 do 77,0 kg · hl^{-1} (tab. 25). Cecha ta mimo na ogół relatywnie małej zmienności podlega wpływowi warunków środowiskowych, w tym glebowych [Campbell i in. 1995, Protic i in. 2007, Mohammadi 2012]. W badaniach własnych gęstość ziarna była istotnie kształtowana przez poszczególne właściwości gleby. Prostoliniowy, niezależny jej związek z udziałem frakcji piaskowej i pyłowej w uziarnieniu gleby, zawartością węgla organicznego, ilością azotu w fazie rozwoju ziarniaków oraz wilgotnością gleby w poszczególnych fazach wiosennoletniej wegetacji pszenicy wyjaśniał około lub ponad 50% zmienności (tab. 26).

Tabela 25. Zmienność gęstości ziarna pszenicy ozimej (kg · hl^{-1}) powodowana właściwościami gleby na jednostkach doświadczalnych średnio w ogniwie zmianowania (n = 112) w latach 2009-2011 i w różnych stanowiskach (n = 28)

Table 25. Variation in the winter wheat grain test weight (kg · hl^{-1}) due to soil properties in experimental plots; mean for the crop-rotation element (n = 112) over 2009-2011 and in various stands (n = 28)

Wartość – Value	2009-2011 (n = 112)	Stanowisko (n = 28) po: – Stand (n = 28) after:		
		grochu pea	pszenicy wheat	monokulturze monoculture
Minimalna – Minimum	73,3	75,9	73,9	71,0
Maksymalna – Maximum	76,8	78,0	77,2	76,1
Średnia – Mean	75,3	77,0	75,9	74,3
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,93	0,49	0,96	1,12
Współczynnik zmienności Coefficient of variation (%)	1,24	0,63	1,27	1,50

Tabela 26. Zależność gęstości ziarna pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby średnio w ogniwie zmianowania w latach 2009-2011 (n = 112)

Table 26. Dependence of winter wheat grain test weight on respective soil properties; mean for the crop-rotation element over 2009-2011 (n = 112)

Cecha gleby – Soil property		Równanie regresji – Regression equation	r^2
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_4 = 83{,}11 - 0{,}1054x_1$	0,540
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_4 = 72{,}57 + 0{,}1180x_2$	0,536
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_4 = 73{,}01 + 0{,}8444x_3$	0,450
pH_{KCl}	x_4	$y_4 = 72{,}49 + 0{,}4856x_4$	0,084
C_{org}	x_5	$y_4 = 71{,}29 + 0{,}5643x_5$	0,481
$N_{ogól} – N_{tot}$	x_6	$y_4 = 71{,}88 + 4{,}2650x_6$	0,389
P	x_7	$y_4 = 73{,}62 + 0{,}0173x_7$	0,134
K	x_8	$y_4 = 74{,}12 + 0{,}0115x_8$	0,081
Mg	x_9	$y_4 = 69{,}53 + 0{,}4252x_9 – 0{,}0068x_9^2$	0,399
N_{min} – przedwiośnie N_{min} – early spring	x_{10}	$y_4 = 72{,}11 + 0{,}0707\ x_{10}$	0,203
N_{min} – BBCH 30-32	x_{11}	$y_4 = 70{,}57 + 0{,}1138x_{11}$	0,328
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_4 = 78{,}28 – 0{,}0548x_{12}$	0,527
Wilgotność – przedwiośnie Moisture – early spring	x_{13}	$y_4 = 68{,}40 + 0{,}5774x_{13}$	0,540
Wilgotność – BBCH 32-37 Moisture – BBCH 32-37	x_{14}	$y_4 = 67{,}68 + 0{,}6084x_{14}$	0,556
Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	x_{15}	$y_4 = 76{,}92 – 0{,}0005x_{15}^2$	0,541

Istotna zależność gęstości ziarna od ilości azotu mineralnego i wilgotności gleby w kolejnych fazach wzrostu i rozwoju sprawiła, że wraz ze jednoczesnym wzrostem ilości azotu (x_{11}) i wilgotności gleby (x_{14}) w fazie strzelania w źdźbło oraz mniejszą wilgotnością gleby w końcowym okresie wegetacji pszenicy ozimej (x_{15}) gęstość jej ziarna zwiększała się zgodnie z równaniem (6), a współczynnik determinacji wyniósł 65,1%. O bezpośredniej i pośredniej roli wilgotności gleby w kształtowaniu gęstości ziarna w stanie zsypnym może świadczyć także bliskość wiązania tej cechy z wilgotno-

ścią gleby wiosną ($x_{13,14}$) oraz składem granulometrycznym wpływającym na retencję wody – $x_{2,3}$ (rys. 14A).

$$y_4 = 72{,}98 + 0{,}0529x_{11} + 0{,}3212x_{14} - 0{,}5255x_{15} \; ; \; R^2 = 0{,}651 \qquad (6)$$

Wpływ warunków glebowych na gęstość zsypną ziarna pszenicy ozimej 'Batuta' zależał od stanowiska w zmianowaniu. W przyrodniczo korzystnym stanowisku po grochu gęstość ziarna kształtowana była głównie, i to niezbyt silnie – $r^2 < 0{,}33$, przez skład granulometryczny gleby, zawartość węgla organicznego i azotu ogólnego oraz wilgotność gleby na przedwiośniu, a także ilość azotu w fazie krzewienia (tab. 27). Toteż liniowa współzależność tej cechy od zawartości węgla organicznego i jednocześnie ilości azotu w glebie w fazie BBCH 30-32 wyjaśniała tylko 33% jej zmienności (rys. 15).

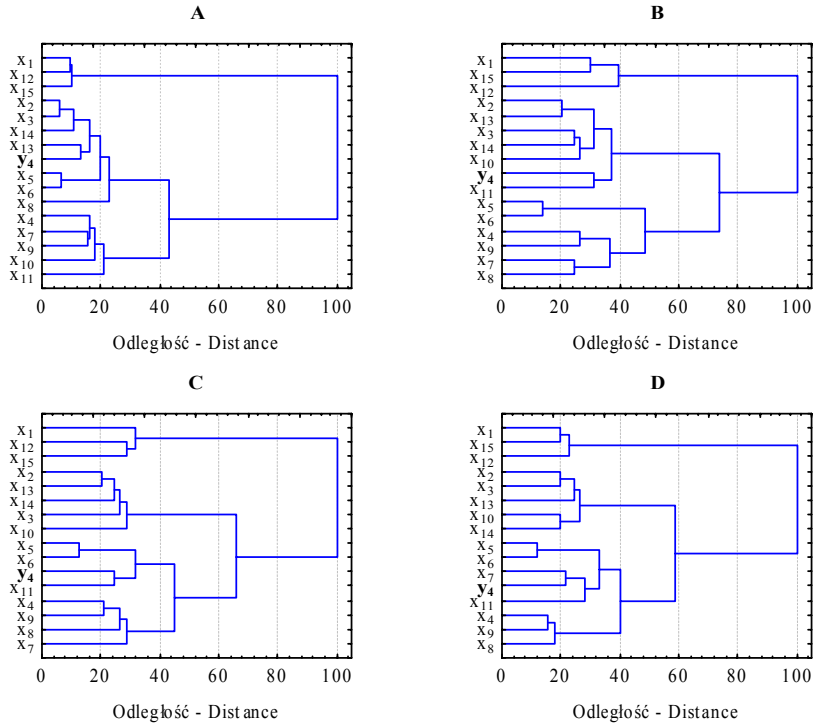
Tabela 27. Zależność gęstości ziarna pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby w stanowisku po grochu siewnym (n = 28)

Table 27. Dependence of winter wheat grain test weight on respective soil properties in the stand after pea (n = 28)

Cecha gleby* – Soil property		Równanie regresji – Regression equation	r^2
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_4 = 83{,}35 - 0{,}0835x_1$	0,277
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_4 = 75{,}03 + 0{,}0914x_2$	0,262
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_4 = 75{,}97 + 0{,}4522x_3$	0,205
C_{org}	x_5	$y_4 = 74{,}69 + 0{,}3315x_5$	0,179
$N_{ogól}$ – N_{tot}	x_6	$y_4 = 74{,}43 + 3{,}4689x_6$	0,327
N_{min} – BBCH 30-32	x_{11}	$y_4 = 74{,}69 + 0{,}046x_{11}$	0,186
Wilgotność – przedwiośnie Moisture – early spring	x_{13}	$y_4 = 72{,}72 + 0{,}3734x_{13}$	0,158

* istotnie wpływająca na gęstość ziarna – a significant effect on test weight of grain

Podobny, jak w stanowisku po grochu, stopień prostoliniowej zależności pomiędzy właściwościami gleby a gęstością ziarna występował w monokulturowej uprawie pszenicy (tab. 28, 29). Cecha ta była także bezpośrednio silnie związana z ilością azotu w glebie w okresie intensywnego wzrostu pszenicy – x_{11} (rys. 14B-D). Jednak w stanowiskach tych, większa liczba właściwości gleby kształtowała gęstość ziarna. Istotny był wpływ zasobności gleby w przyswajalne formy makroskładników oraz większy stopień jej zmienności wyjaśniało współzależne oddziaływanie zawartości fosforu i ilości azotu w fazie rozwoju ziarniaków (rys. 16, 17).



Rys. 14. Aglomeracja właściwości gleby (x_1-x_{15}) i gęstości ziarna (y_4) średnio w latach 2009-2011 (A) oraz w stanowiskach po grochu siewnym (B), pszenicy ozimej (C) i monokulturze pszenicy (D)

Fig. 14. Agglomeration of soil properties (x_1-x_{15}) and grain test weight (y_4); mean for the years 2009-2011 (A) and in the stands after pea (B), winter wheat (C) and wheat monoculture (D)

Tabela 28. Zależność gęstości ziarna pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby w stanowisku po pszenicy (n = 28)

Table 28. Dependence of winter wheat grain test weight on respective soil properties in the stand after wheat (n = 28)

Cecha gleby* – Soil property		Równanie regresji – Regression equation	r^2
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_4 = 86,35 – 0,1382x_1$	0,197
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_4 = 72,42 + 0,1578x_2$	0,207
pH_{KCl}	x_4	$y_4 = 69,56 + 1,1762x_4$	0,314
C_{org}	x_5	$y_4 = 70,12 + 0,8133x_5$	0,266
$N_{ogól} – N_{tot}$	x_6	$y_4 = 70,56 + 7,1799x_6$	0,289
P	x_7	$y_4 = 72,74 + 0,0401x_7$	0,247
N_{min} – przedwiośnie N_{min} – early spring	x_{10}	$y_4 = 69,29 + 0,1390x_{10}$	0,153
N_{min} – BBCH 30-32	x_{11}	$y_4 = 70,11 + 0,0976x_{11}$	0,324
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_4 = 79,53 – 0,0673x_{12}$	0,294

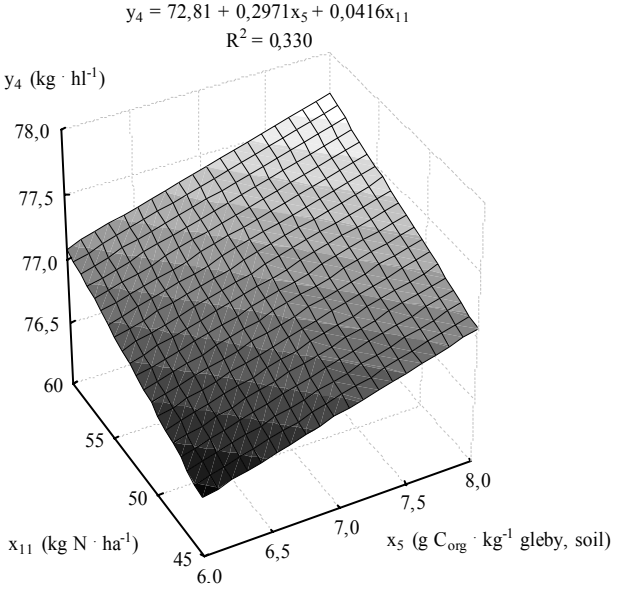
* istotnie wpływająca na gęstość ziarna – a significant effect on test weight of grain

Tabela 29. Zależność gęstości ziarna pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby w stanowisku po monokulturze pszenicy (n = 28)

Table 29. Dependence of winter wheat grain test weight on respective soil properties in the stand after wheat monoculture (n = 28)

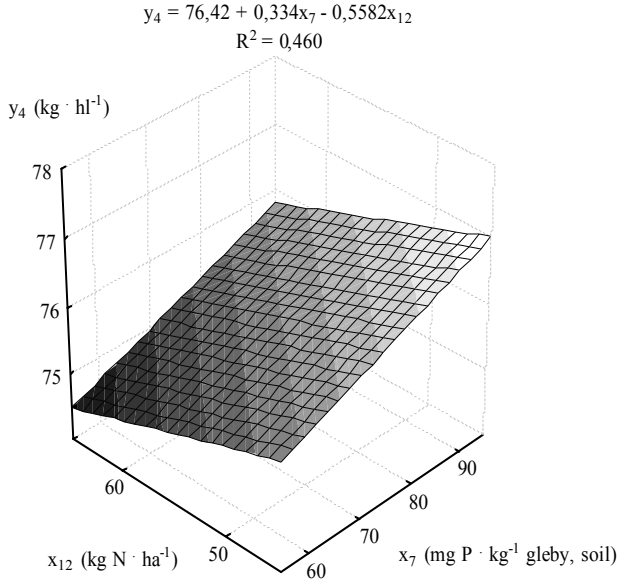
Cecha gleby* – Soil property		Równanie regresji – Regression equation	r^2
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_4 = 86{,}11 - 0{,}1563x_1$	0,192
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_4 = 73{,}37 + 0{,}1786x_2$	0,208
pH_{KCl}	x_4	$y_4 = 68{,}44 + 1{,}0924x_4$	0,217
C_{org}	x_5	$y_4 = 69{,}30 + 0{,}7068x_5$	0,144
$N_{ogól} – N_{tot}$	x_6	$y_4 = 69{,}42 + 6{,}5971x_6$	0,162
P	x_7	$y_4 = 70{,}65 + 0{,}0499x_7$	0,328
K	x_8	$y_4 = 70{,}42 + 0{,}0299x_8$	0,281
Mg	x_9	$y_4 = 70{,}43 + 0{,}2367x_9$	0,145
N_{min} – BBCH 30-32	x_{11}	$y_4 = 69{,}34 + 0{,}0968x_{11}$	0,173
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_4 = 78{,}13 - 0{,}0563x_{12}$	0,355
Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	x_{15}	$y_4 = 80{,}21 - 0{,}7294x_{15}$	0,256

* istotnie wpływająca na gęstość ziarna – a significant effect on test weight of grain



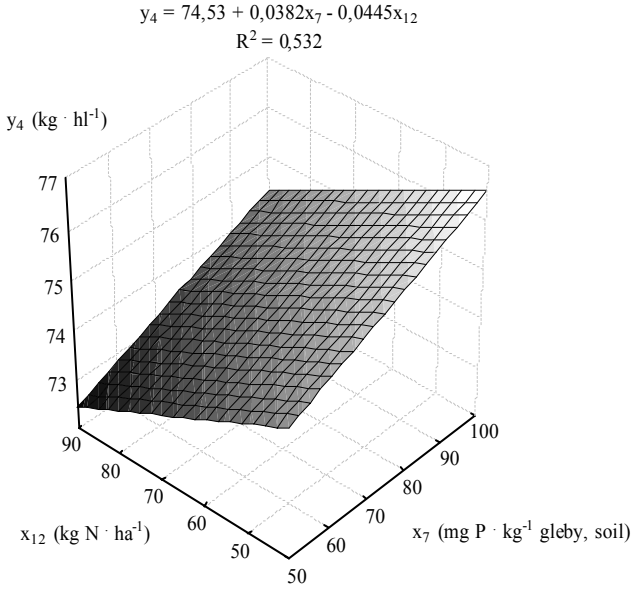
Rys. 15. Gęstość ziarna pszenicy ozimej (y_4) w stanowisku po grochu w zależności od zawartości węgla organicznego (x_5) i ilości azotu w glebie w fazie BBCH 30-32 (x_{11})

Fig. 15. Winter wheat grain test weight (y_4) in the stand after pea depending on the content of organic carbon (x_5) and nitrogen amount in soil at BBCH 30-32 (x_{11})



Rys. 16. Gęstość ziarna pszenicy ozimej (y_4) w stanowisku po pszenicy w zależności od zawartości fosforu przyswajalnego(x_7) i ilości azotu w glebie w fazie BBCH 69-73 (x_{12})

Fig. 16. Winter wheat grain test weight (y_4) in the stand after wheat depending on the available phosphorus content (x_7) and nitrogen amount in soil at BBCH 69-73 (x_{12})



Rys. 17. Gęstość ziarna pszenicy ozimej (y_4) w stanowisku po monokulturze pszenicy w zależności od zawartości fosforu przyswajalnego(x_7) i ilości azotu w glebie w fazie BBCH 69-73 (x_{12})

Fig. 17. Winter wheat grain test weight (y_4) in the stand after wheat monoculture depending on the available phosphorus content (x_7) and nitrogen amount in soil at BBCH 69-73 (x_{12})

5.2.6. Zawartość białka ogólnego

Najwięcej białka zawierało ziarno pszenicy uprawianej w stanowisku po monokulturze – 13,1% i po grochu siewnym – 12,9%, a najmniej bezpośrednio po sobie. Pomimo udokumentowanego w literaturze wpływu czynników siedliskowych oraz elementów agrotechniki na tę cechę [Smith i Gooding 1999, Panozzo i Eagles 2000], jej zmienność pod wpływem zróżnicowanych warunków glebowych okazała się mała, choć różna w stanowiskach zmianowania (tab. 30).

Spośród czynników siedliskowych i elementów agrotechniki oddziałujących na rośliny bezpośrednio, a także pośrednio poprzez kształtowanie właściwości gleby, największy wpływ na zawartość białka w ziarnie pszenicy mają warunki meteorologiczne oraz nawożenie azotem. Nagromadzeniu białka w ziarnie i jego dużej wartości biologicznej sprzyja dostateczna ilość azotu oraz słoneczna i umiarkowanie wilgotna pogoda [Bahrman i in. 2004, Dupont i in. 2006, Erekul i Köhn 2006]. Ponadto zawartość białka w ziarnie wyraźnie zależy od genotypu pszenicy [Lista opisowa odmian… 2012].

