



Kwitnący rzepak

Fot. Gabriela Wodzyńska-Lapińska

BIULETYN
INSTYTUTU HODOWLI
I AKLIMATYZACJI ROŚLIN
Nr 278/2015



Kwitnący rzepak. Fot. Gabriela Wodzyńska-Łapińska

RADZIKÓW 2015
INSTYTUT HODOWLI I AKLIMATYZACJI ROŚLIN
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY — RADZIKÓW
05-870 BŁONIE pod WARSZAWĄ

INSTYTUT HODOWLI I AKLIMATYZACJI ROŚLIN
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY
Dyrektor: Prof. dr hab. Edward Arseniuk

Komitet Redakcyjny:

Editorial Committee:

DANUTA BOROS (Przewodnicząca — Editor-in Chief)

HENRYK J. CZEMBOR, RENATA LEBECKA, ANNA LINKIEWICZ, WIESŁAW MĄDRY,

KATARZYNA MIKOŁAJCZYK, WOJCIECH NOWACKI, BARBARA ZAGDAŃSKA

GABRIELA WODZYŃSKA-ŁAPIŃSKA (Sekretarz Redakcji — Editorial Secretary)

Redaktor Statystyczny — WIESŁAW MĄDRY

CZASOPISMO UKAZUJE SIĘ OD 1951 ROKU

Redaktor techniczny i skład komputerowy
GABRIELA WODZYŃSKA-ŁAPIŃSKA

Druk: Biuro Wydawnictw i Reklamy „WiR”

ALEKSANDRA PIETRUSIŃSKA**JERZY H. CZEMBOR**

Instytut i Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Radzików

Krajowe Centrum Roślinnych Zasobów Genowych, Pracownia Gromadzenia i Oceny Roślin

Piramidyzacja genów — powszechne narzędzie używane w programach hodowlanych *

Gene pyramiding — a tool commonly used in breeding programs breeding programs

Głównym celem dzisiejszej produkcji roślinnej jest uzyskanie jak najwyższego plonu przy jednoczesnej minimalizacji stosowania środków ochrony roślin. Uprawa odmian o korzystnych cechach gospodarczych, w tym również o wysokim potencjale ich plonowania, ściśle związana jest z ich odpornością. Hodowla odpornościowa zbóż dysponuje wieloma narzędziami genetyki klasycznej i molekularnej, które z powodzeniem mogą być wykorzystywane w celu uzyskania roślin odpornych na powszechnie występujące choroby zbóż. Celem pracy było przedstawienie piramid genowych, uzyskanych w ramach różnych projektów badawczych realizowanych przez Pracownię Genetyki Stosowanej (Zakład Genetyki i Hodowli Roślin, IHAR — PIB w Radzikowie), a od 1. lutego 2016 roku realizowanych w Pracowni Gromadzenia i Oceny Roślin (Krajowe Centrum Roślinnych Zasobów Genowych, IHAR — PIB w Radzikowie). Profil prowadzonych prac obejmuje między innymi poprawę odporności pszenicy ozimej na mączniaka prawdziwego i rdzę brunatną.

Słowa kluczowe: odporność odmian, geny odporności, mączniak prawdziwy, piramidy genowe, pszenica, rdza brunatna

The main purpose of crop production is to achieve the highest possible yield while minimizing use of pesticides. Growing varieties with beneficial traits, also with a high potential of yield is closely connected with their resistance. At present, many tools of classical and molecular genetics, which can be successfully used to improve plant disease resistance, are available. The aim of this study was to present the gene pyramids, obtained through various research projects conducted by the Laboratory of Applied Genetics (Department of Plant Breeding and Genetics, Plant Breeding and Acclimatization Institute — National Research Institute, Radzików). Since 1st of February 2016 this research will be continued in the Laboratory of Plant Collection and Evaluation (National Centre for Plant Genetic Resources, Plant Breeding and Acclimatization Institute — National Research Institute, Radzików). Profile of the work involves improving winter wheat resistance to powdery mildew and leaf rust.

* Praca przeglądowa realizowana w ramach programu Badań Podstawowych na rzecz Postępu Biologicznego w Produkcji Roślinnej w latach 2014–2020 dofinansowana przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, temat nr 9

Redaktor prowadzący: Anna Linkiewicz

Key words: cultivar resistance genes, powdery mildew, gene pyramids, leaf rust, wheat

Plonowanie zbóż kształtowane jest przez wiele wzajemnie oddziaływujących jednocześnie na siebie czynników genetycznych warunkujących m.in.: mrozoodporność, odporność na wyleganie, odporność odmian na choroby, potencjał plonotwórczy; czynników siedliskowo-środowiskowych tj.: czynniki glebowo-klimatyczne, występowanie organizmów chorobotwórczych i szkodników, oraz czynników agrotechnicznych tj.: poziom nawożenia, termin siewu, ilość wysiewu oraz stan zachwaszczenia pola (Witkowska i in., 2011; rolny.pl/zboza). Do najważniejszych chorób grzybowych pszenic ozimych występujących w Polsce, zdecydowanie zaliczyć można rdzę brunatną, powodowaną przez *Puccinia recondita* f. sp. *triticea* oraz mączniaka prawdziwego, powodowanego przez *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*. Wymienione choroby zbóż występują każdego roku, przez co przyczyniają się do znacznego ograniczenia wielkości i jakości otrzymanych plonów. W latach sprzyjających rozwojowi patogenów, straty w plonach są stosunkowo duże, a wielkość strat szacuje się w przedziale 27%–50% (Kochman i in., 1997; Górny i in., 2004; Tratwal i in., 2004; Jańczak i in., 2006; Witkowska i in., 2011).

Odporność na choroby zbóż uwarunkowana jest profilem genetycznym danego genotypu. Odmiany pszenic dopuszczone do uprawy w Polsce oraz nowe, będące jeszcze w badaniach rejestrowych, przy jednoczesnym wysokim potencjale ich plonowania, oceniane są jako mniej lub bardziej wrażliwe na populacje *P. recondita* oraz *B. graminis* aktualnie występujące w Polsce (Pietrusińska, 2010).

Hodowla odpornościowa zbóż dysponuje narzędziami genetyki molekularnej (markery DNA) i klasycznej, które z powodzeniem mogą być wykorzystywane w selekcji korzystnych genotypów. Techniki identyfikacji z udziałem markerów molekularnych wspomagają prace hodowlane podczas selekcji wprowadzanego(ych) genu(ów) (ang. Foreground Selection) lub/oraz w selekcji tła genetycznego (ang. Background Selection). Do najważniejszych korzyści MAS można zaliczyć fakt, iż selekcja materiału hodowlanego jest nie zależna od fazy rozwojowej badanego materiału, a przede wszystkim od czynników zewnętrznych. Obecnie do najczęściej stosowanych w MAS (ang. Marker-Assisted Selection) technik molekularnych zaliczyć można: markery mikrosatelitarne (SSR) (ang. Simple Sequence Repeat) oraz miejsca znaczone sekwencyjnie (STS) (ang. Sequence Tagged Site). W hodowli odpornościowej szerokie zastosowanie znalazły markery mikrosatelitarne SSR, które z powodzeniem wykorzystywane są do mapowania genu(ów) oraz przede wszystkim do selekcji określonych genotypów. Przewaga nad innymi markerami wynika przede wszystkim z wysokiego stopnia polimorfizmu różnej długości powielanych fragmentów DNA. Z udziałem tego systemu markerowego można zidentyfikować zarówno geny odporności na rdzę brunatną *Lr* oraz geny odporności na mączniaka prawdziwego *Pm* takie jak: *Lr1* oraz *Lr41*(=*Lr39*) (Singh i in., 2004), *Lr13* (Seyfarth i in., 2000; Wiśniewska i in., 2007); *Lr34* (Suenaga i in., 2003); *Lr37* (Chełkowski i in., 2001); *Lr46* (William i in., 2003);

Lr50 (Brown-Guedira i in., 2003), *Lr60* (Hiebert i in., 2008), *Pm1a* (Neu i in., 2002), *Pm1e* (Singrün i in., 2003), *Pm4c* (Hao i in., 2008), *Pm5d* (Nematollahi i in., 2008), *Pm5e* (Huang i in., 2003b), *Pm12* (Somg i in., 2007), *Pm16* (Chen i in., 2005), *Pm24* (Huang i in., 2000), *Pm30* (Liu i in., 2002), *Pm31* (Xie i in., 2003), *Pm32* (Hsam i in., 2003), *Pm33* (Zhu i in., 2005), *Pm34* (Miranda i in., 2006), *Pm35* (Miranda i in., 2007), *Pm36* (Blanco i in., 2008), *Pm37* (Perugini i in., 2008), *Pm38* (Spielmeyer i in., 2005), *Pm39* (Lilemo i in., 2008).

W programach hodowlanych wykorzystywany jest również system markerów STS, który jest techniką zarówno do zagęszczania map genetycznych jak i do identyfikacji genów odporności sprzężonych z ważnymi cechami użytkowymi (Larson i in., 1996). System ten charakteryzuje się wysoką specyficznością amplifikacji, potwierdzoną jednopążkowym obrazem rozdziału produktów PCR (Malepszy i in., 2001). Z udziałem tego systemu zidentyfikowano między innymi takie geny odporności jak: *Lr1* oraz *Lr9* (Chełkowski i in., 2001; Wiśniewska i in., 2007); *Lr10* i *Lr28* (Chełkowski i in., 2001; Chełkowski i in., 2005 a), *Lr19* (Mohler i in., 2001), *Lr20* (Neu i in., 2002), *Lr21* (Huang i in., 2001; 2003 a, Chełkowski i in., 2005 a), *Lr24*, *Lr26* oraz *Lr37* (Chełkowski i in., 2005 a) oraz *Lr47* (Helguera i in., 2000; Chełkowski i in., 2005 a), *Pm1a* (Neu i in., 2002), *Pm3a*, *Pm3b*, *Pm3c*, *Pm3d*, *Pm3e*, *Pm3f*, *Pm3g* (Tommasini i in., 2006), *Pm4a* (Ma i in., 2004), *Pm4b* (Yi i in., 2008), *Pm6* (Ji i in., 2008), *Pm8* oraz *Pm17* (Mohler i in., 2001), a także *Pm13* (Cenci i in., 1999).

Wykorzystywanie markerów molekularnych w genetyce i hodowli roślin uprawnych stanowi niewątpliwie bardzo dogodne, a czasami nawet niezbędne i jedyne narzędzie diagnostyczne w tworzeniu piramid genowych. Kumulowanie kilku genów odporności z wykorzystaniem markerów DNA, umożliwia identyfikację poszczególnych genów wchodzących w skład piramidy genowej. Selekcja na poziomie DNA okazuje się niezbędna w przypadku braku możliwości identyfikacji genów odporności przy użyciu testów fitopatologicznych, w szczególności gdy, nie do wszystkich genów odporności zostały zidentyfikowane wirulentne izolaty patogena.

Aby otrzymać odmiany o trwałej w czasie, stabilnej i efektywnej odporności w różnych warunkach środowiskowych, przy jednoczesnym zachowaniu różnorodności genetycznej, należy wyróżnić następujące etapy hodowlane: poszukiwanie źródeł odporności oraz określenie ich efektywności w odniesieniu do populacji patogenów aktualnie występujących w kraju (testy fitopatologiczne), identyfikacja genów warunkujących odporność w odmianach uprawianych na terenie kraju, ocena stopnia podatności/odporności na choroby grzybowe materiałów hodowlanych (linii, odmian), wprowadzanie efektywnych genów odporności na drodze krzyżowań zbieżnych i wypierających, selekcja materiału roślinnego w warunkach sztucznej i/lub naturalnej infekcji, przy zastosowaniu markerów molekularnych (Pietrusińska, obserwacje własne).

W hodowli odpornościowej poszukiwanie efektywnych i trwałych źródeł odporności stanowi niezmiernie ważny kierunek badawczy. Powszechnie uważa się, że dzikie gatunki pszenic oraz im pokrewne, stanowią źródło odporności nie tylko na rdzę brunatną czy mączniaka prawdziwego, ale również na takie choroby jak: łamliwość źdźbła zbóż, zgorzel podstawy źdźbła czy też choroby wirusowe (Kimber i in., 1987; Apolinarska i in.,

2001). Najważniejszym źródłem genów odporności na rdzę brunatną i mączniaka prawdziwego pszenicy stanowią jej dzicy przodkowie oraz di-, tetra- i heksaploidalne gatunki pokrewne (McIntosh i in., 1995; Chełkowski i in., 2005 a). Według dostępnych źródeł literaturowych, geny odporności na rdzę brunatną oraz mączniaka prawdziwego pochodzą z takich gatunków jak: *Triticum tauschii* (syn. *Aegilops tauschii*, *Aegilops squarrosa*), *Aegilops speltoides* (syn. *Triticum speltoides*, *Aegilops aucheri*), *Aegilops ventricosa* (syn. *Triticum ventricosum*), *Aegilops opata*, *Haynaldia villosa* L. Schur. (syn. *Dasypyrum villosum* L. Candargy), *Agropyron intermedium*, *Triticum timopheevii* ssp. *armeniacum* (syn. *Triticum araraticum*), *Aegilops triuncialis* (syn. *Triticum triunciale*), *Triticum monococcum* (syn. *Triticum aegilopoides*, *Triticum boeoticum*) oraz żyta *Secale cereale* (McIntosh i in., 1998; Górny, 2004; Chełkowski i in., 2005 a). Należy jednak pamiętać o tym, że te same dzikie źródła niosą za sobą równocześnie cechy niekorzystne, do których niewątpliwie należy zaliczyć: słabą zimotrwałość, podatność na wyleganie oraz niską plenność (Czembor i in., 2001).

W genetyce odpornościowej roślin wyróżnia się dwa rodzaje odporności: pozioma (rasowo-niespecyficzna, poligeniczna, częściowa, ilościowa, trwała) oraz pionowa (rasowo-specyficzna, pełna, wertykalna). Zarówno jeden, jak i drugi rodzaj, charakteryzują się różną trwałością odporności w odniesieniu do pojawiających się nowych ras patogenów. Odporność rasowo-niespecyficzna jest efektem interakcji pomiędzy kilkoma białkami jednocześnie. Oznacza to, że trwałość i skuteczność odporności jednocześnie kontrolowana jest przez wiele genów. W hodowli odpornościowej pszenicy na rdzę brunatną i mączniaka prawdziwego najczęściej stosowaną strategią jest stosowanie odporności rasowo-specyficznej (Bennett, 1984; Huang i in., 2004; Chen i in., 2005). Trwałość tego typu odporności pionowej uwarunkowana jest przez pojedyncze geny główne — geny *R* (ang. Major Resistance Genes) i charakteryzuje się wyraźną ekspresją fenotypową. Geny te, warunkują odporność monogeniczną, opartą na teorii Flora „gen na gen”, gdzie produkty genów awirulencji patogena oddziałują pośrednio lub bezpośrednio z produktami genów głównych odporności rośliny (Flor, 1955; McIntosh i in., 1995; Górny, 2004; Tyrka i in., 2003; Chełkowski i in., 2005 a).

O tym jak ważne jest poszukiwanie nowych, a jednocześnie trwałych źródeł odporności, świadczy fakt, iż w polskich odmianach pszenic odporność na rdzę brunatną warunkowana jest głównie przez geny: *Lr2c*, *Lr11*, *Lr17*, *Lr21*, *Lr23* oraz *Lr26*, które są mało skuteczne w warunkach silnej presji ze strony patogena (Stępień i in., 2003; Woźniak-Strzembicka, 2003). Woźniak-Strzembicka (2003) na podstawie przeprowadzonych badań stwierdziła, że do wysoce skutecznych na populację *P. recondita* występującą w Polsce należą geny *Lr*: *Lr9*, *Lr19*, *Lr23*, *Lr24* i *Lr25*, natomiast geny *Lr9* oraz *Lr19* są jedynymi w pełni skutecznymi w całej Europie. Natomiast na podstawie badań przeprowadzonych w latach 2008–2009 stwierdzono znaczące zmiany w krajowej populacji *P. recondita* (Czajowski i in., 2011). Do roku 2007 za efektywne na terenie kraju, uważało się linie: *Lr9*, *Lr19*, *Lr23*, *Lr24*, *Lr25*, *LRW*. Od 2009 roku stwierdzono, że jedynie gen *Lr19*, pochodzący z *A. elongatum*, nadal należy do wysoce efektywnych i skutecznych na terenie kraju (Czajowski i in., 2011). Chełkowski z zespołem (2005 b) za wysoce efektywne w warunkach polskich uznali geny: *Lr9*, *Lr19*, *Lr24* oraz *Lr37*.

W warunkach europejskich za efektywne uważa się geny: *Lr9*, *Lr19*, *Lr41*, *Lr42*, *Lr47*, *Lr50* i *Lr55* (Mesterházy i in., 2000). Leśniowska-Nowak z zespołem (2013) podjęła próbę identyfikacji genów: *Lr9*, *Lr10*, *Lr19* w europejskich odmianach pszenic. Na podstawie przeprowadzonych badań, stwierdzono obecność genu *Lr10* w 9 odmianach europejskich. W odmianie Angelina, zidentyfikowano dwa geny *Lr*: *Lr10* oraz *Lr19*. Autorzy pracy uważają, że odmiana Angelina o spramidyzowanych genach (*Lr10+Lr19*), może być efektywnym źródłem odporności na rdzę brunatną wykorzystywanym w krajowych programach hodowlanych pszenicy oraz pszenżyta (Leśniowska-Nowak i in., 2013). Do węgierskich odmian pszenic wprowadzono kombinację dwóch genów odporności na rdzę brunatną (*Lr9+Lr24*) — odmiana Mv Emma oraz Mv Pálma, a także piramidę genów (*Lr9+Lr29*) do odmiany Mv Pálma (Vida i in., 2009). Ponadto u argentyńskich odmian Buck Baqueano, Buck Glutino, Buck Guapo zidentyfikowano następujące kombinacje genów, odpowiednio: (*Lr3a+Lr10+Lr26+Lr* nieokreślony), (*Lr3a+Lr16+Lr26+Lr* nieokreślony) oraz (*Lr3a+Lr16+Lr17+Lr26+Lr* nieokreślony) (Vanzetti i in., 2011).

Na podstawie przeprowadzonych testów fitopatologicznych w roku 2014–2015, obecnie za efektywne uważa się geny: *Lr34*, *Lr41*, *Lr47*, *Lr50*, *Lr55*, natomiast linia z genem *Lr46* charakteryzuje się całkowitą reakcją podatności na populację *P. recondita* aktualnie występującą na terenie kraju (Pietrusińska, obserwacje własne).

Odporność polskich odmian pszenic na grzyb *B. graminis* determinowana jest przez różne kombinacje genów *Pm*. Na podstawie wymienionych w tabeli 2 segmentów odpornościowych można zaobserwować, że najczęściej występującą kombinacją jest (*Pm2+Pm6*). Jest to związane z tłem genetycznym pochodzącym od ozimej odmiany Maris Huntsman, w przeszłości powszechnie wykorzystywanej w programach hodowlanych, jako nośnik odporności na mączniaka prawdziwego. W latach 2012–2013 Pietrusińska z zespołem (2014) przeprowadziła badania nad określeniem struktury wirulencji populacji *B. graminis* występującej na terenie kraju. Do badań wykorzystano kolekcję 50 izolatów wyisobnionych z porażonych liści pszenicy w różnych rejonach Polski oraz zestaw 28 odmian i linii różnicujących o znanych genach odporności. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że linie: *Pm21*, *Pm36*, *Pm37* charakteryzowały się całkowitą odpornością na *B. graminis*. W stosunku do genu *Pm29* wirulentny był tylko jeden izolat, a w stosunku do kombinacji genów (*Pm1+2+4b+9*) wirulentne były tylko 2 izolaty. Ponad 90% izolatów było wirulentnych w stosunku do genu *Pm2*, *Pm5* i kombinacji genów (*Pm2+4b+8*), (*Pm2+6*) i (*Pm4b+5*) oraz do genów *Pm6*, *Pm8*, i kombinacji genów (*Pm5+8*), (*Pm4b+8*). Dlatego też, geny: *Pm21*, *Pm29*, *Pm36*, *Pm37* powinny być wprowadzane do programów hodowlanych pszenic (Pietrusińska i in., 2014). Ponadto, ten sam zespół (Pietrusińska, dane niepublikowane, 2014) badał efektywność nowych genów odporności na mączniaka prawdziwego. Linie z genami *Pm38* oraz *Pm39* charakteryzowały się reakcją podatności na tle 50 izolatów *B. graminis* występujących na terenie Polski.

W kolekcjach światowych pszenic można znaleźć źródła efektywnej odporności na mączniaka prawdziwego. Do takich należą geny: *Pm21*, *Pm22*, *Pm29* oraz *Pm37* i inne do tej pory nie nazwane, ale wysoce efektywne, pochodzące z krzyżowań między-

rodzajowych i międzygatunkowych (Chen i in., 1995). Na podstawie wyników badań dotyczących określenia efektywności i trwałości źródeł odporności, można jednoznacznie stwierdzić, że poszukiwanie nowych genów jest niezmiennie ważnym kierunkiem z punktu widzenia hodowców, genetyków czy też fitopatologów i jest ściśle związane z przełamywaniem odporności linii/odmian hodowlanych przez pojawiające się nowe, bardziej agresywne rasy patogena(ów).

Tworzenie piramid genowych było i jest powszechnie wykorzystywanym procesem hodowlanym. Kumulacja genów jest skutecznym sposobem wykorzystania genów odporności poprzez ich łączenie w jednym genotypie i wydaje się być szczególnie przydatna, kiedy pojedyncze geny R nie zapewniają trwałej odporności rośliny na patogena. Kiedy jeszcze biologia molekularna nie odgrywała znaczącej roli w hodowli odpornościowej, a identyfikacja wprowadzanych genów odporności przy użyciu markerów molekularnych była poza zasięgiem hodowców, skuteczność przeprowadzonych krzyżowań odmian podatnych z nowymi źródłami odporności, mogła odbywać się jedynie na poziomie fenotypowym, bez możliwości molekularnego potwierdzenia obecności wprowadzonego(ych) genu(ów). Jednak autorzy pracy, na podstawie własnych obserwacji, uważają, że selekcja korzystnych genotypów, powinna opierać się również na wynikach testów fitopatologicznych i przeprowadzenie ich w programach hodowlanych powinno być niezbędną częścią doświadczalną podczas selekcji wspomaganej markerami molekularnymi. Na podstawie przeprowadzonych badań (Pietrusińska, 2010) wyniki fenotypowe testu patogeniczności nie pokryły się we wszystkich przypadkach z wynikami selekcji molekularnej pod kątem obecności genu odporności na rdzę brunatną — genu *Lr41*. Wyodrębnione zostały obiekty, które według oceny fenotypowej były odporne na izolaty rdzy brunatnej, a według oceny molekularnej były podatne i nie amplifikowały produktów w reakcji PCR w oczekiwanej wielkości dla *locus* odporności *Lr41* (Pietrusińska, 2010). Brak pokrycia wyników z selekcji fenotypowej z selekcją molekularną, autorzy tłumaczą możliwością rekombinacji pomiędzy genem odporności *Lr41* a użytymi do selekcji markerami molekularnymi. Należy pamiętać, że im krótszy jest dystans między *locus* odporności a markerami, tym selekcja korzystnych genotypów o pożądaną cechę bądź też cechach będzie bardziej dokładna i trafna.

Na podstawie dostępnej literatury naukowej istnieje wiele przykładów potwierdzających skuteczność zastosowania MAS, zarówno w hodowli pszenicy jak i u innych roślin hodowlanych. Przykładem mogą być wyniki otrzymane przez Williama i zespół (William i in., 2008; Goutam i in., 2015), które potwierdziły możliwość powszechnego i skutecznego wykorzystania markerów RFLP, RAPD, STS, SCAR, CAPS oraz SSR w selekcji materiału roślinnego pod kątem odporności na rdzę brunatną pszenicy. Inny przykład potwierdzający skuteczne wykorzystanie MAS to praca Roberta i współpracowników (Robert i in., 1999). Z wykorzystaniem systemu SCAR z powodzeniem zidentyfikowano w materiale roślinnym geny odporności na rdzę brunatną pszenicy tj.: *Lr24*, *Lr25* oraz *Lr37* (Robert i in., 1999). Zespół Liu (1999) przekształcił markery RAPD w dwa markery typu SCAR₁₂₅₀ oraz SCAR₁₄₀₀, za pomocą których, z powodzeniem można wykryć w selekcyjonowanym materiale roślinnym obecność genu odporności na mączniaka prawdziwego pszenicy — genu *Pm21* (Liu i in., 1999). Dla

przykładu, MAS znalazło szerokie zastosowanie w hodowli odpornościowej ziemniaka. Za pomocą markera CAPS GP122-564 można z powodzeniem przeprowadzić selekcję materiału roślinnego na obecność najważniejszego wirusa Y ziemniaka (PVY). Przy wykorzystaniu jednego markera można również wyodrębnić reprezentowane przez PVY szczepy oraz patotypy tj.: PVY_O, PVY_C, PVY_N, PVY_{NTN} (Lopez-Pardo i in., 2013). Selekcja wspomagana markerami znalazła również zastosowanie w programach hodowlanych dotyczących poprawy odporności na rdzę koronową owsa (*Puccinia coronata* f.sp. *avenae*). Na podstawie badań przeprowadzonych przez zespół Gnanesha (Gnanesh i in., 2013) potwierdzono możliwość wykorzystywania w selekcji wspomaganej markerami trzy kodominujące markery KAPS SNP: oPt-0350-KOM4c2, oPt-0350-KOM5c1 oraz oPt-0350-KOM6c2.

Tabela 1

Piramidy genów *Lr+Lr*(...) zidentyfikowane w odmianach pszenic jarych oraz ozimych oraz liniach hodowlanych
Pyramids of *Lr+Lr*(...) genes identified in spring and winter wheat cultivars and breeding lines

Piramida genowa Gene pyramid	Odmiana / Linia Cultivar / Line	Źródło Source
<i>Lr2a+Lr</i> nieokreślony/ unidentified	SW Vals	Hysing i in., 2006
<i>Lr9+Lr24</i>	Mv Emma; Mv Palma	Vida i in., 2009
<i>Lr9+Lr29</i>	Mv Palma	
<i>Lr10+Lr19</i>	Angelina	Leśniowska-Nowak i in., 2013
<i>Lr10+Lr13</i>	Pepita	
<i>Lr10+Lr</i> nieokreślony/ unidentified	Mjølner, Tapio	Hysing i in., 2006
<i>Lr13+Lr</i> nieokreślony/ unidentified	Konsul, Residence	
<i>Lr14a+Lr</i> nieokreślony/ unidentified	Nova, Curry, Dragon, Leguan	
<i>Lr25+Lr47</i>	Bezostaya	Houhannisyan i in., 2011
<i>Lr26+Lr</i> nieokreślony/ unidentified	Brigadier, Haren	Hysing i in., 2006
<i>Lr27+Lr31</i>	Gatcher, Hope, Jupare, C2001, Chinese Spring	Singh i in., 1984; Kolmer, 1996; Huerta-Espino i in., 2009
<i>Lr34+Lr48</i>	CSP44	Saini i in., 2002
<i>Lr34+Lr49</i>	VL404	
<i>Lr9+Lr24+Lr28</i>	HD2329	Charpe i in., 2012
<i>Lr10+Lr13+Lr</i> nieokreślony/ unidentified	Kris	Hysing i in., 2006
<i>Lr10+Lr47+Lr28</i>	<i>T. boeoticum</i> / IG 44941	Hovhannisyan i in., 2011
<i>Lr13+Lr26+Lr</i> nieokreślony/ unidentified	Rialto	Hysing i in., 2006
<i>Lr13+Lr34+Yr18</i>	Frontana	www.pin.org.pl
<i>Lr17+Lr26+Lr</i> nieokreślony/ unidentified	Lynx	Hysing i in., 2006
<i>Lr24+Lr28+Lr48</i>	PBW 343	Prabhu i in., 2009
<i>Lr3+Lr10+Lr17+Lr</i> nieokreślony/ unidentified	Grommit	Hysing i in., 2006
<i>Lr3+Lr17+Lr23+Lr</i> nieokreślony/ unidentified	Bill	
<i>Lr3a+Lr10+Lr26+Lr</i> nieokreślony/ unidentified	Buck Baqueano	
<i>Lr3a+Lr16+Lr26+Lr</i> nieokreślony/ unidentified	Buck Glutino	Vanzetti i in., 2011
<i>Lr3a+Lr16+Lr17+Lr26+Lr</i> nieokreślony/ unidentified	Buck Guapo	
<i>Lr10+Lr13+Lr14b+Lr30+Lr34+Yr18</i>	Opata 85	www.pin.org.pl

Z danych literaturowych wynika, że istnieją przykłady piramid genowych wprowadzanych do odmian hodowlanych w celu poprawy odporności na rdzę brunatną i/lub mączniaka prawdziwego, w następujących segmentach odpornościowych: (*Lr+Lr*); (*Pm+Pm*), (*Lr+Pm*). Na podstawie danych literaturowych wynika, że piramida genów

(*Lr9+Lr24*), (*Lr19+Lr24*), (*Lr19+Lr28*) oraz (*Lr24+Lr28+Lr9*) może być z powodzeniem używana w programach hodowlanych w celu uzyskania odporności na rdzę brunatną w odmianach pszenicy (Prabhu i in., 2009). Piramidyzacja genów odporności na rdzę brunatną (*Lr+Lr+...*) wprowadzonych do polskich i światowych odmian/linii pszenic jarych oraz ozimych przedstawione zostały w tabeli 1. Tworzenie piramid genowych (*Pm+Pm*) również można znaleźć w światowej hodowli odmian pszenic. Piramidyzacja genów odporności na mączniaka prawdziwego (*Pm+Pm+...*) wprowadzonych do polskich i światowych odmian/linii pszenic jarych oraz ozimych przedstawia tabela 2.

Tabela 2

Piramidy genów *Pm+Pm+...* zidentyfikowane w odmianach pszenic jarych oraz ozimych oraz liniach hodowlanych

Pyramids of *Pm+Pm+...* genes identified in spring and winter wheat cultivars and breeding lines

Piramida genowa Gene pyramids	Odmiana / Linia Cultivar / Line	Źródło Source
<i>Pm1a+Pm9</i>	Ring	Hysing i in., 2007
<i>Pm2+Pm4</i>	Yang1581	Liu i in., 2000
<i>Pm2+Pm5</i>	Ilawska	
<i>Pm2+Pm6</i>	Alba, Arda, Korweta, Oda, Olcha, Rada, Roma, Sakwa, Weneda	Kowalczyk i in., 1998; Pietrusińska, 2009
<i>Pm2+Pm8</i>	Damier	Zeller i in., 1993a
<i>Pm2+Pm21</i>	Yang1582	Liu i in., 2000
<i>Pm2+Pm</i> nieokreślony/ unidentified	Gedania	
<i>Pm3d+Pm4b</i>	Gracja, Mona	Kowalczyk i in., 1998; Pietrusińska, 2009
<i>Pm3d+Pm8</i>	Turnia	
<i>Pm3d+Pm</i> nieokreślony/ unidentified	Eta, Henrika, Jasna, Jota	
<i>Pm4a+Pm21</i>	Yang1583	Liu i in., 2000
<i>Pm4b+Pm8</i>	Wilga, Divio	Kowalczyk i in., 1998; Pietrusińska, 2009; Zeller i in., 1993a
<i>Pm5+Pm8</i>	Aleta	Kowalczyk i in., 1998; Pietrusińska, 2009
<i>Pm5+Pm</i> nieokreślony/ unidentified	Riola, Kalle	
<i>Pm6+Pm</i> nieokreślony/ unidentified	Holger	Hysing i in., 2007
<i>Pm1+Pm2+Pm</i> nieokreślony/ unidentified	Jawa	Kowalczyk i in., 1998; Pietrusińska, 2009
<i>Pm1+Pm3d+Pm4b</i>	Hesja, Omega	
<i>Pm1a+Pm2+Pm9</i>	Pompe, Troll	Hysing i in., 2007
<i>Pm2+Pm6+Pm8</i>	Sleipner	
<i>Pm2+Pm3d+Pm4b</i>	Polna	Kowalczyk i in., 1998; Pietrusińska, 2009
<i>Pm4b+Pm6+Pm</i> nieokreślony/ unidentified	Tjalve	Hysing i in., 2007
<i>Pm6+Pm8+Pm</i> nieokreślony/ unidentified	Tjelvar	
<i>Pm1+Pm2+Pm9+Pm4b</i>	Helia	Kowalczyk i in., 1998; Pietrusińska, 2009
<i>Pm1a+Pm2+Pm9+Pm</i> nieokreślony/ unidentified	Rang	Hysing i in., 2007
<i>Pm1a+Pm2+Pm8+Pm9+Pm</i> nieokreślony/ unidentified	Saffran	

Przykładów jednoczesnej piramidyzacji genów odporności na rdzę brunatną oraz mączniaka prawdziwego w połączeniu (*Lr+Pm*) w jednym genotypie jest znacznie mniej. W polskich trzech odmianach: Aleta, Turnia oraz Wilga występuje kombinacja genów (*Lr26+Pm8*) (www.pin.org.pl). Ponadto, w materiałach referencyjnych ICARDA (ang.

International Center for Agricultural Research in the Dry Areas), zespół Hovhannisyan (2011) zidentyfikował efektywne połączenia piramid genowych ($Lr+Pm$): ($Lr25+Pm1+Pm2$), ($Lr25+Pm1+Pm2+Pm3$), ($Lr28+Lr47+Pm1+Pm2$), ($Lr28+Lr47+Pm3+Pm10$), ($Lr10+Lr25+Lr28+Lr47+Pm1+Pm2+Pm3$) (Hovhannisyan i in., 2011).

Pracownia Genetyki Stosowanej (od 1. lutego 2016 roku w Pracowni Gromadzenia i Oceny Roślin, Krajowe Centrum Roślinnych Zasobów Genowych, IHAR — PIB, Radzików) w ramach realizacji kilku projektów badawczych, podejmuje próby piramidyzacji genów odporności. W wyniku wieloletnich badań do polskiej odmiany Nadobna oraz niemieckiej elitarnej odmiany Lexus wprowadzono piramidę genów o profilu odpornościowym ($Lr41(=Lr39)+Pm21$) (Pietrusińska i in., 2010; 2011; 2013). Wytworzony materiał roślinny został włączony do programów hodowlanych prowadzonych przez Polskie Spółki Hodowlane. Ponadto, w ramach pracy badawczej dofinansowanej z programu Badań Podstawowych na rzecz Postępu Biologicznego w Produkcji Roślinnej MRiRW, linie ($Lr41(=Lr39)+Pm21$) stanowiły materiał wyjściowy w dalszych pracach prowadzonych przez zespół. Do pszenic ozimych wprowadzono efektywne geny odporności w następujących segmentach odpornościowych: ($Lr41(=Lr39)+Pm21+Lr47$); ($Lr41(=Lr39)+Pm21+Pm37$); ($Lr41(=Lr39)+Pm21+Lr47+Pm37$). Kolejny etap prowadzonych prac dotyczy piramidyzacji w wymienionych segmentach odpornościowych, nowych, efektywnych źródeł odporności na rdzę brunatną — genu $Lr55$ oraz na mączniaka prawdziwego — genu $Pm36$ lub inny.

Tabela 3

Piramidy genów $Lr+Pm+...$ zidentyfikowane w odmianach pszenic jarych oraz ozimych oraz liniach hodowlanych

Pyramids of $Lr+Pm+...$ genes identified in spring and winter wheat cultivars and breeding lines

Piramida genowa Gene pyramids	Odmiana / Linia Cultivar / Line	Źródło Source
$Lr26+Pm8$	Aleta, Tumia, Wilga	www. pin.org.pl
$Lr41(=Lr39)+Pm21$	Nadobna, Bogatka, Lexus	Pietrusińska i in., 2010; 2011; 2013
$Lr41(=Lr39)+Lr47+Pm21$	Nadobna, Bogatka	Pietrusińska, dane niepublikowane
$Lr41(=Lr39)+Pm21+Pm37$	Nadobna, Bogatka	
$Lr41(=Lr39)+Lr47+Pm21+Pm37$	Nadobna, Bogatka	Hovhannisyan i in., 2011
$Lr25+Pm1+Pm2$	IG 44939	
$Lr25+Pm1+Pm2+Pm3$	IG 126380	
$Lr28+Lr47+Pm1+Pm2$	IG 44824	
$Lr28+Lr47+Pm3+Pm10$	IG 44867	
$Lr10+Lr25+Lr28+Lr47+Pm1+Pm2+Pm3$	IG 126246	

Na podstawie dostępnej literatury naukowej, brak jest innych doniesień na temat piramidyzacji takich schematów odpornościowych jakie zostały zaproponowane przez zespół prof. dr hab. Jerzego H. Czembora. Zaproponowane rozwiązanie nie było wcześniej stosowane w pszenicy ozimej oraz uważa się, że stanowi rozwiązanie oryginalne w hodowli odpornościowej tego zboża. Aby w pełni ocenić skuteczność tego modelu piramidyzacji, po zakończeniu prac laboratoryjnych, materiał roślinny oceniany będzie w warunkach naturalnej infekcji w różnych warunkach środowiskowych. Piramidyzacja genów odporności na rdzę brunatną oraz mączniaka prawdziwego

(*Lr+Pm+(...)*) wprowadzonych do polskich i światowych odmian/linii pszenic jarych oraz ozimych przedstawione zostały w tabeli 3.

Kumulacja efektywnych genów odporności w jednym genotypie jest długotrwałym i pracochłonnym zabiegiem hodowlanym. Wymaga przeprowadzenia wielokrotnych krzyżowań zbieżnych oraz wstecznych, przy jednoczesnej selekcji wspomaganej markerami molekularnymi oraz selekcji fenotypowej. O trwałości piramid genowych stanowią badania przeprowadzone na ryżu przez zespół Singha (Singh i in., 2001). Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że rośliny o spiramidyzowanych trzech genach charakteryzowały się odpornością na bakteryjną zarazę ryżu, natomiast kiedy odporność roślin warunkowana była przez jeden gen, odporność ta była przełamywana. Ponadto, badania dotyczące odporności na mączniaka prawdziwego w odmianach i liniach pszenic ozimych oraz jarych przeprowadzone przez zespół Hysinga (2007) dowodzą, że łączenie efektywnych genów odporności na mączniaka prawdziwego przyczynia się do uzyskania trwalszej odporności na *B. graminis*. Trzy duńskie odmiany o spiramidyzowanych genach w kombinacjach: (*Pm4b+u*), (*Pm2+Pm6+Pm8*) oraz (*Pm6+u*) charakteryzowały się całkowitą odpornością w odniesieniu do zastosowanych izolatów (Hysing i in., 2007).

Piramidyzacja genów w jednej linii hodowlanej może znacznie zwiększyć zakres odporności na różne rasy (patotypy) tego samego patogena, jak również na rozszerzenie zakresu odporności na różne patogeny czy szkodniki. Kumulacja różnych kombinacji genów warunkujących odporność na ważne z punktu widzenia rolniczego choroby, w tym również genów o charakterze ilościowym, przyczynia się do zmniejszenia presji selekcyjnej na patogena, a tym samym daje możliwość uzyskania kompleksowej i trwalszej w czasie odporności uprawianych odmian.

LITERATURA

- Apolinarska B., Gruszecka D. 2001. Transfer genów z *Dasypyrum villosum* (Haynaldia villosa L.) do *Secale cereale* L. Biotechnologia 2 (53): 63 — 65.
- Bennett F. G. A. 1984. Resistance to powdery mildew in wheat: A review of its use in agriculture and breeding programmes. Plant. Pathol. 33: 279 — 300.
- Blanco A., Gadaleta A., Cenci A., Carluccio A. V., Abdelbacki A. M. M., Simeone, R. 2008. Molecular mapping of the novel powdery mildew resistance gene *Pm36* introgressed from *Triticum turgidum* var. *dicoccoides* in durum wheat. Theor. Appl. Genet. 117: 135 — 142.
- Brown-Guedira G. L., Singh S., Fritz, K. 2003. Performance and mapping of leaf rust resistance transferred to wheat from *Triticum timopheevii* subsp. *armeniaceum*. Phytopathology 93 (7): 784 — 789.
- Cenci A., D'Ovidio R., Tanzarella O. A., Ceoloni C., Porceddu E. 1999. Identification of molecular markers linked to *Pm13*, and *Aegilops longissima* gene conferring resistance to powdery mildew in wheat. Theor. Appl. Genet. 98: 448 — 454.
- Charpe A., Koul S., Gupta S. K., Singh A., Pallavil J. K., Prabhu K. V. 2012. Marker assisted gene pyramiding of leaf rust resistance genes *Lr24*, *Lr28* and *Lr9* in a bread wheat cultivar HD2329.
- Chełkowski J., Koczyka G. 2005 a. Genomika i bioinformatyka roślin. Rozprawy i Monografie. IGR PAN, Poznań: 139 — 157.
- Chełkowski J., Stępień Ł., Strzembicka A. 2005 b. Ocena podatności pszenicy ozimej na rdzę brunatną oraz poszukiwanie źródeł odporności. Acta Agrobotanica 58 (1): 143 — 152.
- Chełkowski J., Koczyka G. 2005 a. Genomika i bioinformatyka roślin. Rozprawy i Monografie. IGR PAN, Poznań: 139 — 157.

- Chelkowski J., Stępień Ł. 2001. Molecular markers for leaf rust resistance genes in wheat. *J. Appl. Genet.* 42 (2): 117 — 126.
- Chen P. D., Qi L. L., Zhou B., Zhang S. Z., Liu D. J. 1995. Development and molecular cytogenetic analysis of wheat-*Haynaldia villosa* 6VS/6AL translocation lines specifying resistance to powdery mildew. *Theor. Appl. Genet.* 91: 1125 — 1128.
- Chen X. M., Luo, Y. H., Xia X.C., Xia L.Q., Chen, X., Ren Z. L., He Z. H., Jia J. Z. 2005. Chromosomal location of powdery mildew resistance gene *Pm16* in wheat using SSR marker analysis. *Plant Breed.* 124: 225 — 228.
- Czajowski G., Strzembicka A., Karska K. 2011. Wirulencja populacji *Puccinia triticina* sprawcy rdzy brunatnej pszenicy i pszenżyta. Konferencja Nauka dla Hodowli i Nasiennictwa Roślin Uprawnych. Streszczenia prac. Konferencja Nauka dla Hodowli i Nasiennictwa Roślin Uprawnych. Zakopane 2001.
- Czembor H. J., Wiewióra M. 2001. Dziedziczenie tolerancji na toksyczne działanie glinu u wybranych odmian pszenicy jarej (*Triticum aestivum* L.). 220: 45 — 52.
- Flor H. H. 1955. Host-parasite interaction in flax rust-its genetics and other implications. *Phytopathology* 45: 680 — 685.
- Gnanesh B. N., Mitchell Fetch J., Menzies J. G., Beattie A. D., Eckstein P. E., McCartney C. A. 2013. Chromosome location and allele-specific PCR markers for marker-assisted selection of the oat crown rust resistance gene *Pc91*. *Mol. Breeding* 32: 679 — 686.
- Goutam U., Kukreja S., Yadav R., Salaria N., Thakur K., Goyal A. K. 2015. Recent trends and perspectives of molecular markers against fungal diseases in wheat. *Front Microbiol.* 6: 861.
- Górny A. G. 2004. Zarys genetyki zbóż. Tom 1. Jęczmień, pszenica i żyto. Wyd. Instytut Genetyki Roślin PAN, Poznań: 181 — 327.
- Hao Y., Liu, A., Wang Y., Feng D., Gao J., Li X., Liu S., Wang H. 2008. *Pm23*: a new allele of *Pm4* located on chromosome 2AL in wheat. *Theor. Appl. Genet.* 117 (8): 1205 — 1212.
- Helguera M., Khan I. A., Dubcovsky J. 2000. Development of PCR markers for the wheat leaf rust resistance gene *Lr47*. *Theor. Appl. Genet.* 100: 1137 — 1143.
- Hiebert C. W., Thomas J. B., McCallum B. D., Somers D. J. 2008. Genetic mapping of the wheat leaf rust resistance gene *Lr60* (*LrW2*). *Crop Sci.* 48: 1020 — 1026.
- Hovhannisyan N. A., Dulloo M. E., Yesayan A. H., Knupffer H., Amari A. 2011. Tracking of powdery mildew and leaf rust resistance genes in *Triticum boeoticum* and *T. urartu*, wild relatives of common wheat. *Czech J. Plant Breed.* 47 (2): 45 — 57.
- Hsam S. L. K., Lapochkina I. F., Zeller F. J. 2003. Chromosomal location of genes for resistance to powdery mildew in common wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell) 8. Gene *Pm32* in a wheat *Aegilops speltoides* translocation line. *Euphytica* 133: 367 — 370.
- Huang X. Q., Röder M. S. 2004. Molecular mapping of powdery mildew resistance genes in wheat. *Euphytica* 137: 203 — 223.
- Huang L., Brooks S. A., Li W., Fellers J. P., Trick H. N., Gill B. S. 2003 a. Map-based cloning of leaf rust resistance gene *Lr21* from the large and polyploidy genome of bread wheat. *Genetics* 164: 655 — 664.
- Huang L., Gill B. S. 2001. An RGA — like marker detected all known *Lr21* leaf rust resistance gene family members in *Aegilops tauschii* and wheat. *Theor. Appl. Genet.* 103: 1007 — 1013.
- Huang X. Q., Hsam S. L. K., Zeller F. J., Wenzel G., Mohler V. 2000. Molecular mapping of the wheat powdery mildew resistance gene *Pm24* and marker validation for molecular breeding. *Theor. Appl. Genet.* 101: 407 — 414.
- Huang X. Q., Wang L. X., Xu M. X., Röder M. S. 2003 b. Microsatellite mapping of the powdery mildew resistance gene *Pm5e* in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.* 106: 858 — 865.
- Huerta-Espino J., Singh R. P., Pérez-López J. B. 2009. Phenotypic Variation Among Leaf Rust Isolates From Durum Wheat In Northwestern Mexico. 12th International Cereal Rust and Powdery Mildews Conference, October 13–16, Antalya — Turcja. Abstract Book, pp. 29.
- Hysing S. C., Merker A., Liljeroth E., Koebner R. M. D., Zeller F. J., Hsam S. L. K. 2007. Powdery mildew resistance in 155 Nordic bread wheat cultivars and landraces. *Hereditas* 144: 102 — 119.

- Hysing S. H., Singh R. P., Huerta-Espino J., Merker A., Liljeroth E., Diaz O. 2006. Leaf rust (*Puccinia triticina*) resistance in wheat (*Triticum aestivum*) cultivars grown in Northern Europe 1992–2002. *Hereditas* 143: 1 — 14.
- Jańczak C., Pawlak A. 2006. Występowanie i szkodliwość mącznika prawdziwego (*Blumeria graminis*) w pszenicy ozimej w latach 2003–2005. *Postępy w Ochronie Roślin* 46 (2): 538 — 542.
- Ji J., Qin B., Wang H., Cao A., Wang S., Chen P., Zhuang L., Du Y., Liu D., Wang X. 2008. STS markers for powdery mildew resistance gene *Pm6* in wheat. *Euphytica* 163: 159 — 165.
- Kimber G., Feldman M. 1987. Wild wheat: an introduction. Department of Agronomy University of Missouri-Columbia, Columbia, Missouri, USA. Plant Genetics The Weizmann Institute of Science Rehovot, Israel.
- Kochman J., Węgorok W. 1997. Ochrona Roślin. Choroby infekcyjne: Wyd. V, Plantpress, Kraków: 445 — 447.
- Kolmer J. A. 1996. Genetics of resistance to wheat leaf rust. *Annu. Rev. Phytopathol.* 34: 435 — 455.
- Kowalczyk K., Hsam S. L. K., Zeller F. J. 1998. Identification of powdery mildew resistance genes in common wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell.). XI. Cultivars grown in Poland. *J. Appl. Genet.* 39 (3): 225 — 236.
- Larson, S., Kadyrzhanova, D., McDonald, C., Sorrells M., Blake, T. K. 1996. Evaluation of barley Chromosome 3 yield QTL in a backcross F₂ Population using PCR-STs markers. *Theor. Appl. Genet.* 93: 618 — 625.
- Leśniowska-Nowak J., Grądzielewska A., Majek M. 2013. Identyfikacja genów odporności na rdzę brunatną w wybranych europejskich odmianach pszenicy zwyczajnej oraz opracowanie warunków Multiplex PCR. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska Lublin - Polonia Vol. LXVIII (3) SECTIO E*: 20 — 28.
- Lillemo M., Asalf B., Singh R.P., Huerta-Espino J., Chen X. M., He Z. H., Bjørnstad A. 2008. The adult plant rust resistance loci *Lr34/Yr18* and *Lr46/Yr29* are important determinants of partial resistance to powdery mildew in bread wheat line Saar. *Theor. Appl. Genet.* 116: 1155 — 1166.
- Liu Z., Sun Q., Ni Z., Yang T. 1999. Development of SCAR markers linked to the *Pm21* gene conferring resistance to powdery mildew in common wheat. *Plant Breed.* 118: 215 — 219.
- Liu J., Liu D., Tao W., Li W., Wang S., Chen P., Cheng S., Gao D. 2000. Molecular marker-facilitated pyramiding of different genes for powdery mildew resistance in wheat. *Plant Breed.* 119: 21 — 24.
- Liu Z., Sun Q., Ni Z., Nevo E., Yang T. 2002. Molecular characterization of a novel powdery mildew resistance gene *Pm30* in wheat originating from wild emmer. *Euphytica* 123: 21 — 29.
- Lopez-Pardo R., Barandalla L., Ritter E., de Galarreta J. I. R. 2013. Validation of molecular markers for pathogen resistance in potato. *Plant Breeding* 132: 246 — 251.
- Ma Z.Q., Wei J.B., Cheng S.H. 2004. PCR-based markers for the powdery mildew resistance gene *Pm4a* in wheat. *Theor. Appl. Genet.* 109: 140 — 145.
- Malepszy S. 2001. *Biotechnologia Roślin*. Wydawnictwo Naukowe PAN, Warszawa.
- McIntosh R. A., Hart G. E., Devos K. M., Gale M. D., Rogers W. J. 1998. Catalogue of gene symbols for wheat. In: Slinkard A. E. (ed.). *Proc. 9th Int. Wheat Genet Symp.* 5: 13 — 72. Univ. Extension Press. University of Saskatchewan Saskatoon.
- McIntosh R. A., Wellings C. R., Park R. F. 1995. *Wheat Rust: an atlas of resistance genes*. CSIRO, Australia, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Mesterházy Á., Bartoš P., Goyeau H. 2000. European virulence survey for leaf rust in wheat. *Agronomie* 20: 793 — 804.
- Miranda L. M., Murphy J. P., Leath S., Marshall D. 2006. *Pm34*: a new powdery mildew resistance gene transferred from *Aegilops tauschii* Coss. to common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.* 113: 1497 — 1504.
- Miranda L. M., Murphy J. P., Marshall D., Cowger C., Leath S. 2007. *Pm35*: a novel *Aegilops tauschii* derived powdery mildew resistance gene introgressed into common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.* 114: 1451 — 1456.

- Mohler V., Hsam S. L. K., Zeller F. J., Wenzel, G. 2001. An STS marker distinguishing the rye-derived powdery mildew resistance alleles At the *Pm8/Pm17* locus of common Wheat. *Plant Breed.* 120: 448 — 450.
- Nematollahi G., Mohler V., Wenzel G., Zeller F. J., Hsam S. L. K. 2008. Microsatellite mapping of powdery mildew resistance allele *Pm5d* from common wheat line IGV1-455. *Euphytica* 159: 307 — 313.
- Neu C., Stein N., Keller B. 2002. Genetic mapping of the *Lr20-Pm1* resistance locus reveals suppressed recombination on chromosome arm 7AL in hexaploid wheat. *Genome* 45: 737 — 744.
- Perugini L. D., Murphy J. P., Marshall D., Brown-Guedira G. 2008. *Pm37*, a new broadly effective powdery mildew resistance gene from *Triticum timopheevii*. *Theor. Appl. Genet.* 116: 417 — 425.
- Pietrusińska A., Czembor J. H., Czembor P. Cz. 2011. Pyramiding of two resistance genes for leaf rust and powdery mildew resistance in common wheat. *Cereal Research Comm.* 39 (4): 577 — 588.
- Pietrusińska A., Czembor J. H. 2014. Struktura wirulencji populacji *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* występującej na terenie Polski w latach 2012–2013. *Biul. IHAR* 274: 15 — 25.
- Pietrusińska A., Czembor P. Cz., Czembor J. H. 2013. *Lr39 + Pm21*, as a new effective combination of resistance genes for leaf rust and powdery mildew. *Czech J. Genet. Plant Breed.* 49: 109 — 115.
- Pietrusińska 2010. Wykorzystanie markerów molekularnych do wprowadzania genów odporności na rdzę brunatną (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*) i mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) do pszenicy ozimej. *Biul. IHAR* 256: 31 — 54.
- Prabhu K. V., Singh A. K., Basavaraj S. H., Cherukuri D. P., Charpe A., Gopala Krishnan S., Gupta S. K., Joseph M., Koul S., Mohapatra T., Pallavi J. K., Samsampour D., Singh A., Singh V. K., Singh A., Singh V. P. 2009. Marker assisted selection for biotic stress resistance in wheat and rice. *Indian J. Genet* 69 (4): 305 — 314.
- Robert O., Abelard C., Dedryve F. 1999. Identification of molecular markers for the detection of the yellow rust resistance genes *Yr17* in wheat. *Mol. Breed.* 5:167 — 175.
- Saini R.G., Kaur M., Singh B., Sharma S., Nanda G. S., Nayar S. K. 2002. *Lr48* and *Lr49*, noval hypersensitive adult plant leaf rust resistance genes in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica* 124: 365 — 370.
- Seyfarth, R., Feuillet, C., Schachermayr, G., Messmer, M., Winzeler, M., Keller, B., 2000. Molecular mapping of the adult-plant leaf rust resistance gene *Lr13* in wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Genet. & Breed.* 54: 193 — 198.
- Singh S., Sidhu J. S., Huang N., Vikal Y., Li Z., Brar D. S., Dhaliwal H. S., Khush G. S. 2001. Pyramiding three bacterial blight resistance genes (xa5, xa13 and Xa21) using marker-assisted selection into indica rice cultivar PR106. *Theor. Appl. Genet.* 102: 1011 — 1015.
- Singh R. P., McIntosh R. A. 1984. Complementary genes for resistance to *Puccinia recondita tritici* in *Triticum aestivum* II. Cytogenetic studies. *Can. J. Genet. Cytol.* 26: 736 — 742.
- Singh S., Franks C. D., Huang L., Brown-Guedira, G. L., Marshall D. S., Gill B.S. 2004. *Lr41*, *Lr39*, and a leaf rust resistance gene from *Aegilops cylindrica* may be allelic and are located on wheat chromosome 2DS. *Theor. Appl. Genet.* 108: 586 — 591.
- Singrün C., Hsam, S. L. K., Hartl L., Zeller F. J., Mohler V. 2003. Powdery mildew resistance gene *Pm22* in cultivar Virest is a member of the complex *Pm1* locus in common wheat (*Triticum aestivum* L. em, Thell.). *Theor. Appl. Genet.* 106: 1420 — 1424.
- Song W., Xie H., Liu Q., Xie C.J., Ni Z.F., Yang T. M., Sun Q., Liu Z. Y. 2007. Molecular identification of *Pm12*-carrying introgression line in wheat using genomic and EST-SSR markers. *Euphytica* 158: 95 — 102.
- Spielmeyer W., McIntosh, R. A., Kolmer J. 2005. Powdery mildew resistance and *Lr34/Yr18* to leaf and stripe rust cosegregate at a locus on the short arm of chromosome 7D of wheat. *Theor. Appl. Genet.* 111: 731 — 735.
- Stępień Ł., Golka L., Chelkowski J. 2003. Leaf rust resistance genes of wheat: identification in cultivars and resistance sources. *J. Appl. Genet.* 44 (2): 139 — 149.
- Suenaga K., Singh R. P., Huberta-Espino J., William H. M. 2003. Microsatellite markers for genes *Lr34/Yr18* and other quantitative trait loci for rust and stripe rust resistance in bread wheat. *Phytopathology* 93: 881 — 890.

- Tommasini L., Yahiaoui N., Srichumpa P., Keller B. 2006. Development of functional markers specific for seven *Pm3* resistance alleles and their validation in the bread wheat gene pool. *Theor. Appl. Genet* 114: 165 — 175.
- Tratwal A., Jakubowska M. 2004. Ocena przydatności systemów wspomagania decyzji o ochronie pszenicy ozimej przed mączniakiem prawdziwym na terenie Wielkopolski. *Postępy w Ochronie Roślin* 44: 1169 — 1172.
- Tyrka M., Chełkowski J. 2003. Enhancing the resistance of triticale by using genes from wheat and rye. *J. Appl. Genet.* 45 (3): 283 — 295.
- Vanzetti L. S., Campos P., Demichelis M., Lombardo L. A., Aurelia P. R., Vaschetto L. M., Bainotti C. T., Helguera M. 2011. Identification of leaf rust resistance genes in selected Argentinean bread wheat cultivars by gene postulation and molecular markers. *Electronic Journal of Biotechnology* ISSN: 0717-3458: 1 — 14.
- Vida G., Gál M., Uhrin A., Veisz O., Syed N. H., Flavell A. J., Wang Z., Bedő Z. 2009. Molecular markers for the identification of resistance genes and marker-assisted selection in breeding wheat for leaf rust resistance. *Euphytica* 170: 67 — 76.
- William M., Langridge P., Trethowan R., Dreisigacker S., Crouch J. 2008. Genomics of wheat, the basis of our daily bread. *Genomics of Tropical Plants* 15: 515 — 548.
- William H. M., Crosby M., Trethowan R., Ginkel M., Mujeeb-Kazi A., Pfeiffer W., Khairallah M., Hoisington D. 2003. Molecular marker service laboratory at CIMMYT: An interface between the laboratory and the field. 10th Intern. Wheat Genet. Symp., Paestum, Italy 2: 852 — 854.
- Wiśniewska H., Błaszczak L., Chełkowski J. 2007. Charakterystyka genotypów pszenicy pod kątem odporności na fuzariozę kłosów, mączniaka prawdziwego i rdzę brunatną. *Postępy Nauk Rolniczych* 6: 75 — 88.
- Witkowska K., Śmiałowski T., Witkowski E. 2011. Zależność plonu rodów pszenicy ozimej od stopnia porażenia przez *Stagonospora nodorum* i *Puccinia triticina* w zróżnicowanych warunkach polowych. *Biul. IHAR* 262: 47 — 58.
- Woźniak-Strzembicka A. 2003. Wirulencja populacji *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* w Polsce w latach 1998–2001. *Biul. IHAR* 230: 109 — 117.
- Xie C., Sun Q., Ni Z., Yang T., Nevo E., Fahima T. 2003. Chromosomal location of a *Triticum dicoccoides*-derived powdery mildew resistance gene in common wheat by using microsatellite markers. *Theor. Appl. Genet.* 106: 341 — 345.
- Yi Y. J., Liu H. Y., Haung X. Q., An L. Z., Wang F., Wang Z. L. 2008. Development of molecular markers linked to the wheat powdery mildew resistance gene *Pm4b* and marker validation for molecular breeding. *Plant Breed.* 127: 116 — 120.
- Zeller F. J., Lutz J., Reimlein E. I., Limpert E., Koenig J. 1993 a. Identification of powdery mildew resistance genes in common wheat (*Triticum aestivum* L). II. French cultivars. *Agronomie* 13: 201 — 207.
- Zhu Z., Zhou R., Kong X., Dong Y., Jia J. 2005. Microsatellite markers linked to a 2 powdery mildew resistance genes introgressed from *Triticum carthlicum* accession PS5 into common wheat. *Genome* 48: 585 — 590.