Tabela 30. Zmienność zawartości białka (%) w ziarnie pszenicy ozimej powodowana właściwościami gleby na jednostkach doświadczalnych średnio w ogniwie zmianowania (n = 112) w latach 2009-2011 i w różnych stanowiskach (n = 28)

Table 30. Variation in the protein content (%) in winter wheat grain due to soil properties in expererimental plots; mean for the crop-rotation element (n = 112) over 2009-2011 and in various stands (n = 28)

Wartość – Value	2009-2011 (n = 112)	Stanowisko (n = 28) po: – Stand (n = 28) after:		
		grochu pea	pszenicy wheat	monokulturze monoculture
Minimalna – Minimum	12,4	12,7	11,6	12,6
Maksymalna – Maximum	13,5	13,2	12,5	13,6
Średnia – Mean	13,0	12,9	12,1	13,1
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,25	0,12	0,21	0,26
Współczynnik zmienności Coefficient of variation (%)	1,92	0,93	1,75	1,99

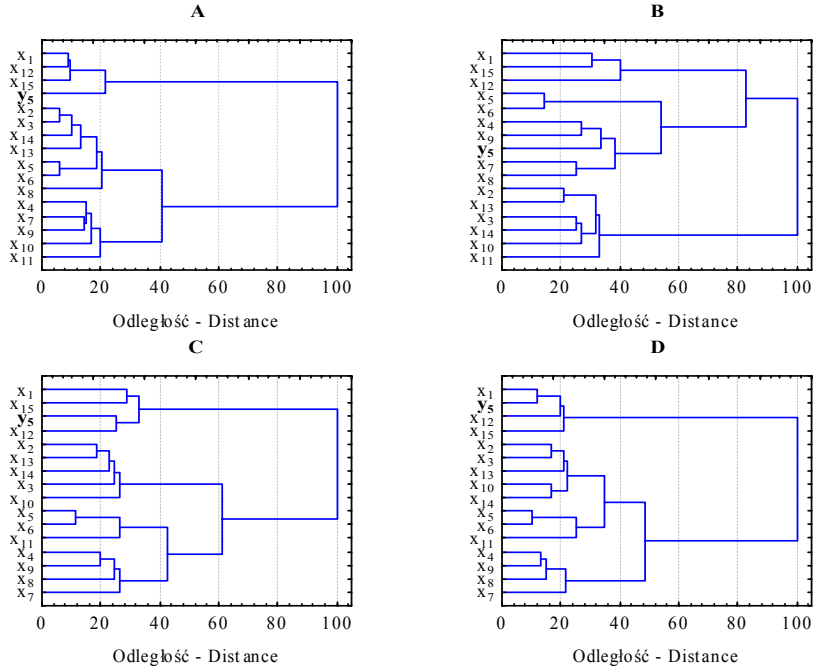
Wobec na ogół dodatniej korelacji plonu z licznymi właściwościami gleby i istotnej ujemnej korelacji plonu z zawartością białka (tab. 7,8,14), właściwości gleby powodujące wzrost plonu wpływały ujemnie na tę cechę jakości ziarna (tab. 31). Tylko zwiększający się udział piasku w uziarnieniu gleby oraz wzrastająca ilość azotu mineralnego i wilgotność gleby w okresie rozwoju ziarniaków wpływały korzystnie na zawartość białka, co ma także wyraz w bliskości wiązań w graficznym obrazie analizy skupień (rys. 18A). Jej zależność od pH gleby i zawartości węgla organicznego najlepiej opisują równania 2^0. Wskazuje to na coraz większą redukcję zawartości białka wraz ze wzrastającą wartością tych cech, co jest prawdopodobnie wynikiem zwiększającego się plonu i związanego z tym efektu rozcieńczenia azotu białkowego w masie ziarna. Łączne oddziaływanie pH gleby i węgla organicznego wyjaśniało dokładnie połowę zmienności zawartości białka w ziarnie (rys. 19).

Tabela 31. Zależność zawartości białka w ziarnie pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby średnio w ogniwie zmianowania w latach 2009-2011 (n = 112)

Table 31. Dependence of the protein content in winter wheat grain on respective soil properties; mean for the crop-rotation element over 2009-2011 (n = 112)

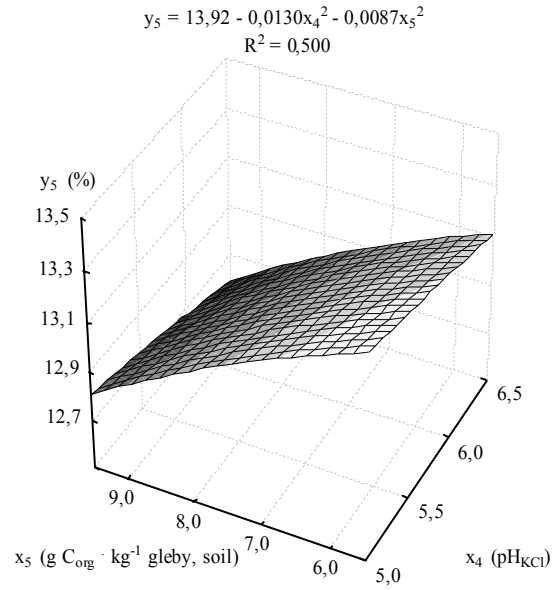
Cecha gleby* – Soil property		Równanie regresji – Regression equation	r^2
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_5 = 11{,}71 + 0{,}0179x_1$	0,217
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_5 = 13{,}49 - 0{,}0197x_2$	0,207
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_5 = 13{,}41 - 0{,}1381x_3$	0,167
pH_{KCl}	x_4	$y_5 = 8{,}23 + 1{,}9272x_4 - 0{,}1879x_4^2$	0,232
C_{org}	x_5	$y_5 = 11{,}71 + 0{,}5320x_5 - 0{,}0473x_5^2$	0,437
$N_{ogól} - N_{tot}$	x_6	$y_5 = 13{,}84 - 1{,}0022x_6$	0,298
P	x_7	$y_5 = 13{,}58 - 0{,}0056x_7$	0,194
Mg	x_9	$y_5 = 13{,}71 - 0{,}0326x_9$	0,354
N_{min} – przedwiośnie N_{min} – early spring	x_{10}	$y_5 = 14{,}05 - 0{,}0225x_{10}$	0,286
N_{min} – BBCH 30-32	x_{11}	$y_5 = 13{,}99 - 0{,}0228x_{11}$	0,184
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_5 = 12{,}55 + 0{,}0089x_{12}$	0,194
Wilgotność – przedwiośnie Moisture – early spring	x_{13}	$y_5 = 14{,}24 - 0{,}1007x_{13}$	0,228
Wilgotność – BBCH 32-37 Moisture – BBCH 32-37	x_{14}	$y_5 = 14{,}45 - 0{,}1126x_{14}$	0,265
Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	x_{15}	$y_5 = 11{,}43 + 0{,}2174x_{15}$	0,192

* istotnie wpływająca na zawartość białka w ziarnie – a significant effect on the protein content in the grain



Rys. 18. Aglomeracja właściwości gleby (x_1-x_{15}) i zawartości białka (y_5) w ziarnie średnio w latach 2009-2011 (A) oraz w stanowiskach po grochu siewnym (B), pszenicy ozimej (C) i monokulturze pszenicy (D)

Fig. 18. Agglomeration of soil properties (x_1-x_{15}) and protein content (y_5) in the grain; mean for the years 2009-2011 (A) and in the stands after pea (B), winter wheat (C) and wheat monoculture (D)



Rys. 19. Zawartość białka w ziarnie pszenicy ozimej (y_5) średnio w ogniwie zmianowania w latach 2009-2011 w zależności od wskaźnika pH (x_4) i zawartości węgla organicznego w glebie (x_5)

Fig. 19. Protein content in winter wheat grain (y_5); mean for the crop-rotation element over 2009-2011 depending on pH (x_4) and organic carbon content in soil (x_5)

Możliwość zarówno bezpośredniego, jak i pośredniego wpływu powyższych właściwości gleby na zawartość białka w ziarnie, a zwłaszcza składu granulometrycznego i węgla organicznego czy próchnicy, potwierdzają wyniki badań wskazujących na ich rolę w kształtowaniu wielkości oraz jakości plonów, w tym ziarna pszenicy [Janzen i in. 1992, Körschens i in. 1998, Guo i in. 2009, Wilkes i in. 2010].

Zależność zawartości białka w ziarnie w poszczególnych stanowiskach była zróżnicowana. Po grochu siewnym i pszenicy cecha ta pozostawała w istotnym związku tylko z nielicznymi właściwości gleby, a żadna z nich nie wyjaśniała więcej niż 30% zmienności (tab. 32). W stanowisku po grochu korzystnie na tę cechę oddziaływały głównie wskaźnik pH i zawartość magnezu przyswajalnego, a w stanowisku po pszenicy także ilość azotu w okresie rozwoju ziarniaków, co obrazuje także drzewo aglomeracyjne (rys. 18B,C). Jednoczesne korzystne oddziaływanie zawartości fosforu w glebie po grochu, wraz z malejącą jej wilgotnością w fazie strzelania w źdźbło, determinowało zawartość białka w ziarnie pszenicy w 29% (rys. 20), a jego współoddziaływanie z zawartością węgla organicznego w stanowisku po pszenicy w 46% (rys. 21).

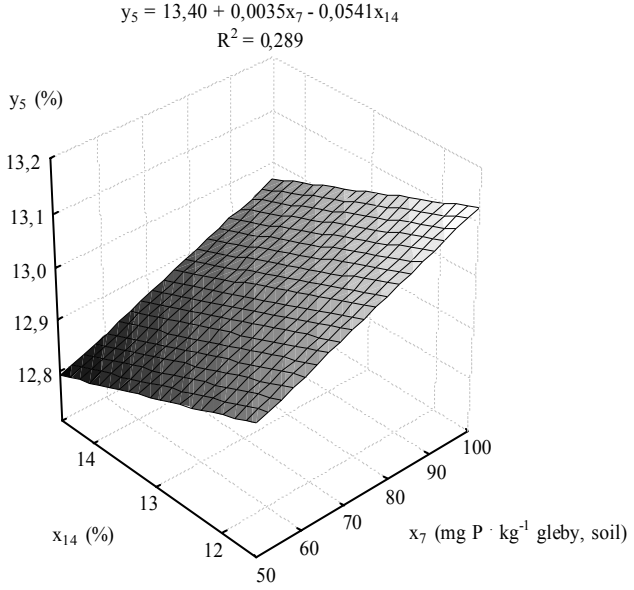
Tabela 32. Zależność zawartości białka w ziarnie pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby w różnych stanowiskach w zmianowaniu (n = 28)

Table 32. Dependence of protein content in winter wheat grain on respective soil properties in various stands in crop rotation (n = 28)

Cecha gleby* – Soil property		Równanie regresji / Stanowisko: Regression equation / Stand:	r^2
po grochu – after pea			
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_5 = 13,17 – 0,0978x_3$	0,158
pH_{KCl}	x_4	$y_5 = 12,30 + 0,1195x_4$	0,211
P	x_7	$y_5 = 12,69 + 0,0033x_7$	0,159
Mg	x_9	$y_5 = 12,67 + 0,0145x_9$	0,162
po pszenicy – after wheat			
C_{org}	x_5	$y_5 = 13,42 – 0,1888x_5$	0,298
$N_{ogól} – N_{tot}$	x_6	$y_5 = 13,12 – 1,4034x_6$	0,230
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_5 = 11,40 + 0,0125x_{12}$	0,212
po monokulturze pszenicy – after wheat monoculture			
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_5 = 8,06 + 0,0662x_1$	0,658
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_5 = 14,65 – 0,0724x_2$	0,628
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_5 = 13,89 – 0,3487x_3$	0,444
C_{org}	x_5	$y_5 = 14,88 – 0,2581x_5$	0,353
$N_{ogól} – N_{tot}$	x_6	$y_5 = 14,90 – 2,4880x_6$	0,422
Mg	x_9	$y_5 = 13,95 – 0,0546x_9$	0,142
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_5 = 12,22 + 0,0123x_{12}$	0,312
Wilgotność – przedwiośnie Moisture – early spring	x_{13}	$y_5 = 15,67 – 0,2230x_{13}$	0,141
Wilgotność – BBCH 32-37 Moisture – BBCH 32-37	x_{14}	$y_5 = 16,26 – 0,2432x_{14}$	0,314
Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	x_{15}	$y_5 = 11,94 + 0,1383x_{15}$	0,169

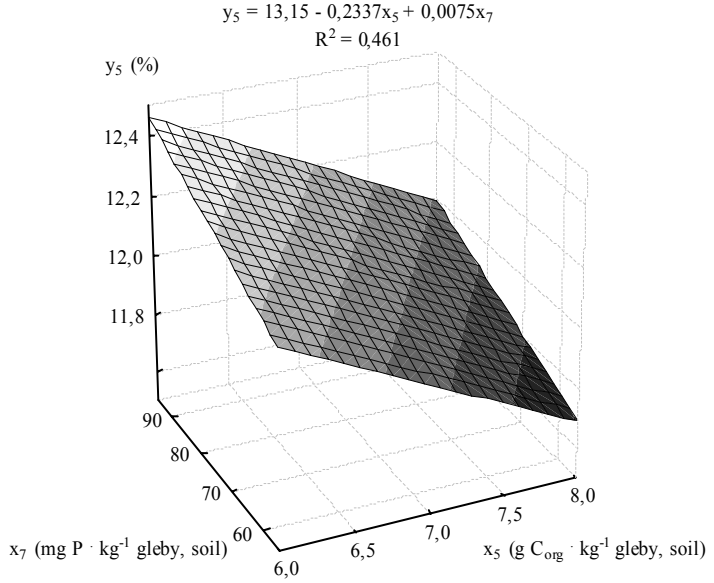
* istotnie wpływająca na zawartość białka w ziarnie – a significant effect on the protein content in the grain

Korzystne oddziaływanie stanowiska po uprawie roślin strączkowych na zawartość białka w ziarnie pszenicy stwierdzili także inni autorzy [López-Bellido i in. 1998, Galantini i in. 2000, Woźniak 2007]. Należy wiązać to głównie z większą ilością azotu w glebie w takim stanowisku. Większą ilość azotu na przedwiośniu w stanowisku po uprawie grochu niż w stanowisku po pszenicy ozimej i jej monokulturze, stwierdzono także we własnych badaniach. W takich warunkach nie ujawnił się istotny związek pomiędzy plonem a zawartością białka w ziarnie oraz pomiędzy ilością azotu w glebie a koncentracją białka w plonie. Być może poziom dostępności azotu mineralnego w stanowisku po uprawie grochu siewnym pozwalał na podobną zawartość białka w ziarnie niezależnie od jego plonu. Potwierdzeniem takiej hipotezy mogą być wyniki badań nad nawożeniem z aplikacją części azotu w późniejszych fazach rozwojowych, tzn. kłoszenia, kwitnienia, a nawet rozwoju ziarniaków, co pozwala osiągać wysokie plony o dużej koncentracji białka w ziarnie [Triboi i in. 2003, Bogard i in. 2010, Altenbach i in. 2011]. Z kolei pozytywną rolę fosforu i magnezu w tworzeniu protein oraz wpływ nawożenia tymi składnikami na zawartość białka w ziarnie wykazali inni autorzy [Potarzycki 2008, Wierzbowska i Bowszys 2008].



Rys. 20. Zawartość białka w ziarnie pszenicy ozimej (y_5) w stanowisku po grochu w zależności od zawartości fosforu przyswajalnego (x_7) i wilgotności gleby w fazie BBCH 32-37 (x_{14})

Fig. 20. Protein content in winter wheat grain (y_5) in the stand after pea depending on the available phosphorus content (x_7) and soil moisture at BBCH 32-37 (x_{14})



Rys. 21. Zawartość białka w ziarnie pszenicy ozimej (y_5) w stanowisku po pszenicy w zależności od zawartości węgla organicznego (x_5) i fosforu przyswajalnego w glebie (x_7)

Fig. 21. Protein content in winter wheat grain (y_5) in the stand after wheat depending on the organic carbon content (x_5) and available phosphorus in soil (x_7)

Zawartość białka w ziarnie pszenicy ozimej uprawianej w stanowisku po jej dwuletniej monokulturze była kształtowana przez większą liczbę cech gleby i w większym stopniu niż w stanowiskach po grochu i pszenicy (tab. 32). Stwierdzono, że zawartość białka w ziarnie była tym większa, im większy był udział frakcji piaskowej w uziarnieniu. Gleba w fazie BBCH 69-73 zawierała więcej azotu mineralnego i pozostawała bardziej wilgotna. Cechy te, jako silnie powiązane, wyodrębniła także analiza skupień (rys. 18D). Gromadzeniu białka sprzyjały również niezależnie: mniejszy udział w składzie granulometrycznym frakcji pyłowej i iłowej, mniejsza zawartość węgla organicznego i azotu ogólnego oraz magnezu przyswajalnego, a także gorsze uwilgotnienie gleby na przedwiośniu i w fazie strzelania w źdźbło. Wobec czego współoddziaływanie, zgodnie z równaniem (7), wzrastającego udziału frakcji piaskowej (x_1) w uziarnieniu gleby i ilości azotu mineralnego na przedwiośniu (x_{10}) oraz zmniejszającej się zawartości przyswajalnego magnezu (x_9) i wilgotności gleby w fazie strzelania w źdźbło (x_{14}) określało 75% zmienności zawartości białka w ziarnie.

$$y_5 = 9{,}53 + 0{,}0621x_1 - 0{,}0271x_9 + 0{,}0282x_{10} - 0{,}1371x_{14} \; ; \; R^2 = 0{,}753 \qquad (7)$$

5.2.7. Zawartość glutenu mokrego

Zawartość glutenu mokrego w ziarnie pszenicy ozimej średnio w latach wahała się od 25,5 do 28,6%, a w poszczególnych stanowiskach od 26,2 do 30,7%, przy współczynniku zmienności 1,3-2,5% (tab. 33). Cecha ta 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]. Dlatego jej zależność od właściwości gleby była podobna, choć głównie w przypadku składu granulometrycznego i wilgotności gleby silniejsza niż wyżej omówionego białka w ziarnie pszenicy ozimej. Tylko w stanowisku o małej wartości przyrodniczej (monokultura pszenicy), zależność zawartości glutenu w ziarnie od tych właściwości gleby była słabsza niż zawartości białka (tab. 31, 32, 34, 35).