Strony internetowe:

<http://www.raportrolny.pl/zboza>.

www.pin.org.pl.

ANNA FRAŚ**DANUTA BOROS**Samodzielna Pracownia Oceny Jakości Produktów Roślinnych
Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB w Radzikowie

Wpływ warunków środowiska na zmienność zawartości alkilorezorcynoli w ziarnie pszenicy ozimej

Influence of environmental conditions on the variability of alkylresorcinols content in winter wheat grain

Celem badań było wykazanie wpływu genotypu i warunków środowiska, w tym lat uprawy na zmienność zawartości alkilorezorcynoli w ziarnie pszenicy ozimej. Materiał badawczy stanowiło ziarno 20 odmian i 4 linii pszenicy ozimej z Hodowli Roślin Strzelce z lat uprawy 2005–2007. Zawartość alkilorezorcynoli oznaczono metodą kolorymetryczną z zastosowaniem soli diazoniowej Fast Blue B. Wyniki poddano analizie statystycznej. Średnia zawartość alkilorezorcynoli w ciągu trzech lat badań wynosiła 552 mg/kg, przy wartości współczynnika zmienności 14%. Wykazano, że zawartość alkilorezorcynoli w latach 2005–2007 była zdeterminowana głównie warunkami środowiska (51%).

Słowa kluczowe: alkilorezorcynole, genotyp, pszenica ozima, środowisko, zmienność

The aim of the study was to show the effect of winter wheat genotype and harvest year on alkylresorcinols content and variability. Material for the study comprised of 20 varieties and 4 lines of winter wheat obtained from Plant Breeding Strzelce, harvested in years 2005–2007. Alkylresorcinols content was measured with a colorimetric method with the use of diazonium salt, Fast Blue B. All data were submitted to statistical analysis. The average content of alkylresorcinols in 2005–2007 was 552 mg/kg, with coefficient of variation 14%. The results indicated that variability of alkylresorcinols content during three harvest years was significantly affected by the environmental conditions (51%).

Key words: alkylresorcinols, genotype, winter wheat, environment, variability

WSTĘP

Ziarno pszenicy jest podstawowym surowcem do produkcji mąki, chleba, makaronów, kasz oraz wyrobów ciastkarskich. Z uwagi na wysoki udział przetworów z tego zboża

w diecie jest ono cennym źródłem substancji bioaktywnych, do których obok błonnika pokarmowego można zaliczyć alkilorezorcynole (5-n-alkilorezorcynole, lipidy rezorcynolowe, AR). Są to związki należące do klasy nieizoprenoidowych lipidów fenolowych, będących pochodnymi 1,3-dihydroksybenzenu. Związki te charakteryzują się łańcuchem bocznym o nieparzystej liczbie atomów węgla, podstawionym w pozycji 5 pierścienia benzenowego. W grupie roślin mających podstawowe zastosowanie w żywności i żywieniu, największe ilości alkilorezorcynoli występują w ziarnie zbóż (Kozubek i Tyman, 1999). Związki te zlokalizowane są głównie w zewnętrznych warstwach ziarna, stanowiących frakcję otrąb. Oznacza to, że większość z nich jest usuwana w procesie pozyskiwania mąki. Największą zawartość alkilorezorcynoli stwierdzono w ziarnie żyta, pszenżyta i pszenicy, natomiast ziarno jęczmienia, prosa i kukurydzy zawiera nieznaczne ilości tych związków (Lorenz i Hengtarkul, 1990; Kozubek i Tyman, 1999; Ross, 2003; Ross i in., 2003 a; Kulawinek i Kozubek, 2007; Landberg i in., 2008). Badania dotyczące alkilorezorcynoli prowadzone od kilkunastu lat wykazały, że związki te cechuje szeroki zakres korzystnych właściwości biologicznych, w związku z czym zaliczane są do substancji bioaktywnych. Proponowane są jako biomarkery spożycia produktów całoziarnowych pszennych i żytnich. Ważną cechą alkilorezorcynoli jest ich stabilność w procesie mieszenia ciasta i wypieku pieczywa (Ross, 2003). Ponadto diety bogate w produkty zawierające całe ziarna zbóż wpływają na zwiększenie stężenia alkilorezorcynoli w osoczu. Zawartość alkilorezorcynoli w produktach z całego ziarna waha się w zakresie od 142 do 1784 µg/g, w zależności rodzaju użytego ziarna (Chen i in., 2004; Ross i in., 2003 a). Alkilorezorcynole uznawane są za naturalny składnik ziarna chroniący je przed drobnoustrojami i szkodnikami, szczególnie podczas kiełkowania (Sałek, 1979; Kulawinek i Kozubek, 2007). Jako związki o budowie fenolowej mogą wykazywać właściwości przeciwutleniające (Kozubek i Tyman, 1999; Kamal-Eldin i in., 2000; Linko-Parvinen, 2006; Stasiuk i Kozubek, 2010). Ponadto wykazują działanie antymutagenne, antykancerogenne, przeciwbakteryjne i przeciwgrzybiczne (Gąsiorowski i in., 1996; Linko-Parvinen, 2006). Na podstawie badań prowadzonych ze szczurami wykazano, że spożycie alkilorezorcynoli (powyżej 0,4%) powoduje obniżenie całkowitego poziomu lipidów w wątrobie o prawie 20%, cholesterolu o 50%, przy jednoczesnym wzroście ilości gamma-tokoferolu (Gubernator i in., 1999; Ross, 2003; Ross i in., 2003 a; Ross i in., 2003 b; Linko i Adlercreutz, 2005; Kulawinek i Kozubek, 2007; Linko-Parvinen, 2006; Stasiuk i Kozubek, 2010).

Celem badań było wykazanie wpływu warunków środowiska, w tym lat uprawy na zmienność zawartości alkilorezorcynoli w ziarnie pszenicy ozimej.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły trzy zestawy ziarna pszenicy ozimej pochodzące kolekcji roboczej Hodowli Roślin Strzelce pochodzące z uprawy w latach 2005–2007. Z uprawy w latach 2005–2007 pochodziło po 20 odmian i 4 linie hodowlane pszenicy

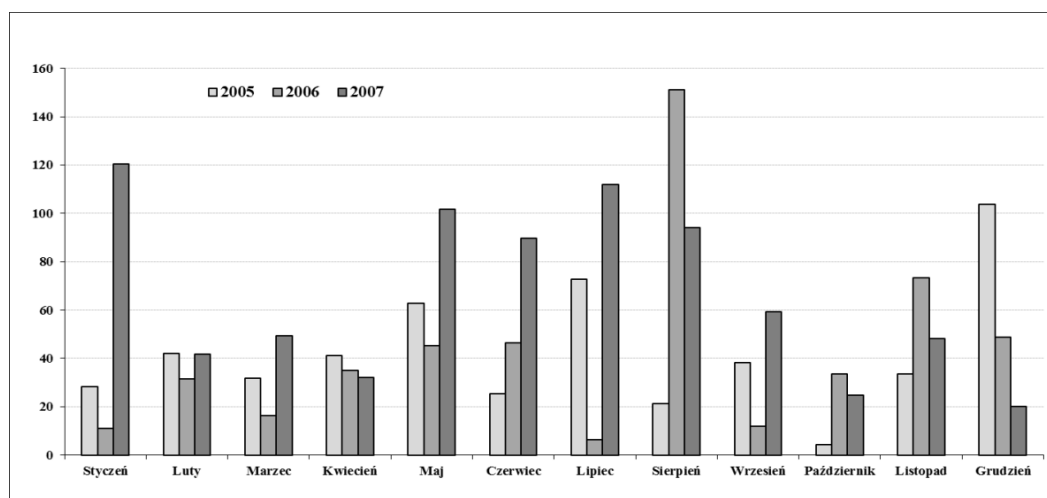
ozimej, a z uprawy w 2007 roku 20 odmian i 3 linie hodowlane. Charakterystykę miejsca uprawy oraz średni poziom opadów przedstawiono w tabeli 1 i na rysunku 1.

Tabela 1

Charakterystyka miejsca uprawy odmian w latach 2005–2007
Characteristics of field trial location in years 2005–2007

Sezon Season	2004/2005	2005/2006	2006/2007
Rodzaj gleby Soil type	brunatna właściwa typical brown soil	brunatna właściwa typical brown soil	brunatna właściwa typical brown soil
Klasa gleby Soil class	III a	III a	II
pH gleby Soil pH	—	6,3–6,6	6,2–6,5
Przedplon Forecrop	owies oat	rzepak ozimy winter rapeseed	owies oat
Termin siewu Sowing date	01.10.2004	27.09.2005	03.10.2006
Termin zbioru Harvest date	01.08.2005	08.08.2006	23.07.2007

— Brak danych;



Rys. 1. Poziom opadów ze stacji meteorologicznej HR Strzelce w latach 2005–2007 (mm)

Fig. 1. Level of rainfall from metrological station of HR Strzelce in years 2005–2007 (mm)

Alkilorezorcynole wyekstrahowano z całego ziarna i oznaczono metodą kolorymetryczną według Tłuscika i in. (1981) z użyciem soli diazoniowej Fast Blue B do rozwinięcia barwy. Próbkę całego ziarna (4 g) ekstrahowano w 16 ml acetonu, wytrząsając przez 4 godziny w temperaturze 50°C, a następnie umieszczono w ciemności na 16–20 godzin. Po tym czasie 20 µl ekstraktu acetonowego dodano do 4 ml roztworu soli diazoniowej Fast Blue B w kwasie octowym i alkoholu metylowym, wymieszano i umieszczono w ciemności na 60–120 minut w celu rozwinięcia barwy. Następnie odczytano

absorbancję przy długości fali 520 nm względem ślepej próby. Równocześnie wykonano krzywą kalibracyjną, w której jako standardu użyto 5-n-pentadecylresorcinolu w stężeniach 5, 10, 15 i 20 µl. Wyniki wyrażono w przeliczeniu na suchą masę ziarna, oznaczoną zgodnie ze standardową procedurą AACC 44-15A (AACC, 2003). Analizy wykonano przynajmniej w dwóch powtórzeniach, błąd każdej z nich nie przekracza 3%. Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej w oparciu o: analizę funkcji regresji liniowej, jedno i wielocechową analizę wariancji wraz z wyznaczeniem grup jednorodnych procedurą porównań wielokrotnych Tukeya, ocenę komponentów wariancyjnych metodą największej wiarygodności z restrykcją (REML) dla modeli liniowych. Analizy statystyczne wykonano przy użyciu Systemu SAS w wersji 9.2 (SAS Institute Inc., 2009).

WYNIKI I DYSKUSJA

Alkilorezorcynole (AR) ze względu na prozdrowotne właściwości należą do ważnych składników bioaktywnych, mimo ich niewielkich ilości w ziarniaku. Badania dotyczące stabilności tej cechy w różnych warunkach środowiska, mogłyby ułatwić selekcję uprawianych odmian pod kątem dużej zawartości alkilorezorcynoli. Stwierdzono istotne różnice pomiędzy odmianami, latami uprawy oraz istotną interakcją genotypowo-środowiskową dotyczącą zawartości alkilorezorcynoli (tab. 2), biorąc pod uwagę oceniany okres uprawy tj. lata 2005–2007.

Tabela 2

Analiza wariancji wyników oznaczenia zawartości alkilorezorcynoli (AR) w ziarnie pszenicy ozimej uprawianej w latach 2005–2007
Analysis of variance for alkylresorcinols (AR) content in winter wheat grain harvested in 2005–2007

	Odmiana Variety		Rok uprawy Harvest year		Interakcja G×E G×E interaction	
Składnik Component	MS1	Statystyka F F statistic	MS1	Statystyka F F statistic	MS1	Statystyka F F statistic
WEV	50762	68,76**	67871	910,1**	14215	19,25**

¹MS-średnia kwadratów; **dla P<0.01; *dla P<0.05; ²NA-nie oznaczany (jedno powtórzenie)

¹MS-mean square; **for P<0.01; *for P<0.05; ²NA-not analysed (one repetition)

Średnia zawartość alkilorezorcynoli w ziarnie, w latach uprawy 2005–2007 wynosiła 552 mg/kg, a wartość współczynnika zmienności 14,0%. Najmniejszą zawartość alkilorezorcynoli wykazano u odmian Mironowska 65 (426 mg/kg) oraz Mironowska 67 (427 mg/kg), natomiast największą — u odmiany Sukces (697 mg/kg) (tab. 3). Zawartość alkilorezorcynoli w badanym materiale mieściła się w zakresie typowym dla pszenicy. Wielu badaczy oznaczało poziom tych związków w ziarnie zbóż, w tym pszenicy. Kulawinek i in. (2008) uzyskali zawartość alkilorezorcynoli w całym ziarnie pszenicy w zakresie od 631 do 943 mg/kg. Szerszy zakres zawartości podają Ross i in. (2003 c), wynoszący w ziarnie pszenicy od 317 do 1010 mg/kg, natomiast Chen i in. (2004) oznaczyli zawartość alkilorezorcynoli w ziarnie pszenicy jarej w zakresie od 297 do 639 mg/kg, a w ziarnie pszenicy ozimej od 227 do 427 mg/kg.

Tabela 3

Grupy jednorodne i średnie zawartości alkilorezorcynoli [mg/kg] w ziarnie pszenicy ozimej uprawianej w latach 2005–2007

Homogenous groups and average alkylresorcinols (AR) content in winter wheat grain harvested in 2005–2007

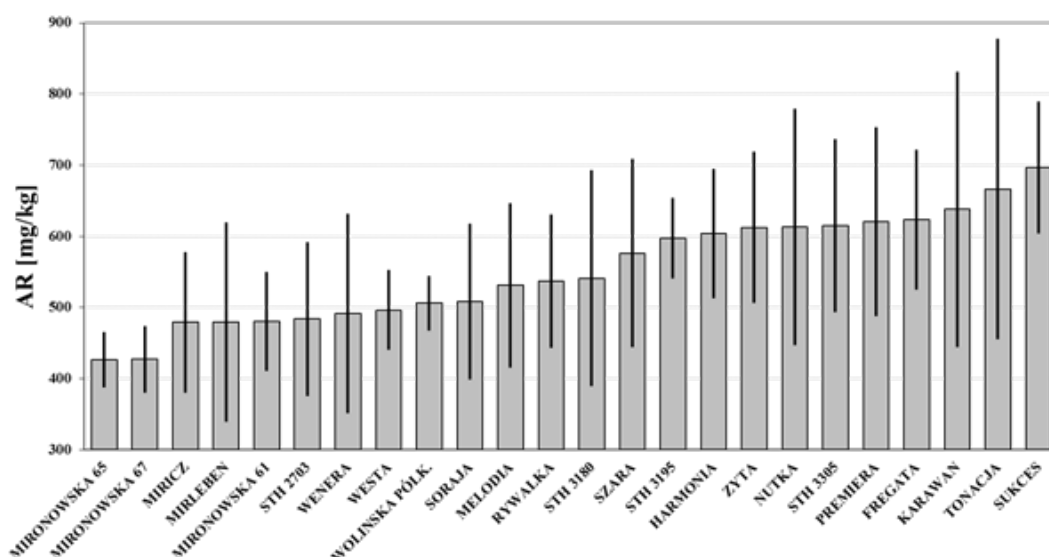
Odmiana Variety	2005	2006	2007	2005–2007
Fregata	551 ^{bcd}	736 ^{bc}	582 ^{cde}	623 ^{bcd}
Harmonia	506 ^{def}	686 ^{cde}	619 ^{bcd}	604 ^{cd}
Karawan	542 ^{bcd}	860 ^a	511 ^{efghi}	638 ^{bc}
Melodia	417 ^{gh}	648 ^{cdef}	528 ^{efg}	531 ^{efgh}
Miricz	387 ^h	584 ^{efghi}	466 ^{ghijkl}	479 ⁱ
Mirleben	425 ^{gh}	638 ^{cdefg}	374 ^m	479 ⁱ
Mironowska 61	401 ^{gh}	529 ^{hij}	513 ^{efghi}	481 ⁱ
Mironowska 65	381 ^h	449 ^j	448 ^{hijkl}	426 ^j
Mironowska 67	384 ^h	478 ^{ij}	420 ^{lm}	427 ^j
Nutka	516 ^{cde}	805 ^{ab}	518 ^{efgh}	613 ^{cd}
Premiera	470 ^{efg}	668 ^{cde}	723 ^a	621 ^{bcd}
Rywalka	439 ^{fgh}	626 ^{defgh}	546 ^{def}	537 ^{efg}
Soraja	448 ^{efgh}	634 ^{cdefgh}	442 ^{ijklm}	508 ^{fghi}
Sth 2703	413 ^{gh}	608 ^{efgh}	430 ^{klm}	484 ^{hi}
Sth 3180	579 ^{abc}	670 ^{cde}	374 ^m	541 ^{ef}
Sth 3195	557 ^{bcd}	637 ^{cdefg}	—	597 ^{cd}
Sth 3305	607 ^{ab}	741 ^{bc}	497 ^{fghijk}	615 ^{cd}
Sukces	632 ^a	804 ^{ab}	655 ^{abc}	697 ^a
Szara	516 ^{cde}	728 ^{bcd}	484 ^{fghijkl}	576 ^{de}
Tonacja	448 ^{efgh}	870 ^a	681 ^{ab}	666 ^{ab}
Wenera	395 ^h	652 ^{cdef}	426 ^{klm}	491 ^{ghi}
Westa	432 ^{gh}	537 ^{ghij}	519 ^{efgh}	496 ^{fghi}
Wolińska Półk.	469 ^{efg}	547 ^{fghij}	501 ^{fghij}	506 ^{fghi}
Zyta	570 ^{abcd}	733 ^{bc}	534 ^{efg}	613 ^{cd}

Wartości w kolumnach opatrzone nie tymi samymi literami różnią się istotnie przy $p < 0,05$

Values within a given column not followed by the same superscript letter are significantly different at $P < 0.05$

Odnosząc zawartości alkilorezorcynoli wyliczono wartości współczynników zmienności dla odmian w latach. Ponad połowa badanych odmian charakteryzowała się dużym zróżnicowaniem pod względem tego składnika w obrębie lat ($CV > 20,0\%$), przy czym najbardziej zróżnicowane były odmiany: Tonacja ($CV = 32,0\%$), Karawan ($CV = 30,0\%$), Nutka ($CV = 27,0\%$) oraz linia STH 3180 ($CV = 28,0\%$). Najmniejsze zróżnicowanie w latach w zawartości alkilorezorcynoli wykazano u dwóch odmian: Mironowska 65 ($CV = 9,0\%$) oraz Wolińska Półkarłowa ($CV = 8,0\%$) (rys. 2). Wysokie wartości współczynników zmienności sugerują, że zawartość alkilorezorcynoli w istotnym stopniu była zdeterminowana przez warunki środowiska.

Na podstawie testu Tukeya-Kramera stwierdzono, że wszystkie odmiany oraz lata uprawy istotnie różniły się zawartością alkilorezorcynoli. Odmiany pochodzące z uprawy w 2005 roku charakteryzowały mniejszą zmiennością w zawartości alkilorezorcynoli ($CV=16,0\%$), w porównaniu ze zmiennością w 2006 roku ($CV=17,0\%$) i 2007 roku ($CV=18,0\%$). W trzech latach prowadzonych badań odmiany istotnie różniły się pod względem zawartości alkilorezorcynoli. W 2005 roku, do grupy o najmniejszej zawartości alkilorezorcynoli zaliczono odmiany: Mironowska 65 (381 mg/kg), Mironowska 67 (384 mg/kg), Miricz (387 mg/kg) oraz Wenera (395 mg/kg).



Rys. 2. Wartości średnie i odchylenia standardowe oznaczenia zawartości alkilorezorcynoli (AR) w ziarnie pszenicy ozimej uprawianej w latach 2005–2007 (pionowymi liniami zaznaczono odchylenie standardowe w latach)

Fig. 2. The average values and standard deviations for alkylresorcinols content (AR) in winter wheat grain harvested in 2005–2007 (standard deviation within years is marked by vertical lines)

Największą zawartością tych związków odznaczała się odmiana Sukces (632 mg/kg). Wśród odmian z uprawy w 2006 roku, tylko Mironowska 65 wykazała najmniejszą zawartość alkilorezorcynoli (449 mg/kg), natomiast największą — Tonacja (870 mg/kg) oraz Karawan (860 mg/kg). W 2007 roku zakres zawartości alkilorezorcynoli w badanym materiale wynosił od 374 mg/kg u linii STH 3180 oraz odmiany Mirleben, do 723 mg/kg u odmiany Premiera (tab. 3). Zawartości alkilorezorcynoli w ziarnie badanych odmian pszenicy różniły się w istotny sposób w poszczególnych latach uprawy. Największą średnią zawartością tych związków charakteryzowały się odmiany z roku uprawy 2006 (661 mg/kg), następnie odmiany z roku 2007 (513 mg/kg) i w ostatniej kolejności odmiany uprawiane w roku 2005 (479 mg/kg) (tab. 4). Prawdopodobną przyczyną niewielkiej zawartości alkilorezorcynoli w omawianych latach była duża ilość opadów atmosferycznych w okresie od kłoszenia do zbioru ziarna, co mogło spowodować, że ziarno było większe, z mniejszym udziałem okrywy owocowo-nasiennej przypadającym na masę ziarniaka, a co za tym idzie mniejszą zawartością tego składnika. Ze względu na brak informacji dotyczących temperatury w Strzelcach, w okresie rozwoju ziarniaka trudno przewidzieć czy i jaki wpływ ten parametr wywarł na zawartość alkilorezorcynoli. Ogólna zmienność zawartości alkilorezorcynoli w Strzelcach zdeterminowana była przede wszystkim przez wpływ warunków środowiska (51%), następnie przez interakcję G×E (26,2%) i w ostatniej kolejności przez genotyp (22,7%) (tab. 4). Dane przedstawione powyżej wskazują, że zawartość AR jest cechą niestabilną pod względem hodowlanym.

Wy tłumaczeniem zależności uzyskanych w zawartości alkilorezorcynoli w ziarnie odmian uprawianych w ciągu trzech kolejnych sezonów wegetacyjnych może być zarówno pula genowa badanych odmian, jak również warunki klimatyczne, a także typ gleby, jej skład chemiczny czy też sposób nawożenia.

Tabela 4

Średnia zawartość alkilorezorcynoli (AR) oraz udział genotypu (G), lat uprawy oraz interakcji G×E w ich zmienności w ziarnie pszenicy ozimej uprawianej w latach 2005–2007
The average alkylresorcinols (AR) content and the contribution of genotype (G), harvest year (E) and G×E interaction in its variability in winter wheat grain harvested in 2005–2007

Parametr — Parameter	Rok uprawy Harvest year			Udział procentowy (%) Percentage of contribution		
	2005	2006	2007	G	E	G×E
AR (mg/kg)	479 ^c	661 ^a	513 ^b	22,7	51,0	26,2

Wartości w kolumnach opatrzone nie tymi samymi literami różnią się istotnie przy $p < 0,05$

Values within a given column not followed by the same superscript letter are significantly different at $P < 0.05$

Badania zmienności w zawartości alkilorezorcynoli w tych samych warunkach klimatycznych prowadził już w latach 60. Wieringa (1967), stwierdzając tylko nieznaczne zróżnicowanie pomiędzy latami uprawy w ziarnie badanych odmian żyta. Podobną zależność, pomiędzy latami uprawy a zawartością alkilorezorcynoli wykazali również Al-Requae i Lorenz (1990), natomiast Żarnowski i in. (2002) analizowali zawartość alkilorezorcynoli w ziarnie jęczmienia w ciągu kilku lat uprawy i wykazali, że poziom tych związków był uwarunkowany wpływem czynników środowiska, takich jak klimat, pogoda czy nawet nawożenie gleby. Andersson i in. (2010) także wykazali wpływ lat uprawy na zawartość alkilorezorcynoli w ziarnie pszenicy. Autorzy podają informację, że pomiędzy poszczególnymi latami badań wystąpiły istotne różnice w masie tysiąca ziarniaków, co potwierdza wpływ wielkości ziarniaka na zawartość alkilorezorcynoli. Inni badacze, na podstawie analizy zmienności zawartości alkilorezorcynoli w pszenicy uprawianej w różnych lokalizacjach sugerują, że poziom tych związków w istotnym stopniu jest zależny od czynników środowiskowych. Takie badania prowadzili Ross i in. (2003 a), wykazując bardzo duży zakres zmienności w zawartości alkilorezorcynoli w ziarnie (690–1200 $\mu\text{g/g}$) uprawianym w różnych lokalizacjach i sugerując, że na opisaną zmienność oprócz odmiany miały wpływ również czynniki takie, jak skład i nawożenie gleby czy też stosowanie pestycydów. Chen i in. (2004) badali zawartość alkilorezorcynoli w odmianach pszenicy uprawianych w różnych rejonach Szwecji i wykazali, że odmiany odznaczające się wyższym poziomem tych związków w jednym rejonie wykazały podobną zawartość alkilorezorcynoli w innym rejonie uprawy. Cytowani autorzy sugerują, że zawartość alkilorezorcynoli jest zdeterminowana zarówno przez genotyp jak i przez warunki środowiska.

PODSUMOWANIE

1. Zawartość alkilorezorcynoli w ziarnie pszenicy ozimej uprawianej w latach 2005–2007 była w największym stopniu zdeterminowana przez warunki środowiska.

2. Szeroki zakres zmienności genotypów pod względem zawartości alkilorezorcylin umożliwia selekcję odmian pszenicy o dużej ich zawartości w celu poszukiwania naturalnych źródeł składników bioaktywnych.

LITERATURA

- Andersson A. A. M., Kamal-Eldin A., Aman P. 2010. Effects of environment and variety on alkylresorcinols in wheat in the Healthgrain diversity screen. *J. Agric. Food Chem.* 58 (17): 9299 — 9305.
- Approved Methods of the AACC. 2003. AACC Method 44-15A (dry matter), American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, Minnesota, USA.
- Chen Y., Ross A. B., Aman P., Kamal-Eldin A. 2004. Alkylresorcinols as markers of whole grain wheat and rye in cereal products. *J. Agric. Food Chem.* 52: 8242 — 8246.
- Gąsiorowski K., Szyba K., Brokos B., Kozubek A. 1996. Antimutagenic activity of alkylresorcinols from cereal grains. *Cancer Letters*, 106: 109 — 115.
- Gubernator J., Stasiuk M., Kozubek A. 1999. Dual effect of alkylresorcinols, natural amphiphilic compounds, upon liposomal permeability. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1418: 253 — 260.
- Kamal-Eldin A., Pouru A., Eliasson C., Aman P. 2000. Alkylresorcinols as antioxidants: hydrogen and peroxy radical-scavenging effects. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81: 353 — 356.
- Kozubek A., Tyman J. H. P. 1999. Resorcinolic lipids, the natural non-isoprenoid phenolic amphiphiles and their biological activity. *Chemical Reviews*, Volume 99: 1.
- Kulawinek M., Kozubek A. 2007. 5-n-alkilorezorcynele ziaren zbóż i pełnoziarnistych produktów spożywczych jako biomarkery zdrowej żywności. *Postępy Biochemii*, 53 (3): 287 — 296.
- Kulawinek M., Jaromin A., Kozubek A., Zarnowski R. 2008. Alkylresorcinols in selected polish rye and wheat cereals and whole-grain cereal products. *J. Agric. Food Chem.*, 56: 7236 — 7242.
- Landberg R., Kamal-Eldin A., Salmenkallio-Marttila M., Rouau X., Aman P. 2008. Localization of alkylresorcinols in wheat, rye and barley kernels. *Journal of Cereal Science*, 48, 2: 401 — 406.
- Linko A. M., Adlcreutz H. 2005. Whole-grain rye and wheat alkylresorcinols are incorporated into human erythrocyte membranes. *British Journal of Nutrition*, 93: 11 — 13.
- Linko-Parvinen A. M. 2006. Cereal alkylresorcinols as dietary biomarkers-absorption and occurrence in biological membranes. Doctoral Thesis. Institute of Preventive Medicine. University of Helsinki, Finland.
- Lorenz K., Hengtrakul. 1990. Alkylresorcinols in cereal grains — nutritional importance and methods of analysis. *Lebensm. Wiss. Technol.* 23: 208 — 215.
- Ross A. B. 2003. Alkylresorcinols in cereal grains. Occurrence, absorption, and possible use as biomarkers of whole grain wheat and rye intake. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala.
- Ross A. B., Sheperd M. J., Bach Knudsen K. E., Glitsø L. V., Bowey E., Philips J., Rowland I., Guo Z. X., Massy D. J., Aman P., Kamal-Eldin A. 2003 a. Absorption of dietary alkylresorcinols in ileal — cannulated pigs and rats. *British Journal of Nutrition* 90: 787 — 794.
- Ross A. B., Kamal-Eldin A., Lundin E. A., Zhang J. X., Hallmans G., Aman P. 2003 b. Cereal alkylresorcinols are absorbed by humans. *The Journal of Nutrition*, 133: 2222 — 2234.
- Ross A. B., Sheperd M.J., Schupphaus M., Sinclair V., Alfardo B., Kamal-Eldin A., Aman P. 2003 c. Alkylresorcinols in cereals and cereals products. *J. Agric. Food Chem.* 51: 4111 — 4118.
- Sałek M. 1979. Występowanie 5-n-alkilorezorcyne w ziarnach zbóż. *Postępy Nauk Rolniczych*, 2/79: 57 — 66.
- Stasiuk M., Kozubek A. 2010. Biological activity of phenolic lipids. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 67: 841 — 860.
- Thüscik F., Kozubek A., Mejbbaum-Katzenellenbogen W. 1981. Alkylresorcinols in rye (*Secale cereale* L.) grains. VI: colorimetric micromethod for the determination of alkylresorcinols with the use of diazonium salt, Fast Blue B. *Acta Societas Botanica Polonica* 50: 645 — 651.