Tabela 33. Zmienność zawartości glutenu mokrego (%) w ziarnie pszenicy ozimej powodowana właściwościami gleby na jednostkach doświadczalnych średnio w ogniwie zmianowania (n = 112) w latach 2009-2011 i w różnych stanowiskach (n = 28)

Table 33. Variation in wet gluten content (%) in winter wheat grain due to soil properties in experimental plots; mean for the crop-rotation element (n = 112) in the years 2009-2011 and in various stands (n = 28)

Wartość – Value	2009-2011 (n = 112)	Stanowisko (n = 28) po: – Stand (n = 28) after:		
		grochu pea	pszenicy wheat	monokulturze monoculture
Minimalna – Minimum	25,5	28,1	26,2	28,3
Maksymalna – Maximum	28,6	29,6	27,6	30,7
Średnia – Mean	27,2	28,8	27,1	29,6
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,68	0,40	0,35	0,64
Współczynnik zmienności Coefficient of variation (%)	2,49	1,37	1,29	2,16

Tabela 34. Zależność zawartości glutenu mokrego w ziarnie pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby średnio w ogniwie zmianowania w latach 2009-2011 (n = 112)

Table 34. Dependence of wet gluten content in winter wheat grain on respective soil properties; mean for the crop-rotation element over 2009-2011 (n = 112)

Cecha gleby – Soil property		Równanie regresji – Regression equation	r^2
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_6 = 22,88 + 0,0583x_1$	0,312
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_6 = 28,70 – 0,0647x_2$	0,305
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_6 = 28,47 – 0,4670x_3$	0,260
pH_{KCl}	x_4	$y_6 = 14,17 + 5,1679x_4 – 0,4997x_4^2$	0,195
C_{org}	x_5	$y_6 = 23,76 + 1,3623x_5 – 0,1205x_5^2$	0,371
$N_{ogól} – N_{tot}$	x_6	$y_6 = 29,25 – 2,5639x_6$	0,265
P	x_7	$y_6 = 27,93 – 0,0001x_7^2$	0,178
K	x_8	$y_6 = 27,86 – 0,0064x_8$	0,047
Mg	x_9	$y_6 = 29,13 – 0,0931x_9$	0,394
N_{min} – przedwiośnie N_{min} – early spring	x_{10}	$y_6 = 29,37 – 0,0481x_{10}$	0,178
N_{min} – BBCH 30-32	x_{11}	$y_6 = 29,35 – 0,0516x_{11}$	0,128
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_6 = 25,58 + 0,0297x_{12}$	0,293
Wilgotność – przedwiośnie Moisture – early spring	x_{13}	$y_6 = 19,18 + 1,6906x_{13} – 0,0845x_{13}^2$	0,286
Wilgotność – BBCH 32-37 Moisture – BBCH 32-37	x_{14}	$y_6 = 31,17 – 0,3165x_{14}$	0,284
Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	x_{15}	$y_6 = 21,60 + 0,7563x_{15}$	0,315

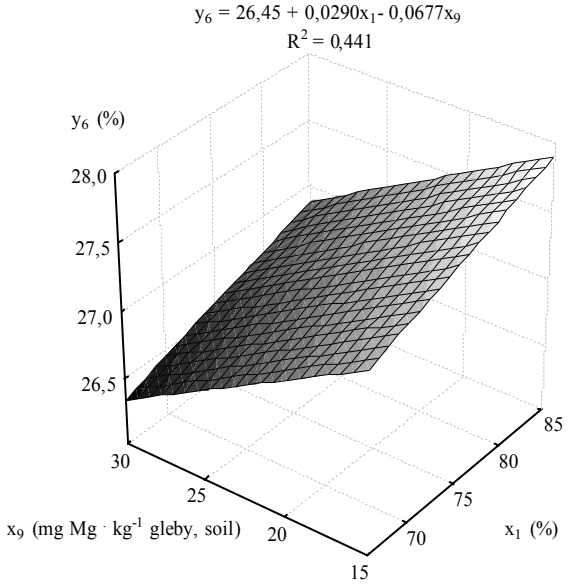
Tabela 35. Zależność zawartości glutenu mokrego w ziarnie pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby w różnych stanowiskach w zmianowaniu (n = 28)

Table 35. Dependence of wet gluten content in winter wheat grain on respective soil properties in various stands in crop rotation (n = 28)

Cecha gleby* – Soil property		Równanie regresji / Stanowisko: Regression equation / Stand:	r^2
po grochu – after pea			
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_6 = 29,68 – 0,3856x_3$	0,226
pH_{KCl}	x_4	$y_6 = 26,30 + 0,4600x_4$	0,287
P	x_7	$y_6 = 28,26 + 0,0001x_7^2$	0,192
Mg	x_9	$y_6 = 27,58 + 0,0639x_9$	0,290
po pszenicy – after wheat			
C_{org}	x_5	$y_6 = 7,05 + 6,0112x_5 – 0,4465x_5^2$	0,402
$N_{ogól} – N_{tot}$	x_6	$y_6 = 28,57 – 2,0308x_6$	0,1755
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_6 = 25,86 + 0,0223x_{12}$	0,2443
po monokulturze pszenicy – after wheat monoculture			
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_6 = 19,59 + 0,1321x_1$	0,436
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_6 = 32,67 – 0,1406x_2$	0,394
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_6 = 31,55 – 0,8273x_3$	0,416
C_{org}	x_5	$y_6 = -0,05 + 9,1238x_5 – 0,6930x_5^2$	0,517
$N_{ogól} – N_{tot}$	x_6	$y_6 = 34,06 – 6,0674x_6$	0,417
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_6 = 27,68 + 0,0279x_{12}$	0,266
Wilgotność – BBCH 32-37 Moisture – BBCH 32-37	x_{14}	$y_6 = 36,27 – 0,5078x_{14}$	0,228
Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	x_{15}	$y_6 = 26,89 + 0,3319x_{15}$	0,162

* istotnie wpływająca na zawartość glutenu w ziarnie – a significant effect on the gluten content in the grain

Średnio i niezależnie od rodzaju przedplonu w ogniwie zmianowania wszystkie badane cechy gleby wpływały istotnie, zgodnie z równaniami regresji liniowej i 2^0, na zawartość glutenu w ziarnie. Jednak w przypadku wielu cech, wskaźnik determinacji wynosił około 25-30%, a żadnej nie przekroczył 40% (tab. 34). W największym stopniu cechę tę determinowało ($R^2 = 0,441$) współzależne oddziaływanie udziału frakcji piaskowej w uziarnieniu gleby i zawartości przyswajalnego magnezu (rys. 22). Wskazuje to, że na glebie lekkiej piaszczystej o małej zawartości magnezu, przy mniejszym plonie, ziarno zawierając dużo glutenu może być dobrej jakości.



Rys. 22. Zawartość glutenu mokrego w ziarnie pszenicy ozimej (y_6) średnio w ogniwie zmianowania w latach 2009-2011w zależności od udziału frakcji piaskowej w uziarnieniu gleby (x_1) i zawartości magnezu przyswajalnego (x_9)

Fig. 22. Content of wet gluten in winter wheat grain (y_6); mean for the crop-rotation element over 2009-2011 depending on the share of the sand fraction in soil grain size composition (x_1) and available magnesium content (x_9)

W dobrym dla pszenicy ozimej stanowisku po grochu siewnym istotnymi dla dużej zawartości glutenu w ziarnie właściwościami gleby okazały się wysoka jej zasobność w przyswajalne formy fosforu i magnezu oraz wyższa wartość wskaźnika pH (tab. 35). W tych warunkach agrotechniczno-siedliskowych zawartość glutenu była tym większa, im jednocześnie gleba miała wyższy wskaźnik pH (x_4), zawierała więcej przyswajalnego fosforu (x_7), a mniej węgla organicznego – x_5 (8).

$$y_6 = 27,55 + 0,5208x_4 – 0,3159x_5 + 0,0085x_7 \; ; \; R^2 = 0,504 \qquad (8)$$

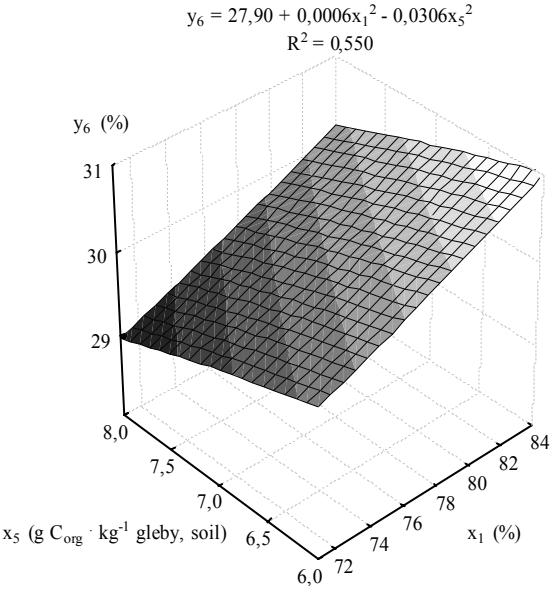
Korzystne oddziaływanie przyswajalnego fosforu glebowego na jakość ziarna pszenicy, wynikającą z zawartości białka, glutenu i wskaźnika sedymentacji ma tylko częściowe potwierdzenie w dotychczasowych badaniach. Fosfor wpływając korzystnie na ulistnienie roślin i aktywność wielu enzymów zwiększa zawartość chlorofilu oraz efektywność fotosyntezy. Większa jest wówczas produkcja biomasy, wzrasta plon ziar-

na i zawartość fosforu w ziarnie, ale zmniejsza się w nim koncentracja azotu i białka [Warraich i in. 2002, Zhu i in. 2012]. Intensywne nawożenie fosforem, mimo korzystnego wpływu na plon może zatem powodować zmniejszenie zawartości białka i wskaźnika sedymentacji [Ortiz-Monasterio i in. 2002], choć niektóre wyniki wskazują na korzystny wpływ fosforu na te cechy ziarna, jak i zawartość glutenu [Pasashnikova 1990, Zhang i in. 2011]. W badaniach własnych ujawnił się on tylko w stanowisku po grochu, można go zatem wiązać z dobrym zaopatrzeniem roślin w azot.

W stanowiskach po pszenicy i jej monokulturze (tab. 35) największe znaczenie w kształtowaniu zawartości glutenu w ziarnie miał glebowy węgiel organiczny, a zależność ta przyjmowała postać równania 2^0, co oznacza większy spadek zawartości glutenu w ziarnie w wyniku wzrostu zawartości węgla organicznego dopiero przy jego wyższych zawartościach w glebie. Wynikało to prawdopodobnie ze zwiększającego się wówczas plonu ziarna. Podobny wniosek nasuwa się w odniesieniu do fosforu przyswajalnego, gdyż jednocześnie malejąca zawartość węgla organicznego (x_5) i przyswajalnego fosforu (x_7) oraz wzrastająca magnezu (x_9) wyjaśniały zgodnie z równaniem regresji wielomianowej (9) ponad 60% zmienności zawartości glutenu w ziarnie pszenicy uprawianej bezpośrednio po sobie.

$$y_6 = -5{,}50 + 7{,}7837x_5 - 0{,}5736x_5^2 + 0{,}1636x_7 - 0{,}0011x_7^2 + 0{,}0017x_9 \; ; \; R^2 = 0{,}627 \quad (9)$$

Zwiększaniu się zawartości glutenu mokrego w ziarnie, w stanowisku po monokulturze pszenicy, odpowiadały warunki niesprzyjające plonowaniu, tj. krzywoliniowy wzrost udziału frakcji piaskowej w uziarnieniu i jednocześnie podobnie zmniejszająca się zawartość węgla organicznego w glebie (rys. 23).

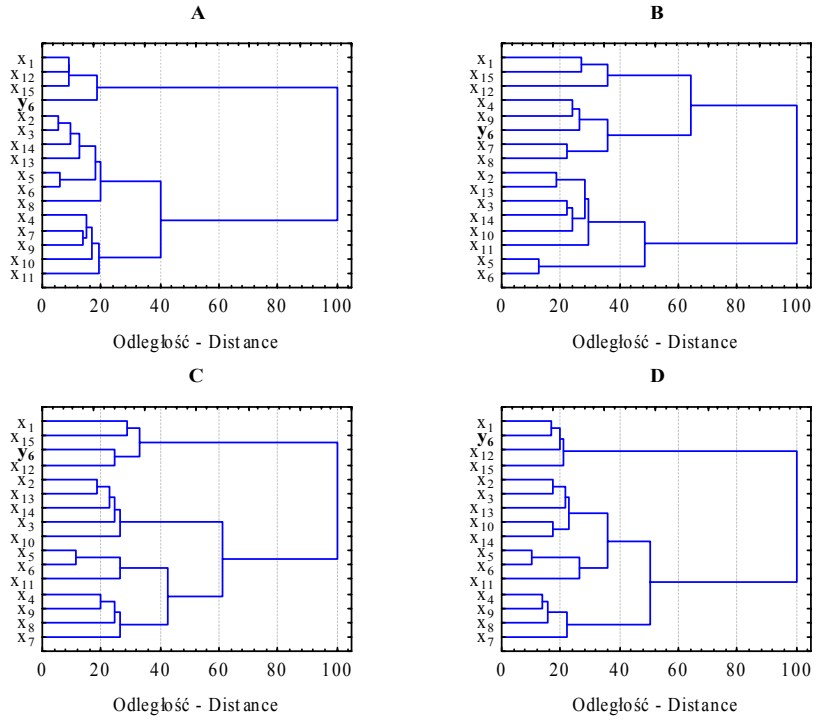


Rys. 23. Zawartość glutenu mokrego w ziarnie pszenicy ozimej (y_6) w stanowisku po monokulturze pszenicy w zależności od udziału frakcji piaskowej w uziarnieniu (x_1) i zawartości węgla organicznego w glebie (x_5)

Fig. 23. Content of wet gluten in winter wheat grain (y_6) in the stand after wheat monoculture depending on the share of sand fraction in grain size composition (x_1) and organic carbon content in soil (x_5)

Założenie, że wraz z wzrostem plonu ziarna zmniejsza się zawartość białka i glutenu jest daleko idącym uogólnieniem. Wyniki dotychczasowych badań w tym zakresie nie są bowiem jednoznaczne. Podolska i in. [2005b] stwierdzili, że wraz z poprawą warunków glebowych i większymi plonami na kompleksach pszennym bardzo dobrym i dobrym oraz żytnim bardzo dobrym zmniejszała się zawartość glutenu mokrego. Zawartość białka i wskaźnik sedymentacji pozostawały natomiast na podobnym poziomie – jak w uprawie pszenicy na kompleksie żytnim dobrym.

Podobieństwo wpływu właściwości gleby na zawartości białka oraz glutenu mokrego w ziarnie ma potwierdzenie także w drzewach aglomeracyjnych (rys. 18, 24). Niezależnie od przedplonu w latach 2009-2011 oraz w stanowiskach po pszenicy zawartość glutenu w ziarnie była najsilniej związana z udziałem frakcji piaskowej w uziarnieniu, ilością azotu pozostającą w glebie w okresie rozwoju ziarniaków i jej wilgotnością w tej fazie (rys. 24A,C,D). W stanowisku po grochu siewnym wiązała się natomiast silnie ze wskaźnikiem pH i zawartością magnezu przyswajalnego (rys. 24B).



Rys. 24. Aglomeracja właściwości gleby (x_1-x_{15}) i zawartości glutenu mokrego w ziarnie (y_6) średnio w latach 2009-2011 (A) oraz w stanowiskach po grochu siewnym (B), pszenicy ozimej (C) i monokulturze pszenicy (D)

Fig. 24. Agglomeration of soil properties (x_1-x_{15}) and wet gluten content in the grain (y_6) over 2009-2011 (A) as well as in the stands after pea (B), winter wheat (C) and wheat monoculture (D)

5.2.8. Wskaźnik sedymentacji

Średnia wartość wskaźnika sedymentacji ziarna pszenicy ozimej w latach 2009-2011 wyniosła 41,9 ml, a jego zmienność pod wpływem właściwości gleby w różnych stanowiskach 1,93-2,04% (tab. 36). Mała zmienność tej cechy w zróżnicowanych warunkach glebowych wynika zapewne z silnego wpływu genotypu, chociaż jak wskazują wyniki innych badań kształtują go także czynniki siedliskowe oraz agrotechnika [Stankowski i in. 2008, Stoeva i Ivanova 2009, Castillo i in. 2012]. Wskaźnik sedymentacji jest parametrem świadczącym o jakości białek wielkocząsteczkowych, dlatego jego związek z warunkami glebowymi był podobny jak zawartości białka i glutenu w ziarnie (podrozdz. 5.2.6, 5.2.7.). Tak samo wyglądało również drzewo aglomeracji w analizie skupień, dlatego nie zostało zaprezentowane w pracy.

Tabela 36. Zmienność wskaźnika sedymentacji (ml) ziarna pszenicy ozimej powodowana właściwościami gleby na jednostkach doświadczalnych średnio w ogniwie zmianowania (n = 112) w latach 2009-2011 i w różnych stanowiskach (n = 28)

Table 36. Variation in the sedimentation index (ml) of winter wheat grain due to soil properties in experimental plots; mean for the crop-rotation element (n = 112) over 2009-2011 and in various stands (n = 28)

Wartość – Value	2009-2011 (n = 112)	Stanowisko (n = 28) po: – Stand (n = 28) after:		
		grochu pea	pszenicy wheat	monokulturze monoculture
Minimalna – Minimum	39,9	39,8	39,3	38,4
Maksymalna – Maximum	45,1	43,1	42,2	41,0
Średnia – Mean	41,9	41,4	40,8	39,6
Odchylenie standardowe Standard deviation	1,17	0,80	0,79	0,81
Współczynnik zmienności Coefficient of variation (%)	2,79	1,93	1,93	2,04

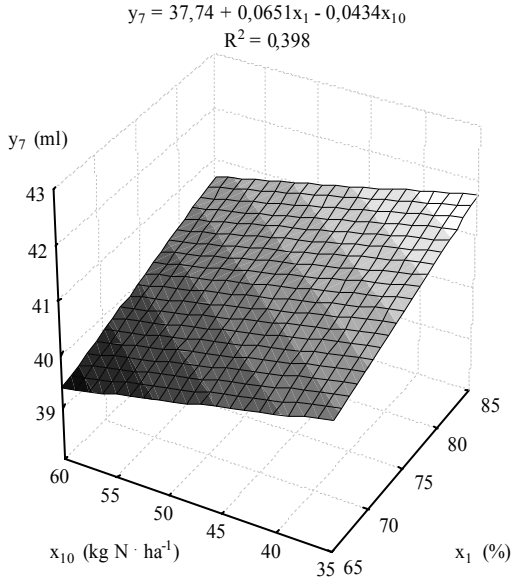
Zależność wskaźnika sedymentacji ziarna pszenicy od warunków glebowych, choć wykazywana w literaturze [Wilkes i in. 2010] nie była silna, ale dotyczyła wszystkich właściwości gleby z wyjątkiem zawartości potasu przyswajalnego. Największą część jego zmienności wyjaśniał skład granulometryczny, zawartość magnezu przyswajalnego i wilgotność gleby w okresie intensywnego wzrostu pszenicy (tab. 37). Wysoka wartość wskaźnika sedymentacji ziarna występowała w warunkach ograniczających plon, tj. przy dużej zawartość piasku w uziarnieniu gleby i jednocześnie małej ilość azotu mineralnego na przedwiośniu (rys. 25). Wynik taki potwierdza ujemną, choć nie zawsze istotną korelację pomiędzy plonem a wskaźnikiem sedymentacji ziarna, obserwowaną również w innych badaniach [Cesevičienė i in. 2009, Aydin i in. 2010].

Tabela 37. Zależność wskaźnika sedymentacji ziarna pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby średnio w ogniwie zmianowania w latach 2009-2011 (n = 112)

Table 37. Dependence of the winter wheat grain sedimentation index on respective soil properties; mean for the crop-rotation element over 2009-2011 (n = 112)

Cecha gleby* – Soil property		Równanie regresji – Regression equation	r^2
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_7 = 34{,}53 + 0{,}0823x_1$	0,334
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_7 = 42{,}75 - 0{,}0914x_2$	0,327
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_7 = 42{,}39 - 0{,}6511x_3$	0,272
pH_{KCl}	x_4	$y_7 = 43{,}73 - 0{,}5365x_4$	0,105
C_{org}	x_5	$y_7 = 43{,}56 - 0{,}4123x_5$	0,261
$N_{ogól} - N_{tot}$	x_6	$y_7 = 43{,}04 - 2{,}9971x_6$	0,195
P	x_7	$y_7 = 41{,}98 - 0{,}0140x_7$	0,089
Mg	x_9	$y_7 = 45{,}81 - 0{,}3868x_9 + 0{,}0063x_9^2$	0,302
N_{min} – przedwiośnie N_{min} – early spring	x_{10}	$y_7 = 43{,}97 - 0{,}0742x_{10}$	0,227
N_{min} – BBCH 30-32	x_{11}	$y_7 = 43{,}60 - 0{,}0712x_{11}$	0,131
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_7 = 38{,}55 + 0{,}0383x_{12}$	0,263
Wilgotność – przedwiośnie Moisture – early spring	x_{13}	$y_7 = 45{,}36 - 0{,}3957x_{13}$	0,258
Wilgotność – BBCH 32-37 Moisture – BBCH 32-37	x_{14}	$y_7 = 46{,}46 - 0{,}4648x_{14}$	0,330
Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	x_{15}	$y_7 = 33{,}34 + 0{,}9844x_{15}$	0,287

* istotnie wpływająca na wskaźnik sedymentacji – a significant effect on the sedimentation index



Rys. 25. Wskaźnik sedymentacji ziarna pszenicy ozimej (y_7) średnio w ogniwie zmianowania w latach 2009-2011 w zależności od udziału frakcji piaskowej w uziarnieniu (x_1) i ilości azotu w glebie na przedwiośniu (x_{10})

Fig. 25. Winter wheat grain sedimentation index (y_7); mean for the crop-rotation element over 2009-2011 depending on the share of sand fraction in grain size composition (x_1) and nitrogen amount in soil in early spring (x_{10})

Wpływ warunków glebowych na wskaźnik sedymentacji ziarna pszenicy ozimej zależał także od stanowiska jej uprawy. Im było ono gorsze, tym więcej właściwości gleby wpływało na jego wielkość (tab. 38). Z równań regresji i wartości współczynników determinacji (r^2) wynika, że w stanowisku po grochu siewnym najkorzystniej na wartość wskaźnika sedymentacji wpływał magnez przyswajalny. W gorszych stanowiskach, po pszenicy i jej monokulturze, wpływ warunków glebowych na wskaźnik sedymentacji wydaje się pozostawać w związku z ich oddziaływaniem na plon ziarna. Silny korzystny wpływ zawartości węgla organicznego w glebie w stanowisku po pszenicy (tab. 12) i niekorzystny udziału frakcji piaskowej w jej uziarnieniu w stanowisku po monokulturze (tab. 13) na plon ziarna odpowiada jednocześnie odwrotnej zależności wskaźnika sedymentacji od tych właściwości gleby (tab. 38).

Tabela 38. Zależność wskaźnika sedymentacji ziarna pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby w różnych stanowiskach w zmianowaniu (n = 28)

Table 38. Dependence of winter wheat grain sedimentation index on respective soil properties in various stands in crop rotation (n = 28)

Cecha gleby* – Soil property		Równanie regresji / Stanowisko: Regression equation / Stand:	r^2
po grochu – after pea			
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_7 = 42,88 – 0,6278x_3$	0,146
pH_{KCl}	x_4	$y_7 = 37,84 + 0,6640x_4$	0,147
Mg	x_9	$y_7 = 39,22 + 0,1177x_9$	0,239
po pszenicy – after wheat			
C_{org}	x_5	$y_7 = -11,53 + 15,5984x_5 – 1,1518x_5^2$	0,453
$N_{ogól} – N_{tot}$	x_6	$y_7 = 44,31 – 4,7927x_6$	0,194
N_{min} – BBCH 30-32	x_{11}	$y_7 = 43,91 – 0,0532x_{11}$	0,145
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_7 = 37,99 + 0,0511x_{12}$	0,255
po monokulturze pszenicy – after wheat monoculture			
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_7 = 26,69 + 0,1706x_1$	0,452
Frakcja pyłowa – Silt fraction	x_2	$y_7 = 43,77 – 0,1899x_2$	0,447
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_7 = 41,48 – 0,7941x_3$	0,238
C_{org}	x_5	$y_7 = 42,54 – 0,0586x_5^2$	0,377
$N_{ogól} – N_{tot}$	x_6	$y_7 = 44,90 – 7,1830x_6$	0,364
N_{min} – przedwiośnie N_{min} – early spring	x_{10}	$y_7 = 44,43 – 0,1264x_{10}$	0,224
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_7 = 37,55 + 0,0300x_{12}$	0,190
Wilgotność – przedwiośnie Moisture – early spring	x_{13}	$y_7 = 47,90 – 0,7105x_{13}$	0,147
Wilgotność – BBCH 32-37 Moisture – BBCH 32-37	x_{14}	$y_7 = 50,24 – 0,8082x_{14}$	0,359

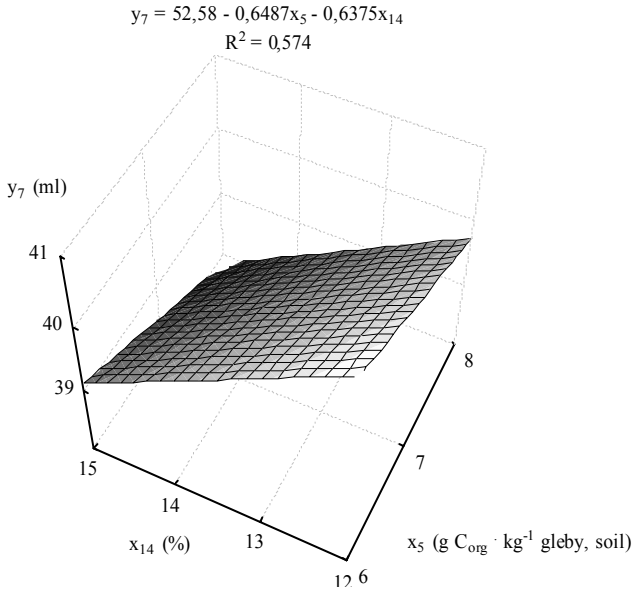
* istotnie wpływająca na wskaźnik sedymentacji – a significant effect on the sedimentation index

W stanowisku po grochu korzystną, do uzyskania ziarna o wysokim wskaźniku sedymentacji, była gleba zawierająca stosunkowo dużo frakcji piaskowej (x_1), ale zarazem także magnezu przyswajalnego (x_9) i wody na przedwiośniu (x_{13}), zgodnie z równaniem regresji wielokrotnej (10).

$$y_7 = 17,36 + 0,1522x_1 + 0,1284x_9 + 0,8791x_{13}\,;\; R^2 = 0,394 \qquad (10)$$

W stanowiskach mniej korzystnych, po pszenicy i jej monokulturze, współzależne oddziaływanie właściwości gleby wyjaśniało znacznie więcej zmienności wskaźnika sedymentacji. Było to odpowiednio 59,6% (równanie 11) i 57,4% (rys. 26). W stanowisku po pszenicy (11) większą wartością wskaźnika sedymentacji odznaczało się ziarno pszenicy uprawianej na glebie o niższym pH (x_4) i zawierającej mniej węgla organicznego (x_5), ale jednocześnie więcej magnezu przyswajalnego (x_9). W stanowisku po monokulturze (rys. 26) korzystnie na tę cechę jakości ziarna pszenicy ozimej wpływała, oprócz mniejszej zawartości węgla organicznego, jednocześnie mniejsza wilgotność gleby w okresie intensywnego wzrostu pszenicy BBCH 32-37.

$$y_7 = -3{,}99 - 0{,}0655x_4^2 + 13{,}1440x_5 - 0{,}9696x_5^2 + 0{,}1524x_9 \; ; \; R^2 = 0{,}596 \qquad (11)$$



Rys. 26. Wskaźnik sedymentacji ziarna pszenicy ozimej (y_7) w stanowisku po monokulturze pszenicy w zależności od zawartości węgla organicznego (x_5) i wilgotności gleby w fazie BBCH 32-37 (x_{14})

Fig. 26. Winter wheat grain sedimentation index (y_7) in the stand after wheat monoculture depending on the content of organic carbon (x_5) and soil moisture at BBCH 32-37 (x_{14})

5.2.9. Szklistość ziarna

Szklistość ziarna podlegała największej zmienności (tab. 39) spośród wszystkich cech jakości ziarna pszenicy ozimej. Jest to cecha wskazująca na twardość ziarniaków i barwę ich przekroju, a wynika głównie z zawartości białek glutenowych. Szklistość ziarna zależy od genotypu pszenicy, ale kształtuje się również pod wpływem czynników siedliskowych i agrotechnicznych [Sadkiewicz 1998, Rachoń i in. 2012, Stoeva 2012]. Średnio w trakcie trzyletnich badań stwierdzono jej ujemną liniową zależność od zawartości węgla organicznego i azotu ogólnego w glebie, zasobności gleby w magnez przyswajalny i jej wilgotności w fazie BBCH 32-37 pszenicy. Jednak żadna z tych cech, nie wyjaśniała więcej niż 10% zmienności szklistości ziarna. Niewiele większy był współ-

czynnik determinacji, R^2 = 16,6%, współzależnego oddziaływania właściwości gleby, tj: zawartości Corg. (x_5) i magnezu przyswajalnego (x_9) oraz ilości azotu w końcowej fazie wegetacji pszenicy ozimej (x_{12}), na tę cechę jakości ziarna (równanie 12).

$$y_9 = 63{,}71 - 1{,}0116x_5 - 0{,}1962x_9 - 0{,}1005x_{12} \; ; \; R^2 = 0{,}166 \qquad (12)$$

Tabela 39. Zmienność szklistości ziarna (%) pszenicy ozimej powodowana właściwościami gleby na jednostkach doświadczalnych średnio w ogniwie zmianowania (n = 112) w latach 2009-2011 i w różnych stanowiskach (n = 28)

Table 39. Variation in grain glassiness (%) in winter wheat due to soil properties in the experimental plots; mean for the crop-rotation element (n = 112) over 2009-2011 and in various stands (n = 28)

Wartość – Value	2009-2011 (n = 112)	Stanowisko (n = 28) po: – Stand (n = 28) after:		
		grochu pea	pszenicy wheat	monokulturze monoculture
Minimalna – Minimum	40,0	44,0	36,0	42,0
Maksymalna – Maximum	54,7	61,0	54,0	63,0
Średnia – Mean	47,0	52,3	47,4	51,6
Odchylenie standardowe Standard deviation	2,95	4,72	5,22	6,59
Współczynnik zmienności Coefficient of variation (%)	6,3	9,0	11,0	12,8

W bardzo dobrym dla pszenicy ozimej stanowisku po grochu siewnym korzystnie na szklistość ziarna wpływała gleba o wyższym wskaźniku pH oraz zawierająca więcej przyswajalnych form fosforu i magnezu (tab. 40). Dlatego współoddziaływanie, zgodnie z równaniem regresji wielokrotnej (13), wskaźnika pH (x_4), zawartości węgla organicznego (x_5) i fosforu przyswajalnego (x_7) wyjaśniało 53% zmienności szklistości ziarna. W stanowiskach po pszenicy i jej monokulturze cecha ta zależała głównie od zawartości węgla organicznego w glebie oraz jej współdziałania z innymi właściwościami gleby jak zawartość magnezu przyswajalnego czy wilgotność na przedwiośniu (tab. 40, rys. 27, 28).

$$y_9 = 33{,}11 + 6{,}3225x_4 - 3{,}2862x_5 + 0{,}1088x_7 \; ; \; R^2 = 0{,}530 \qquad (13)$$

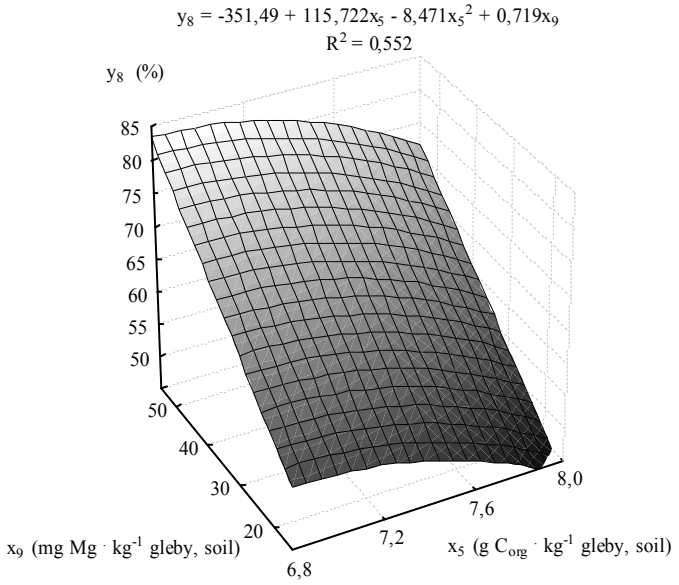
W stanowisku po pszenicy szklistość ziarna zwiększała się wraz ze spadkiem zawartości węgla organicznego i jednocześnie wzrostem przyswajalnego magnezu w glebie (rys. 27), a w stanowisku po monokulturze z jednocześnie mniejszą wilgotnością gleby na przedwiośniu (rys. 28). Zależności te są zrozumiałe w przypadku wykazanego wcześniej negatywnego wpływu niskiej zawartość węgla organicznego w glebie na plon, ale korzystnego na koncentrację białka i glutenu oraz wartość wskaźnika sedymentacji ziarna, a także wobec silnej dodatniej korelacji szklistości z powyższymi parametrami jakości ziarna [Różyło i Laskowski 2007].

Tabela 40. Zależność szklistości ziarna pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby w różnych stanowiskach w zmianowaniu (n = 28)

Table 40. Dependence of winter wheat grain glassiness on respective soil properties in various stands in crop rotation (n = 28)

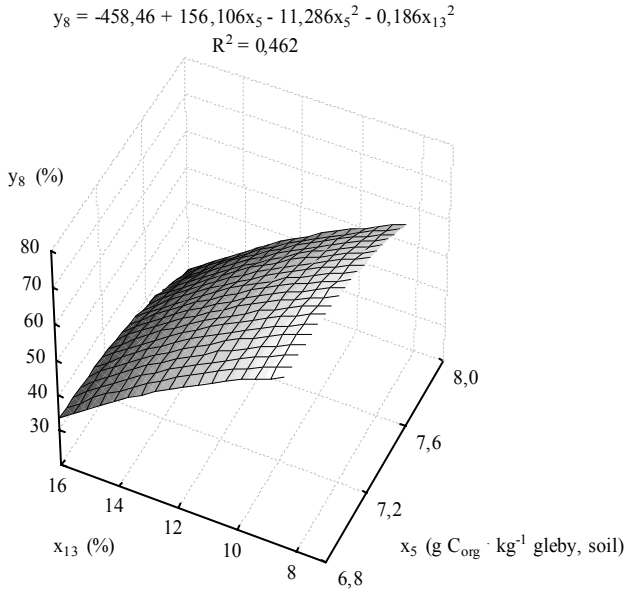
Cecha gleby* – Soil property		Równanie regresji / Stanowisko: Regression equation / Stand:	r^2
po grochu – after pea			
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_9 = 62,70 – 4,4333x_3$	0,210
pH_{KCl}	x_4	$y_9 = 19,94 + 6,0178x_4$	0,345
P	x_7	$y_9 = 40,27 + 0,1533x_7$	0,223
Mg	x_9	$y_9 = 39,35 + 0,6964x_9$	0,241
po pszenicy – after wheat			
C_{org}	x_5	$y_9 = -328,31 + 111,3230x_5 – 8,1700x_5^2$	0,438
$N_{ogól} – N_{tot}$	x_6	$y_9 = 71,38 – 32,4284x_6$	0,201
N_{min} – przedwiośnie N_{min} – early spring	x_{10}	$y_9 = 83,16 – 0,7557x_{10}$	0,154
N_{min} – BBCH 30-32	x_{11}	$y_9 = 71,26 – 0,4038x_{11}$	0,189
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_9 = 31,34 + 0,2956x_{12}$	0,193
po monokulturze pszenicy – after wheat monoculture			
Frakcja piaskowa – Sand fraction	x_1	$y_9 = -9,15 + 0,8035x_1$	0,152
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_9 = 68,16 – 6,9305x_3$	0,274
C_{org}	x_5	$y_9 = -450,24 + 147,1070x_5 – 10,6930x_5^2$	0,382
N_{min} – BBCH 69-73	x_{12}	$y_9 = 35,09 + 0,2422x_{12}$	0,189

* istotnie wpływająca na szklistość ziarna – a significant effect on grain glassiness



Rys. 27. Szklistość ziarna pszenicy ozimej (y_8) w stanowisku po pszenicy w zależności od zawartości w glebie węgla organicznego (x_5) i magnezu przyswajalnego w glebie (x_9)

Fig. 27. Winter wheat grain glassiness (y_8) in the stand after wheat depending on the content of organic carbon (x_5) and available magnesium in soil (x_9)



Rys. 28. Szklistość ziarna pszenicy ozimej (y_8) w stanowisku po monokulturze pszenicy w zależności od zawartości węgla organicznego (x_5) i wilgotności gleby na przedwiośniu (x_{13})

Fig. 28. Winter wheat grain glassiness (y_8) in the stand after wheat monoculture depending on the content of organic carbon (x_5) and soil moisture in early spring (x_{13})

5.2.10. Liczba opadania

Współczynnik zmienności liczby opadania pod wpływem zróżnicowanych warunków glebowych był mały. Średnio w ogniwie zmianowania w latach 2009-2011 wynosił 1,32%, a w poszczególnych stanowiskach od 2,10 do 3,25% (tab. 41). Brak istotnych zależności tej cechy od poszczególnych właściwości gleby średnio w latach 2009-2011 i w przyrodniczo korzystnym stanowisku po roślinie strączkowej, a także słabe jej związki tylko z pojedynczymi właściwościami gleby w stanowiskach po pszenicy i jej monokulturze (tab. 42) jest zrozumiałe. Aktywność enzymów amylolitycznych kształtowana jest bowiem głównie na poziomie genetycznym w hodowli twórczej odmian w celu ograniczenia porastania ziarna. Spośród czynników siedliskowych istotne znaczenie ma przede wszystkim przebieg pogody bezpośrednio przed i w trakcie zbioru oraz wilgotność ziarna [Dojczew i in. 2004, Muralikrishna i Nirmala 2005, Podolska i in. 2005a, Dojczew 2010].