- Wieringa G. W. 1967. On the occurrence of growth inhibiting substances in rye. Veenman H., Zonen N.V. Wageningen.
- Żarnowski R., Suzuki Y., Yamaguchi I., Pietr S. J. 2002. Alkylresorcinols in barley (*Hordeum vulgare* L. *distichon*) grains. Z. Naturforsch. 57 C: 57 — 62.

PODZIĘKOWANIA

Dr inż. Dariuszowi R. Mańkowskiemu z Pracowni Ekonomiki Nasiennictwa i Hodowli Roślin, ZNIN IHAR — PIB za pomoc i zaangażowanie w opracowaniu statystycznym wyników niniejszej pracy. Pracownikom inżynieryjno-technicznym i technicznym SPOJPR IHAR — PIB za pomoc w wykonaniu analiz chemicznych.

IRENA KOLASIŃSKA¹
JACEK JAGODZIŃSKI¹
WALDEMAR BRUKWIŃSKI²
KATARZYNA BANASZAK²
BARBARA KOZBER²
RENATA KRYSZTOFIK²
MICHAŁ MATERKA³

¹ Zakład Genetyki i Hodowli Roślin IHAR — PIB w Radzikowie

² Danko Hodowla Roślin Sp. Z o.o.

³ Poznańska Hodowla Roślin Sp. z o.o.

Wartościowe komponenty rodzicielskie dla hodowli mieszańców żyta

Valuable parental components for creation of rye hybrids

Badano zdolność kombinacyjną zróżnicowanych komponentów matecznych oraz komponentów ojcowskich wytworzonych w programach hodowli mieszańców żyta. Komponenty rodzicielskie tworzonych mieszańców żyta zostały wyhodowane w firmach hodowlanych: Danko Hodowla Roślin Sp. z o.o., Poznańska Hodowla Roślin Sp. z o.o. i Hodowla Roślin Smolice Sp. z o.o. Krzyżowanie 29 męskosterylnych mieszańców pojedynczych (CMS-SC) z trzema populacjami przywracającymi płodność (Syn-R) wykonano w układzie czynnikowym na polach przestrzennie izolowanych. W okresie wegetacji 2012/2013 oceniono ogółem 87 mieszańców F₁ typu CMS-SC×Syn-R w trzech doświadczeniach polowych, które zostały założone metodą bloków niekompletnych w 3 miejscowościach i w 3 powtórzeniach. Wielkość poletka wynosiła 5 m², a gęstość siewu 250 kiełkujących ziaren/m². Analizowano następujące cechy: plon ziarna, masa 1000 ziaren, wysokość roślin, termin kłoszenia, intensywność pylenia, porażenie rdzą brunatną i mączniakiem, stopień wylegania. Obliczenia statystyczne wykonano za pomocą programów komputerowych SERGEN i EKSPLAN. Przeprowadzono analizę wariancji zdolności kombinacyjnej, oszacowano efekty ogólnej zdolności kombinacyjnej rodziców (GCA) i swoistej zdolności kombinacyjnej par rodzicielskich (SCA) oraz ich współdziałanie ze środowiskiem. Analiza wariancji wykazała istotne zróżnicowanie mieszańców pod względem wszystkich cech agronomicznych. Stwierdzono istotną zmienność ogólnej zdolności kombinacyjnej komponentów matecznych i ojcowskich dla większości cech. Zmienność swoistej zdolności kombinacyjnej okazała się istotna głównie dla wysokości roślin, intensywności pylenia i masy 1000 ziaren. Oszacowano wielkość i istotność średnich efektów GCA komponentów matecznych i ojcowskich. Ponadto testowano istotność interakcji GCA komponentów matecznych i ojcowskich ze środowiskiem. Wyodrębniono komponenty mateczne i ojcowskie o

wysokiej i stabilnej ogólnej zdolności kombinacyjnej plonu i innych cech agronomicznych, które mogą być wykorzystane w programach hodowli odmian mieszańcowych żyta.

Słowa kluczowe: hodowla odmian mieszańcowych, *Secale cereale* L., zdolność kombinacyjna, żyto

General combining ability (GCA) of various rye female components (CMS-SC) and male components (Syn-R) and specific combining ability (SCA) of parental pairs were determined. Parental components were created in three plant breeding companies: Danko Plant Breeding Ltd., Poznan Plant Breeding Ltd. and Smolice Plant Breeding Ltd. 87 F₁ rye hybrids (CMS-SC×Syn-R) were produced by crossing 29 female components (single male sterile hybrids) to three male components (restorer synthetics) in spatially isolated fields. In the season 2012/2013, rye hybrids were evaluated in three field trials (3 locations, 3 replicates, plot size — 5 m², sowing density — 250 viable kernels/m²). The following traits were assessed: grain yield, 1000 grain weight, plant height, heading date, pollen shedding, resistance to brown rust and lodging. Statistical analyses were made with the SERGEN and the EKSPLAN computer packages. Significant variation was found among experimental hybrids for all traits studied. General combining ability of both females and males was significant for majority traits in the experiments. Significant specific combining ability was detected mainly for the plant height, pollen shedding and 1000 grain weight. The GCA effects of female and male components for agronomic traits were estimated. Moreover, GCA effects × environment interactions were tested. Several female and male components with significant favourable and stable GCA effects for grain yield and other agronomic traits were selected for utilization in rye hybrid breeding.

Key words: combining ability, hybrid breeding, rye, *Secale cereale* L.

WSTĘP

Żyto ozime jest i pozostanie ważną gospodarczo rośliną zbożową w Polsce, ponieważ charakteryzuje się dobrym przystosowaniem do warunków glebowo-klimatycznych oraz szeregiem korzystnych cech agronomicznych i możliwością różnorodnego wykorzystania ziarna. W 2014 roku powierzchnia uprawy żyta ozimego wynosiła 886 tysięcy hektarów (Rocznik Statystyczny, 2015). W ostatnich latach rośnie zainteresowanie hodowlą i uprawą odmian mieszańcowych żyta. Obecnie w Krajowym Rejestrze znajduje się 23 odmian tego typu, które stanowią już 50% wszystkich odmian przeznaczonych na zbiór ziarna (http://www.coboru.pl/Polska/Rejestr/ListyOdmian/lista_rolnicze_2015.pdf). Niestety tylko trzy z nich to odmiany krajowe: Stach, Gradan, Tur. Wyniki badań wartości gospodarczej (WGO) w ramach systemu porejestrowego doświadczalnictwa odmianowego i rolniczego (PDOiR) wykazały, że odmiany mieszańcowe w latach 2011–2013 osiągnęły plon ziarna średnio o 18%, a w niektórych latach o ponad 20% wyższy w porównaniu z wzorcowymi odmianami populacyjnymi (COBORU, 2014). Metoda hodowli odmian mieszańcowych żyta jest jednak bardzo złożona, kosztowna, pracochłonna i czasochłonna. W programie hodowli istnieje konieczność wyprowadzenia dużej liczby linii wsobnych i ich męskosterylnych analogów, a następnie tworzenia licznych komponentów matecznych oraz wyprowadzania linii przywracających płodność i tworzenia licznych komponentów ojcowskich. Następnym etapem jest tworzenie dużej liczby kombinacji mieszańcowych w wyniku krzyżowania komponentów matecznych z ojcowskimi oraz ich ocena w doświadczeniach prowadzonych w zróżnicowanych warunkach środowiskach. Zastosowanie skutecznych metod identyfikacji wartościowych komponentów

tów i kombinacji rodzicielskich pozwala na zwiększenie efektywności i obniżenie kosztów programu hodowlanego. Tradycyjną metodą jest ocena zdolności kombinacyjnej, umożliwiającą identyfikację genotypów wyróżniających się zdolnością przekazywania korzystnych cech potomstwu. Znajomość zdolności kombinacyjnej dużej liczby genotypów żyta wytworzonych w puli matecznej i ojcowskiej umożliwia przewidywanie wartości ich potomstwa oraz wytworzenie kombinacji mieszańcowych o pożądanych cechach agronomicznych. Ponadto udział ogólnej zdolności kombinacyjnej (GCA) form rodzicielskich i swoistej zdolności kombinacyjnej (SCA) par rodzicielskich w zmienności genetycznej mieszańców wskazuje na sposób genetycznego uwarunkowania cech ilościowych, co z kolei pozwala na doskonalenie metody hodowli heterozyznej. W literaturze nie ma jednoznacznych poglądów o udziale ogólnej i swoistej zdolności kombinacyjnej w zmienności genetycznej mieszańców. Opracowania dotyczące zdolności kombinacyjnej genotypów żyta posiadających sterylizującą cytoplazmę Pampa są bardzo potrzebne dla efektywnej realizacji programów hodowli odmian mieszańcowych żyta.

Celem badań było poznanie zdolności kombinacyjnej nowo wytworzonych komponentów matecznych (CMS-SC) oraz wybranych komponentów ojcowskich (Syn-R) w zróżnicowanych warunkach środowiska.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badań stanowiło 87 mieszańców F_1 uzyskanych w wyniku krzyżowania 29 zróżnicowanych komponentów matecznych z trzema wybranymi populacjami ojcowskimi. Komponenty rodzicielskie (mateczne i ojcowskie) tworzonych mieszańców żyta pochodzą z trzech firm hodowlanych: Danko Hodowla Roślin Sp. z o.o., Poznańska Hodowla Roślin Sp. z o.o. i Hodowla Roślin Smolice Sp. z o.o. Komponenty mateczne, czyli męskosterylne mieszańce pojedyncze (CMS-SC), wytworzono w wyniku krzyżowania linii męskosterylnych w cytoplazmie Pampa (linie P) z liniami dopełniającymi sterylność (linie N). Komponentami ojcowskimi były trzy wybrane populacje syntetyczne przywracające płodność (Syn-R), uzyskane poprzez krzyżowanie linii restorerów: SR 20, WM 34R i 25R. W sezonie wegetacyjnym 2011/2012 wytworzono trzy grupy mieszańców (D01_13, D02_13 i D03_13) w wyniku krzyżowania 29 komponentów matecznych z trzema populacjami ojcowskimi na polach przestrzennie izolowanych, zlokalizowanych w tych trzech firmach hodowlanych. Pierwszą grupę (D01_13) stanowiło 33 mieszańców pochodzących z krzyżowania 11 komponentów matecznych (WSIN_13, WCSIN_338, WNSIN_1051, WCSIN_340, WNSIN_1050, WNSIN_1047, LSIN_57, WNSIN_1053, LSIN_64, LSIN_63, LSIN_58) z trzema populacjami ojcowskimi. Drugą grupę mieszańców (D02_13) uzyskano poprzez krzyżowanie dalszych 11 komponentów matecznych (CSIN_309, CSIN_314, WCSIN_264, SIN_55, SIN_58, SIN_54, SIN_57, SIN_56, SIN_59, NSIN_1018, NSIN_1007) z tymi samymi populacjami ojcowskimi. Trzecią grupę mieszańców (D03_13) wytworzono poprzez krzyżowanie dalszych 7 komponentów matecznych (WSIN_45, WSIN_46, WSIN_50, WSIN_51, WSIN_52, WSIN_48, WSIN_49) z wymienionymi populacjami ojcowskimi.

W sezonie wegetacyjnym 2012/2013 przeprowadzono badanie wartości cech mieszańców w trzech doświadczeniach polowych (D01_13, D02_13 i D03_13) zlokalizowanych w trzech firmach hodowlanych. W doświadczeniach tych oceniano ogółem 102 mieszańce pok. F₁, w tym 87 mieszańców eksperymentalnych pochodzących z krzyżowania 29 komponentów matecznych (CMS-SC) z trzema populacjami ojcowskimi i 15 dodatkowych mieszańców. I tak w doświadczeniach D01_13 i D02_13 przeprowadzonych w NAGRADOWICACH, RADZIKOWIE i CHORYNI oceniono ogółem 36 mieszańców, w tym 33 mieszańce grupy pierwszej i drugiej z trzema wzorcami. W doświadczeniu D03_13 oceniono ogółem 30 mieszańców, w tym 21 mieszańców grupy trzeciej, trzy wzorce i sześć obiektów dodatkowych. Wszystkie doświadczenia polowe zostały założone metodą bloków niekompletnych w trzech powtórzeniach. Wielkość poletka wynosiła 5m², a gęstość siewu 250 kiełkujących ziaren/m². Oceniono następujące cechy: plon ziarna, masa 1000 ziaren, wysokość roślin, wczesność kłoszenia mierzona liczbą dni od 1.05 do początku kłoszenia roślin, intensywność pylenia, porażenie mączniakiem, porażenie rdzą brunatną i wyleganie. Trzy ostatnie cechy oznaczono w skali 1–9°, przy czym 9° — najlepszy. Wszystkie cechy oznaczono w trzech powtórzeniach każdej miejscowości prowadzonych doświadczeń. Obliczenia statystyczne, wykonane za pomocą programów komputerowych SERGEN i EKSPLAN (Caliński i in., 2003; Krajewski i in., 2006; Mądry i in., 2010), obejmowały: analizę wariancji, analizę zdolności kombinacyjnej, oszacowanie efektów ogólnej zdolności kombinacyjnej rodziców (GCA), oszacowanie efektów swoistej zdolności kombinacyjnej par rodzicielskich (SCA) oraz określenie wielkości i istotności interakcji czynników głównych ze środowiskiem.

WYNIKI

Analiza wariancji wykazała istotną zmienność środowiska oraz istotną zmienność mieszańców pod względem wszystkich cech agronomicznych w każdym doświadczeniu (tab. 1, 2, 3). Stwierdzono istotną interakcję mieszańców ze środowiskiem dla większości cech, a szczególnie dla wysokości roślin i porażenia rdzą brunatną. Analiza wariancji zdolności kombinacyjnej wykazała istotne zróżnicowanie komponentów matecznych pod względem większości cech agronomicznych (tab. 1, 2, 3). We wszystkich grupach komponentów matecznych wykazano istotną zmienność ogólnej zdolności kombinacyjnej dla cech: plon ziarna, wysokość roślin, masa 1000 ziaren i pylenie. Ponadto w dwóch grupach komponentów matecznych stwierdzono istotną zmienność GCA dla wczesności kłoszenia oraz porażenia mączniakiem i rdzą brunatną. Komponenty mateczne żadnej grupy nie wykazały istotnego zróżnicowania pod względem GCA wylegania. Wyniki wszystkich trzech doświadczeń wskazują, że wybrane komponenty ojcowskie istotnie różniły się ogólną zdolnością kombinacyjną dla wszystkich cech z wyjątkiem porażenia mączniakiem i rdzą brunatną. Zmienność swoistej zdolności kombinacyjnej (SCA) najczęściej była nieistotna wśród ocenianych par rodzicielskich (tab. 1, 2, 3). Istotną zmienność SCA wśród dwóch grup par rodzicielskich stwierdzono pod względem takich cech jak: wysokość roślin, pylenie i masa 1000 ziaren.

Tabela 1

Średnie kwadraty z analizy wariancji mieszańców żyta ocenianych w doświadczeniu D01_13
Mean squares from the analysis of variance of rye hybrids evaluated in the D01_13 experiment

Źródło zmienności Source of variation	St. sw. Df	Plon Yield	Kłoszenie Heading	Pylenie Pollen shedding	Wysokość Height	Mączniak Powdery mildew	Rdza brunatna Brown rust	Wyleganie Lodging	MTZ TGW
Środowiska /E/ Environments /E/	2	19,6**	181,6**	4,67**	11,2**	99,4**	0,56*	105,5**	65,4**
Mieszańce /H/ Hybrids /H/	35	0,37**	0,85**	1,06**	0,34**	0,89**	0,32**	4,34**	5,29**
H × E	70	0,06**	0,20	0,27**	0,06**	0,42**	0,29**	1,03	0,47
GCA matek GCA of females	10	0,10**	0,44**	0,46**	0,10**	0,18	0,11	0,83	2,50**
GCA ojców GCA of males	2	0,14*	0,85**	0,41*	0,29**	0,23	0,10	4,68**	2,49**
SCA	20	0,04	0,15	0,52**	0,07*	0,33	0,18	1,01	0,85
GCA matek × E GCA of females × E	20	0,02**	0,09*	0,12**	0,03**	0,14**	0,04	0,40	0,17
GCA ojców × E GCA of males × E	4	0,03**	0,20	0,03*	0,01	0,04	0,01	0,03	0,05
SCA × E	40	0,03	0,14	0,23*	0,06	0,35*	0,40**	0,98	0,47
Błąd Error	216	0,03	0,17	0,10	0,04	0,21	0,14	0,79	0,57

*, ** Istotne odpowiednio na poziomie $\alpha = 0,05$ i $\alpha = 0,01$

*, ** Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

Tabela 2

Średnie kwadraty z analizy wariancji mieszańców żyta ocenianych w doświadczeniu D02_13
Mean squares from the analysis of variance of rye hybrids evaluated in the D02_13 experiment

Źródło zmienności Source of variation	St. sw. Df	Plon Yield	Kłoszenie Heading	Pylenie Pollen shedding	Wysokość Height	Mączniak Powdery mildew	Rdza brunatna Brown rust	Wyleganie Lodging	MTZ TGW
Środowiska /E/ Environments /E/	2	16,5**	177,7**	16,4**	7,16**	75,8**	1,58**	64,6**	112,8**
Mieszańce /H/ Hybrids /H/	35	0,33**	1,25**	0,85**	0,84**	1,13**	1,54**	6,31**	8,43**
H × E	70	0,03	0,21**	0,21**	0,07**	0,57**	0,73**	1,17**	1,19
GCA matek GCA of females	10	0,17**	0,59**	0,33**	0,32**	0,85**	0,98**	0,66	3,81**
GCA ojców GCA of males	2	0,13*	0,80**	0,70**	0,77**	0,26	0,61	7,83**	3,75*
SCA	20	0,08**	0,28**	0,10	0,04	0,23	0,38*	0,90	2,17**
GCA matek × E GCA of females × E	20	0,01	0,08**	0,09**	0,02	0,42**	0,41**	0,20	0,24
GCA ojców × E GCA of males × E	4	0,01	0,03	0,09**	0,04**	0,03	0,07*	0,29**	0,28*
SCA × E	40	0,04	0,18*	0,13	0,04	0,30*	0,55**	1,19**	1,17
Błąd Error	216	0,03	0,13	0,11	0,04	0,20	0,21	0,58	0,85

*, ** Istotne odpowiednio na poziomie $\alpha = 0,05$ i $\alpha = 0,01$

*, ** Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

Tabela 3

Średnie kwadraty z analizy wariancji mieszańców żyta ocenianych w doświadczeniu D03_13
Mean squares from the analysis of variance of rye hybrids evaluated in the D03_13 experiment

Źródło zmienności Source of variation	St. sw. Df	Plon Yield	Kłoszenie Heading	Pylenie Pollen shedding	Wysokość Height	Mączniak Powdery mildew	Rdza brunatna Brown rust	Wyleganie Lodging	MTZ TGW
Środowiska /E/ Environments /E/	2	19,11**	195,8**	13,9**	5,4**	68,1**	115,7**	142,6**	425,0**
Mieszańce /H/ Hybrids /H/	29	0,27**	0,95**	0,92**	0,54**	0,89**	1,27**	3,55**	10,43**
H × E	28	0,05**	0,22**	0,16	0,05*	0,26	0,23*	1,27**	1,95**
GCA matek GCA of females	6	0,18**	0,26	0,25*	0,21**	0,79*	1,59**	0,74	7,29**
GCA ojców GCA of males	2	0,10*	0,86**	0,34*	0,44**	0,24	0,06	2,02**	3,16**
SCA	12	0,04	0,17	0,33**	0,13**	0,43	0,17	0,61	1,81**
GCA matek × E GCA of females × E	12	0,02	0,11*	0,03	0,01	0,10	0,11	0,23	0,86**
GCA ojców × E GCA of males × E	4	0,01	0,07**	0,00	0,01	0,03	0,02	0,87	3,16**
SCA × E	24	0,04	0,18	0,14	0,05	0,26	0,26	0,34	1,53**
Błąd Error	154	0,03	0,12	0,11	0,03	0,24	0,13	0,55	0,20

*, ** Istotne odpowiednio na poziomie $\alpha = 0,05$ i $\alpha = 0,01$

*, ** Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

Istotną zmienność SCA dla plonu, wczesności kłoszenia i porażenia rdzą wykazano tylko w jednej grupie par rodzicielskich. Natomiast zmienność SCA dla porażenia mączniakiem i wylegania okazała się nieistotna we wszystkich grupach par rodzicielskich. Istotną interakcję GCA matek ze środowiskiem najczęściej stwierdzono w doświadczeniach D01_13 i D02_13 dla cech: wczesność kłoszenia, intensywność pylenia i porażenie mączniakiem. Interakcja GCA ojców ze środowiskiem odegrała niewielką rolę, gdyż w dwóch doświadczeniach okazała się istotna tylko dla pylenia i masy 1000 ziaren. Interakcja SCA ze środowiskiem najczęściej była nieistotna.

Analiza zdolności kombinacyjnej umożliwiła szczegółowe oszacowanie wartości i istotności efektów ogólnej zdolności kombinacyjnej (GCA) 29 komponentów matecznych i trzech komponentów ojcowskich oraz swoistej zdolności kombinacyjnej (SCA) 87 par rodzicielskich. Spośród komponentów matecznych pierwszej grupy wyróżnił się WSIN 13, który charakteryzuje się wysoką zdolnością kombinacyjną plonu ziarna (tab. 4). Średni efekt GCA wynosił 7,11 dt/ha i był istotnie różny od zera. Pozostałe cechy jego półrodzeństwa były zbliżone do średniej ogólnej kombinacji w wykonanym układzie krzyżowania, na co wskazują efekty GCA nieistotnie różne od zera. Okazało się, że komponenty mateczne tej grupy miały zbliżoną zdolność kombinacyjną (brak istotnie różnych od zera efektów GCA) dla takich cech jak: wysokość, porażenie mączniakiem, wyleganie. Stwierdzono istotne interakcje efektów GCA niektórych matek ze środowiskiem głównie dla wylegania i plonu ziarna. W doświadczeniu o największej precyzji, przeprowadzonym w Radzikowie, potwierdzono zdolność genotypu WSIN 13

do tworzenia wysokoplennych mieszańców o zwiększonej odporności na rdzę, wyleganie i masie 1000 ziaren (dane nie przedstawione w pracy).

Tabela 4

Średnie efekty GCA komponentów matecznych pierwszej grupy (D01_13)
Mean GCA effects of female components of the D01_13 group

Komponent mateczny Female component	Plon Yield	Kłoszenie Heading	Pylenie Pollen shedding	Wysokość Height	Mączniak Powdery mildew	Rdza brunatna Brown rust	Wyleganie Lodging	MTZ TGW
WSIN_13	7,11*	-0,89	-1,40	-1,40	-0,06	0,07	0,66	1,53
WCSIN_338	3,77	0,27	1,59	1,59	0,50	0,15	0,51	1,65
WNSIN_1051	1,16	-0,17	0,19	0,19	-0,15	-0,001	0,03	-0,41
WCSIN_340	1,00	0,16*	3,20	3,20	-0,31	0,44	0,59	1,59**
WNSIN_1050	0,54	-0,17	1,34	1,34	0,10	0,11	0,36	0,58
WNSIN_1047	-0,03	-0,37	-2,88	-2,88	-0,08	0,01	-0,23	-0,41
LSIN_57	-1,14	0,28	0,43	0,43	0,38	0,04	-0,37	-0,65
WNSIN_1053	-1,22	-0,31	-2,21	-2,21	-0,21	-0,05	0,46	-1,40*
LSIN_64	-1,93	0,81	0,83	0,83	0,03	-0,27**	-0,20	-0,62
LSIN_63	-3,01	0,69	-0,32	-0,32	-0,02	-0,22	-0,53	-0,66
LSIN_58	-6,25*	-0,29	-0,76	-0,76	-0,17	-0,29	-1,28	-1,21**

*, ** Istotnie różne od zera odpowiednio na poziomie $\alpha = 0,05$ i $0,01$

*, ** Significantly different from zero at the 0.05 and 0.01 levels of significance, respectively

Pogrubiona czcionka — istotna interakcja GCA ze środowiskiem

In bold — significant GCA $\times$ environment interaction

Tabela 5

Średnie efekty GCA komponentów matecznych drugiej grupy (D02_13)
Mean GCA effects of female components of the D02_13 group

Komponent mateczny Female component	Plon Yield	Kłoszenie Heading	Pylenie Pollen shedding	Wysokość Height	Mączniak Powdery mildew	Rdza brunatna Brown rust	Wyleganie Lodging	MTZ TGW
CSIN_314	10,73*	-0,14	3,50	3,50	-0,22	1,74	0,85	3,77
CSIN_309	4,67	-0,16*	0,97	0,97	0,05	-0,21	0,31	0,17
WCSIN_264	4,10*	-0,46	0,24	0,24	0,14	-0,84	0,11	-0,66
SIN_55	1,69	0,47*	-1,58	-1,58	0,51	0,03	0,00	-0,29
SIN_58	-0,06	0,36	2,82*	2,82*	-0,06	-0,97	-0,08	0,99
SIN_54	-0,74	0,07	-1,18*	-1,18*	0,06	0,33	0,26	-0,67
SIN_57	-2,10*	0,59	3,97*	3,97*	0,81	0,21	-0,52*	0,08
SIN_56	-2,68	-0,14	2,83	2,83	0,65	0,08	-0,58*	0,01
SIN_59	-2,73	-0,06	-5,08*	-5,08*	-0,78	0,01	0,28	-1,15
NSIN_1018	-6,06*	-0,62	-2,61**	-2,61**	-0,31	-0,02	-0,76	-1,31**
NSIN_1007	-6,82*	0,10	-3,88**	-3,88**	-0,86	-0,37	0,12	-0,95

*, ** Istotnie różne od zera odpowiednio na poziomie $\alpha = 0,05$ i $0,01$

*, ** Significantly different from zero at the 0.05 and 0.01 levels of significance, respectively

Pogrubiona czcionka — istotna interakcja GCA ze środowiskiem

In bold — significant GCA $\times$ environment interaction

Na uwagę zasługuje także komponent WCSIN 340, który łączył istotne dodatnie efekty GCA pięciu cech (plon, odporność na mączniaka, rdzę, wyleganie i MTZ) z istotnymi niekorzystnymi efektami dla kłoszenia i wysokości. Komponenty mateczne drugiej grupy

(tab. 5) charakteryzowały się istotnymi efektami GCA ważnych cech agronomicznych. Dwa z nich — CSIN 314 i WCSIN 264 warunkowały wysoki potencjał plonowania swojego potomstwa, przy zachowaniu pozostałych cech na poziomie średniej wszystkich kombinacji w wykonanym układzie krzyżowania (efekty GCA nieistotnie różne od zera).

Średnie efekty GCA tych komponentów matecznych dla plonu ziarna wynosiły odpowiednio 10,73 dt/ha i 4,10 dt/ha. Ponadto okazało się, że cztery komponenty (SIN 59, SIN 54, NSIN 1007 i NSIN 1018) można wykorzystać w programie hodowlanym do tworzenia mieszańców o obniżonej wysokości roślin. Żaden komponent nie wykazał istotnie różnych od zera efektów GCA dla porażenia rdzą i mączniakiem, co często było wynikiem istotnej interakcji tych efektów GCA ze środowiskiem. Wielkość efektów GCA komponentów matecznych w doświadczeniu wykonanym w Radzikowie (dane nie przedstawione w pracy) potwierdza, że komponenty CSIN 314 i WCSIN 264 przekazują potomstwu wysoką zdolność plonowania. Ponadto wykazano, że potomstwo CSIN 314 charakteryzowało się wyższą odpornością na rdzę, wyleganie i masą 1000 ziaren niż średnia ogólna tego doświadczenia. Szczegółowa analiza efektów GCA w doświadczeniu przeprowadzonym w Radzikowie dodatkowo wskazuje, że komponent SIN 55 stwarza szanse poprawienia kilku cech potomstwa: plonu, pylenia, odporności na rdzę i mączniaka oraz obniżenia wysokości roślin. Analiza średnich efektów GCA komponentów matecznych trzeciej grupy (tab. 6) wykazała, że WSIN 45 tworzył mieszańce o wysokim potencjale plonowania i odporności na choroby (istotne dodatnie efekty GCA) nie powodując pogorszenia pozostałych cech agronomicznych (nieistotnie różne od zera efekty GCA). Jego mieszańce plonowały średnio o 8,92 dt/ha powyżej średniej wszystkich mieszańców w doświadczeniu D03_13.

Tabela 6

Średnie efekty GCA komponentów matecznych trzeciej grupy (D03_13)
Mean GCA effects of female components of the D03_13 group

Komponent mateczny Female component	Plon Yield	Kłoszenie Heading	Pylenie Pollen shedding	Wysokość Height	Mączniak Powdery mildew	Rdza brunatna Brown rust	Wyleganie Lodging	MTZ TGW
WSIN_45	8,92*	-0,37	-1,44	-1,44	0,36**	1,04**	0,98	2,50
WSIN_46	4,02	-0,14*	1,62*	1,62*	0,78*	1,47	0,79	2,68
WSIN_50	-0,46	0,61*	4,58**	4,58**	-0,38	-0,64	-0,31	0,06
WSIN_51	-1,35	-0,19	-2,38*	-2,38*	-0,39	-0,49	-0,80	-1,18
WSIN_52	-1,82	-0,30*	-1,88	-1,88	0,19	-0,39	-0,61	-2,14**
WSIN_48	-3,95	0,13	-1,35	-1,35	-0,63	-0,40	0,27	-0,39
WSIN_49	-5,36	0,25	0,83	0,83	0,08	-0,59*	-0,32	-1,52

*, ** Istotnie różne od zera odpowiednio na poziomie $\alpha = 0,05$ i $0,01$

*, ** Significantly different from zero at the 0,05 and 0,01 levels of significance, respectively

Pogrubiona czcionka — istotna interakcja GCA ze środowiskiem

In bold — significant GCA $\times$ environment interaction

Ponadto komponent mateczny WSIN 45 wpłynął korzystnie na masę 1000 ziaren, wysokość roślin i odporność na wyleganie potomstwa. Wysoką zdolność kombinacyjną tej matki potwierdzają także wielkości efektów GCA oszacowane w poszczególnych miejscowościach. Na uwagę zasługuje także komponent mateczny WSIN 46, który

w warunkach Radzikowa wykazał dobrą zdolność kombinacyjną czterech cech: plon, odporność na mączniaka i rdzę oraz masa 1000 ziaren (dane nie przedstawione w pracy).

We wszystkich doświadczeniach wykazano istotną zmienność GCA komponentów ojcowskich pod względem większości cech agronomicznych (tab. 1, 2, 3). Jednak w żadnym doświadczeniu nie stwierdzono istotnego zróżnicowania GCA komponentów ojcowskich pod względem porażenia mączniakiem i rdzą brunatną. Zestawienie średnich efektów GCA komponentów ojcowskich dla cech agronomicznych w trzech doświadczeniach wykazała, że większość z nich różniła nieistotnie od zera (tab. 7).

Tabela 7

Średnie efekty GCA komponentów ojcowskich oszacowane na podstawie wyników trzech doświadczeń D01, D02 i D03 przeprowadzonych w 2013 roku

Mean GCA effects of male components estimated in three experiments D01, D02 and D03 performed in 2013

Komponent ojcowski Male component	Plon Yield			Wysokość Height			Kłoszenie Heading			Pylenie Pollen shedding		
	D01	D02	D03	D01	D02	D03	D01	D02	D03	D01	D02	D03
SR 20	3,62	4,12	3,07	0,20	0,28*	0,32	-0,46	-0,61	-0,39*	-2,54*	-4,23**	-2,77**
WM 34R	1,67	0,30	0,73	0,24*	0,30*	0,29*	0,001	0,01	0,00	-0,91	-1,45	-1,63*
25R	-5,28	-4,41*	-3,80	-0,44	-0,58**	-0,62	0,46	0,60	0,40	3,46*	5,68**	4,40**

Komponent ojcowski Male component	Mączniak Powdery mildew			Rdza brunatna Brown rust			Wyleganie Lodging			MTZ TKW		
	D01	D02	D03	D01	D02	D03	D01	D02	D03	D01	D02	D03
SR 20	0,28	0,35**	0,31	0,27	0,66	0,24	1,13*	1,41*	0,99	0,90	1,23	1,07
WM 34R	-0,14	-0,25	-0,24	-0,13	-0,31	-0,11	0,18	0,38*	-0,11	0,16	0,16	0,30
25R	-0,14	-0,10	-0,07	-0,15	-0,35	-0,13	-1,31*	-1,79*	-0,88	-1,05*	-1,39	-1,37

*, ** Istotnie różne od zera odpowiednio na poziomie $\alpha = 0,05$ i $0,01$

*, ** Significantly different from zero at the 0,05 and 0,01 levels of significance, respectively

Pogrubiona czcionka — istotna interakcja GCA ze środowiskiem

In bold — significant GCA $\times$ environment interaction

Pośród populacji ojcowskich na uwagę zasługuje SR 20, charakteryzująca się korzystnymi efektami GCA większości cech agronomicznych, jednak najczęściej nieistotnie różnymi od zera. I tak populacja SR 20 wyróżniła się efektem GCA plonu wynoszącym 3,62 dt/ha, 4,12 dt/ha i 3,07 dt/ha odpowiednio w doświadczeniach D01_13, D02_13 i D03_13. Jednak te efekty GCA nie były istotnie wyższe od zera i wykazały istotną interakcję ze środowiskiem w dwóch pierwszych doświadczeniach. Stwierdzono, że głównymi zaletami tej populacji ojcowskiej jest tworzenie plennych mieszańców o wcześniejszym terminie kłoszenia i wyższej odporności na wyleganie. Jednak główną wadą tej populacji jest słaba zdolność przywracania męskiej płodności, o czym świadczą istotne ujemne efekty GCA pylenia, wyznaczone na podstawie wyników oceny potomstwa z wszystkimi komponentami matecznymi. Natomiast populacja 25R wykazała najwyższą efektywność przywracania płodności mieszańcom (istotne dodatnie efekty GCA), ale jednocześnie wpłynęła niekorzystnie na pozostałe cechy potomstwa z wyjątkiem wysokości roślin (ujemne efekty GCA).

DYSKUSJA

Badania przeprowadzone w 2013 roku są kontynuacją wcześniejszych prac nad poznaniem genetycznego uwarunkowania ważnych cech agronomicznych oraz zdolności kombinacyjnej heterozygotycznych genotypów, pochodzących z programów hodowli odmian mieszańcowych żyta (Kolasińska i in., 2011, 2012). W badaniach tych wykorzystano zróżnicowane genetycznie komponenty mateczne (męskosterylne mieszańce pojedyncze) oraz komponenty ojcowskie (syntetyki restorery) wytworzone w trzech firmach hodowlanych: Danko Hodowla Roślin Sp. z o.o., Poznańska Hodowla Roślin Sp. z o.o. i Hodowla Roślin Smolice Sp. z o.o. Oszacowanie wielkości i istotności efektów GCA komponentów matecznych i ojcowskich oraz ich interakcji ze środowiskiem umożliwiło poznanie ich wpływu na wartość cech agronomicznych tworzonych z ich udziałem kombinacji mieszańcowych. Praktycznym efektem badań było wyselekcjonowanie komponentów matecznych wyróżniających się wysoką i stabilną zdolnością kombinacyjną plonu ziarna i pozostałych cech agronomicznych: WSIN 13, WSIN 45, CSIN 314 i WCSIN 264 oraz perspektywicznej populacji ojcowskiej SR 20. Otrzymane wyniki umożliwiają wykorzystanie wybranych komponentów matecznych i komponentów ojcowskich do tworzenia różnego rodzaju mieszańców żyta o pożądanym cechach agronomicznych.

Badania wykazały, że ogólna zdolność kombinacyjna odgrywa główną rolę w zmienności genetycznej mieszańców wytworzonych z udziałem ocenianych komponentów matecznych i ojcowskich. Jest to zgodne z wynikami wcześniejszych badań własnych oraz niektórych autorów, prowadzonych z udziałem heterozygotycznych materiałów hodowlanych żyta (Grochowski i in., 1996; Bujak, 2003; Kolasińska i Węgrzyn, 2001; Kolasińska, 2009; Kolasińska i in., 2011, 2012). Zmienność swoistej zdolności kombinacyjnej (SCA) okazała się istotna tylko w niektórych grupach par rodzicielskich głównie dla masy 1000 ziaren, wysokości roślin i pylenia, będącego wskaźnikiem przywrócenia męskiej płodności mieszańcom z cytoplazmą Pampa. Znaczącą zmienność SCA par rodzicielskich także wykazano we wcześniejszych badaniach tego typu mieszańców głównie dla intensywności pylenia (Kolasińska, 2009; Kolasińska i in., 2011), wczesności kłoszenia (Kolasińska i in., 2012) i masy 1000 ziaren (Kolasińska, 2009). W przedstawionych badaniach, podobnie jak i we wcześniejszych pracach, stwierdzono brak istotnej zmienności SCA dla stopnia wylegania i porażenia mączniakiem (Kolasińska i in., 2011). Z dotychczasowych badań własnych wynika, że wariancja SCA miała największy udział w zmienności genetycznej intensywności pylenia mieszańców (Kolasińska, 2009; Kolasińska i in., 2011). Wyniki badań prowadzonych z wykorzystaniem współczesnych materiałów hodowlanych żyta wskazują, że ogólna zdolność kombinacyjna odgrywa większą rolę w przypadku materiałów zróżnicowanych, a swoista zdolność kombinacyjna u materiałów spokrewnionych (Wilde i in., 2003). Podobnie Melchinger i Gumber (1998) uważają, że zmienność GCA jest ważniejsza niż SCA u mieszańców pochodzących z krzyżowania rodziców należących do różnych puli genowych. Natomiast zmienność SCA odgrywa większą rolę u mieszańców z krzyżowania rodziców pochodzących z tej samej puli genowej.

Przeprowadzone badania wykazały przewagę addytywnego działania genów nad nieaddytywnym w dziedziczeniu analizowanych cech agronomicznych. Wyniki dotychczasowych badań prowadzonych z wykorzystaniem heterozygotycznych genotypów także wskazują na główną rolę addytywnego działania genów lub przewagę tego typu działania genów w warunkowaniu większości cech ilościowych (Grochowski i in., 1996; Kolasińska i Węgrzyn 2001; Bujak, 2003; Kolasińska, 2009; Kolasińska i in., 2011, 2012). Jednak niektóre badania prowadzone z wykorzystaniem linii wsobnych i populacji żyta wykazały, że nieaddytywne działanie genów także ma istotne znaczenie w dziedziczeniu cech ilościowych, szczególnie plonu ziarna i niektórych jego komponentów (Łapiński, 1976; Kaczmarek i Kadłubiec, 1985; Węgrzyn i Śmiałowski, 1995). Zdaniem tych autorów istotną rolę w dziedziczeniu tych cech żyta odgrywa dominacja i epistaza z niewielkim udziałem addytywnych efektów genetycznych. Poznanie sposobu działania genów warunkujących cechy agronomiczne u żyta wymaga prowadzenia dalszych badań z udziałem dużej liczby zróżnicowanych i spokrewnionych genotypów w różnych warunkach środowiska.

WNIOSKI

1. Mieszańce eksperymentalne żyta wytworzone w wyniku krzyżowania zróżnicowanych komponentów matecznych z wybranymi populacjami ojcowskimi wykazały istotne zróżnicowanie pod względem wszystkich analizowanych cech.
2. W zmienności genetycznej mieszańców żyta główną rolę odgrywała ogólna zdolność kombinacyjna. Zmienność swoistej zdolności kombinacyjnej okazała się istotna tylko w niektórych grupach genotypów dla niektórych cech.
3. Analiza zdolności kombinacyjnej powinna być prowadzona w doświadczeniach zlokalizowanych w kilku zróżnicowanych warunkach środowiska.
4. Postęp w hodowli odmian mieszańcowych żyta można osiągnąć poprzez wykorzystanie komponentów matecznych: WSIN 13, WSIN 45, CSIN 314 i WCSIN 264 oraz komponenta ojcowskiego SR 20, które wyróżniły się wysoką i stabilną zdolnością kombinacyjną plonu ziarna i niektórych cech agronomicznych.

LITERATURA

- Bujak H. 2003. Studia nad wartością hodowlaną żółtoziarnistych form żyta ozimego. Rozprawy CC. Zesz. Nauk. AR Wrocław, nr 465.
- Calinski T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P. 2003. Metodyka statystyczna i obsługa programu SERGEN 4 przeznaczonego do analizy serii doświadczeń odmianowych i genetyczno-hodowlanych. Podręcznik użytkownika programu SERGEN 4. Instytut Genetyki Roślin PAN i Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych Akademii Rolniczej, Poznań: 1 — 65.
- COBORU. 2015. Lista opisowa odmian roślin rolniczych 2015. (http://www.coboru.pl/Polska/Rejestr/ListyOdmian/lista_rolnicze_2015.pdf).
- Geiger H. H. 1985. Hybrid breeding in rye (*Secale cereale* L.). Proc. Eucarpia Meeting of the Cereal Section on Rye, Svalöv, Sweden: 237 — 265.
- Grochowski L., Kaczmarek J., Kadłubiec W., Bujak H. 1996. Genetic analysis of variability and combining ability of rye hybrid cultivars. Plant Breed. Seed Sci. 40: 37 — 47.
- GUS. 2015. Rocznik Statystyczny. Wydawnictwo Statystyczne, Warszawa.

- Kaczmarek J., Kadłubiec W. 1985. Oszacowanie efektów wartości kombinacyjnej 7 linii wsobnych żyta (*Secale cereale* L.) w diallelicznym krzyżowaniu. Hod. Rośl. Aklim. Nasien. 29, 5/6: 61 — 68.
- Kolasieńska I., Węgrzyn S. 2001. Combining ability for selected quantitative characters in winter rye (*Secale cereale* L.). Cereal Res. Commun. 29, 1–2: 69 — 76.
- Kolasieńska I. 2009. Genetyczno-hodowlane aspekty wykorzystania systemu CMS-Pampa w hodowli heterozyznej żyta. Monografie i Rozprawy Naukowe nr 31, IHAR Radzików.
- Kolasieńska I., Brukwiński W., Jagodziński J., Materka M. 2011. Zdolność kombinacyjna wybranych form rodzicielskich żyta. Biul. IHAR 260/261: 229 — 239.
- Kolasieńska I., Brukwiński W., Jagodziński J., Kozber B., Krysztofik R., Materka M. 2012. Określenie zdolności kombinacyjnej komponentów matecznych do tworzenia mieszańców żyta. Biul. IHAR 265: 35 — 46.
- Krajewski P., Kaczmarek Z., Czajka S. 2006. EKSPLAN (wersja 2) — Planowanie i analiza statystyczna doświadczeń hodowlanych. IGR PAN w Poznaniu.
- Łapiński M. 1976. Estimates of heterosis effects and combining ability of seven inbred lines of rye (*Secale cereale* L.) in diallel crosses. Genet. Pol. 17, 3: 293 — 308.
- Mądry W., Mańkowski D., Kaczmarek Z., Krajewski P., Stadnicki M. 2010. Metody statystyczne oparte na modelach liniowych w zastosowaniach do doświadczałnictwa, genetyki i hodowli roślin. Monografie i Rozprawy Naukowe nr 34, IHAR Radzików.
- Melchinger A. E., Gumber R. K. 1998. Overview of heterosis and heterotic groups in agronomic crops. In: Concepts and breeding of heterosis in crop plants. Lamkey K. R. and Staub J. S. (eds). CSSA Publication, Madison, 25: 29 — 44.
- Węgrzyn S., Śmiałowski T. 1995. Sposoby działania genów epistatycznych, dominujących i addytywnych kontrolujących ważne cechy użytkowe w odmianach populacyjnych żyta. Biul. IHAR 195/196: 273 — 281.
- Wilde P., Menzel J., Schmiedchen B. 2003. Estimation of general and specific combining ability variances and their implications on hybrid rye breeding. Plant Breed. Seed Sci. 47: 89 — 98.

PIOTR BARBAŚ¹BARBARA SAWICKA²¹ Zakład Agronomii Ziemniaka, IHAR — PIB Oddział w Jadwisinie² Katedra Technologii Produkcji Roślinnej i Towaroznawstwa, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Zawartość witaminy C w bulwach ziemniaka w zależności od sposobu pielęgnacji

The content of vitamin C in potato tubers depending on different methods of potato production

Celem badań polowych przeprowadzonych w latach 2007–2009 była ocena zawartości witaminy C w bulwach ziemniaka uprawianego w warunkach stosowania różnych metod pielęgnacji. Doświadczenie przeprowadzono w zakładzie doświadczalnym IHAR — PIB w Jadwisinie na glebie płowej, o składzie granulometrycznym piasku gliniastego. Eksperyment założono metodą losowanych podbloków w układzie zależnym, split-plot, w trzech powtórzeniach. Czynnikiem I rzędu były odmiany ziemniaka: Irga i Fianna, czynnik II rzędu stanowiły sposoby pielęgnacji: 1) Obiekt kontrolny — bez chemicznej ochrony i zabiegów mechanicznych; 2) Ekstensywne zabiegi mechaniczne, (co 2 tygodnie) od posadzenia aż do zwarcia rzędów; 3) Sencor 70 WG — 1 kg·ha⁻¹ przed wschodami ziemniaka; 4) Sencor 70 WG — 1 kg·ha⁻¹ + Titus 25 WG — 40 g·ha⁻¹ + Trend 90 EC — 0,1% przed wschodami ziemniaka; 5) Sencor 70 WG — 0,5 kg·ha⁻¹ po wschodach ziemniaka; 6) Sencor 70 WG — 0,3 kg·ha⁻¹ + Titus 25 WG — 30 g·ha⁻¹ + Trend 90 EC — 0,1% po wschodach ziemniaka; 7) Sencor 70 WG — 0,3 kg·ha⁻¹ + Fusilade Forte 150 EC — 2 dm·ha⁻¹ po wschodach ziemniaka; 8) Sencor 70 WG — 0,3 kg·ha⁻¹ + Apyros 75 WG 26,5 g·ha⁻¹ + Atpolan 80 SC — 1 dm·ha⁻¹ po wschodach ziemniaka. Do opryskiwania roślin herbicydami używano 300 dm·ha⁻¹ wody. Zbiór bulw przeprowadzono w fazie dojrzałości technicznej ziemniaka. Oznaczenia witaminy C przeprowadzono metodą Tillmansa. O zawartości witaminy C w bulwach ziemniaka istotnie decydował czynnik odmianowy. Wyższą zawartością witaminy C charakteryzowała się średnio późna Fianna niż średnio wczesna Irga. Wpływ sposobów pielęgnacji na zawartość witaminy C był uzależniony od warunków atmosferycznych w latach badań

Słowa kluczowe: ziemniak, odmiana, metody pielęgnowania, witamina C

The test results were based on a field experiment conducted in 2007–2009 in IHAR — PIB in Jadwisin on lessive soil with granulometric composition of the loamy sand. Experiment was planned according to the method of drawn subblocks in the dependent arrangement, split-plot, in three replications. The first tested factor were cultivars of potato, Irga and Fianna, factor II, row weed control methods were: 1. object control — without chemical protection and mechanical treatments; 2. extensive mechanical treatments (every 2 weeks) after planting until row closure; 3. Sencor 70 WG

— 1 kg·ha⁻¹ pre-emergence of the potatoes; 4. Sencor 70 WG — 1 kg·ha⁻¹ + Titus 25 WG — 40 g·ha⁻¹ + Trend 90 EC — 0.1% pre-emergence of the potatoes; 5. Sencor 70 WG — 0.5 kg·ha⁻¹ after emergence of the potatoes; 6. Sencor 70 WG — 0.3 kg·ha⁻¹ + Titus 25 WG — 30 g·ha⁻¹ + Trend 90 EC — 0.1% after emergence of the potatoes; 7. Sencor 70 WG — 0.3 kg·ha⁻¹ + Fusilade Forte 150 EC — 2 dm·ha⁻¹ after emergence of the potatoes; 8. Sencor 70 WG — 0.3 kg·ha⁻¹ + Apyros 75 WG 26.5 g·ha⁻¹ + Atpolan 80 SC — 1 dm·ha⁻¹ after emergence of the potatoes. Spraying of the plants with herbicides was consuming 300 dm·ha⁻¹ of water. Harvests of tubers were performed when technical maturity of the potato was reached. Vitamin C content measurements were performed according to the Tillmans's method. Genetic factor decided largely about the value of this trait. Higher content of vitamin C was found in medium late cultivar Fianna than in medium early Irga. The influence of weed control systems on the content of vitamin C was dependent on weather conditions during the years of research

Key words: potato, cultivars, weeding control methods, vitamin C

WSTĘP

Ziemniak przeznaczony na cele jadalne powinien odznaczać się wysokim plonem bulw, o jak najwyższych parametrach jakościowych. O jakości bulw decyduje ich skład chemiczny, który jest modyfikowany przez oddziaływanie genotypu, środowiska i agrotechniki na roślinę ziemniaka w czasie wegetacji. Czynniki te wpływają na metabolizm rośliny, powodując kształtowanie się składu chemicznego bulw (Gleń i in., 2005; Gugala i in., 2007; Järvan i Edesi, 2009).

Ziemniak charakteryzuje się wysoką wartością odżywczą. W opinii Leszczyńskiego (2012) bulwa ziemniaka konsumpcyjnego zawiera średnio 77% wody; ok. 16% skrobi; 0,5% cukrów, ok. 2% białka; ponad 1% składników mineralnych; 2,3% błonnika pokarmowego i ok. 0,1% lipidów, a także kwasy organiczne, polifenole i wiele witamin. Ważnym składnikiem bulw, z punktu widzenia żywieniowego, jest kwas askorbinowy, który wraz z kwasem dehydroaskorbinowym stanowi witaminę C (Rytel i Lisińska, 2007; Hasse, 2008; Love i Pavék, 2008; Lutaładio, 2009; Grudzińska, 2012). Jej ilość waha się w przedziale od 14 do 30 mg·100 g⁻¹ świeżej masy bulw i jest jedną z najważniejszych cech jakościowych, uwzględnianych w ocenie odmian jadalnych ziemniaka (Leszczyński, 2012). Jest ona najsilniej działającym przeciwutleniaczem rozpuszczalnym w wodzie, który pełni rolę ochronną, w stosunku do chorób nowotworowych i chorób układu krążenia (Naidu, 2003; Czerwiecki, 2006; Asensi-Fabado i Munné-Bosch, 2010). Szajdek i Borowska (2004) oraz Oguntiebeju (2008) podkreślają dużą rolę witaminy C w neutralizowaniu aktywności wolnych rodników, które w żywności powstają głównie podczas smażenia, wędzenia i przechowywania.

Zastosowanie herbicydów do pielęgnacji ziemniaka ogranicza wprowadzenie szkodliwe działanie chwastów, ale może wpływać na zmiany w składzie chemicznym bulw, w tym witaminy C (Zarzecka i Gugala, 2003; Zarzecka i in., 2007). Stąd też celem badań była ocena zawartości witaminy C w bulwach ziemniaka uprawianego w warunkach stosowania zróżnicowanych metod pielęgnacji.

MATERIAŁ I METODY

Badania polowe przeprowadzono w latach 2007–2009, w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowym Instytucie Badawczym w Jadwisinie, na glebie płowej, o składzie granulometrycznym piaszczysto-gliniastym, kompleksu żyniego słabego, średnio zasobnej w przyswajalny fosfor, potas i magnez. Eksperyment założono metodą losowanych podbloków w układzie zależnym, split-plot, w trzech powtórzeniach. W doświadczeniu badano dwa czynniki: czynnikiem I rzędu były odmiany ziemniaka: Irga i Fianna, czynnikiem II rzędu stanowiły sposoby pielęgnacji ziemniaka: 1) Obiekt kontrolny — bez odchwaszczania; 2) Ekstensywne zabiegi mechaniczne, (co 2 tygodnie) od posadzenia aż do zwarcia rzędów; 3) Sencor 70 WG — $1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ przed wschodami ziemniaka; 4) Sencor 70 WG — $1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ + Titus 25 WG — $40 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ + Trend 90 EC — $0,1\%$ przed wschodami ziemniaka; 5) Sencor 70 WG — $0,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ po wschodach ziemniaka; 6) Sencor 70 WG — $0,3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ + Titus 25 WG — $30 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ + Trend 90 EC — $0,1\%$ po wschodach ziemniaka; 7) Sencor 70 WG — $0,3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ + Fusilade Forte 150 EC — $2 \text{ dm} \cdot \text{ha}^{-1}$ po wschodach ziemniaka; 8) Sencor 70 WG — $0,3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ + Apyros 75 WG $26,5 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ + Atpolan 80 SC — $1 \text{ dm} \cdot \text{ha}^{-1}$ po wschodach ziemniaka. Do opryskiwania roślin herbicydami zużywano $300 \text{ dm} \cdot \text{ha}^{-1}$ wody. Metrybuzynę stosowano w formie preparatu Sencor 70 WG, sulfosulfuron — w postaci preparatu Apyros 75 WG; rimsulfuron — w formie herbicydu Titus 25 WG; fluazyfop — w postaci preparatu Fusilade Forte 150 EC. Przedplonem ziemniaka była pszenica ozima, po zbiorze, której wysiewano międzyplon z gorczycy białej na przyoranie. Po zbiorze pszenicy stosowano nawożenie azotowe — $50 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, wykonywano podorywkę, a następnie siew gorczycy białej w ilości $20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Jesienią każdego roku, poprzedzającego sadzenie, stosowano nawożenie mineralne, fosforowo-potasowe w ilości $39,3 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ oraz $116,2 \text{ kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$, które przyorano orką przedzimową. Nawozy azotowe wysiewano wiosną, w ilości $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, mieszając je z glebą za pomocą agregatu uprawowego (kultywator + wał strunowy). Bulwy ziemniaka, w klasie C/A, sadzono ręcznie, w trzeciej dekadzie kwietnia, w rozstawie $75 \times 33 \text{ cm}$. Opryskiwanie herbicydami wykonano ręcznie przy użyciu opryskiwacza plecakowego. Ochronę ziemniaka przed chorobami i szkodnikami stosowano zgodnie z zaleceniami IOR. Do ochrony przed alternarią i zarazą ziemniaka stosowano preparaty, takie jak: Tattoo C 750 SC w dawce $2,5 \text{ dm} \cdot \text{ha}^{-1}$, Altima 500 SC — $0,4 \text{ dm} \cdot \text{ha}^{-1}$, Pyton 60 WG — $1,25 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, Ridomil Gold MZ 60 WG — $2,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. W celu ograniczenia stonki ziemniaczanej stosowano insektycydy: Actara 25 WG w dawce $0,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, Proagro 100 SL — $0,25 \text{ dm} \cdot \text{ha}^{-1}$, Calypso 480 SC — $0,75 \text{ dm} \cdot \text{ha}^{-1}$ oraz Mospilan 20 SP w ilości $0,05 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Zbiór bulw przeprowadzano kopaczką elewatorową w trzeciej dekadzie września. Podczas zbioru z każdego poletka pobrano reprezentatywne próby bulw do analiz chemicznych. Oznaczenia witaminy C przeprowadzono metodą Tillmansa (Pijanowski i in., 1964) w Laboratorium Chemicznym IHAR — PIB w Jadwisinie.