Tabela 41. Zmienność liczby opadania (s) ziarna pszenicy ozimej powodowana właściwościami gleby na jednostkach doświadczalnych średnio w ogniwie zmianowania (n = 112) w latach 2009-2011 i w różnych stanowiskach (n = 28)

Table 41. Variation in the falling number (s) for winter wheat grain due to soil properties in experimental plots; mean for the crop-rotation element (n = 112) over 2009-2011 and in various stands (n = 28)

Wartość – Value	2009-2011 (n = 112)	Stanowisko (n = 28) po: – Stand (n = 28) after:		
		grochu pea	pszenicy wheat	monokulturze monoculture
Minimalna – Minimum	236	246	235	221
Maksymalna – Maximum	251	263	260	242
Średnia – Mean	243	254	245	233
Odchylenie standardowe Standard deviation	3,21	5,32	7,96	6,09
Współczynnik zmienności Coefficient of variation (%)	1,32	2,10	3,25	2,62

Tabela 42. Zależność liczby opadania ziarna pszenicy ozimej od poszczególnych właściwości gleby w różnych stanowiskach w zmianowaniu (n = 28)

Table 42. Dependence of the winter wheat grain falling number on respective soil properties in various crop rotation stands (n = 28)

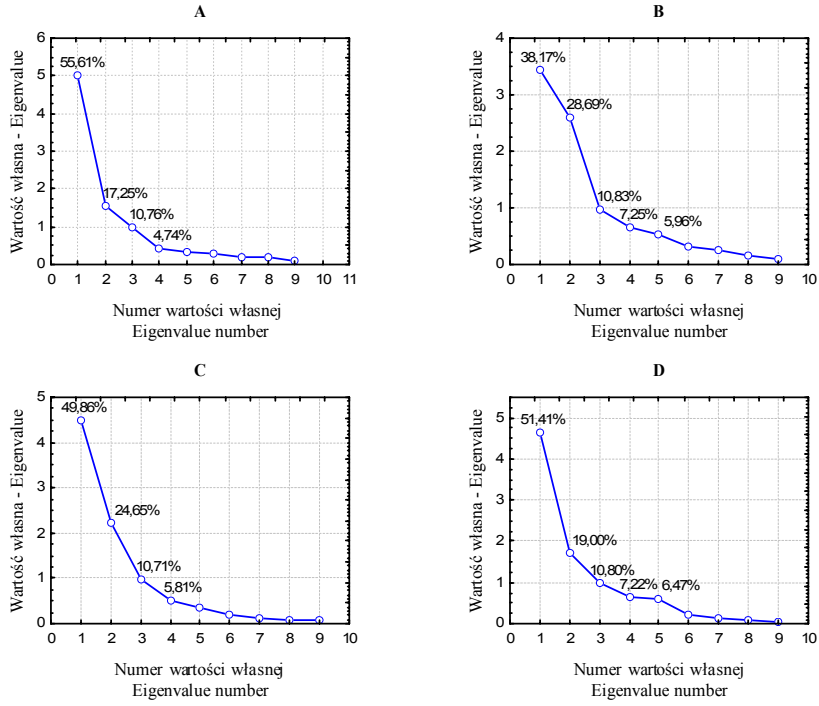
Cecha gleby* – Soil property		Równanie regresji / Stanowisko: Regression equation / Stand:	r^2
po pszenicy – after wheat			
Frakcja iłowa – Clay fraction	x_3	$y_8 = 229{,}16 + 6{,}7602x_3$	0,163
N_{min} – przedwiośnie N_{min} – early spring	x_{10}	$y_8 = 190{,}74 + 1{,}1434x_{10}$	0,151
po monokulturze pszenicy – after wheat monoculture			
Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	x_{15}	$y_8 = 259{,}01 - 3{,}2702x_{15}$	0,172

* istotnie wpływająca na liczbę opadania – a significant effect on the falling number

5.3. Wielocechowe zależności plonu i jakości ziarna oraz warunków glebowych

5.3.1. Składowe główne

Wielowymiarowe analizy danych coraz częściej stosowane są w badaniach rolniczych. Analiza składowych głównych pozwala zredukować liczbę zmiennych rzeczywistych, np. opisujących jakość ziarna pszenicy do kilku istotnych zmiennych nazywanych składowymi, które wyjaśniają zdecydowaną większość zmienności cech początkowych [Gregorczyk i in. 2008, Rymuza i in. 2012b]. W badaniach własnych liczbę składowych głównych 9 cech określających plon i jakość ziarna pszenicy wyznaczono zgodnie z zasadą Kaisera, według której za istotne przyjmuje się składowe o wartości własnej większej lub bliskiej 1,0 oraz na podstawie analizy wykresu osypiska (rys. 29). Zarówno średnio w okresie badań, jak i w każdym stanowisku za istotne przyjęto trzy składowe. Wyjaśniają one odpowiednio 83,6% (rys. 29A), 77,7% (rys. 29B), 85,2% (rys. 29C) i 81,2% (rys. 29D) zmienności plonu pszenicy ozimej oraz jego jakości kształtowanych przez zespół właściwości gleby.



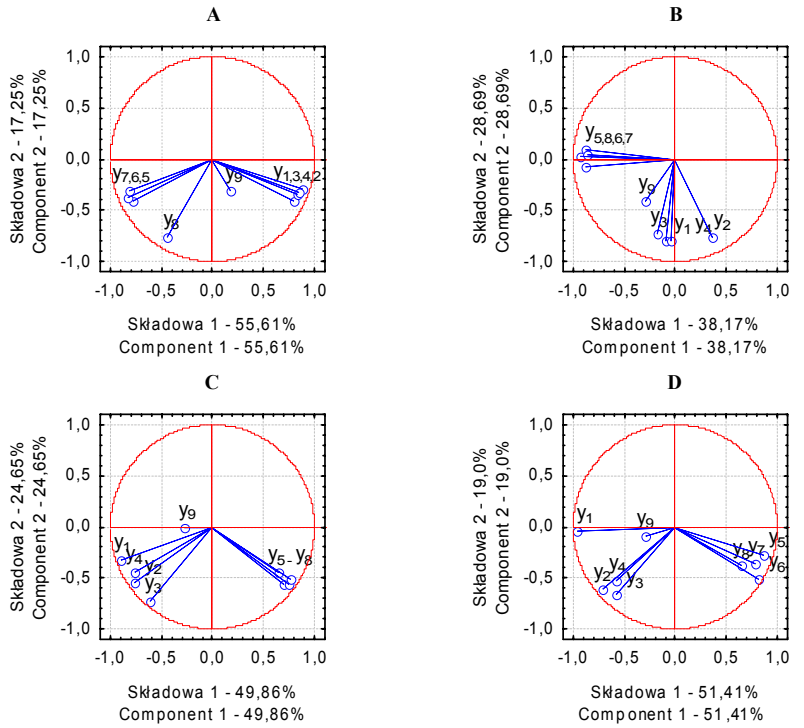
Rys. 29. Wykres osypiska wartości własnej i wariancji składowych głównych średnio w latach 2009-2011 (A) oraz w stanowiskach po grochu siewnym (B), pszenicy ozimej (C) i monokulturze pszenicy (D)

Fig. 29. Scree plot of eigenvalue and the variations of principal components; mean for the years 2009-2011 (A) and in the stands after pea (B), winter wheat (C) and wheat monoculture (D)

Graficzny układ dwóch pierwszych składowych pozwala analizować korelacje pomiędzy cechami pierwotnymi oraz ich wkład w składowe główne. Im dłuższy jest wektor łączący punkt na płaszczyźnie współrzędnych z początkiem układu, tym większy wkład danej cechy do wartości dwóch pierwszych składowych. Mały kąt pomiędzy wektorami wskazuje na silną korelację dodatnią, kąt prosty na brak korelacji, a położenie punktów po dwóch stronach początku układu współrzędnych wzdłuż prostej przebiegającej przez niego odzwierciedla silną korelację ujemną pomiędzy cechami. Średnio w okresie badań (rys. 30A) pierwsza składowa główna, wyjaśniająca 55,6% zmienności plonu i jakości ziarna pszenicy ozimej, kształtowana była zwłaszcza przez dodatni wpływ plonu, wyrównania ziarna, jego gęstości w stanie zsypnym oraz masy tysiąca ziaren ($y_1 - y_4$), a także przez ujemny wpływ wskaźnika sedymentacji oraz zawartości glutenu mokrego i białka ogólnego w ziarnie ($y_5 - y_7$). o drugiej składowej głównej, wyjaśniającej około 17% zmienności pierwotnych cech plonu i jakości ziarna pszenicy ozimej, stanowiła przede wszystkim szklistość ziarna (y_8). Położenie punktu odpowiadającego tej cesze wskazuje na niezbyt silną jej korelację z innymi cechami wynikającymi z zawartości i jakości białka ($y_5 - y_7$) oraz na praktycznie brak korelacji z plonem i cechami fizycznymi ziarna ($y_1 - y_4$). Najmniejszy wkład w dwie pierwsze składowe główne wnosiła liczba opadania (y_9). Cecha ta była słabo skorelowana zarówno z plonem i parametrami fizycznymi ziarna, jak i cechami wynikającymi z zawartości i jako-

ści białka. Liczba opadania stanowiła bowiem podstawowy element trzeciej składowej głównej, która średnio w latach badań jak i w poszczególnych stanowiskach wykorzystywała około 10-11% wariancji wspólnej plonu pszenicy ozimej i jego jakości pod wpływem zróżnicowanych warunków glebowych.

W korzystnym dla pszenicy stanowisku po grochu siewnym (rys. 30B) pierwszą składową stanowiły cechy określające zawartość i jakość białka, a drugą plon i cechy fizyczne ziarna. Jednocześnie cechy znajdujące się w tych dwóch grupach nie były praktycznie skorelowane, co oznacza, że właściwości gleby kształtowały te cechy w dużym stopniu niezależnie. Nie ujawnił się „efekt rozcieńczenia", zatem w stanowisku tym możliwym jest uzyskanie dużego plonu o jednocześnie wysokiej zawartości i jakości białka. W stanowisku po pszenicy (rys. 30C), a zwłaszcza po jej monokulturze (rys. 30D) plon ziarna (y_1) był natomiast ujemnie skorelowany z cechami ziarna wynikającymi z jej składu chemicznego ($y_5 – y_8$). Dlatego w warunkach glebowych umożliwiających relatywnie wysokie plonowanie, zabiegi agrotechniczne, np. nawożenie azotem, powinny sprzyjać gromadzeniu białka i glutenu.



$y_1 – y_9$ patrz tab. 1, podrozdz. 4.1.2.
$y_1 – y_9$ see Table 1, item 4.1.2.

Rys. 30. Plon i cechy jakości ziarna pod wpływem warunków glebowych w układzie dwóch pierwszych składowych głównych średnio w latach 2009-2011 (A) oraz w stanowiskach po grochu siewnym (B), pszenicy ozimej (C) i monokulturze pszenicy (D)

Fig. 30. Yield and grain quality parameters due to soil conditions in the system of the first two principal components; mean for the years 2009-2011 (A) and in the stands after pea (B), winter wheat (C) and wheat monoculture (D)

5.3.2. Zależności kanoniczne

Analiza kanoniczna pozwala określić zależności pomiędzy dwoma zbiorami zmiennych. W badaniach własnych jako zbiór zmiennych niezależnych przyjęto cechy charakteryzujące właściwości gleby, a zmiennych zależnych plon i cechy jakości ziarna pszenicy ozimej. Ze względu na główne założenia analizy oraz stosunkowo małą liczbę danych (n = 28) w poszczególnych stanowiskach i jednocześnie dużą liczbę cech w obu zbiorach, analizę kanoniczną wykonano dla zależności pomiędzy właściwościami gleby a plonem oraz jego jakością średnio w latach 2009-2011 niezależnie od stanowisk w zmianowaniu.

Istotne ($p < 0,05$) okazały się trzy pierwsze zmienne kanoniczne, których współczynnik determinacji ($R^2 \cdot 100$) wynosił odpowiednio 95,5; 41,7 i 32,5% (tab. 43).

Tabela 43. Współczynniki korelacji (R), determinacji (R^2) i wartość (p) testu chi-kwadrat par zmiennych kanonicznych zależności pomiędzy właściwościami gleby a plonem i jakością ziarna pszenicy ozimej średnio w latach 2009-2011

Table 43. Coefficients of correlation (R), determination (R^2) and value (p) of chi-square test of pairs of canonical variables of the relationships between soil properties and the yield and quality of winter wheat grain; mean for the years 2009-2011

Zmienna kanoniczna Canonical variable	(R)	(R^2)	(p)
1	0,98	0,955	0,00
2	0,65	0,417	0,00
3	0,57	0,325	0,00
4	0,50	0,254	0,11
5	0,40	0,157	0,57
6	0,33	0,110	0,83
7	0,24	0,059	0,96
8	0,16	0,025	0,98
9	0,07	0,005	0,98

Na podstawie ładunków czynnikowych, przyjmując, że ich kwadrat powinien być większy od 0,5, pierwszą zmienną kanoniczną w zakresie właściwości gleby tworzą: udział frakcji piaskowej w uziarnieniu, zawartość węgla organicznego i przyswajalnego magnezu, wilgotność gleby w całym okresie wiosennoletniej wegetacji pszenicy oraz ilość azotu mineralnego w okresie rozwoju ziarniaków, natomiast w zakresie cech pszenicy: plon ziarna i parametry fizyczne ziarna (tab. 44).

Tabela 44. Ładunki czynnikowe (P1-P3) i wagi (W1-W3) istotnych zmiennych kanonicznych zależności pomiędzy właściwościami gleby a plonem i jakością ziarna pszenicy ozimej średnio w latach 2009-2011

Table 44. Factor loadings (P1-P3) and weights (W1-W3) of significant canonical variables of the relationships between soil properties and the winter wheat grain yield and quality; mean for the years 2009-2011

Zmienne rzeczywiste niezależne **Independent real variables**	**P1**	**P2**	**P3**	**W1**	**W2**	**W3**
Frakcja piaskowa – Sand fraction	0,89	0,03	-0,11	0,26	0,55	0,28
pH_{KCl}	-0,40	0,24	-0,56	-0,07	0,05	-0,25
C_{org}	-0,81	0,40	0,09	-0,04	1,23	-0,44
P	-0,50	0,27	-0,19	-0,06	0,06	0,27
K	-0,36	-0,09	0,47	0,02	-0,11	0,52
Mg	-0,76	0,22	-0,36	-0,05	0,07	-0,52
N_{min} – przedwiośnie N_{min} – early spring	-0,53	0,40	-0,27	0,03	0,27	-0,33
N_{min} – BBCH 30-32	-0,64	0,25	0,20	-0,13	0,22	0,54
N_{min} – BBCH 69-73	0,94	0,17	0,04	0,32	0,64	0,72
Wilgotność – przedwiośnie Moisture – early spring	-0,91	0,05	0,19	-0,23	-0,37	0,79
Wilgotność – BBCH 32-37 Moisture – BBCH 32-37	-0,84	0,17	0,24	0,08	0,65	0,78
Wilgotność – BBCH 69-73 Moisture – BBCH 69-73	0,89	0,12	-0,04	0,15	0,52	0,11
Wariancja wyodrębniona (%) Variance extracted (%)	53,9	5,4	7,7			
Redundancja – Redundancy (%)	51,5	2,3	2,5			
Redundancja całkowita (%) Complete redundancy (%)	58,4					
Zmienne rzeczywiste zależne **Dependent real variables**	**P1**	**P2**	**P3**	**W1**	**W2**	**W3**
Plon ziarna – Grain yield	-0,99	0,03	-0,06	-0,88	-1,18	-1,17
Masa tysiąca ziaren Thousand grain eight	-0,80	0,09	0,34	-0,02	0,24	0,55
Wyrównanie ziarna – Grain evenness	-0,91	0,11	0,29	-0,21	0,30	1,09
Gęstość ziarna – Test weight	-0,82	0,19	0,14	0,11	0,39	0,33
Zawartość białka – Protein content	0,56	-0,73	0,33	0,04	-1,21	0,56
Zawartość glutenu – Gluten content	0,63	-0,26	0,34	-0,04	0,22	0,49
Wskaźnik sedymentacji Sedimentation index	0,60	-0,24	0,19	0,02	0,26	-0,00
Szklistość ziarna – Grain glassiness	0,15	-0,51	-0,05	-0,01	-0,12	-0,52
Liczba opadania – Falling number	-0,10	-0,07	0,14	-0,02	-0,16	0,02
Wariancja wyodrębniona (%) Variance extracted (%)	46,8	11,0	5,6			
Redundancja – Redundancy (%)	44,7	4,6	1,8			
Redundancja całkowita (%) Complete redundancy (%)	54,7					

Uwzględniając znaki tych ładunków oraz wartości wag kanonicznych na podstawie pierwszej zmiennej kanonicznej można wnioskować, że z jednoczesnym malejącym udziałem frakcji piaskowej w glebie oraz mniejszą ilością azotu mineralnego i wilgotnością gleby w końcowym okresie wegetacji pszenicy oraz w pewnym stopniu większą

zawartością węgla organicznego i magnezu przyswajalnego, a także wilgotnością gleby na przedwiośniu i w fazie strzelania w źdźbło plon, masa 1000 ziaren, wyrównanie oraz gęstość ziarna są coraz większe. Właściwości gleby wyjaśniają przy tym ponad 44% zmienności plonu i cech jakości ziarna. Pozostałe dwie istotne zmienne kanoniczne wyjaśniają już niewielki odsetek przeciętnej wariancji zbioru pierwotnych zmiennych zależnych, tj. 4,6 i 1,8%. Drugą zmienną kanoniczną stanowią głównie zawartość białka (ładunek P2 = -0,73) oraz szklistość ziarna (ładunek znacznie mniejszy P2 = -0,51, także przy mniejszej wadze kanonicznej). Kwadrat wartości bezwzględnej ładunku kanonicznego żadnej z cech określających właściwości gleby nie był natomiast większy niż 0,5. Mimo to największe ładunki miały: zawartość węgla organicznego, ilość azotu mineralnego na przedwiośniu i w fazie strzelania w źdźbło, zawartość przyswajalnego fosforu i magnezu oraz wskaźnik pH gleby. Wobec przeciwnych znaków tych ładunków i ładunków zawartości białka i szklistości ziarna, a takiego samego znaku ładunku kanonicznego plonu ziarna, choć jego wartość bezwzględna była bardzo mała, druga zmienna kanoniczna wskazuje na pewną tendencję ogólną. Można stwierdzić, że wraz ze wzrostem wartości powyższych właściwości gleby, należy spodziewać się jednocześnie powolnego wzrostu plonu pszenicy ozimej, ale przy tym stosunkowo większego spadku szklistości ziarna i zawartości białka.