Wyniki badań poddano analizie statystycznej. Parametry funkcji określano metodą najmniejszych kwadratów, a weryfikację istotności testem t Studenta. Oceny istotności różnic pomiędzy porównywanymi średnimi dokonano za pomocą wielokrotnych

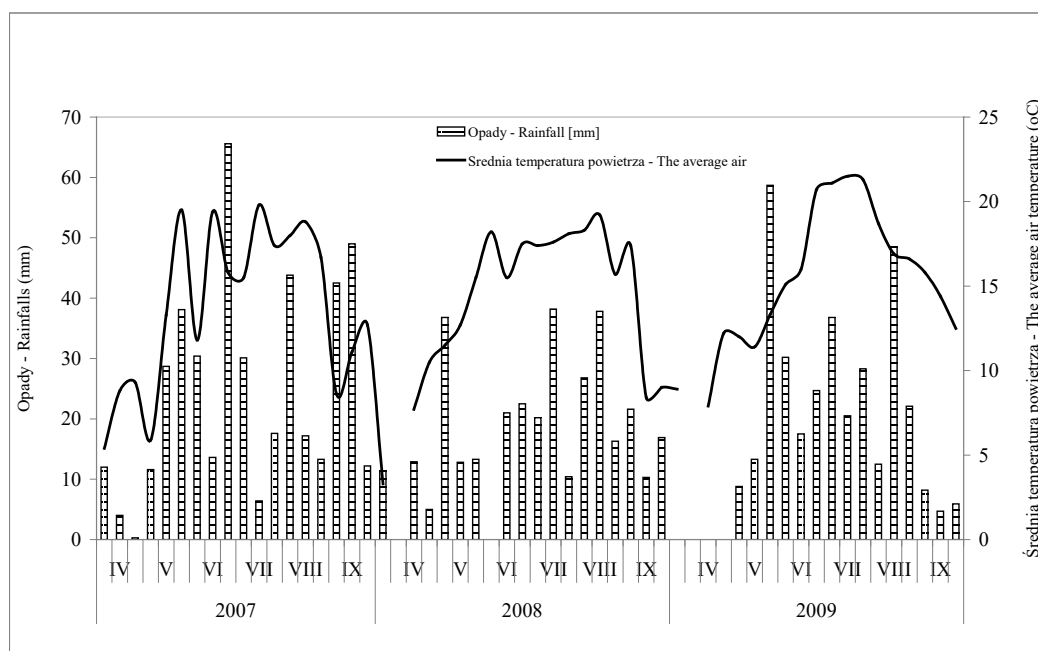
przedziałów Tukeya. Ponadto wyliczono współczynniki zmienności (Trętowski i Wójcik, 1991).

Do scharakteryzowania warunków termiczno-wilgotnościowych, w latach badań, wykorzystano dane Stacji Meteorologicznej usytuowanej na terenie Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowego Instytutu Badawczego w Jadwisinie. Na podstawie tych danych obliczono wartości współczynnika hydrotermicznego Sielianiowa, określanego wzorem Baca i in. (1998):

$$K = \frac{P \times 10}{\sum t}$$

gdzie: P — suma opadów miesięcznych, t — miesięczna suma temperatury powietrza.

Warunki okresu wegetacji, w latach 2007–2009, charakteryzowały się zróżnicowanymi temperaturami powietrza oraz zmienną ilością i nierównomiernym rozkładem opadów w poszczególnych miesiącach wegetacji (rys. 1, tab. 1). Rok 2007 można określić, jako wilgotny, o czym zadecydowały bardzo mokry czerwiec i wrzesień, rok 2008 — jako dość wilgotny, a 2009, jako rok o najbardziej korzystnych warunkach wilgotnościowych dla rozwoju ziemniaka, mimo, że kwiecień i wrzesień były skrajanie suche lub suche, to opady w tych miesiącach nie decydowały o plonie bulw (tab. 1).



Rys. 1. Opady i temperatura powietrza w okresie wegetacji ziemniaka wg stacji meteorologicznej IHAR — PIB w Jadwisinie (lata 2007–2009), na tle średnich wieloletnich

Fig. 1. Rainfalls and air temperature during the growing season of potato according to the weather station at IHAR — PIB in Jadwisin (2007–2009), against the multiannual averages

Tabela 1

Współczynniki hydrotermiczne Sielianinowa* wg stacji meteorologicznej w Jadwisinie
Hydrothermal coefficients of Sielianinov according to the meteorological station in Jadwisin

Miesiąc Month	Lata Years			Średnia Mean
	2007	2008	2009	
Kwiecień	0,69	1,36	0,0	0,68
Maj	1,93	1,64	2,12	1,90
Czerwiec	2,32	0,84	1,38	1,51
Lipiec	0,99	1,22	1,28	1,16
Sierpień	1,34	1,48	1,54	1,45
Wrzesień	3,20	1,40	0,44	1,68
Średnia — Mean	1,75	1,32	1,13	1,40

*Współczynnik Sielianinowa o wartości K w przedziale 0,0–0,5 oznacza suszę, od 0,6 do 1,0 — posuchę, a wartość powyżej 1,0 charakteryzuje warunki wilgotne

* Sielianinov's coefficient with a K value in the range of 0.0–0.5 means drought, from 0.6–1.0 — moderate drought, and a value above 1.0 means wet conditions

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Zawartość witaminy C w bulwach ziemniaka kształtowała się od 10,1 do 18,2 mg·100 g⁻¹ świeżej masy. Czynniki genetyczne decydowały istotnie o zawartości witaminy C w bulwach badanych odmian ziemniaka. Większą zawartością tego składnika odznaczała się średnio późna odmiana Fianna a istotnie mniejszą — średnio wczesna Irga (tab. 2). Podobne wyniki uzyskała Sawicka (1991) badając zróżnicowanie 34 odmian ziemniaka pod względem zawartości witaminy C, gdzie wartość ta wahała się od 10,05 do 18,42 mg·100 g⁻¹. Grudzińska i Zgórska (2011) wykazały, że minimalna zawartość witaminy C w bulwach po zbiorze wynosi 14 mg·100 g⁻¹, natomiast maksymalna 24 mg·100 g⁻¹. Podobne wyniki otrzymali Hamouz i in. (2009), porównując 9 odmian ziemniaka podali, iż zawartość kwasu askorbinowego w bulwach ziemniaka, w warunkach Republiki Czeskiej, waha się w granicach 14–24 mg·100 g⁻¹ świeżej ich masy. Dużo większe różnice w zawartości witaminy C między odmianami, stwierdzili Burgos i in. (2009) — od 6,5 do 36,9 mg·100 g⁻¹ oraz Nortdbotten i in. (2000) — od 14 do 46 mg·100 g⁻¹ świeżej masy bulw. Sawicka i in. (2014) dowiedli, iż w kształtowaniu się zawartości witaminy C przeważa udział zmienności genotypowej (55,5%). W przeprowadzonych badaniach udział tej zmienności stanowił 44%, natomiast dominującym źródłem zmienności okazały się czynniki środowiska. Stanowią one, bowiem zespół czynników, które przybierają różne wartości i wywierają wpływ na skład chemiczny bulw. Do warunków środowiska zalicza się: temperaturę otoczenia, odczyn podłoża, wilgotność powietrza i gleby, siłę wiatru, promieniowanie słoneczne, zasolenie gleby lub wody (Bac i in., 1998; Sawicka i in., 2015). Współczynnik zmienności stężenia witaminy C w bulwach, w przeprowadzonych badaniach, był stabilny i kształtował się w granicach od 6,7 do 16,2%, przy czym odmiana Irga charakteryzowała się większą stabilnością tej cechy niż odmiana Fianna (tab. 2).

W przeprowadzonych badaniach sposoby pielęgnacji plantacji nie wpłynęły istotnie na zawartość witaminy C w bulwach ziemniaka. Zaobserwowano jednak tendencję

do większej akumulacji tego składnika przy aplikacji mieszaniny herbicydów Sencor 70 WG i Titus 25 WG, stosowanych po wschodach ziemniaka (tab. 2). Podobne zależności obserwowali Zarzecka i in. (2007) w obiektach odchwaszczanych herbicydami, w porównaniu z kombinacją kontrolną, pielęgnowaną wyłącznie mechanicznie. W doświadczeniach Kraski (2002) intensyfikacja ochrony roślin przed chwastami zwiększyła zawartość witaminy C w bulwach ziemniaka o 5,6%, co wynikało z wydłużenia okresu wegetacji.

Tabela 2

Zawartość witaminy C w zależności od sposobów pielęgnowania, odmian i lat w świeżej masie bulw (mg·100 g⁻¹)

Vitamin C content in the fresh tuber mass depending on cultivation method, cultivars and years (mg·100 g⁻¹)

Odmiany Cultivars	Lata Years	Sposoby pielęgnacji Weed control systems								Średnia Mean	Współczyn- niki zmienności Coefficient variability
		1*	2	3	4	5	6	7	8		
Irga	2007	10,2	10,2	10,7	11,2	11,3	10,2	10,8	10,1	10,5	6,7
	2008	16,6	17,7	15,9	16,4	16,4	17,7	17,1	18,3	17,0	8,1
	2009	12,6	12,9	11,5	13,3	12,9	15,3	12,4	11,5	12,8	7,4
	średnia — mean	13,1	13,6	12,7	13,6	13,5	14,4	13,4	13,3	13,4	7,4
Fianna	2007	14,1	12,2	13,4	12,1	12,5	12,6	13,5	13,1	12,9	10,9
	2008	17,8	18,2	16,7	17,0	17,5	17,7	17,0	17,4	17,4	15,4
	2009	12,5	11,5	11,4	11,5	11,5	13,0	14,2	14,8	12,5	16,2
	średnia — mean	14,8	13,9	13,8	13,5	13,8	14,4	14,9	15,1	14,2	14,1
Średnia — Mean		13,9	13,7	13,2	13,5	13,6	14,4	14,1	14,1	13,8	10,8
NIR p _{0,05} — LSD p _{0,05}											
Odmiany — Cultivars										0,1	
Pielęgnacja — Weeding										n**	
Lata — Years										0,2	

1*) Obiekt kontrolny — bez odchwaszczania chemicznej ochrony; control without weeding

2) Ekstensywne zabiegi mechaniczne, (co 2 tygodnie) od posadzenia aż do zwarcia rzędów; Extensive mechanical treatment, (every 2 weeks) after planting until the row closure

3) Sencor 70 WG — 1 kg·ha⁻¹ przed wschodami ziemniaka; Sencor 70 WG — 1 kg·ha⁻¹ pre-emergence of the potatoes

4) Sencor 70 WG — 1 kg·ha⁻¹ + Titus 25 WG — 40 g·ha⁻¹ + Trend 90 EC — 0,1% przed wschodami ziemniaka; pre-emergence of the potatoes

Sencor 70 WG — 1 kg·ha⁻¹ + Titus 25 WG — 40 g·ha⁻¹ + Trend 90 EC — 0,1% przed wschodami ziemniaka; Sencor 70 WG — 1 kg·ha⁻¹ + Titus 25 WG — 40 g·ha⁻¹ + Trend 90 EC — 0,1% prior-emergence of the potatoes

5) Sencor 70 WG — 0,5 kg·ha⁻¹ po wschodach ziemniaka; Sencor 70 WG — 0,5 kg·ha⁻¹ after emergence of the potatoes

6) Sencor 70 WG — 0,3 kg·ha⁻¹ + Titus 25 WG — 30 g·ha⁻¹ + Trend 90 EC — 0,1% po wschodach ziemniaka; Sencor 70 WG — 0,3 kg·ha⁻¹ + Titus 25 WG — 30 g·ha⁻¹ + Trend 90 EC — 0,1% after emergence of the potatoes

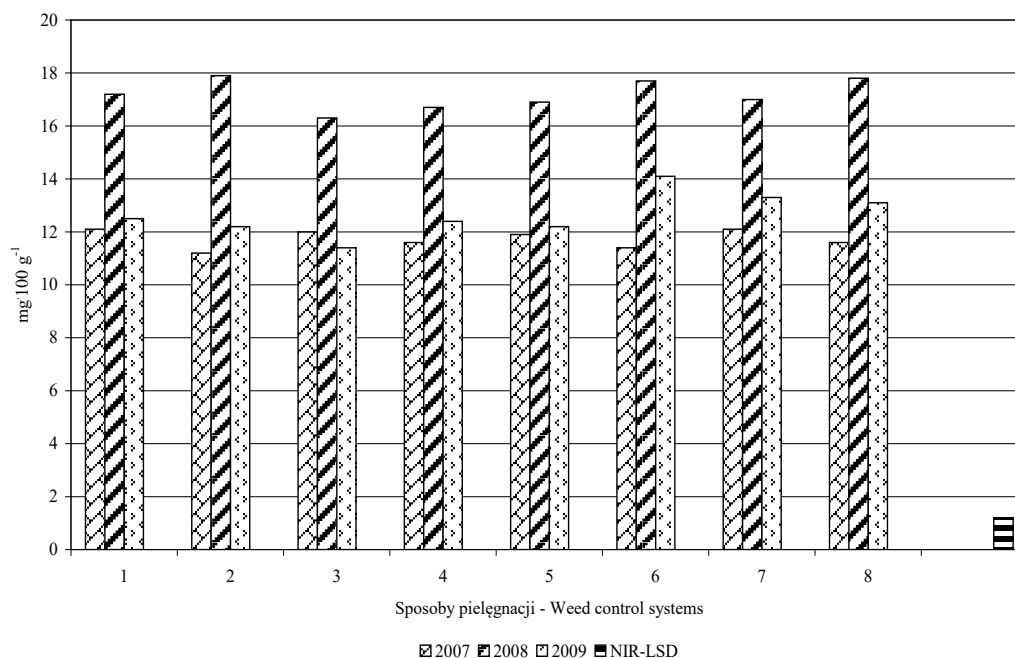
7) Sencor 70 WG — 0,3 kg·ha⁻¹ + Fusilade Forte 150 EC — 2 dm·ha⁻¹ po wschodach ziemniaka; Sencor 70 WG — 0,3 kg·ha⁻¹ + Fusilade Forte 150 EC — 2 dm·ha⁻¹ after emergence of the potatoes

8) Sencor 70 WG — 0,3 kg·ha⁻¹ + Apyros 75 WG 26,5 g·ha⁻¹ + Atpolan 80 SC — 1 dm·ha⁻¹ po wschodach ziemniaka; Sencor 70 WG — 0,3 kg·ha⁻¹ + Apyros 75 WG 26,5 g·ha⁻¹ + Atpolan 80 SC — 1 dm·ha⁻¹ after emergence of the potatoes

Istotny wpływ na zawartość witaminy C w bulwach ziemniaka jadalnego wywarły warunki atmosferyczne w latach badań (tab. 2). Największą koncentrację tego składnika zanotowano w 2008 roku charakteryzującym się równomiernie rozłożonymi opadami i temperaturą powietrza wyższą od średniej wieloletniej, w porównaniu z latami 2007 i 2009. Podobne wyniki uzyskali Zarzecka i in. (2007) oraz Mazurczyk i Lis (2001).

Najmniejszą ilość kwasu askorbinowego w bulwach oznaczono w 2009 roku, który był najkorzystniejszy dla plonu ziemniaka. Zależność witaminy C od warunków atmosferycznych w okresie wegetacji potwierdzają wyniki badań innych autorów (Zarzecka i Gugała, 2003; Richardson i in., 2004; Zarzecka i in., 2007; Love i Pavék, 2008; Gugała i in., 2012; Ezekiel i in., 2013).

Wpływ sposobów pielęgnacji na zawartość witaminy C był uzależniony od warunków atmosferycznych w latach badań. W 2007 roku stosowanie różnych sposobów pielęgnacji nie modyfikowało istotnie ilości tego składnika w bulwach. W 2008 roku istotnie wyższą ilość witaminy C przy aplikacji preparatów Sencor 70 WG + Titus 25 WG a także Sencor 70 WG + Apyros 75 WG 26,5, stosowanych po wschodach ziemniaka oraz w obiekcie z ekstensywnymi zabiegami mechanicznymi, w porównaniu z preparatem Sencor 70 WG wniesionym przed wschodami ziemniaka. Podobnie w 2009 roku istotnie najwyższy efekt uzyskano w obiekcie chronionym przed chwastami mieszaniną preparatów Sencor 70 WG + Titus 25 WG, po wschodach ziemniaka, w stosunku do kombinacji z preparatem Sencor 70 WG, wniesionym przed wschodami (rys. 2).



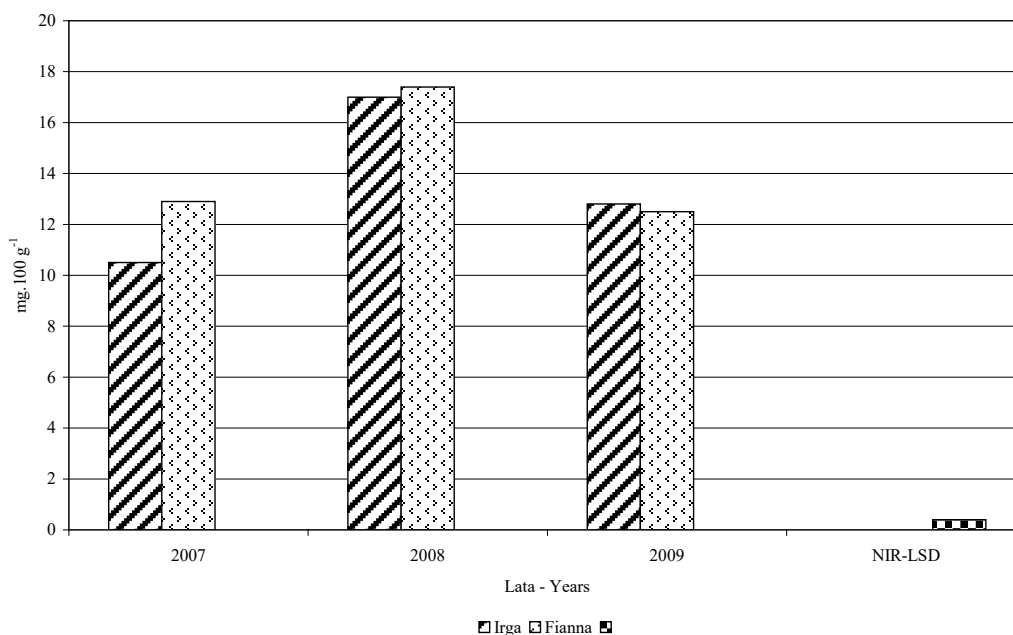
*Objaśnienia jak w tabeli 1 — Explanations as in Table 1

Rys. 2. Wpływ sposobów pielęgnacji i lat badań na zawartość witaminy C w bulwach
Fig. 2. Effect of weed control systems and years of research on the vitamin C content in tubers

Warunki gromadzenia witaminy C w wilgotnym, 2007 roku, dla obiektu z herbicydem Sencor w połączeniu z innymi preparatami, aplikowanymi przed- lub powschodowo

okazały się najmniej korzystne, a zarazem homologiczne, pod względem wartości tej cechy. Wysoka zależność zawartości witaminy C w bulwach ziemniaka od warunków pogodowych, w aspekcie stosowania różnych sposobów pielęgnacji, może wiązać się z nadmiernym uwilgotnieniem lub suszą w glebie w okresie wegetacji. Love i Pavek (2008) twierdzą, że nadmiar wody w okresie wegetacji wywołuje nieodwracalne zmiany w składzie lipidów membran komórkowych, podobne do tych, jakie są w bulwach "fizjologicznie starych". Zwiększa się wówczas akumulacja cukrów i przepuszczalność komórek, a elektrolity i zawarte w nich substancje pokarmowe wyciekają do otoczenia bulwy, ułatwiając wnikanie bakterii. Sawicka i in. (2014) dowiedli, iż o zawartości witaminy C decyduje zawartość chlorofilu a w liściach. Paul i Foyer (2001) podają, że w warunkach zaburzeń w bilansie między donorami i akceptorami fotoasymilatów dochodzi do zwiększonej akumulacji węglowodanów i witaminy C oraz obniżonej ekspresji genów fotosyntezy.

Badane odmiany ziemniaka wykazywały odmienną reakcję na warunki pogodowe w latach badań. Średnio późna odmiana Fianna zgromadziła w bulwach więcej witaminy C niż średnio wczesna Irga tylko w latach wilgotnych (2007 i 2008). W warunkach pogodowych w 2009 r. odmiany nie różniły się między sobą pod względem zawartości witaminy C (rys. 3).



Rys. 3. Wpływ odmian i lat na zawartość witaminy C w bulwach
Fig. 3. Effect of cultivars and years on the vitamin C content in tubers

Istniejące różnice w zawartości witaminy C, w bulwach ziemniaka, zdaniem Sawickiej i in. (2014) są uwarunkowane zmiennością fenotypową odmian, która jest łącznym efektem zmienności genetycznej i środowiskowej.

WNIOSKI

1. Zmienność środowiskowa, w przypadku zawartości witaminy C, przeważała nad zmiennością genotypową. Cechy genetyczne badanych odmian decydowały w 44% o kształtowaniu witaminy C w bulwach ziemniaka. Średnio późna odmiana Fianna gromadziła w bulwach więcej tego składnika niż średnio wczesna Irga.
2. Wpływ sposobów pielęgnacji na zawartość witaminy C był uzależniony od warunków meteorologicznych w latach badań. Wyższą jej zawartość uzyskano w pielęgnacji z użyciem herbicydów Sencor 70 WG i Titus 25 WG, w połączeniu z adjuwantem Trend, stosowanych po wschodach, w latach o korzystnych warunkach termiczno-wilgotnościowych dla rozwoju ziemniaka.
3. Badane odmiany wykazały odmienną reakcję na warunki atmosferyczne w latach badań. Średnio późna odmiana Fianna gromadziła w bulwach więcej witaminy C niż średnio wczesna Irga, w latach, o wilgotnym lub dość wilgotnym okresie wegetacji.

LITERATURA

- Asensi-Fabado M.A., Munné-Bosch S. 2010. Vitamins in plants: occurrence, biosynthesis and antioxidant function. *Trends in Plant Science* 15 (10): 582 — 592.
- Bac S., Koźmiński Cz., Rojek M. 1998. *Agrometeorologia*. PWN, Warszawa, 167 ss.
- Burgos G., Auqui S., Amoros W. E., Salas M., Bonierbale M. 2009. Ascorbic acid concentration of native Andean potato cultivars as affected by environment, cooking and storage. *J. Food Compos. Anal.* 22: 533 — 538.
- Czerwiecki L. 2009. Współczesne poglądy na rolę przeciwutleniaczy roślinnych w profilaktyce chorób cywilizacyjnych. *Rocz. PZH*, 60 (3): 201 — 206.
- Ezekiel R., Singh N., Sharma S., Kaur A. 2013. Beneficial phytochemicals in potato — a review. *Food Research International*, 50: 487 — 496.
- Grudzińska M. 2012. Jak poprawnie przygotować i gotować ziemniaki. *Ziemniak Polski* 22 (2): 40 — 43.
- Grudzińska M., Zgórska K. 2011. Zmiany zawartości witaminy C i związków fenolowych w czasie przechowywania bulw ziemniaka. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 566: 61 — 68.
- Gugała M., Zarzecka K., Dołęga H., Baranowska A. 2012. Skuteczność działania herbicydów w uprawie ziemniaka. *Annales UMCS*, 67 (4): 45 — 51.
- Hamouz K., Lachman L., Dvorak P., Orsak M., Hejtmankova K., Cizek M. 2009. Effect of selected factors on the content of ascorbic acid in potatoes with different tuber flesh colour. *Plant Soil Environ.* 55: 281 — 287.
- Hasse N.U. 2008. Healthy aspects of potatoes as part of the human diet. *Potato Research* 51: 239 — 258.
- Järvan M., Edesi L. 2009. The effect of cultivation methods on the yield and biological quality of potato. *Agronomy Research*, 7 (Special issue I): 289 — 299.
- Kraska P. 2002. Wpływ sposobów uprawy, poziomów nawożenia i ochrony na wybrane cechy jakości ziemniaka. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 489: 229 — 237.
- Leszczyński W. 2012. Żywnościowa wartość ziemniaka i przetworów ziemniaczanych. *Przegląd literatury. Biul. IHAR* 266: 5 — 20.
- Love S., Pavsek J. 2008. Positioning the Potato as a Primary Food Source of Vitamin C. *Am. J. Potato Res.* 85 (4): 277 — 285.

- Lutaladio N., Castaldi L. 2009. Potato: The hidden treasure. *Journal of Food Composition and Analysis* 22: 491 — 493.
- Mazurczyk W., Lis B. 2001. Variation of chemical composition of tubers of potato table cultivars grown under deficit and excess of water. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 10/51, 2: 27 — 30.
- Naidu A. K. 2003. Vitamin C in human health and disease is still a mystery ? An overview. *Journal List Nutr. Jv.* 2; 2003 PMC201008; DOI: 10.1186/1475-2891-2-7.
- Nordbotten A., Loken B., Rimestad H. 2000. Sampling of potatoes to determine representative values for nutrient content in a national food composition table. *J. Food Comp. Anal.* 13: 369 — 377.
- Oguntiebeju O. O., Esterhuyse A. J., Truter E. J. 2009. Red Palm oil: nutritional, physiological and therapeutic roles in improving human wellbeing and quality of life. *British J. Biomedical Science* 66 (4): 216 — 222.
- Pawlonka Z. 2009. Wpływ herbicydów na skład chemiczny jęczmienia jarego i ziemniaka. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin* 49 (3): 1371 — 1374.
- Paul M. J., Foyer C. H. 2001. Sink regulation of photosynthesis. *J. Exp. Bot.* 52: 1383 — 1400.
- Pijanowski E., Mrożewski S., Horubała A. 1964. *Technologia produktów owocowych i warzywnych*. PWRiL, Warszawa, 634 ss.
- Richardson R. J., Whaley C. M., Wilson H. P., Hines T. E. 2004. Weed control and potato (*Solanum tuberosum*) tolerance with dimethen amid isomers and other herbicides. *Am. J. Potato Res.* 81 (5): 299 — 304.
- Rytel E., Lisińska G. 2007. Zmiany zawartości witaminy C w bulwach ziemniaka podczas gotowania i przetwarzania na produkty smażone i suszone. *Żywność. Nauka. Technologia Jakość* 6 (55): 186 — 197.
- Sawicka B. 1991. *Studia nad zmiennością wybranych cech oraz degeneracją różnych odmian ziemniaka w rejonie bialsko-podlaskim. Rozprawa Habil.*, 141, Wyd. AR — Lublin: 76 ss.
- Sawicka B., Michałek W., Pszczółkowski P. 2014. The relationship of potato tubers chemical composition with selected physiological indicators. *Zemdirbyste-Agriculture*, 102 (1): 41–50. ISSN 1392-3196 / e-ISSN 2335-8947, DOI 10.13080/z-a.2015.102.005.
- Szajdek A., Borowska J. 2004. Właściwości przeciwutleniające żywności pochodzenia roślinnego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 4 (41): 5 — 28.
- Tan S., Evans R., Singh B. 2006. Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops. *Amino Acids* 30: 195 — 204.
- Trętowski J., Wójcik A. R. 1991. *Metodyka doświadczeń rolniczych*. Wyd. WSRP — Siedlce: 500 ss.
- Zarzecka K., Gugala M. 2003. The effect of herbicide applications on the content of ascorbic acid and glycoalkaloids in potato tubers. *Plant Soil Environ.* 49 (5): 237 — 240.
- Zarzecka K., Gugala M., Mystkowska I. 2007. Zawartość kwasu askorbinowego w bulwach ziemniaka odmiany jadalnej Wiking w zależności od sposobów uprawy roli i herbicydów. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 2 (51): 112 — 119.

KATARZYNA AMBROŻY-DERĘGOWSKA**IWONA MEJZA**Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Układ split-split-plot dla nieortogonalnego doświadczenia z łubinem

Split-split-plot design for a non-orthogonal experiment with lupine

W pracy przedstawiono przykład konstrukcji układu niekompletnego split-split-plot (SSP) dla nieortogonalnego doświadczenia trójczynnika. Niekompletność układu SSP jest związana z obiektami czynnika trzeciego w kolejności. W pracy układem generującym jest układ zrównoważony o blokach niekompletnych (BIB). Podane są właściwości statystyczne układu finalnego SSP ze szczególnym uwzględnieniem właściwości ogólnego zrównoważenia układu. Zaproponowano analizę statystyczną właściwą dla doświadczeń wielowarstwowych oraz analizę kontrastów. Rozważania zilustrowano danymi wygenerowanymi z doświadczenia ortogonalnego z łubinem.

Słowa kluczowe: analiza wielowarstwowa, kontrasty bazowe, układ niekompletny split-split-plot

In the paper a construction method of an incomplete split-split-plot (SSP) design for a non-orthogonal experiment is presented. Incompleteness of the SSP design concerns sub-subplot treatments. Balanced incomplete block (BIB) design is used as generating design in the construction method. Statistical properties of the final SSP design with respect to general balance are given. Multistratum analysis and the analysis of contrasts are proposed as adequate statistical analysis. Considerations are illustrated using data generated from some orthogonal experiment with lupine.

Key words: basic contrasts, incomplete split-split-plot design, multistratum analysis

WSTĘP

W pracy podano sposób analizy statystycznej danych dla pewnego nieortogonalnego doświadczenia z zagnieżdżoną strukturą poziomów (obiektów) trzech czynników. Układ, w którym zaproponowano założenie doświadczenia jest nazywany układem niekompletnym o jednostkach podwójnie rozszczepionych lub z języka angielskiego układem split-split-plot (SSP), przy czym niekompletność (nieortogonalność) dotyczy trzeciego czynnika. Oznacza to, że nie wszystkie poziomy tego czynnika wchodzącego w

skład kombinacji obiektowych znajdują się w obrębie każdego bloku. W celu ilustracji analizy statystycznej wykorzystano dane wygenerowane z doświadczenia założonego w układzie kompletnym SSP opisanego w pracy Barbackiego (1951). Oznacza to, że zamieszczone w tej pracy wnioski należy traktować jedynie w kategorii metodyki planowania i analizy danych z zagnieżdżoną strukturą poziomów trzech czynników. Te same dane posłużyły wcześniej do ilustracji analiz statystycznych dla doświadczeń założonych w układach mieszanych z krzyżową i zagnieżdżoną strukturą poziomów trzech czynników (zob. Ambroży i Mejza, 2006, 2009).

Przedstawiona w tej pracy analiza statystyczna rozważanego doświadczenia obejmuje estymację parametrów obiektowych oraz testowanie hipotez ogólnych i szczegółowych definiowanych przez kontrasty bazowe. W analizie statystycznej zastosowano techniki podane przez Nelder (1965 a, b) właściwe dla tak zwanych doświadczeń wielowarstwowych. Szczegóły dotyczące przeprowadzania takich analiz można znaleźć między innymi w pracach Ambroży i Mejzy (2006, 2009). Do obliczeń wykorzystano pakiet R i program STATISTICA.

MATERIAŁ I METODY

Założmy, że celem doświadczenia jest zbadanie zależności plonu pewnych gatunków względnie odmian łubinu od terminu siewu i rozstaw roślin. Wariantami czynnika A są dwa terminy siewu ($s = 2$): A_1 — termin pierwszy (31.03), A_2 — termin drugi (28.04). Jako czynnik B przyjęto następujące gatunki względnie odmiany ($t = 4$): B_1 — Łubin biały III, B_2 — Łubin biały I, B_3 — Łubin żółty, B_4 — Łubin niebieski. Rozstawy roślin tworzą czynnik C ($w = 6$): C_1 — 10 cm $\times$ 10 cm, C_2 — 5 cm $\times$ 20 cm, C_3 — 10 cm $\times$ 20 cm, C_4 — 5 cm $\times$ 30 cm, C_5 — 10 cm $\times$ 30 cm, C_6 — 5 cm $\times$ 40 cm. Stąd liczba kombinacji obiektowych $v (= stw)$ jest równa 48.

Założono, że materiał doświadczalny można podzielić na $b (=10)$ bloków. W każdym bloku wyznaczono dwa poletka I rzędu ($k_A = 2$), następnie każde z nich podzielono na cztery poletka II rzędu ($k_B = 4$) i dalej każde poletko II rzędu podzielono na trzy poletka III rzędu ($k_C = 3$).

Zgodnie z metodyką układu SSP obiekty czynnika A są losowo rozmieszczone na poletkach I rzędu (wewnątrz każdego bloku), następnie obiekty czynnika B są losowo rozmieszczone na poletkach II rzędu (wewnątrz każdego poletka I rzędu) oraz obiekty czynnika C na poletkach III rzędu (wewnątrz każdego poletka II rzędu). Niektóre aspekty statystycznego planowania doświadczeń typu SSP zostały przedstawione w pracy Ambroży-Deręgowskiej i Mejzy (2014).

Wielkość poletka w oryginalnym doświadczeniu wynosiła 3,6 m². W układzie kompletnym SSP każdy blok obejmował powierzchnię 172,8 m² (48 $\times$ 3,6 m²), to znaczy że wszystkie, czyli $v = 48$ kombinacji poziomów czynników wystąpiły w każdym bloku. Nierzadko z różnych względów może wystąpić problem z jednorodnością poletek wewnątrz bloków (co jest wymagane w teorii układów blokowych). Nieuwzględnienie tego faktu w analizie statystycznej może prowadzić do błędnych wniosków. Wtedy jedną z możliwości przeprowadzenia doświadczenia jest odpowiednie zmniejszenie pojemności

bloków przez takie zaplanowanie układu doświadczalnego, aby tylko wybrane kombinacje poziomów czynników wystąpiły w jego blokach. Pociąga to jednak zmniejszenie efektywności w estymacji niektórych porównań (kontrastów) obiektowych. Aby zminimalizować tę stratę, należy przed założeniem doświadczenia zastanowić się, które z nich są najważniejsze i uwzględnić to przy wyborze odpowiedniej metody konstrukcji niekompletnego układu SSP.

W pracy zaproponowano zmniejszenie pojemności bloków poprzez zmniejszenie pojemności poletek II rzędu. Zatem nie wszystkie poziomy (obiekty) czynnika C mogą wystąpić na przeznaczonych dla nich poletkach III rzędu (w obrębie poletek II rzędu), to znaczy, że liczba poletek III rzędu jest mniejsza niż liczba obiektów czynnika C ($k_C < w$). Wtedy skonstruowany układ SSP jest niekompletny ze względu na poziomy czynnika C , a kompletny ze względu na poziomy czynniki A ($k_A = s$) i B ($k_B = t$). Założono przy tym, że wszystkie porównania (kontrasty) dotyczące obiektów czynnika C są tak samo ważne, więc jako układ generujący dla czynnika C wybrano układ zrównoważony o blokach niekompletnych (BIB) o macierzy incydencji (zob. Cochran i Cox 1957, plan układu 11.4):

$$\mathbf{N}_C = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

gdzie liczba obiektów $w = 6$, liczba bloków $b_C = 10$, pojemność bloków $k_C = 3$, liczba replikacji $r = 5$ oraz liczba spotkań każdej pary obiektów w blokach $\lambda = 2$.

Macierz incydencji względem bloków całego doświadczenia jest następującej postaci:

$$\mathbf{N}_1 = \mathbf{1}_2 \otimes \mathbf{1}_4 \otimes \mathbf{N}_C, \quad (2)$$

gdzie $\mathbf{N}_C$ jest podane w (1), wektory $\mathbf{1}_2$ i $\mathbf{1}_4$ oznaczają jednoblokowe macierze incydencji o długościach równych liczbom obiektów dla czynników A i B w rozważanym układzie, odpowiednio, 2 i 4. To oznacza, że czynniki A i B występują w podukładach bloków losowanych kompletnych. Redukcja do jednego bloku w każdym z nich pozwala na zmniejszenie liczby bloków w całym doświadczeniu. Znak $\otimes$ oznacza iloczyn Kroneckera macierzy.

Stąd, niekompletny układ typu SSP ma następujące parametry: $v = stw = 48$ (liczba kombinacji obiektowych), $b = b_C = 10$ (liczba bloków), $k = stk_C = 24$ (pojemność bloków), $n = bstk_C = 240$ (liczba obserwacji). Wektor replikacji kombinacji obiektowych wynosi $\mathbf{r} = \mathbf{1}_2 \otimes \mathbf{1}_4 \otimes \mathbf{r}_C$, gdzie $\mathbf{r}_C = [5, 5, 5, 5, 5, 5]'$, czyli $\mathbf{r} = 5\mathbf{1}_{48}$. Oznacza to, że wszystkie kombinacje są pięć razy replikowane w obrębie układu SSP.

Celem doświadczenia jest zweryfikowanie hipotez ogólnych zakładających, że termin siewu nie ma istotnego wpływu na zróżnicowanie średnich plonów (hipoteza 1), że

badane gatunki względnie odmiany łubinu nie mają istotnego wpływu na zróżnicowanie średnich plonów (hipoteza 2) i że rozstawy roślin nie mają istotnego wpływu na zróżnicowanie średnich plonów (hipoteza 3). Druga grupa hipotez ogólnych dotyczy interakcji. Orzekają one, że nie występuje interakcja między terminami i gatunkami względnie odmianami łubinu (hipoteza 4), między terminami i rozstawami (hipoteza 5), między gatunkami względnie odmianami i rozstawami (hipoteza 6) oraz między terminami, gatunkami względnie odmianami i rozstawami (hipoteza 7).

Jak wiadomo (zob. np. Ambroży i Mejza, 2012, 2013) w analizie modelu obserwacji dla układu SSP rozróżniamy 4 warstwy: warstwę ogólną (zerową), związaną jedynie z estymacją średniej eksperymentu oraz cztery warstwy główne, w których może być wykonywana analiza statystyczna, czyli warstwę (1) — *międzyblokową*, warstwę (2) — *między poletkami I rzędu*, warstwę (3) — *między poletkami II rzędu* oraz warstwę (4) — *między poletkami III rzędu*. Właściwości statystyczne rozważanego układu w warstwach są ściśle związane z właściwościami algebraicznymi macierzy informacji $\mathbf{A}_f$ ($f = 0, 1, 2, 3, 4$). Niech μ_{fh} będzie wartością własną macierzy $\mathbf{A}_f$ względem replikacji, odpowiadającą wektorowi własnemu $\mathbf{p}_h$, przy czym $0 \leq \mu_{fh} \leq 1$, $f = 0, 1, 2, 3, 4$; $h = 1, 2, \dots, 48$. Wartości i wektory własne macierzy można obliczyć stosując dowolny program obliczeniowy. Często jednak w ten sposób uzyskane wektory są trudne do interpretacji. Można również samemu zbudować zbiór wektorów własnych i obliczyć odpowiadające im wartości własne. Poniżej przedstawiona jest jedna z metod konstrukcji zbioru takich wektorów. Zazwyczaj przy jego tworzeniu bierze się pod uwagę zainteresowanie eksperymentatora pewnymi porównaniami między efektami kombinacji obiektowych. Należy zauważyć, że podany niżej zbiór wektorów własnych nie jest jedynym możliwym, ale łatwym do interpretacji.

Niech:

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_1 &= [1, -1]' / \sqrt{2}, & \mathbf{a}_2 &= [1, 1]' / \sqrt{2}, \\ \mathbf{b}_1 &= [1, -1, 0, 0]' / \sqrt{2}, & \mathbf{b}_2 &= [1, 1, -2, 0]' / \sqrt{6}, \\ \mathbf{b}_3 &= [1, 1, 1, -3]' / \sqrt{12}, & \mathbf{b}_4 &= [1, 1, 1, 1]' / 2, \\ \mathbf{d}_1 &= [1, -1, 0, 0, 0, 0]' / \sqrt{2}, & \mathbf{d}_2 &= [1, 1, -2, 0, 0, 0]' / \sqrt{6}, \\ \mathbf{d}_3 &= [1, 1, 1, -3, 0, 0]' / \sqrt{12}, & \mathbf{d}_4 &= [1, 1, 1, 1, -4, 0]' / \sqrt{20}, \\ \mathbf{d}_5 &= [1, 1, 1, 1, 1, -5]' / \sqrt{30}, & \mathbf{d}_6 &= [1, 1, 1, 1, 1, 1]' / \sqrt{6} \end{aligned}$$

będą unormowanymi wektorami w podukładach dla czynników A , B i C . Wtedy wektory własne zapisane w postaci:

$$\mathbf{p}_h = \frac{1}{\sqrt{5}} \mathbf{a}_j \otimes \mathbf{b}_k \otimes \mathbf{d}_l \quad (3)$$

są unormowane względem $\mathbf{r}^\delta$ dla $h = 1, 2, \dots, 48$; $j = 1, 2$; $k = 1, 2, 3, 4$; $l = 1, 2, \dots, 6$ ($h = tw(j - 1) + w(k - 1) + l$), gdzie $\mathbf{r}^\delta$ oznacza macierz diagonalną, która na głównej przekątnej ma replikacje kombinacji obiektowych, czyli $\mathbf{r}^\delta = \text{diag}(r_1, r_2, \dots, r_{48}) = 5\mathbf{I}_{48}$, przy czym $\mathbf{I}_{48}$ oznacza 48×48 wymiarową macierz jednostkową z jedynkami na głównej przekątnej.

Wektory (3) wyznaczają współczynniki kontrastów bazowych $\mathbf{c}_h = \mathbf{r}^\delta \mathbf{p}_h$, $h = 1, 2, \dots, 47$, dla kombinacji $A_j B_k C_l$. Ostatni wektor $\mathbf{p}_{48}$ nie definiuje kontrastu. Kontrasty te w pracy są oznaczone jako $\mathbf{c}'_h \boldsymbol{\tau}$, gdzie $\boldsymbol{\tau}$ jest wektorem stałych efektów kombinacji obiektowych w modelu obserwacji (zob. np. Ambroży-Deręgowska i in., 2014).

Zastosowanie kontrastów bazowych w analizie statystycznej w wielu wypadkach upraszcza ją. W niniejszej pracy rozważania są ograniczone do układu nieortogonalnego SSP ogólnie zrównoważonego, to znaczy takiego, dla którego spełniona jest relacja

$$\mathbf{A}_f \mathbf{r}^{-\delta} \mathbf{A}_{f'} = \mathbf{A}_{f'} \mathbf{r}^{-\delta} \mathbf{A}_f \quad (4)$$

dla $f, f' = 1, 2, 3, 4$; $f \neq f'$ oraz $\mathbf{r}^{-\delta} = \text{diag}(1/r_1, 1/r_2, \dots, 1/r_{48}) = (1/5)\mathbf{I}_{48}$.

Właściwość podana w (4) nie ogranicza analizy statystycznej, ale wzbogaca ją. Macierze informacji $\mathbf{A}_f$ posiadają wówczas ten sam zbiór wektorów własnych $\mathbf{p}_h$ ($h = 1, 2, \dots, 47$). Pozwala to na wnioskowanie o tym samym zbiorze kontrastów estymowalnych w różnych warstwach i jeśli jest to konieczne, łączenie tych informacji.

WYNIKI

Niech μ_{fh} będą dalej interpretowane jako współczynniki efektywności układu w warstwach względem kontrastów, gdzie wskaźniki f i h oznaczają numery, odpowiednio warstwy i kontrastu.

W tabeli 1 są podane warstwowe oceny 47 kontrastów bazowych uporządkowanych leksykograficznie oraz warstwowe współczynniki efektywności (zapisane w nawiasach). Wyniki przedstawione w tabeli 1 pokazują, że wszystkie kontrasty między efektami głównymi czynnika A (terminy siewu) i B (gatunki/odmiany łąbinu) oraz wszystkie kontrasty interakcyjne typu $A \times B$ są estymowane z pełną efektywnością (tzn. współczynnik efektywności jest równy 1), odpowiednio w warstwach (2) i (3). Oznacza to, że hipotezy szczegółowe dotyczące tych kontrastów są testowalne jedynie w tych warstwach (zob. tab. 2). Pozostałe kontrasty natomiast, są estymowane w dwóch warstwach ze współczynnikami efektywności odpowiednio, 1/5 i 4/5. Zatem:

- wszystkie kontrasty między efektami głównymi czynnika C (rozstawy) są estymowane w warstwie między blokami ze współczynnikiem efektywności równym 1/5 oraz w warstwie między poletkami III rzędu ze współczynnikiem efektywności równym 4/5,
- wszystkie kontrasty interakcyjne typu $B \times C$ i $A \times B \times C$ są estymowane w warstwie między poletkami II rzędu ze współczynnikiem efektywności równym 1/5 oraz

w warstwie między poletkami III rzędu ze współczynnikiem efektywności równym 4/5,

- wszystkie kontrasty interakcyjne typu $A \times C$ są estymowane w warstwie między poletkami I rzędu ze współczynnikiem efektywności równym 1/5 oraz w warstwie między poletkami III rzędu ze współczynnikiem efektywności równym 4/5.

Tabela 1

Warstwowe oceny i współczynniki efektywności kontrastów bazowych (układ SSP)
Stratum estimates and stratum efficiency factors of the basic contrasts (SSP design)

Wskaźniki Indexes				Typy kontrastów Types of contrasts	Warstwy — Strata			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>h</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>l</i>		(1)	(2)	(3)	(4)
1	1	1	1	$A \times B \times C$			-0,1107 (1/5)	0,1087 (4/5)
2	1	1	2	$A \times B \times C$			0,1582 (1/5)	0,3427 (4/5)
3	1	1	3	$A \times B \times C$			-0,3496 (1/5)	-0,2160 (4/5)
4	1	1	4	$A \times B \times C$			-0,2275 (1/5)	-0,0931 (4/5)
5	1	1	5	$A \times B \times C$			-0,0225 (1/5)	-0,0684 (4/5)
6	1	1	6	$A \times B$			-0,4281 (1)	
7	1	2	1	$A \times B \times C$			0,0730 (1/5)	0,0103 (4/5)
8	1	2	2	$A \times B \times C$			-0,3672 (1/5)	0,0542 (4/5)
9	1	2	3	$A \times B \times C$			0,1373 (1/5)	0,1334 (4/5)
10	1	2	4	$A \times B \times C$			0,4547 (1/5)	0,1288 (4/5)
11	1	2	5	$A \times B \times C$			0,1237 (1/5)	-0,0289 (4/5)
12	1	2	6	$A \times B$			1,0789 (1)	
13	1	3	1	$A \times B \times C$			-0,0129 (1/5)	-0,0056 (4/5)
14	1	3	2	$A \times B \times C$			-0,3267 (1/5)	-0,1098 (4/5)
15	1	3	3	$A \times B \times C$			-0,5275 (1/5)	-0,2249 (4/5)
16	1	3	4	$A \times B \times C$			0,4991 (1/5)	0,0612 (4/5)
17	1	3	5	$A \times B \times C$			-0,2925 (1/5)	-0,1417 (4/5)
18	1	3	6	$A \times B$			0,0943 (1)	
19	1	4	1	$A \times C$		0,2609 (1/5)		-0,1533 (4/5)
20	1	4	2	$A \times C$		0,2173 (1/5)		0,1466 (4/5)
21	1	4	3	$A \times C$		-0,2868 (1/5)		-0,2723 (4/5)
22	1	4	4	$A \times C$		-0,4696 (1/5)		-0,1544 (4/5)
23	1	4	5	$A \times C$		-0,0274 (1/5)		-0,1068 (4/5)
24	1	4	6	A		3,0112 (1)		
25	2	1	1	$B \times C$			0,5587 (1/5)	0,5264 (4/5)
26	2	1	2	$B \times C$			-0,3925 (1/5)	-0,0582 (4/5)
27	2	1	3	$B \times C$			-0,0678 (1/5)	0,1848 (4/5)
28	2	1	4	$B \times C$			0,2775 (1/5)	-0,2394 (4/5)
29	2	1	5	$B \times C$			-0,6920 (1/5)	-0,5705 (4/5)
30	2	1	6	B			0,7842 (1)	
31	2	2	1	$B \times C$			0,2343 (1/5)	-0,0027 (4/5)
32	2	2	2	$B \times C$			-0,2178 (1/5)	-0,1254 (4/5)
33	2	2	3	$B \times C$			0,1162 (1/5)	0,1554 (4/5)
34	2	2	4	$B \times C$			0,3344 (1/5)	0,1574 (4/5)
35	2	2	5	$B \times C$			0,3359 (1/5)	0,0348 (4/5)
36	2	2	6	B			3,1849 (1)	
37	2	3	1	$B \times C$			-0,1829 (1/5)	-0,1955 (4/5)
38	2	3	2	$B \times C$			-0,0199 (1/5)	-0,0076 (4/5)
39	2	3	3	$B \times C$			-0,2736 (1/5)	-0,3041 (4/5)
40	2	3	4	$B \times C$			0,2222 (1/5)	-0,0451 (4/5)

c.d. Tabela 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
41	2	3	5	$B \times C$			-0,1325 (1/5)	0,0083 (4/5)
42	2	3	6	B			3,4126 (1)	
43	2	4	1	C	0,0112 (1/5)			-0,3480 (4/5)
44	2	4	2	C	0,1721 (1/5)			0,3063 (4/5)
45	2	4	3	C	-0,4192 (1/5)			-0,2575 (4/5)
46	2	4	4	C	0,0407 (1/5)			0,0575 (4/5)
47	2	4	5	C	0,0765 (1/5)			-0,0144 (4/5)

(1) — warstwa między blokami / (1) — the inter-block stratum, (2) — warstwa między poletkami I rzędu / (2) — the inter-whole plot stratum, (3) — warstwa między poletkami II rzędu / (3) — the inter-subplot stratum, (4) — warstwa między poletkami III rzędu / (4) — the inter-sub-subplot stratum

Jak można zauważyć, więcej informacji (80%) o kontrastach dotyczących czynnika C i interakcji związanych z tym czynnikiem jest zawarta w warstwie między poletkami III rzędu (warstwa nr 4). Wydaje się, że wielkość ta upoważnia do wnioskowania statystycznego o tych kontrastach w tej warstwie.

W tabeli 2 z kolei, została podana analiza wariancji w warstwach dla układu niekompletnego SSP. Na podstawie przedstawionych w niej wyników stwierdzono, że hipoteza ogólna dotycząca czynnika A (terminy siewu) jest testowalna jedynie w warstwie (2). Odrzucono ją na poziomie istotności $\alpha = 0,01$, gdyż $p = 0,0000 < \alpha = 0,01$. A zatem można twierdzić, że nie wszystkie średnie plony uzyskane dla poszczególnych terminów siewu są jednakowe. Hipotezy ogólne związane z czynnikiem B (gatunki/odmiany łubinu) oraz interakcją $A \times B$ są również testowalne w jednej warstwie, tym razem w warstwie (3). Odrzucono je na poziomie istotności $\alpha = 0,01$, gdyż $p = 0,0000 < \alpha = 0,01$. Zatem różnice między niektórymi średnimi plonami badanych gatunków względnie odmian łubinu są wysoce istotne (co najmniej jeden gatunek względnie odmiana plonuje średnio inaczej niż pozostałe). Ponadto, interakcja terminów i gatunków względnie odmian jest wysoce istotna, to znaczy, że zróżnicowanie plonów badanych gatunków względnie odmian łubinu nie jest jednakowe dla poszczególnych terminów siewu. Natomiast hipotezy ogólne dotyczące czynnika C (rozstawy) i interakcji związanych z tym czynnikiem są testowalne w różnych warstwach. Wyniki przedstawione w tabeli 1 pokazują, że 80% informacji o wszystkich związanych z nimi kontrastach jest zawarta w warstwie (4). Zatem ograniczając się do tej warstwy, hipotezy ogólne dla tych źródeł zmienności zostały odrzucone na poziomie istotności $\alpha = 0,01$. Czyli:

- średnie plony uzyskane dla różnych rozstaw nie są jednakowe, gdyż $p = 0,0000 < \alpha = 0,01$,
- interakcja terminów i rozstaw jest wysoce istotna ($p = 0,0065 < \alpha = 0,01$),
- interakcja gatunków względnie odmian i rozstaw jest wysoce istotna ($p = 0,0000 < \alpha = 0,01$),
- interakcja terminów, gatunków względnie odmian i rozstaw jest wysoce istotna ($p = 0,0063 < \alpha = 0,01$).

Tabela 2

Analiza wariancji w układzie niekompletnym SSP
ANOVA for the incomplete SSP design

Źródła zmienności Sources of variations	Stopnie swobody DF	Sumy kwadratów SS	Średnie kwadraty MS	<i>F</i>	<i>p</i>
Warstwa (1) — Analiza bloków — Stratum (1) — inter-block analysis					
Czynnik <i>C</i> (Rozstawy)	5	0,0426	0,0085	6,8427*	0,0430
Faktor <i>C</i> (Spacing)					
Błąd (1) — Error (1)	4	0,0050	0,0012		
Całość (1) — <i>Bloki</i>	9	0,0476			
Total (1) — <i>Blocks</i>					
Warstwa (2) — Analiza poletek I rzędu — Stratum (2) — inter-whole plot analysis					
Czynnik <i>A</i> (Termin siewu)	1	9,0676	9,0676	4819,9834**	0,0000
Faktor <i>A</i> (Date of sowing)					
<i>A</i> × <i>C</i>	5	0,0838	0,0168	8,9056*	0,0273
Błąd (2) — Error (2)	4	0,0075	0,0019		
Całość (2) — <i>Poletka I rzędu</i>	10	9,1589			
Total (2) — <i>Whole plots</i>					
Warstwa (3) — Analiza poletek II rzędu — Stratum (3) — inter-subplot analysis					
Czynnik <i>B</i> (Odmiany)	3	22,4044	7,4681	281,3196**	0,0000
Faktor <i>B</i> (Varieties)					
<i>A</i> × <i>B</i>	3	1,3561	0,4520	17,0283**	0,0000
<i>B</i> × <i>C</i>	15	0,3085	0,0206	0,7748	0,6911
<i>A</i> × <i>B</i> × <i>C</i>	15	0,2625	0,0175	0,6593	0,7969
Błąd (3) — Error (3)	24	0,6371	0,0265		
Całość (3) — <i>Poletka II rzędu</i>	60	24,9687			
Total (3) — <i>Subplots</i>					
Warstwa (4) — Analiza poletek III rzędu — Stratum (4) — inter-sub-subplot analysis					
Czynnik <i>C</i> (Rozstawy)	5	0,2278	0,0456	6,2892**	0,0000
Faktor <i>C</i> (Spacing)					
<i>A</i> × <i>C</i>	5	0,1235	0,0247	3,4098**	0,0065
<i>B</i> × <i>C</i>	15	0,7170	0,0478	6,5979**	0,0000
<i>A</i> × <i>B</i> × <i>C</i>	15	0,2512	0,0167	2,3117**	0,0063
Błąd (4) — Error (4)	120	0,8693	0,0072		
Całość (4) — <i>Poletka III rzędu</i>	160	2,1888			
Total (4) — <i>sub-subplots</i>					
Całość — Total	239	36,6184			

* $p < 0,05$,** $p < 0,01$

Po odrzuceniu hipotez ogólnych w warstwach powstaje konieczność badania szczegółowego kontrastów bazowych, które są estymowane w tych warstwach. W celu ilustracji postępowania ograniczono się do warstwy (3) — między poletkami II rzędu. Na podstawie wyników w tabeli 2, stwierdzono, że za odrzucenie hipotezy ogólnej 2 w warstwie (3) odpowiadają trzy kontrasty związane z czynnikiem *B*. Dotyczą one porównania efektów kombinacji gatunków względnie odmian łubinu. Są to następujące kontrasty (zob. tabela 1):

$$\mathbf{c}'_{30}\boldsymbol{\tau} = \frac{1}{\sqrt{120}}[1, 1]' \otimes [1, -1, 0, 0]' \otimes [1, 1, 1, 1, 1, 1]'\boldsymbol{\tau},$$

$$\mathbf{c}'_{36}\boldsymbol{\tau} = \frac{1}{\sqrt{360}}[1, 1]' \otimes [1, 1, -2, 0]' \otimes [1, 1, 1, 1, 1]' \boldsymbol{\tau},$$

$$\mathbf{c}'_{42}\boldsymbol{\tau} = \frac{1}{\sqrt{720}}[1, 1]' \otimes [1, 1, 1, -3]' \otimes [1, 1, 1, 1, 1]' \boldsymbol{\tau}.$$

Analiza szczegółowa dla powyższych kontrastów jest przedstawiona w tabeli 3. Wynika z niej, że hipotezy $H_{03}^* : \mathbf{c}'_{30}\boldsymbol{\tau} = 0$, $H_{03}^* : \mathbf{c}'_{36}\boldsymbol{\tau} = 0$ oraz $H_{03}^* : \mathbf{c}'_{42}\boldsymbol{\tau} = 0$ zostały odrzucone na poziomie istotności $\alpha = 0,01$, gdyż obliczone $p < \alpha$. Można więc, na podstawie rozważanego doświadczenia, sformułować, odpowiednio, następujące wnioski:

- jest istotna różnica między średnim plonem łubinu białego III oraz średnim plonem łubinu białego I,
- jest istotna różnica między średnim plonem łubinu białego III i I (łącznie) oraz średnim plonem łubinu żółtego,
- jest istotną różnicą między średnim plonem łubinu niebieskiego oraz średnim plonem pozostałych gatunków względnie odmian (łącznie).

Tabela 3

Analiza szczegółowa w warstwie (3) dotycząca kontrastów bazowych typu B
Detailed analysis on the basic contrasts of type B in the stratum (3)

Warstwa (3) — analiza poletek II rzędu Stratum (3) — inter-subplot analysis					
Źródła zmienności Sources of variations	Df	SS	MS	F	p
Kontrasty typu B Contrasts of type B	3	22,4044	7,4681	281,3196**	0,0000
w tym / including:					
$\mathbf{c}'_{30}\boldsymbol{\tau}$	1	0,6149	0,6149	23,1629**	0,0001
$\mathbf{c}'_{36}\boldsymbol{\tau}$	1	10,1436	10,1436	382,1020**	0,0000
$\mathbf{c}'_{42}\boldsymbol{\tau}$	1	11,6459	11,6459	438,6939**	0,0000
Reszta — Rest	33	1,9272	0,0584		
Błąd (3) — Error (3)	24	0,6371	0,0265		
Całość (3) — Poletka II rzędu Total (3) — subplots	60	24,9687			

** $p < 0,01$

Warto zauważyć, że kontrasty bazowe mogą posłużyć do zbudowania dowolnych kontrastów, których postać jest ściśle związana z zainteresowaniami eksperymentatora. Sposób tworzenia takich kontrastów, ich estymację i testowanie hipotez z nimi związanych pokazano, między innymi, w pracy Ambroży-Deręgowskiej i in. (2015).

PODSUMOWANIE I DYSKUSJA

W pracy przedstawiono przykład konstrukcji układu niekompletnego split-split-plot (SSP) dla nieortogonalnego doświadczenia trójczynnika.

Należy zaznaczyć, że układ tradycyjny, tak zwany kompletny SSP, jest najbardziej optymalny, biorąc pod uwagę jego efektywność pod względem estymacji porównań parametrów obiektowych. Mogą jednak wystąpić sytuacje, kiedy nie można założyć doświadczenia w takim układzie. Na przykład, dostępny materiał doświadczalny jest zbyt mały, niewystarczający dla przewidzianych w doświadczeniu liczb poziomów czynników, względnie występuje zbyt duża liczba kombinacji obiektowych w blokach, co nierzadko prowadzi do naruszenia zasady jednorodności poletek w obrębie bloków, względnie jednostek różnego rzędu. Wtedy należy zastanowić się nad możliwością zaplanowania doświadczenia nieortogonalnego w jakimś układzie niekompletnym SSP.