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zależności plonu i jakości ziarna pszenicy ozimej od właściwości gleby zostały określone tylko dla jednej odmiany –'Batuta', co podyktowane było rozmiarem badań oraz warunków glebowych pola doświadczalnego ukształtowanych pod wpływem wieloletniego zróżnicowanego nawożenia organicznego i mineralnego.

Do oszacowania związków plonu i cech jakości ziarna z poszczególnymi właściwościami gleby przyjmowano ich wartości w zakresie określonym na jednostkach eksperymentalnych (tab. 2-6). Badana gleba charakteryzowała się dominującym udziałem frakcji piaskowej w składzie granulometrycznym, silnie zróżnicowanym odczynem gleby (pH 4,5-6,9), małą zawartością węgla organicznego oraz na ogół bardzo niską i niską zasobnością w przyswajalny magnez. Uogólniająca interpretacja poniższych wniosków sformułowanych na podstawie wyników niniejszych badań realizowanych w trzyletnim cyklu z założeniem losowego przebiegu pogody powinna zatem uwzględniać te uwarunkowania glebowe. Zastosowane analizy statystyczne, zwłaszcza wielowymiarowe, pozwalają natomiast na ocenę zależności plonu ziarna i jego jakości nie tylko od poszczególnych właściwości gleby, ale także od ich łącznego oddziaływania.

1. Właściwości fizyczne i chemiczne gleby kompleksu żytniego bardzo dobrego, wynikające z jej naturalnej zmienności oraz wywołane wieloletnim zróżnicowanym nawożeniem, w sposób istotny wpływały na plon i cechy jakości ziarna pszenicy ozimej.

2. Zmienność plonu ziarna pszenicy okazała się na ogół mniejsza niż zmienność warunków glebowych ją powodujących, ale wyraźnie większa niż zmienność cech jakościowych ziarna.

3. Plonowaniu pszenicy ozimej, na glebie kompleksu żytniego bardzo dobrego, sprzyja łączne i współzależne oddziaływanie wzrastającego udziału frakcji pyłowej i iłowej w składzie granulometrycznym gleby wynikającego z mniejszego udziału frakcji piaskowej oraz wzrastających wartości pH gleby, zawartości w niej przyswajalnego magnezu oraz ilości azotu mineralnego i wilgotności gleby w okresie intensywnego wzrostu roślin.

4. W warunkach sprzyjających dobremu plonowaniu pszenicy następowało wyczerpywanie azotu i wody z gleby w okresie intensywnego wzrostu roślin, wskutek czego dobremu jej plonowaniu towarzyszyła względnie mała zasobność gleby w te czynniki w fazie rozwoju ziarniaków.

5. Znaczenie właściwości gleby dla pszenicy ozimej zwiększa się wraz z pogorszeniem stanowiska w zmianowaniu, dlatego plony pszenicy w stanowisku po sobie, a zwłaszcza po jej monokulturze, były silniej związane z właściwościami gleby niż po grochu. Dotyczy to zwłaszcza wskaźnika pH oraz zasobności gleby w przyswajalne formy fosforu, potasu i magnezu.

6. W korzystnym dla pszenicy stanowisku po grochu siewnym, możliwe jest ograniczenie niektórych nakładów produkcyjnych w stosunku do stanowiska monokulturowego pszenicy, bez negatywnego wpływu na plon ziarna i jego jakość.

7. Względnie wysoki plon pszenicy ozimej związany był z dużymi wartościami masy tysiąca ziaren, jego wyrównania i gęstości ziarna w stanie zsypnym. Z kolei te cechy ziarna dodatnio i silnie korelowały z udziałem frakcji pyłowej i iłowej w uziarnieniu gleby, zawartością węgla organicznego, a także wilgotnością gleby w okresie wiosennej wegetacji roślin.

8. Wzrastająca zawartość w glebie azotu ogólnego i mineralnego oraz jej wilgotność we wczesnych fazach wiosennego rozwoju pszenicy ozimej zwiększały plon ziarna, ale nie sprzyjały gromadzeniu w nim białka ogólnego i glutenu mokrego. Duża zasobność gleby w azot mineralny i dostatek wody w fazie rozwoju ziarniaków wpływały natomiast korzystnie na koncentrację białka i glutenu w ziarnie, a także wartość wskaźnika sedymentacji.

9. Jednoczesny wzrost zawartości węgla organicznego, fosforu i magnezu oraz ilości azotu mineralnego w glebie w fazach intensywnego wzrostu roślin, a także stopnia alkalizacji gleby oddziałuje pozytywnie na plonowanie pszenicy, ale jednocześnie powoduje zmniejszenie stopnia szklistości ziarna i zawartości w nim białka.

10. Analiza kanoniczna wykazała, że plon ziarna oraz zespół cech jego jakości jak masa tysiąca ziaren, wyrównanie i gęstość w stanie zsypnym zwiększają się wraz z jednocześnie wzrastającym udziałem frakcji pyłowej i iłowej w uziarnieniu gleby, a także większą zawartością węgla organicznego i magnezu przyswajalnego w glebie, większą wilgotnością gleby na przedwiośniu i w fazie strzelania w źdźbło oraz mniejszą ilością azotu mineralnego i wilgotnością gleby w końcowym okresie wegetacji pszenicy. Takie właściwości gleby wyjaśniają łącznie ponad 44% zmienności plonu i cech fizycznych jakości ziarna.

LITERATURA

Achremowicz B., Zając J., Styk B., 1993. Wpływ podwyższonego nawożenia azotem na wartość technologiczną niektórych odmian pszenicy jarej i ozimej. Rocz. Nauk Rol. A 110(1-2), 149-157.

Altenbach S.B., Tanaka C.K., Hurkman W.J., Whitehand L.C., Vensel W.H., Dupont F.M., 2011. Differential effects of a post-anthesis fertilizer regimen on the wheat flour proteome determined by quantitative 2-DE. Proteome Sci. 9, 46.

Alvarez R., Grigera S., 2005. Analysis of soil fertility and management effects on yields of wheat and corn in the rolling pampa of Argentina. J. Agron. Crop Sci. 191(5), 321-329.

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

Arshad M., Murtaza G., Ali M.A., Shafiq M., Dumat C., Ahmed N., 2011. Wheat growth and phytoavailability of copper and zinc as affected by soil texture in saline-sodic conditions. Pak. J. Bot. 43(5), 2433-2439.

Aydin N., Ermet C., Mut Z., Bayram H.O., Özcan H., 2010. Path analyses of yield and some agronomic and quality traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under different environments. Afric. J. Biol. 9(32), 5131-5134.

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.

Barczak B., Nowak K., 2008. Skład aminokwasowy białka biomasy jęczmienia ozimego (*Hordeum vulgare* L.) w zależności od stadium rozwoju rośliny i nawożenia azotem. Acta Sci. Pol., Agricultura 7(1), 3-15.

Barzegar A.R., Yousefi A., Daryashenas A., 2002. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. Plant Soil 247(2), 295-301.

Bashirov V.V., 2009. Correlation study between soil nutrient indices and yield of wheat and barley in the Ganjabasar region of Azerbaijan. Int. J. Soil Sci. 4(4), 114-122.

Bauer A., Black A.L., 1994. Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. Soil Sci. Soc. Am. J. 58, 185-193.

Bednarek W., Tkaczyk P., Dresler S., 2009. Plonowanie pszenicy ozimej w zależności od niektórych właściwości gleby i zabiegów agrotechnicznych. Acta Agrophys. 14(2), 263-273.

Bilgin O., Korkut K.Z., Başer I., Dağlioğlu O., Öztürk I., Kahraman T., Balkan A., 2011. Genetic variation and inter-relationship of some morpho-physiological traits in durum wheat (*Triticum durum* (L.) Desf.). Pak. J. Bot. 43(1), 253-260.

Blecharczyk A., Pudełko J., Śpitalniak J., 1999. Reakcja pszenicy ozimej na sposoby uprawy roli w zależności od przedplonu i nawożenia azotowego. Fol. Univ. Agric. Stetin.195, Agricultura 74, 163-170.

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.

Bogard M., Allard V., Brancourt-Hulmel M., Heumez E., Machet J.M., Jeuffroy M.H., Gate P., Martre P., Le Gouis J., 2010. Deviation from the grain protein concentration-grain yield negative relationship is highly correlated to post-anthesis N uptake in winter wheat. J. Exp. Bot. 61, 4303-4312.

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.

Bryk M., Kołodziej B., Serzysko T., 2007. Wpływ procesów mrozowych na właściwości powietrzne ugniatanej rędziny. Acta Agrophys. 9(3), 571-582.

Brzozowska I., Brzozowski J., Hruszka M., 2008. Plonowanie i struktura plonu pszenicy ozimej w zależności od sposobu pielęgnacji i nawożenia azotem. Acta Agrophys. 11(3), 597-611.

Buczek J., Bobrecka-Jamro D., 2010. Wpływ przedplonu i nawożenia azotowego na plonowanie i cechy jakościowe pszenicy ozimej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 556, 57-64.

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., Bobrecka-Jamro D., Szpunar-Krok E., Tobiasz-Salach R., 2009. Plonowanie pszenicy ozimej w zależności od przedplonu i stosowanych herbicydów. Fragm. Agron. 26(3), 7-14.

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

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

Budzyński W., Bielski S., Borysewicz J., 2008. Wpływ nawożenia azotem na jakość technologiczną ziarna pszenicy ozimej. Fragm. Agron. 25(1), 39-48.

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

Buraczyńska B., Ceglarek F., 2008. Plonowanie pszenicy ozimej uprawianej po różnych przedplonach. Acta Sci. Pol., Agricultura 7(1), 27-37.

Cacak-Pietrzak G., 2008. Wykorzystanie pszenicy w różnych gałęziach przemysłu spożywczego – wymagania technologiczne. Przegl. Zboż.-Młyn. 52(11), 11-13.

Cacak-Pietrzak G., Ceglińska A., Haber T., 1999. Wartość technologiczna wybranych odmian pszenicy ozimej w zależności od zróżnicowanego nawożenia azotowego. Pam. Puł. 118, 45-56.

Cacak-Pietrzak G., Ceglińska A., Leszczyńska D., 2006. Wpływ wybranych antywylegaczy na wartość wypiekową pszenicy ozimej. Prog. Plant Protection / Post. Ochr. Roślin 46(2), 89-92.

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

Campbell L.D., Boila R.J., Stothers S.C., 1995. Variation in the chemical composition and test weight of barley and wheat grain grown at selected locations throughout Manitoba. Can. J. Anim. Sci. 75, 239-246.

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.

Castillo D., Matus I., del Pozo A., Madariaga R., Mellado M., 2012. Adaptability and genotype × environment interaction of spring wheat cultivars in Chile using regression analysis, AMMI, and SREG. Chilean J. Agric. Res. 72(2), 167-174.

Cesevičienė J., Leistrumaitė A., Paplauskienė V., 2009. Grain yield and quality of winter wheat varieties in organic agriculture. Agron. Res. 7, 1, 217-223.

Chmura K., Chylińska E., Dmowski Z., Nowak L., 2009. Rola czynnika wodnego w kształtowaniu plonu wybranych roślin polowych. Infrast. Ekol. Ter. Wiej. 9, 33-44.

Chrzanowska-Drożdż B., 2001. Reakcja pszenicy ozimej na dawki i terminy stosowania azotu. Cz. I. Rozwój i plonowanie pszenicy ozimej w zależności od dawki i terminu stosowania azotu. Zesz. Nauk AR Wrocław 415, Rolnictwo 80, 257-270.

Chrzanowska-Drożdż B., Nowak W., 1995. Wpływ stanowiska i nawożenia mineralnego na plonowanie pszenicy ozimej. Zesz. Nauk. AR Wrocław 262, Rolnictwo 63, 81-91.

Černý J., Balík J., Kulhánek M., Čásová K., Nedvěd V., 2010. Mineral and organic fertilization efficiency in long-term stationary experiments. Plant Soil Environ. 56, 1, 28-36.

Christensen B.T., Petersen J., Schacht M., 2008. Long-term field experiments - a unique research platform. DJF Plant Science 137, 98.

CIMMYT, ICARDA, 2011. Wheat – global alliance for improving food security and the livelihoods of the resource-poor in the developing world. International Maize and Wheat Improvement Center, International Center for Agricultural Research in Dry Areas, 189.

Ciołek A., Makarska E., 2004. Ocena jakości nowych linii pszenicy twardej na podstawie charakterystyki białek gliadynowych i gluteninowych w warunkach stosowania zróżnicowanego nawożenia azotem. Acta Sci. Pol. Technol. Aliment. 3(2), 147-155.

Cygankiewicz A., 1997. Ocena jakościowa odmian i rodów pszenicy ozimej i jarej z doświadczeń hodowlanych. Przegl. Zboż.-Młyn. 2, 21-23.

Czuba R., 2000. Mikroelementy we współczesnych systemach nawożenia. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 471, 161-169.

Dechnik I., Łabuda S., Filipek T., 1990. Reakcja jęczmienia jarego na zróżnicowaną wilgotność i wysycenie kompleksu sorpcyjnego gleby kationami. Rocz. Glebozn. 3(4), 95-100.

Dmowski Z., 1993. Czynniki agrotechniczne. [W:] Czynniki plonotwórcze – plonowanie roślin, J. Dzieżyc (red.), PWN Warszawa-Wrocław, 25-61.

Dmowski Z., Dzieżyc H., 2009. Potrzeby opadowe pszenicy jarej na glebach kompleksów pszennego dobrego i żytniego bardzo dobrego w północno-wschodniej Polsce. Acta Agrophys. 13(1), 39-48.

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.

Domżał H ., Pranagal J., 1994 . Wodoodporność agregatów glebowych jako wskaźnik degradacji gleb wywołanej użytkowaniem rolniczym. Fragm. Agron. 11(3), 22-34.

Dresler S., Bednarek W., Tkaczyk P., 2010. Plonowanie pszenicy jarej w zależności od niektórych właściwości gleby i zabiegów agrotechnicznych. Acta Agrophys. 16(1), 15-24.

Duan Z., Xiao H., Dong Z., Li X., Wang G., 2004. Combined effect of nitrogen-phosphorus-potassium fertilizers and water on spring wheat yield in an arid desert region. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 35, 1-2, 161-175.

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

Ducsay L., Ložek O., 2004. Effect of topdressing with nitrogen on the yield and quality of winter wheat grain. Plant Soil Environ. 50, 309-314.

Duggan B.L., Fowler D.B., 2006. Yield structure and kernel potential of winter wheat on the Canadian prairies. Crop Sci. 46, 1479-1487.

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.

Ehlert D., Schmerler J., Voelker U., 2004. Variable rate nitrogen fertilization of winter wheat based on a crop density sensor. Precis. Agric. 5, 263-273.

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.

FAO 2010. http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx

Filipek T., 2001. Wpływ zakwaszenia na zawartość potasu i magnezu oraz stosunek K : Mg w glebach i roślinach zbożowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 480, 43-49.

Fotyma E., 1999. Pobranie i wykorzystanie azotu przez pszenicę ozimą i jarą. Pam. Puł. 118, 143-152.

Fotyma M., Naglik E., Pietrasz-Kęsik G., 1989. Zmiany produktywności i żyzności gleby wytworzonej z gliny lekkiej pod wpływem wieloletniego nawożenia fosforem i potasem. Rocz. Glebozn. 40(1), 83-99.

Fowler D.B., 2003. Crop nitrogen demand and grain protein concentration of spring and winter wheat. Agron. J. 95, 260-265.

Galantini J.A., Landriscini M.R., Iglesias J.O., Miglierina A.M., Rosell R.A., 2000. The effects of crop rotation and fertilization on wheat productivity in the Pampean semiarid region of Argentina: 2. Nutrient balance, yield and grain quality. Soil Till. Res. 53(2), 137-144.

Gamzikov G.P., Barsukov P.A., Varvain O.D., 2007. Change in agrochemical properties of sod-podzolic soil during long-term fertilization. Russ. Agric. Sci. 33(5), 314-317.

Gawrońska-Kulesza A., Suwara I., Kaczmarska M., 1997. Rola przedplonu i poziomu nawożenia azotem w kształtowaniu struktury łanu i plonu pszenicy ozimej. Biblioth. Fragm. Agron. 3, 97-102.

Giemza-Mikoda M., Wacławowicz R., Zimny L., Malak D., 2011. Wpływ zróżnicowanego nawożenia organicznego i wzrastających dawek azotu na wskaźniki struktury roli. Fragm. Agron. 28(3), 16-25.

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.

Gondek K., Filipek-Mazur B., Lepiarczyk A., 2010. Wpływ nawożenia siarką na plonowanie i skład elementarny ziarna pszenicy ozimej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 556, 93-99.

Goodling M.J., Smith G.P., 1998. The potential to use climate, variety and nitrogen relationships to optimize wheat quality. 5th ESA Congress Nitra, Slovak Republik 1, 229-230.

Górski T., Krasowicz S., Kuś J., 1999. Glebowo-klimatyczny potencjał Polski w produkcji zbóż. Pam. Puł. 114, 127-142.

Gregorczyk A., Smagacz J., Stankowski S., Fiejtek A., 2008. Ocena współzależności cech technologicznych pszenicy ozimej. Acta Sci. Pol., Agricultura 7(3), 65-71.

Girma K., Mosali J., Freeman K.W., Raun W.R., Martin K.L., Thomason W.E., 2005. Forage and grain yield response to applied sulfur in winter wheat as influenced by source and rate. J. Plant Nutrit. 28, 1541-1553.

Grzebisz W., Gaj R., Przygocka-Cyna K., 2010. Rola składników pokarmowych w budowaniu mechanizmów odporności roślin uprawnych na presje patogenów. Prog. Plant Protection / Post. Ochr. Roślin 50(2), 517-532.

Guo S., Gao H., Dang T., 2009. Effects of nitrogen application rates on wheat grain yield and soil organic carbon and nitrogen under a rainfed cropping system in the loess tablelands of China. Plant Nutr. Fert. Sci. 15(4), 808-814.

GUS 2011. http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/rs_rocznik_rolnictwa_2011.pdf

Hagel I., 2005. Sulfur and baking-quality of bread making wheat. Landbauforsch. Volk., Special issue 283, 23-36.

Haneklaus S., Bloem E., Schnug E., 2000. Sulphur in agroecosystems. Folia Univ. Agricult. Stetin. 204, Agricultura 81, 17-32.

Harasim A., Matyka M., 2005. Ważniejsze elementy technologii produkcji wpływające na poziom plonowania pszenicy ozimej oraz ich zmiana w ujęciu długookresowym. Pam. Puł. 140, 59-68.

Harasim A., Matyka M., 2011. Porównanie plonowania pszenicy ozimej, jęczmienia jarego i buraka cukrowego w doświadczeniach polowych i na plantacjach produkcyjnych. Pol. J. Agron. 5, 29-34.

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

Hevia H., 1999. Effect of nitrogen fertilizers on bread – making quality and prate in content of spring wheat. Agrociencia 4(1), 27-34.

Horska-Schwarz S., 2005. Zmiany warunków glebowo – wilgotnościowych fragmentów doliny Odry. Probl. Ekol. Krajobrazu 17, 121-130.

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

Ismail S.M., Ozawa K., 2007. Improvement of crop yield, soil moisture distribution and water use efficiency in sandy soils by clay application. Appl. Clay Sci. 37, 81-89.

Janzen H.H., Larney F.J., Olson B.M., 1992. Soil quality factors of problem soils in Alberta. Proceedings of the Alberta Soil Science Workshop, 17-28.

Jaskulska I., 2011. Wpływ wieloletniego niezrównoważonego nawożenia i nawożenia rekultywacyjnego na plonowanie roślin w zmianowaniu. Zesz. Probl. Post Nauk Rol. 559, 79-86.

Jaskulski D., Jaskulska I., 2005. Aktualne możliwości zmianowania roślin w regionie kujawsko-pomorskim. Fragm. Agron. 22(2), 71-80.

Johansson E., Prieto-Linde M.L., Jonsson J.O., 2001. Effects of wheat cultivar and nitrogen application on storage protein composition and breadmaking quality. Cereal Chem. 78, 19-25.

Jończyk K., Solarska E., 2004. Zdrowotność pszenicy ozimej uprawianej w ekologicznym i konwencjonalnym systemie produkcji roślinnej. Prog. Plant Protection / Post. Ochr. Roślin 44(2), 772-775.

Kaczor A., Zuzańska J., 2009. Znaczenie siarki w rolnictwie. Chemia, Dydaktyka, Ekologia, Metrologia 14, 1-2, 69-78.

Khan H.Z., Malik M.A., Saleem M.F., Aziz I., 2004. Effect of different potassium fertilization levels on growth, seed yield and oil contents of canola (*Brassica napus* L.). Int. J. Agric. Biol. 6(3), 557-559.

Klupczyński Z., Ralcewicz M., Knapowski T., 2001. Wpływ nawożenia fosforowo-potasowego na plon ziarna i wartość wypiekową pszenicy ozimej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 480, 245-251.

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.

Knapowski T., Ralcewicz M., 2004b. Evaluation of qualitative features of Mikon cultivar winter wheat grain and flour depending on selected agronomic factors. EJPAU, Argonomy 7(1) #01.

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

Kocoń A., Podleśna A., 2004. Wstępna ocena efektywności fotosyntetycznej wybranych odmian pszenicy ozimej w warunkach stresu wodnego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 496, 259-266.

Kocoń A., Podolska G., 2008. Wpływ niedoboru wody w glebie na plon i jakość ziarna wybranych odmian pszenicy ozimej. Fragm. Agron. 25(1), 167-176.

Kocoń A., Sułek A., 2010. Wpływ wilgotności podłoża oraz nawożenia azotem na wielkość plonu i wybrane parametry jakościowe ziarna pszenicy jarej. Pam. Puł. 152, 121-129.

Kopcewicz J., Lewak S., (red.), 1998. Podstawy fizjologii roślin. PWN Warszawa, 774.

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.

Körschens M., 2006. The importance of long-term field experiments for soil science and environmental research – a review. Plant Soil Environ. 52 (special issue), 1-8.

Körschens M., Weigel A., Schulz E., 1998. Turnover of soil organic matter (SOM) and long-term balances – tools for evaluating sustainable productivity of soils. Z. Pflanz. Bodenkunde 161, 409-424.

Krzyśko M., 2009. Podstawy wielowymiarowego wnioskowania statystycznego. Wyd. UAM Poznań, 370.

Kumbhar A.M., Buriro U.A., Oad F.C., Chachar Q.I., Kumhar M.B., Jamro G.H., 2007. Yield and N-uptake of wheat (*Triticum aestivum* L.) under different fertility levels and crop sequence. Pak. J. Bot. 39(6), 2027-2034.

Kuś J., Kamińska M., Mróz A., 1999. Plonowanie pszenicy ozimej na glebach o różnej przydatności rolniczej. Pam. Puł. 118, 241-248.

Kuś J., Siuta A., 1995. Plonowanie zbóż ozimych w zależności od przedplonu i kompleksu glebowego. Fragm. Agron. 12(3), 53-58.

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.

Laudański Z., Mańkowski D.R., Sieczko L., 2007a. Próba oceny technologii uprawy pszenicy ozimej na podstawie danych ankietowych gospodarstw indywidualnych. Część 1. Metoda wyodrębniania technologii uprawy. Biul. IHAR 244, 33-43.

Laudański Z., Mańkowski D.R., Sieczko L., 2007b. Próba oceny technologii uprawy pszenicy ozimej na podstawie danych ankietowych gospodarstw indywidualnych. Część 2. Ocena technologii uprawy. Biul. IHAR 244, 45-57.

Leilah A.A. Al-Khateeb S.A., 2005. Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. J. Arid Environ. 61, 483-496.

Lemańczyk G., 2002. Wpływ zróżnicowanych przedplonów na zdrowotność podstawy źdźbła pszenicy ozimej uprawianej na glebie dobrego kompleksu pszennego. Acta Sci. Pol., Agricultura 1(1), 111-119.

Lipiński W., 2000. Odczyn i zasobność gleb w świetle badań Stacji Chemiczno-Rolniczych. IUNG Puławy 3a, 89-105.

Lipiński W., 2009. Ocena zasobności gleb Polski w mikroelementy. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 541(2), 291-296.

Lista opisowa odmian. Rośliny rolnicze. Zbożowe, 2012. COBORU Słupia Wielka.

Listowski A., (red.), 1983. Agroekologiczne podstawy uprawy roślin. PWN Warszawa, 318.

Liu X., Herbert S.J., Hashemi A.M., Zhang X., Ding G., 2005. Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation – a review. Plant Soil Environ. 56, 531-543.

Loveland P., Webb J., 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. Soil Till. Res. 70, 1-18.

Ložek O., Hanáčková E., Slamka P., Varga L., Proksa M., 2008. Effectiveness of nitrogenous fertilizers containing phosphorus and sulphur in winter wheat growing. Agrochemia 12(3), 22-27.

López-Bellido L., Fuentes M., Castillo J.E., López-Garrido F.J., 1998. Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat-grain quality grown under rainfed Mediterranean conditions. Field Crop Res. 57(3), 265-276.

Makarewicz A., Gąsiorowska B., Cybulska A., 2012. Wpływ dolistnego nawożenia azotem na wybrane parametry jakościowe ziarna pszenicy ozimej. Fragm. Agron. 29(1), 105-113.

Małecka I., 2002. Zmiany odczynu gleby pod wpływem następczego oddziaływania wieloletniego deszczowania i nawożenia azotem. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 482, 359-364.

Małecka I., 2003. Studia nad plonowaniem pszenicy ozimej w zależności od warunków pogodowych i niektórych czynników agrotechnicznych. Rocz. AR Poznań, Rozpr. Nauk. 335, 121.

Małecka I., Blecharczyk A., Piechota T., Sawinska Z., 2005. Wpływ nawożenia na plonowanie pszenicy ozimej uprawianej w okresowej monokulturze. Fragm. Agron. 22(2), 116-124.

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.

Mazurek J., Biskupski A., 1997. Wpływ nawożenia azotowego i ilość wysiewu na plonowanie oraz wartość technologiczną odmian pszenicy ozimej. Biul. IHAR 164, 215-226.

Mazurek J., Jaśkiewicz B., Klupczyński Z., 1999. Plonowanie i jakość ziarna pszenicy ozimej w zależności od techniki nawożenia azotem. Pam. Puł. 118, 263-269.

Mazurek J., Sułek A., 1996. Plonowanie pszenicy jarej na rożnych glebach w zależności od gęstości siewu. Pam. Puł. 107, 5-13.

Mazurek J., Sułek A., 1999. Wpływ różnych dawek i technik nawożenia azotem na plon i cechy jakościowe ziarna pszenicy jarej. Pam. Puł. 118, 271-274.

Mazurkiewicz J., 2005. Porównanie jakości technologicznej pszenicy i żyta uprawianych w warunkach konwencjonalnych i gospodarstwa ekologicznego. Acta Agrophys. 6(3), 721-749.

Mazurkiewicz J., Bojarczyk M., 2004. Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem na jakość technologiczną odmian pszenicy ozimej uprawianych w monokulturze. Ann. UMCS, sec. E 59(4), 1621-1629.

Mercik S., Stępień W., 2001. Działanie potasu na rośliny w wieloletnich doświadczeniach nawozowych w Skierniewicach. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 480, 291-298.

Mohammadi M., 2012. Effects of kernel weight and source-limitation on wheat grain yield under heat stress. Afr. J. Biotechnol. 11(12), 2931-2937.

Mojid M.A., Mustafa S.M.T., Wyseure G.C.L., 2009. Growth, yield and water use efficiency of wheat in silt loam-amended loamy sand. J. Bangladesh Agric. Univ. 7(2), 403-410.

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

N'Dayegamiye A., Tran T.S., 2001. Effects of green manures on soil organic matter and wheat yields and N nutrition. Can. J. Soil Sci. 81, 371-382.

Norwood C., 2000. Dryland winter wheat as affected by previous crops. Agron. J. 92, 121-127.

Noworolnik K., 2008. Wpływ wybranych cech jakości gleby na plonowanie pszenicy ozimej i jęczmienia ozimego. Acta Agrophys. 12(2), 477-485.

Noworolnik K., 2009. Wpływ wybranych cech jakości gleby na plonowanie pszenżyta ozimego i żyta ozimego. Acta Agrophys. 14(1), 155-166.

Oleksiak T., 2009. Plony pszenicy ozimej w zależności od jakości stosowanego materiału siewnego. Biul IHAR 251, 83-93.

Oleksiak T., Mańkowski D.R., 2005. Interakcja odmian pszenicy ozimej w zmiennych warunkach środowiskowych na podstawie wyników badań ankietowych. Biul. IHAR 235, 5-11.

Olszewski J., Pszczółkowska A., Kulik T., Fordoński G., Płodzień K., Okorski A., Wasielewska J., 2007. Wpływ deficytu wodnego na wskaźniki wymiany gazowej, produkcyjność i zdrowotność ziarna odmian pszenicy ozimej. Acta Sci. Pol., Agricultura 6(4), 33-42.

Ortiz-Monasterio J.I., Peña R.J., Pfeiffer W.H., Hede A.H., 2002. Phosphorus use efficiency, grain yield, and quality of triticale and durum wheat under irrigated conditions. Proceedings of the 5th International Triticale Symposium, Annex Radzików, Poland, 9-14.

Ozturk A., Ayolin F., 2004. Effect of water stress at various growth stages an some quality characteristics of winter wheat. J. Agron. Crop Sci. 190(2), 93-99.

Pabin J., 1999. Wpływ stanu fizycznego gleby w warstwie ornej i podornej na wegetację i plonowanie roślin. Acta Agrophys. 23, 217-233.

Panak H., Wojnowska T., Sienkiewicz S., 1986. Wpływ nawożenia Ca, Mg, K i Na na plonowanie roślin zbożowych i ich skład chemiczny. Mat. Sympozjum Wpływ nawożenia na jakość plonów, Olsztyn, 170-178.

Panozzo J.F., Eagles H.A., 2000. Cultivar and environment effects on quality characters in wheat. II. Protein. Aust. J. Agric. Res. 51, 629-636.

Pasashnikova L.V., 1990. Effect of phosphorus fertilizers on the yield and grain quality in wheat – abstract. Nauchno-Tekhnicheskij Byulleten, VASKhNIL, Sibirskoe Otdelenie: Sibirskij Nauchno-issledovatel'skij Institut Zemledeliya i Khimizatsii Sel'skogo Khozyajstva 3, 29-33.

Pastuszko A., 2007. Substancja organiczna w glebach. Ochr. Środ. Zasob. Natur. 30, 83-98.

Pleijel H., Mortensen L., Fuhrer J., Ojanpera K., Danielsson H., 1999. Grain protein accumulation in relation to grain yield of spring wheat (*Triticum eastivum* L.) grown in open-top chambers with different concentrations of ozone, carbon dioxide and water availability. Agric. Ecosys. Environ. 72, 265-270.

Podleśna A., 1999. Żywienie pszenicy NPK a zawartość oraz pobranie żelaza i cynku w ontogenezie roślin. Pam. Puł. 118, 321-331.

Podleśna A., 2010. Wpływ siarki na jakość technologiczną ziarna pszenicy. Pam. Puł. 152, 199-213.

Podleśna A., Cacak-Pietrzak G., Sowiński M., 2003. Reakcja pszenicy ozimej na nawożenie siarką w doświadczeniu polowym. Naw. Nawoż. / Fert. Fertil. 4, 169-179.

Podolska G., 1998. Wydajność i budowa łanu pszenicy ozimej w zależności od warunków glebowych i gęstości siewu. Rocz. AR Poznań 307, Rolnictwo 52, 67-75.

Podolska G., 2000. Zalecenia agrotechniczne. Technologie uprawy roślin. Pszenica ozima IUNG Puławy, 48.

Podolska G., 2007. Kształtowanie cech jakościowych ziarna pszenicy poprzez technologię produkcji. Studia i Raporty IUNG-PIB 9, 55-64.

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

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., Stankowski S., Podolski B., 2005b. Plonowanie i wartość technologiczna ziarna pszenicy ozimej w zależności od warunków glebowych. Pam. Puł. 139, 189-197.

Podolska G., Sułek A., 2002. Główne elementy technologii produkcji decydujące o wysokiej jakości ziarna pszenicy. Pam. Puł. 130, 597-605.

Podolska G., Sułek A. Konopka I. Dziuba J., 2006. Wpływ stresu suszy na plonowanie i zawartość związków alergizujących w ziarniakach pszenicy jarej odmiany Nawra. Rocz. AR Poznań 380, Rolnictwo 66, 297-304.

Potarzycki J., 2008. Influence of nitrogen and magnesium fertilization at the flag leaf stage of winter wheat development on the yield and grain quality. Naw. Nawoż. / Fert. Fertil. 32, 99-109.

Protic R., Miric M., Protic N., Jovanovic Z., Jovin P., 2007. The test weight of several winter wheat genotypes under various sowing dates and nitrogen fertilizer rates. Rom. Agric. Res. 24, 43-46.

Qian B., DeJong R., Gameda S.B., 2009. Multivariate analysis of water-related agro-climatic factors limiting spring wheat yields on the Canadian prairies. Eur. J. Agron. 30(2), 140-150.

Qury 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 favorable genotypes? Euphytica 157(1-2), 45-57.

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

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.

Ralcewicz M., Knapowski T., 2004. Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem na wysokość plonu i wartość technologiczną pszenicy jarej. Ann. UMCS, sec. E 59(2), 969-978.

Ravankar H.N., Pothare S., Rathod P.K., Sarap P.A., 2004. Soil properties and yield of sorghum-wheat sequence as affected by long-term fertilization. Indian J. Agric. Res. 38(2), 143-146.

Rharrabti Y., Villegas D., Royo C., Martos-Nunez V., Garcı´a del Moral L.F., 2003. Durum wheat quality in Mediterranean environments II. Influence of climatic variables and relationships between quality parameters. Field Crop Res. 80, 133-140.

Rothkaehl J., 2010. Liczba opadania - wyróżnik jakościowy charakteryzujący aktywność enzymatyczną ziarna pszenicy i żyta. Przegl. Zboż.-Młyn. 54(12), 24-26.

Różyło R., Laskowski J., 2007. Analiza zależności pomiędzy fizycznymi i technologicznymi właściwościami ziarna pszenicy jarej. Acta Agrophys. 9(2), 459-470.

Rudnicki F., 1998. Czynniki ograniczające plonowanie pszenicy w Polsce. Mat. konf. nauk. Biologia plonowania, agrotechnika i wykorzystanie ziarna pszenicy. IUNG Puławy, 51-64.

Rudnicki F., 2000. Wyznaczanie wpływu poszczególnych elementów plonowania na różnice plonów między obiektami doświadczalnymi. Fragm. Agron. 17(3), 53-65.

Rudnicki F., 2005. Przedplony zbóż a ich plonowanie w warunkach produkcyjnych. Fragm. Agron. 22(2), 172-182.

Rymuza K., Marciniuk-Kluska A., Bombik A., 2012a. Plonowanie zbóż ozimych w zależności od warunków termiczno-opadowych na polach produkcyjnych Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Zawadach. Woda Środ. Obsz. Wiej. 2(38), 207-220.

Rymuza K., Turska E., Wielogórska G., Bombik A., 2012b. Use of principal component analysis for the assessment of spring wheat characteristics. Acta Sci. Pol., Agricultura 11(1), 79-90.

Rząsa S., Owczarzak W., 2005. Struktura gleb mineralnych. Wyd. AR w Poznaniu, 394.

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

Schmidt L., 2001. Wpływ wieloletniego nawożenia potasem na wielkość i jakość plonów roślin. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 480, 329-336.

Schnug E., Haneklaus S., Murphy S., 1993. Impact of sulphur supply on the baking quality of wheat. Aspects Appl. Biol. 36, 337-345.

Seremesic S., Milosev D., Djalovic I., Zeremski T., Ninkov J., 2011. Management of soil organic carbon in maintaining soil productivity and yield stability of winter wheat. Plant Soil Environ. 57(5), 216-221.

Sharma N.K., Singh R.J., Kumar K., 2012. Dry matter accumulation and nutrient uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) under poplar (*Populus deltoides*) based agroforestry system. ISRN Agronomy. Article ID 359673, doi:10.5402/2012/359673, 7.

Smagacz J., 2004. Reakcja wybranych odmian pszenicy ozimej na przedplon. Biul. IHAR 231, 65-71.

Smagacz J., Kuś J., 2010. Wpływ długotrwałego stosowania płodozmianów zbożowych na plonowanie zbóż oraz wybrane chemiczne właściwości gleby. Fragm. Agron. 27(4), 119-134.

Smith G.P., Gooding M.J., 1999. Models of wheat grain quality considering climate, cultivar and nitrogen effects. Agr. Forest Meteorol. 94, 3-4, 59-170.

Spiak Z., 2000. Mikroelementy w rolnictwie. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 471, 29-34.

Spychaj-Fabisiak E., Ložek O., Knapowski T., Ralcewicz M., 2006. The assessment of selected baking parameters of winter wheats under the influence of diverse nitrogen fertilization. Mengen Spurenelement 23, 403-408.

Stanisławska-Glubiak E., Strączyński S., Sienkiewicz-Cholewa U., 1996. Wpływ zróżnicowanego poziomu plonów na zawartość mikroelementów w ziarnie pszenicy. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 434, 77-81.

Stankowski S., Mortensen L., 1997. Wpływ zwiększonego stężenia CO_2 i nawożenia azotem na jakość ziarna pszenicy. Biul. IHAR 204, 191-196.

Stankowski S., Podolska G., Pacewicz K., 2004. Wpływ nawożenia azotem na plonowanie i jakość ziarna odmian pszenicy ozimej. Ann. UMCS, sec. E 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., Agricultura 7(3), 105-114.

Stefanescu M., 2004. Role of manure in increasing soil fertility and yield of wheat and maize. Rom. Agric. Res. 21, 43-47.

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.

Stoeva I., Ivanova A., 2009. Interaction of the technological properties of common winter wheat varieties with some agronomy factors. Bulg. J. Agric. Sci. 15(5), 417-422.

Sułek A., 2010. Wpływ warunków glebowych na plonowanie i jakość ziarna pszenicy jarej odmiany Nawra. Pam. Puł. 152, 277-285.

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., Cacak-Pietrzak G., Ceglińska A., Haber T., 2002. Wartość technologiczna wybranych odmian pszenicy jarej w zależności od sposobu nawożenia azotem. Pam. Puł. 130, 709-718.

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., Agricultura 7(1), 103-110.

Suwara I., 2010. Rola wieloletniego nawożenia w kształtowaniu wybranych właściwości gleby lekkiej ze szczególnym uwzględnieniem stosunków wodno-powietrznych. Rozpr. nauk. Wyd. SGGW Warszawa, 98.

Suwara I., Gawrońska-Kulesza A., 1994. Wpływ przedplonów i nawożenia azotem na plony pszenicy ozimej. Zesz. Nauk. ATR Bydgoszcz 187, Rolnictwo 35, 113-119.

Szulc W., 2008. Potrzeby nawożenia roślin siarką oraz metody ich wyznaczania. Rozpr. nauk. Wyd. SGGW Warszawa, 97.

Tahir M., Ayub M., Javeed H.M.R., Naeem M., Rehman H., Waseem M., Ali M., 2011. Effect of different organic matter on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). Pak. J. Life Soc. Sci. 9(1), 63-66.

Tayyar S., 2010. Variation in grain yield and quality of romanian bread wheat varieties compared to local varieties in northwestern Turkey. Rom. Biotech. Lett. 15(2), 5189-5196.

Thomason W.E., Wynn K.J., Freeman K.W., Lukina E.V., Mullen R.W., Johnson G.V., Westerman R.L., Raun W.R., 2001. Effect of chloride fertilizers and lime on wheat grain yield and take-all disease. J. Plant Nutr. 24(4,5), 683-692.

Tkaczyk P., Bednarek W., Dresler S., 2010. Plonowanie jęczmienia jarego w zależności od niektórych właściwości gleby i zabiegów agrotechnicznych. Ann. UMCS, sec. E 65, 10-16.

Triboi E., Martre P., Triboi-Blondel A-M., 2003. Environmentally-induced changes in protein composition in developing grains of wheat are related to changes in total protein content. J. Exp. Bot. 54(388), 1731-1742.

Ukalska J., Ukalski K., Śmiałowski T., 2009. Wielowymiarowe wydzielanie fenotypowo podobnych grup obiektów w kolekcji roboczej pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.). Biul. IHAR 253, 21-30.

Urbanowski S., Jaskulska I., Urbanowska T., 1999. Zmiany zawartości węgla organicznego oraz makroelementów w glebie pod wpływem wieloletniego nawożenia. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 465, 353-361.

Urbanowski S., Urbanowska I., Bilski J., 1988. Plonowanie roślin na tle wieloletniego zróżnicowanego nawożenia mineralnego i organicznego w doświadczeniu statycznym. Zesz. Nauk ATR w Bydgoszczy, Rolnictwo 24, 69-78.

Usowicz B., Kossowski J., Hurtalova T., Matejka F., 2001. Soil moisture and thermal properties state under plant crops. Acta Agrophys. 53, 189-200.

Wacławowicz R., Parylak D., Śniady R., 2005. Następczy wpływ nawożenia organicznego oraz mineralnego azotowego na plonowanie oraz wybrane cechy jakościowe ziarna pszenicy jarej. Pam. Puł. 139, 277-288.

Ward J.H., Jr., 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. J. Am. Statist. Assoc. 58, 235-44.

Warraich E.A., Basra S.M.A., Ahmad N., Ahmed R., Aftab M., 2002. Effect of nitrogen on grain quality and vigour in wheat (*Triticum aestivu*m L.). Int. J. Agri. Biol. 4(4), 517-520.

Weber R., 2004. Zmienność plonowania odmian pszenicy ozimej w zależności od przedplonu i sposobu uprawy roli. IUNG Puławy, Monogr. i Rozpr. Nauk. 12, 7-88.

Weber R., Zalewski D., 2004. Plonowanie odmian pszenicy ozimej w zróżnicowanych warunkach środowiskach. Biul. IHAR 233, 17-28.

Weber R., Zalewski D., Hryńczuk B., 2004. Influence of the soil penetration resistance, bulk density and moisture on some components of winter wheat yield. Int. Agrophys. 18, 91-96.

Wesołowski M., Dąbek-Gad M., Maziarz P., 2007. Wpływ przedplonu i herbicydu na plonowanie pszenicy ozimej. Fragm. Agron. 24(4), 240-246.

Wierzbowska J., Bowszys T., 2008. Influence of growth regulators and phosphorus fertilization rates on nitrogen balance in spring wheat. J. Elem. 13(3), 423-432.

Wilkes M.A.,Seung D., Levavasseur G., Trethowan R.M., Copeland L., 2010. Effects of soil type and tillage on protein and starch quality in three related wheat genotypes. Cereal Chem. 87(2), 95-99.

Wojtasik M., 1995. Gęstość naturalna gleb mineralnych. WSP Bydgoszcz, 120.

Wooding A.R., Kavale S., MacRitchie F., Stoddard F.L., Wallace A., 2000. Effects of nitrogen and sulfur fertilizer on protein composition, mixing requirements and dough strenght of four wheat cultivars. Cereal Chem. 77, 798-807.

Woźniak A., 2004. Wpływ przedplonu na wybrane cechy jakościowe ziarna pszenicy jarej. Pam. Puł. 135, 325-330.

Woźniak A., 2006. Wpływ przedplonów na plon i jakość ziarna pszenicy ozimej. Acta Sci. Pol., Agricultura 5(2), 99-106.

Woźniak A., 2007. Jakość ziarna pszenicy ozimej odmiany Korweta w zmianowaniach o różnym jej udziale. Acta Agrophys. 10(1), 247-255.

Woźniak A., Gontarz D., 2003. Wpływ przedplonów i sposobów zróżnicowanego pielęgnowania na jakość ziarna pszenicy jarej. Biul. IHAR 228, 33-39.

Woźniak A., Gontarz D., 2005. Wpływ zróżnicowanego udziału pszenicy ozimej w zmianowaniu i poziomu agrotechniki na cechy jakościowe ziarna. Biul. IHAR 237/238, 3-11.

Wróbel E., 1999. Reakcja pszenicy jarej na dawkę i termin stosowania azotu. Pam. Puł. 118, 447-454.

Wróbel E., Szempliński W., 1999. Plonowanie i wartość technologiczna ziarna pszenicy ozimej nawożonej zróżnicowanymi dawkami azotu. Pam. Puł. 118, 463-470.

Zecevic V., Knezevic D., Micanovic D., 2004. Genetic correlations and path-coefficient analysis of yield and quality components in wheat (*Triticum aestivum* L.). Genetica 36(1), 13-21.

Zhang H., Schroder J.L., Krenzer E.G., Kachurina O.M., Payton M.E., 2004. Yield and quality of winter wheat forage as affected by lime. Online. Forage and Grazinglands doi:10.1094/FG-2004-1020-01-RS.

Zhang L., Wang G., Zhang E., Zhang B., He C., Wang Q., Qiang S., Huang G., 2011. Effect of phosphorus application and strip-intercropping on yield and some wheat-grain components in a wheat/maize/potato intercropping system. Afr. J. Agric. Res. 6(27), 5860-5869.

Zhao F.J., Salmon S.E., Withers P.J.A., Evans E.J., Monaghan J.M., Shewry P.R., Mc Grath S.P., 1999. Responses of bread making quality to sulphur in three wheat varieties. J. Sci. Food Agric. 79, 1865-1874.

Zhu X., Jiang Z., Feng C., Guo W., Peng Y., 2012. Responses of phosphorus use efficiency, grain yield, and quality to phosphorus application amount of weak-gluten wheat. J. Integr. Agric. 11(7), 1103-1110.

Żółtańska E., 2005. The effect of previous crop and weather conditions on the incidence of stem base diseases in winter wheat. J. Plant Prot. Res. 45(1), 37-40.

Zależności plonu i jakości ziarna chlebowej odmiany pszenicy ozimej od wybranych właściwości gleby w różnych stanowiskach w zmianowaniu

Streszczenie

W latach 2008-2011 przeprowadzono dwa doświadczenia polowe z uprawą pszenicy ozimej 'Batuta' w Stacji Badawczej w Mochełku (53°13' N; 17°51' E) na glebie płowej typowej należącej pod względem rolniczej przydatności do kompleksu żytniego bardzo dobrego i IVa klasy bonitacyjnej. Doświadczenie pierwsze obejmowało 112 jednostek eksperymentalnych, na których pszenicę wysiewano po grochu siewnym, a następnie przez dwa lata po sobie. W doświadczeniu drugim pszenica ozima występowała corocznie w trzech stanowiskach: po grochu siewnym, pszenicy ozimej i po monokulturze pszenicy. Każde stanowisko liczyło 28 poletek zróżnicowanych pod względem warunków glebowych. Źródłem zróżnicowania właściwości fizycznych i chemicznych gleby w obu doświadczeniach była jej naturalna, niesystematyczna zmienność wynikająca z genezy i położenia oraz wcześniejsze wieloletnie zróżnicowane nawożenie organiczne i mineralne.

Celem badań była ocena zależności plonu i cech jakości ziarna chlebowej odmiany pszenicy ozimej od niektórych fizycznych i chemicznych właściwości gleby oraz wpływu stanowisk o różnej wartości przyrodniczej na związek plonu i jakości ziarna z warunkami glebowymi. Określono m.in.: zmienność plonu oraz jakości ziarna pod wpływem zróżnicowanych warunków glebowych, siłę i kierunek związku pomiędzy niektórymi właściwościami gleby a plonem i cechami jakości ziarna, zależność pomiędzy łącznym oddziaływaniem właściwości gleby a zespołem cech określających plon i jego jakość, stopień zależności plonu i jakości ziarna pszenicy od właściwości gleby w stanowiskach o różnej wartości przyrodniczej.

Na glebie kompleksu żytniego bardzo dobrego względna zmienność plonu pszenicy ozimej była większa niż cech jakościowych, ale na ogół mniejsza niż zmienność warunków glebowych ją powodujących. Plon i jakość ziarna pszenicy ozimej kształtowane były przez liczne fizyczne oraz chemiczne właściwości gleby. Znaczenie warunków glebowych w agrotechnice pszenicy zwiększało się wraz z pogorszeniem stanowiska w zmianowaniu. Wyrazem tego jest na ogół więcej właściwości gleby skorelowanych z plonem i cechami ziarna oraz większa wartość współczynników determinacji tych zależności w stanowisku po pszenicy niż po grochu siewnym.

W stanowisku po grochu siewnym zależność plonu od wielu właściwości gleby, w tym wskaźnika pH i zasobności w przyswajalne formy fosforu, potasu i magnezu była słabsza niż w stanowiskach po pszenicy. W stanowisku tym można uzyskać ziarno o dobrej jakości technologicznej nawet na glebie lekkiej. Nie wystąpiła bowiem zależność zawartości białka i glutenu oraz wskaźnika sedymentacji od udziału frakcji piaskowej w składzie granulometrycznym, zawartości węgla organicznego, ilości azotu mineralnego i wilgotności gleby.

Stwierdzono istotne współzależne oddziaływanie na plon ziarna wzrastających wartości wskaźnika pH, zawartości magnezu przyswajalnego, ilości azotu mineralnego na początku strzelania w źdźbło i wilgotności gleby przy małej zawartości frakcji piaskowej w glebie. Wysoki plon pszenicy ozimej związany był z dużą wartością masy tysiąca ziaren, wyrównania i gęstości ziarna w stanie zsypnym. Cechy te były dodatnio skorelowane i silnie związane z udziałem frakcji pyłowej i iłowej w uziarnieniu gleby, zawartością węgla organicznego, a także wilgotnością gleby w okresie wiosennej wege-

tacji roślin. Niekorzystny wpływ licznych właściwości gleby na zawartość białka i glutenu, wskaźnik sedymentacji oraz szklistość ziarna można tłumaczyć ujemną korelacją pomiędzy plonem a jakością ziarna.

Zespołem właściwości gleby kształtującym duży plon pszenicy ozimej o jednocześnie wysokiej wartości fizycznych cech ziarna był głównie malejący udział frakcji piaskowej, mniejsza ilość azotu mineralnego i wilgotność gleby w okresie rozwoju ziarniaków oraz w mniejszym stopniu większa zawartość węgla organicznego i magnezu przyswajalnego, a także wilgotność gleby na przedwiośniu i w fazie strzelania w źdźbło. Wzrost zawartości węgla organicznego oraz fosforu i magnezu, ilości azotu mineralnego w fazach intensywnego wzrostu, a także wskaźnika pH gleby powodował niewielki wzrost plonu, ale jednocześnie spadek szklistości ziarna i zawartości białka.

Dependence of the yield and quality of grain in winter bread wheat cultivar on selected soil properties in various stands in crop rotation

Summary

Over 2008-2011 there were carried out two 'Batuta' winter wheat field experiments at the Experiment Station at Mochełek (53°13' N; 17°51' E) in Albic Luvisol; in terms of agricultural applicability, representing very good rye complex and IVa soil valuation class. The first experiment involved 112 experimental plots in which wheat was sown after pea and then for two years – after wheat. In the second experiment winter wheat was grown every year in three stands: after pea, winter wheat and after wheat monoculture. Each stand included 28 plots which varied in terms of soil conditions. The source of the variation in physical and chemical soil properties in both experiments was its natural, irregular variation resulting from the origin and the location as well as the earlier many-year varied organic and mineral fertilization.

The aim of the research was to evaluate the dependence of the yield and winter bread wheat cultivar grain quality parameters on some physical and chemical soil properties and the effect of the various-natural-value stands on the relationship between the yield as well as the quality of grain and soil conditions. The following were determined: e.g. the variation in the yield and the quality of grain due to various soil conditions, the strength and direction of the relationship between some soil properties and the yield and the grain quality parameters, the relationship between a combined effect of the soil properties and the set of features defining the yield and its quality, the extent to which the yield and the quality of wheat grain depended on the soil properties in the various-natural-value stands.

In the very good rye complex soil, the relative variation in the winter wheat yield was greater than the quality parameters, however, in general, it was lower than the variation in the soil conditions which triggered it. The yield and the quality of winter wheat grain were affected by various physical and chemical soil properties. The importance of the soil conditions for agrotechnical practises in wheat was increasing with the deterioration of the stand in crop rotation, which, in general, is seen from more soil properties correlated with the yield and the grain parameters and a higher value of the coefficients of determination of those relationships in the stand after wheat than after pea.

In the stand after pea, the dependence of the yield on many soil properties, including pH and the richness in available forms of phosphorus, potassium and magnesium was poorer than in the stands after wheat. In that stand it is possible to produce grain of good technological quality even in light soil as there was reported no dependence of the content of protein and gluten as well as the sedimentation index on the share of the sand fraction in the granulometric composition, the content of organic carbon, the amount of mineral nitrogen and soil moisture.

There was found a significant interactive effect of the increasing pH values, the available magnesium content, mineral nitrogen amount at the early shooting stage and soil moisture, when exposed to a low content of sand fraction in soil, on the grain yield. a high winter wheat yield was connected with a high value of thousand grain weight, evenness and the test weight of grain. These parameters were positively correlated and strongly connected with the share of the silt and clay fractions in the soil grain size composition, the organic carbon content as well as the soil moisture during the spring plant vegetation. The unfavourable effect of numerous soil properties on the content of

protein and gluten, the sedimentation index and the grain glassiness can be due to a negative correlation between the yield and the grain quality.

The set of soil properties developing a high winter wheat yield accompanied by a high value of physical grain parameters included mostly the decreasing share of the sand fraction, a lower mineral nitrogen amount and soil moisture during kernel development and, less considerably, a greater content of organic carbon and available magnesium as well as soil moisture in early spring and at the shooting stage. The increase in the content of organic carbon, phosphorus and magnesium, the mineral nitrogen amount at the phases of intensive growth as well as in soil pH resulted in a slight increase in the yield, however, at the same time, a decrease in the grain glassiness and protein content.