W pracy przedstawiono układ SSP niekompletny jedynie ze względu na poziomy czynnika trzeciego (rozstawy). Ale można, jeżeli jest to możliwe, zaplanować układy niekompletne ze względu na każdy z pozostałych czynników lub dwa czynniki względnie wszystkie czynniki. Ważną rzeczą jest odpowiedni wybór układu (lub układów) generującego dla wybranego czynnika. Bowiem właściwości statystyczne układu generującego rzutują na właściwości statystycznego finalnego układu SSP. Jak wspomniano wcześniej, przez optymalne planowanie doświadczenia oraz zastosowanie w analizie kontrastów (bazowych i dowolnych), można spełnić różne sugestie eksperymentatora w zakresie wnioskowania statystycznego. Inspiracją do ilustracji przedstawionej metody konstrukcji i analizy danych były dane wygenerowane z ortogonalnego doświadczenia z łubinem.

Celem niniejszej pracy jest pokazanie, że zmniejszenie materiału doświadczalnego nie ogranicza analizy statystycznej i uzyskania z niej wniosków. W zastosowanej w pracy metodzie konstrukcji wykorzystano układ zrównoważony o blokach niekompletnych (BIB), przyjmując, że wybrane porównania między efektami obiektowymi są jednakowo ważne. Jednak w metodzie konstrukcji można zastosować wiele innych układów z teorii układów blokowych, na przykład układy częściowo zrównoważone, których właściwości statystyczne są znane i opisane w literaturze (zob. np. Clatworthy, 1973). Warto też zauważyć, że przedstawiona w pracy analiza doświadczenia założonego w układzie niekompletnym SSP umożliwia bezpośrednie rozszerzenie na doświadczenia zakładane w układach z więcej niż trzema czynnikami. Przyjmując, na przykład, że jeden z czynników jest kombinacją dwóch innych czynników lub rozszczepiając poletka III rzędu tworząc układ split-split-split-plot.

LITERATURA

- Ambroży K., Mejza I. 2006. Doświadczenia trójczynnikiowe z krzyżową i zagnieżdżoną strukturą poziomów czynników. Wyd. Polskie Towarzystwo Biometryczne i PRODRUK, Poznań.
- Ambroży K., Mejza I. 2009. Analiza danych z krzyżową i zagnieżdżoną strukturą poziomów czynników na przykładzie doświadczenia z łubinem. *Biul. IHAR* 251: 269 — 281.
- Ambroży K., Mejza I. 2012. Modelowanie danych z doświadczeń trójczynnikiowych zakładanych w układach zależnych o różnych strukturach blokowych. *Biul. IHAR* 264: 23 — 31.
- Ambroży K., Mejza I. 2013. A method of constructing incomplete split-split-plot designs supplemented by whole plot and subplot standards and their analysis. *Colloquium Biometricum* 43: 59 — 72.
- Ambroży-Deręgowska K., Mejza I. 2014. Niektóre aspekty statystyczne planowania doświadczeń nieortogonalnych typu split-split-plot. *Biul. IHAR*, 274: 41 — 49.

- Ambroży-Deręgowska K., Mejza I., Mejza S. 2014. On the relative efficiency of split-split-plot design to split-plot $\times$ split-block design. *Colloquium Biometricum* 44: 69 — 78.
- Ambroży-Deręgowska K., Mejza I., Mejza S. 2015. Stratum analyses for split-split-plot designs generated by group divisible designs. *Colloquium Biometricum* 45: 47 – 65.
- Barbacki S. 1951. Doświadczenia kombinowane. PWRiL, Warszawa.
- Clatworthy W. H. 1973. Tables of two associate classes partially balanced designs. *NBS App. Math. Ser.* 63, Department of Commerce.
- Cochran W.G., Cox G.M. 1957. *Experimental designs*. Wiley, New York.
- Nelder J. A. 1965 a. The analysis of randomized experiments with orthogonal block structure. 1. Block structure and the null analysis of variance. *Proc. Roy. Soc. London Ser. A* 283: 147 — 162.
- Nelder J. A. 1965 b. The analysis of randomized experiments with orthogonal block structure. 2. Treatment structure and general analysis of variance. *Proc. Roy. Soc. London A* 283: 163 — 178.

KRZYSZTOF KLIMONT ¹
ZOFIA BULIŃSKA-RADOMSKA ¹
AGNIESZKA OSIŃSKA ¹
GRZEGORZ GRYZIAK ¹
JÓZEF GÓRKA ²
PIOTR KRASKA ³

¹ Krajowe Centrum Roślinnych Zasobów Genowych, IHAR — PIB w Radzikowie

² Kopalnia Siarki „Jeziórko” S.A. w Jeziorku

³ Katedra Ekologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Rekultywacyjna efektywność komunalnych osadów ściekowych oraz wybranych gatunków roślin na bezglebowych utworach wapna poflotacyjnego pokrywającego powierzchnię po otworowej eksploatacji siarki

Reclamation efficiency of municipal sewage sludge and selected plant species for soilless post-flotation lime ground covering the surface after the borehole exploitation of sulfur

Badano wpływ stosowania osadów ścieków komunalnych na inicjację i intensywność procesów glebotwórczych na bezglebowym gruncie wapna poflotacyjnego w zależności od gatunków porastających je roślin. Stwierdzono, że osady ściekowe wraz z porastającą roślinnością inicjują życie biologiczne w martwym bezglebowym podłożu, a powstała materia organiczna umożliwia magazynowanie wody i składników pokarmowych. Zastosowanie osadów ściekowych do użyznienia wapna poflotacyjnego wpłynęło na istotny, kilkukrotny wzrost zawartości węgla organicznego (C_{org}) oraz przyswajalnych form fosforu i potasu, a wzrost zawartości magnezu był mniejszy. Oceniając glebotwórcze oddziaływanie roślinności na wapienne bezglebowe podłoże stwierdzono, że próbki pobrane spod kostrzewy trzcinowej zawierają najwięcej węgla organicznego (C_{org}), spod ślazuwca pensylwańskiego przyswajalnych form fosforu, a spod różnych form wierzby (*Salix* sp.) potasu i magnezu. Odnotowano zbyt wysoką zawartość fosforu, potasu i wapnia a niską magnezu w pędach wszystkich badanych roślin, co wiąże się z zawartością tych składników w podłożu i osadach ściekowych. Zawartość wszystkich ocenianych składników w bulwach topinamburu była niższa niż w pędach wszystkich testowanych roślin.

Redaktor prowadzący: Henryk J. Czembor

Słowa kluczowe: tereny zdewastowane, rekultywacja, osady ściekowe, proces glebotwórczy, wapno poflotacyjne, rośliny rekultywacyjne

The effect of the use of municipal waste sludge on the initiation and the intensity of soil-forming processes on soilless of post-flotation lime ground depending on the species of plants growing on them was examined. It was found that sludge with vegetation growing on it initiates biological life in the lifeless soilless subsoil and the resulting organic matter allows the storage of water and nutrients. Application of sludge to fertilize flotation lime resulted in significant repeated increase of TOC content and forms of phosphorus and potassium available for plants, and smaller increase of magnesium content. Assessing the soil-forming impact of vegetation on the limy soilless subsoil it was found that samples taken from under tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) contain most of TOC, from under *Sida hermaphrodita* Rusby — more forms of phosphorus available for plants, and from under various forms of willow (*Salix* sp.) — more potassium and magnesium. The contents of phosphorus, potassium and calcium were too high while magnesium content was low in the sprouts of all test plants, which was related the contents of these components in the subsoil and sewage sludge. The contents of all evaluated components in Jerusalem artichoke bulbs were lower than in the sprouts of all test plants.

Key words: devastated land, land reclamation, sewage sludge, soil-forming process, post-flotation lime, reclamation plants

WSTĘP

Zdewastowane grunty wymagają koniecznie rekultywacji przez inicjację w nich procesów glebotwórczych a nade wszystko odtworzenia szaty roślinnej poprzez wprowadzenie wybranych gatunków roślin użytkowych (Levyk, Brzezińska, 2007; Klimont, Bulińska-Radomska, 2011). Do takich zdewastowanych gruntów zalicza się tereny poeksploatacyjne kopalni siarki, gdzie siarkę wydobywano metodą otworową. Po zakończeniu eksploatacji złoża rekultywacja techniczna polega, między innymi, na zneutralizowaniu kwasowości podłoża i wypełnieniu zapadlisk terenu wapnem poflotacyjnym, a następnie użyźnianiu osadem ściekowym celem inicjacji życia biologicznego w martwym podłożu i wprowadzeniu dobranych gatunków roślin (Siuta i in., 1996; Siuta, 2005; Siuta i Żukowski, 2008; Jońca 2000; Warzybok, 2007; Klimont i in., 2002). Prace Siuty i in. (1996) wykazały, że roślinami szczególnie przydatnymi do rekultywacji biologicznej wapna poflotacyjnego są kupkówka pospolita i lucerna siewna. Natomiast badania Klimonta (2004) oraz Klimonta i Bulińskiej-Radomskiej (2011) wykazały, że do tych roślin należą także topinambur (słonecznik bulwiasty), kostrzewa trzcinowa i spartina sercowata. Również wybrane gatunki roślin miododajnych, m.in. gryka zwyczajna, nostryk biały, wiesiołek dwuletni, ślázówka turyngska i sylfia przerośnięta oraz gatunki i mieszańce wierzby (*Salix* sp.), ślázowiec pensylwański, rośliny oleiste, w tym rzepak jary, gorczyca biała, lnianka siewna, słonecznik zwyczajny (oleisty), len zwyczajny (oleisty) okazały się bardzo przydatne do rekultywacji i wraz z osadami ściekowymi wpływały na gromadzenie materii organicznej i składników pokarmowych w podłożu (Klimont i in., 2012, 2013 a, 2013 b).

Celem prowadzonych badań było określenie wpływu stosowania osadów ściekowych na inicjację i intensywność procesów glebotwórczych na bezglebowym podłożu wapna poflotacyjnego w zależności od porastającej go roślinności.

MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono na terenach poeksploatacyjnych Kopalni Siarki „Jeziórko” pokrytych wapnem poflotacyjnym o łącznej powierzchni ok. 100 ha, z której wydzielono teren pod doświadczenie o powierzchni 0,50 ha. Wiosną 1995 roku bezglebowy grunt ukształtowany z wapna poflotacyjnego na powierzchni doświadczenia nawieziono równomiernie powierzchniowo osadem ścieków komunalnych w dawce $250 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Zastosowane partie komunalnych osadów ściekowych, przebadane pod względem chemicznym, bakteriologicznym i parazytologicznym według opinii wydanej przez Sanepid były zgodne z obowiązującymi przepisami prawa i mogły być wykorzystane rolniczo. Skład chemiczny i sanitarny osadów ściekowych przedstawiono w tabeli 1 (Klimont i in., 2002). Następnie ciężką broną talerzową wymieszano z podłożem stosując nawożenie mineralne N, P, K w ilości 68, 30 i $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, które w podanych dawkach wnoszono corocznie. Na tak przygotowanym gruncie założono dwa doświadczenia. Na pierwszym wysiano na powierzchni 0,40 ha nasiona kostrzewy trzcinowej (*Festuca arundinacea* Schreb.), a na drugim o powierzchni 0,10 ha wysadzono bulwy topinamburu (*Helianthus tuberosus* L.). Każdego roku ruń kostrzewy trzcinowej wykaszano rozdrabniaczem sadowniczym, z kolei pędy topinamburu pozostawiano nieskoszone na zimę, a wiosną je ścinano, rozdrabniano i mieszano z podłożem. Trzecie doświadczenie z rożnikiem przerośniętym (*Silphium perfoliatum* L.) założono wiosną 1996 w czterech powtórzeniach. Powierzchnia poletek wynosiła 6 m^2 , wysadzono na nich rozsądę rożnika przerośniętego w rozstawie $75 \times 40 \text{ cm}$ przy obsadzie 24 roślin na poletku. W czasie wegetacji w miarę potrzeby rośliny odchwaszczano ręcznie i spulchniano międzyrzędzia. Czwarte doświadczenie z nawłocią kanadyjską (*Solidago canadensis* L.) i piąte z gatunkami i mieszańcami wierzb (*Salix* sp.) założono wiosną 2001 roku. Doświadczenie z nawłocią kanadyjską założono w czterech powtórzeniach, powierzchnia poletek wynosiła 5 m^2 , wysadzono na nich karpy nawłoci w rozstawie $60 \times 40 \text{ cm}$ w obsadzie 20 roślin na poletku, które łatwo ukorzeniły się w podłożu. Również wiosną 2001 roku założono doświadczenie z wierzbą metodą bloków losowych w czterech powtórzeniach. Pojedynczy obiekt (powtórzenie) stanowił rząd nasadzeń wierzby. Z początkiem kwietnia wysadzono ręcznie zrzesy 11 gatunków i mieszańców wierzby (*Salix* sp.) w rozstawie $120 \times 100 \text{ cm}$, liczba roślin w rzędzie wynosiła 16, a długość rzędu 17 m. Wiosną 2005 roku założono szóste doświadczenie ze ślazowcem pensylwańskim (*Sida hermaphrodita* Rusby). Doświadczenie założono w czterech powtórzeniach. Powierzchnia poletek stanowiła $6,0 \text{ m}^2$, obsadzono je rozsądą ślazowca pensylwańskiego w rozstawie $50 \times 40 \text{ cm}$, co gwarantowało obsadę 30 roślin na poletku. Na doświadczeniach z rożnikiem przerośniętym, nawłocią kanadyjską, wierzbami i ślazowcem pensylwańskim stosowano identyczne dawki osadów ściekowych oraz nawozów mineralnych i wykonywano podobne czynności pratotechniczne, takie jak w przypadku doświadczenia z kostrzewą trzcinową i topinamburem. Wariant kontrolny dla wszystkich doświadczeń stanowił obiekt o powierzchni 0,10 ha bez nawożenia, osadów ściekowych i nieporośnięty roślinnością.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań prowadzonych na wymienionych doświadczeniach w latach 2010–2013. Badano wpływ osadów ściekowych i uprawianych roślin na zawartość materii organicznej, składników pokarmowych oraz zmianę odczynu rekultywowanego gruntu. W próbkach podłoża oznaczono: węgiel organiczny ogółem C_{org} (metodą miareczkową — Tiurina), wartość pH (metodą potencjometryczną wg PN-ISO-10390), zawartość P (metodą spektrofotometryczną wg PN-R 04023), zawartość K (metodą spektrometrii płomieniowej wg PN-R 04022) i zawartość Mg (metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej wg PN-R 04020). Z kolei w materiale roślinnym oznaczono: zawartość P (metodą spektrofotometryczną), zawartość K (metodą fotometrii płomieniowej), zawartość Mg (metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrofotometrii atomowej) oraz zawartość Ca (metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej). Replikacje w oznaczeniach chemicznych stanowiły wyniki analiz z średniej próby.

Wyniki opracowano metodą analizy wariancji, a różnice między średnimi oceniano testem Tukeya na poziomie $\alpha = 0,05$.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Analizy osadów ściekowych prezentowane w tabeli 1 wskazują na dużą zawartość składników pokarmowych w suchej masie w postaci azotu, fosforu i wapnia oraz mniejszą magnezu (potasu nie oznaczano). Wprowadzając do podłoża dawkę $250 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ osadu ściekowego wnosi się wraz z nim ok. 2,80 t azotu, 1,30 t fosforu, ok. 0,50 t wapnia i 120 kg magnezu, a także prawie 30,0 t węgla organicznego (tab. 2).

Czteroletnie badania wykazały, że po zastosowaniu dawki osadu ściekowego następował intensywny wzrost zawartości węgla organicznego (C_{org}) w podłożu wapna poflotacyjnego na wszystkich obiektach porośniętych testowanymi gatunkami roślin (tab. 3). Osady ściekowe wprowadzone do bezglebowego gruntu wapna poflotacyjnego zainicjowały w nim życie biologiczne i procesy glebotwórcze sprzyjające tworzeniu się zaczątków poziomu próchnicznego w wierzchniej warstwie gruntu. Jest to zgodne z wynikami Martyna i in. (2001, 2001 a), którzy informują, że osady ściekowe wprowadzone do gruntu wapna poflotacyjnego wykazują w nim dużą dynamikę procesów glebotwórczych i aktywność biologiczną. Największy przyrost zawartości węgla organicznego (C_{org}) nastąpił w gruncie pobranym spod kostrzewy trzcinowej (średnio do $37,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) i wierzb (średnio $30,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), co daje odpowiednio 8-krotny i prawie 7-krotny przyrost w stosunku do wariantu kontrolnego ($4,6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$). W przypadku różnika przerośniętego, ślazuwca pensylwańskiego i nawłoci kanadyjskiej zawartość węgla organicznego (C_{org}) była podobna i wynosiła kolejno 22,7, 23,0 oraz $21,2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, tj. 5-krotnie wyższa niż na wariantie kontrolnym. Najniższą zawartość węgla organicznego (C_{org}) odnotowano w podłożu porośniętym topinamburem — średnio $15,3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, tj. tylko ponad 3 razy więcej niż na obiekcie kontrolnym. Odnotowano tendencję w kierunku zmniejszania się zawartości węgla organicznego (C_{org}) w kolejnych latach badań w gruncie porośniętym przez topinambur, kostrzewę trzcinową i różnik przerośnięty, co można tłumaczyć długim okresem od czasu wniesienia osadów do okresu badawczego,

oraz wzrastającej zawartości w przypadku ślazuwca pensylwańskiego, nawłoci kana-dyjskiej oraz gatunków i mieszańców wierzby, gdzie okres pomiędzy wniesieniem osadów a początkiem badań był o wiele krótszy.

Tabela 1

**Skład chemiczny i sanitarny osadów ściekowych z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Stalowej Woli
(Klimont i in., 2002)**
**Chemical composition and sanitary condition of sewage sludge from Stalowa Wola City treatment
plant (Klimont et al., 2002)**

Składniki — Components	Zawartość — Content osady ściekowe ¹⁾ — sewage sludge ¹⁾
Sucha masa — Dry matter	29,1
pH	7,1
Zawartość s.m. (%) — Content in dm (%)	
Azot ogólny (N)	3,400
Azot amonowy (NH ₄ ⁺)	0,400
Fosfor ogólny (P ₂ O ₅)	1,690
Wapń (CaO)	0,640
Magnez (MgO)	0,160
Substancja organiczna — Organic matter	72,580
Zawartość s.m. (mg·kg ⁻¹) — Content in dm (mg·kg ⁻¹)	
Cynk (Zn)	1257,730
Ołów (Pb)	68,730
Kadm (Cd)	< 6,870
Miedź (Cu)	30,930
Chrom ogólny (Cr)	< 20,620
Nikiel (Ni)	68,730
Rtęć (Hg)	0,060
Badania bakteriologiczne i parazytologiczne — Bacteriological and parasitological tests	
Obecność Salmonelli — Presence of Salmonella	nie stwierdzono — not detected
Liczba żyjących jaj <i>Ascaris</i> sp., <i>Toxocara</i> sp., <i>Trichuris</i> sp.	
Number of live eggs of <i>Ascaris</i> sp., <i>Toxocara</i> sp., <i>Trichuris</i> sp.	2

¹⁾ Według opinii wydanej przez SANEPID w Tarnobrzegu (1995), przebadane partie osadów ściekowych pod względem chemicznym, bakteriologicznym i parazytologicznym są zgodne z obowiązującymi przepisami prawa i mogą być wykorzystywane rolniczo

¹⁾ According to the statement of SANEPID in Tarnobrzeg (1995), the sewage sludge tested for chemical compositions well as bacteriologically and parasitologically were in agreement with the current standards and were allowed to be utilized in agriculture.

Źródło: wyniki własne — Source: own study

Tabela 2

**Ilość składników pokarmowych i C_{org} wnoszona wraz z osadem ściekowym do bezglebowego gruntu
wapna poflotacyjnego**
**Amounts of the nutrients and TOC brought in with sewage sludge into soil-less post-flotation lime
ground**

Dawka osadu ściekowego Dose of sewage sludge (m ³ ·ha ⁻¹)	Ilość składników pokarmowych Amount of nutrients [t]					
	azot ogólny total nitrogen (N)	azot amonowy ammonium nitrogen (NH ₄)	fosfor ogólny total phosphorus (P ₂ O ₅)	wapń calcium (CaO)	magnez magnesium (MgO)	C _{org} (TOC)
250	2,495	0,290	1,229	0,475	0,120	30,626

Zawartość węgla organicznego (C_{org}) w poziomie skały macierzystej była istotnie niższa niż w poziomach organiczno-próchnicznych gruntu porośniętego przez kostrzewę trzcinową, ślazowiec pensylwański i wierzby, natomiast w przypadku topinamburu, roznika przerośniętego i nawłoci istotnych różnic nie odnotowano. Jest to zgodne z doniesieniami literaturowymi (Siuta, 2005), które mówią, że osady ściekowe mogą być źródłem substancji organicznej w użytkowaniu rolniczym i rekultywacji.

Wytworzona masa organiczna stworzyła warunki do gromadzenia składników pokarmowych i wody. Średnia zawartość przyswajalnego fosforu najbardziej zwiększyła się w wierzchniej warstwie gruntu, w porównaniu z wariantem kontrolnym $6,3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ na obiektach ze ślazowcem pensylwańskim, gatunkami i mieszancami wierzb, nawłocią kanadyjską i roznikiem przerośniętym odpowiednio do: $147,3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $126,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $120,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ i $114,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, tj. 18–20 krotnie (tab. 3). Mniejsze przyrosty tego składnika odnotowano w przypadku topinamburu i kostrzewy trzcinowej, odpowiednio do $79,9$ i $47,7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, był to wzrost kolejny prawie 13 i ponad 7-krotny.

Tabela 3

Wpływ osadów ściekowych na zawartość przyswajalnych P, K, Mg i C_{org} w gruncie wapna poflotacyjnego w zależności od gatunku rośliny rekultywacyjnej (2010–2013)
The effect of sewage sludge on contents of TOC and available forms of P, K and Mg in relations to species of reclamation plant (2010–2013)

Gatunek rośliny Species of plant	Dawka osadów ścieko- wych Dose of sewage sludge (m ³ ·ha ⁻¹)	Poziom glebowy Soil level	pH (w 1n KCl)					Zawartość — Content									
								P (mg·kg ⁻¹)					K (mg·kg ⁻¹)				
			2010	2011	2012	2013	$\bar{x}$	2010	2011	2012	2013	$\bar{x}$	2010	2011	2012	2013	$\bar{x}$
Wariant kontrolny Control	0	OA	7,60	7,40	7,40	7,30	7,4	6,5	6,4	6,9	5,6	6,3	15,9	20,7	9,9	19,9	16,6
		C	7,50	7,50	7,50	7,40	7,5	6,1	5,4	6,4	4,8	5,7	12,0	15,8	7,5	14,3	12,4
<i>Helianthus tuberosus</i> L.	250	OA	7,40	7,30	7,40	7,30	7,3	93,7	86,3	77,6	62,3	79,9	47,3	42,3	31,5	36,5	39,4
		C	7,50	7,40	7,50	7,40	7,4	39,2	37,8	47,8	27,3	38,0	31,5	24,1	22,8	18,3	24,2
<i>Festuca arundinacea</i> Scherb.	250	OA	7,10	7,40	7,10	7,20	7,2	57,9	56,6	55,8	20,5	47,7	49,8	122,8	91,3	57,3	80,3
		C	7,30	7,40	7,30	7,30	7,3	36,6	24,4	35,5	13,9	27,6	45,6	42,3	39,2	27,4	38,6
<i>Silphium perfoliatum</i> L.	250	OA	7,10	7,20	7,10	7,20	7,2	133,4	124,3	128,6	72,8	114,8	56,4	45,7	95,4	42,3	59,9
		C	7,20	7,10	7,40	7,40	7,3	106,8	73,3	49,7	10,0	59,9	33,2	38,8	42,3	13,3	31,9
<i>Sida hermaphro- ditis</i> Rusby.	250	OA	7,40	7,40	7,30	7,20	7,3	160,5	151,3	140,3	137,2	147,3	79,4	78,2	75,2	74,7	76,9
		C	7,50	7,50	7,50	7,40	7,5	35,5	37,8	32,2	28,4	33,5	34,8	34,4	34,0	32,0	33,8
<i>Solidago canadensis</i> L.	250	OA	7,10	7,20	7,10	7,20	7,2	128,6	124,3	127,7	102,8	120,8	56,4	29,0	95,4	42,3	55,8
		C	7,20	7,10	7,30	7,40	7,3	66,8	57,3	42,7	30,2	49,2	33,2	44,8	42,3	33,3	38,4
<i>Salix</i> sp.	250	OA	7,20	7,20	7,10	7,10	7,2	144,5	143,9	132,9	85,2	126,6	97,4	98,8	96,7	107,1	100,0
		C	7,30	7,30	7,30	7,30	7,3	20,4	13,5	39,7	19,6	23,3	39,3	34,9	34,8	34,3	35,8
NIR α = 0,05			-	-	-	-	0,27	-	-	-	-	56,3	-	-	-	-	45,2
LSD α = 0,05			-	-	-	-	0,27	-	-	-	-	56,3	-	-	-	-	45,2

c. d. Tabela 3

Gatunek rośliny Species of plant	Dawka osadów ścieko- wych Dose of sewage sludge (m ³ ·ha ⁻¹)	Poziom glebowy Soil level	pH (w 1n KCl)					Zawartość — Content											
								Mg (mg·kg ⁻¹)					C _{org} (TOC) (g·kg ⁻¹)						
			2010	2011	2012	2013	$\bar{x}$	2010	2011	2012	2013	$\bar{x}$	2010	2011	2012	2013	$\bar{x}$		
Wariant kontrolny Control	0	OA	7,60	7,40	7,40	7,30	7,4	9,6	6,6	8,4	6,1	7,7	2,9	3,9	5,3	6,1	4,6		
		C	7,50	7,50	7,50	7,40	7,5	9,0	7,2	6,3	5,8	7,1	3,5	3,6	3,1	2,9	3,3		
<i>Helianthus tuberosus</i> L.	250	OA	7,40	7,30	7,40	7,30	7,3	10,8	10,2	10,2	11,2	10,6	16,1	16,9	14,0	14,2	15,3		
		C	7,50	7,40	7,50	7,40	7,4	10,2	9,0	9,4	7,8	9,1	5,4	7,8	7,4	6,4	6,8		
<i>Festuca arundinacea</i> Scherb.	250	OA	7,10	7,40	7,10	7,20	7,2	28,3	29,5	19,9	14,5	23,1	46,2	33,8	34,8	35,2	37,5		
		C	7,30	7,40	7,30	7,30	7,3	12,7	10,2	13,4	6,6	10,7	11,1	8,2	8,9	6,9	8,8		
<i>Silphium perfoliatum</i> L.	250	OA	7,10	7,20	7,10	7,20	7,2	18,0	18,0	20,0	11,0	16,8	27,4	20,6	24,5	18,4	22,7		
		C	7,20	7,10	7,40	7,40	7,3	14,0	10,0	17,0	10,0	12,8	17,6	13,6	9,7	5,0	11,5		
<i>Sida hermaphro- ditis</i> Rusby.	250	OA	7,40	7,40	7,30	7,20	7,3	18,3	18,0	19,5	14,1	17,5	21,3	23,1	23,4	24,1	23,0		
		C	7,50	7,50	7,50	7,40	7,5	8,5	8,2	8,0	7,5	8,1	7,1	7,7	8,4	5,6	7,2		
<i>Solidago canadensis</i> L.	250	OA	7,10	7,20	7,10	7,20	7,2	10,8	9,2	12,6	10,5	10,8	27,4	14,8	24,5	18,1	21,2		
		C	7,20	7,10	7,30	7,40	7,3	8,4	9,6	10,2	9,2	9,4	17,6	14,4	9,8	7,4	12,3		
<i>Salix</i> sp.	250	OA	7,20	7,20	7,10	7,10	7,2	75,4	71,7	51,6	55,7	63,6	27,7	27,2	41,9	24,8	30,4		
		C	7,30	7,30	7,30	7,30	7,3	20,3	25,3	17,8	23,5	21,7	8,4	7,3	9,6	6,2	7,9		
NIR α =0,05			-	-	-	-	0,27	13,1										11,9	
LSD α =0,05																			

Po wniesieniu osadów ściekowych do gruntu ukształtowanego z wapna poflotacyjnego przyrost zawartości przyswajalnego potasu był niższy niż w przypadku fosforu. Największą średnią zawartość tego składnika odnotowano na obiekcie pokrytym gatunkami i mieszancami wierzby i wynosiła ona 100,0 mg·kg⁻¹ (wzrost 6-krotny w stosunku do kontroli 16,6 mg·kg⁻¹). Niższą zawartość potasu stwierdzono na obiektach z kostrzewą trzcinową i ślázowcem pensylwańskim — odpowiednio 80,3 i 76,9 mg·kg⁻¹ (wzrost 4,8 i 4,6-krotny), jeszcze niższy na obiektach pokrytych różnikiem przerośniętym i nawłocią kanadyjską — odpowiednio 59,9 i 55,8 mg·kg⁻¹ (wzrost 3,6 i 3,4-krotny), a najniższą na obiekcie z topinamburem — zawartość K w podłożu 39,4 mg·kg⁻¹ (wzrost prawie 2,5-krotny).

Przyrost zawartości przyswajalnego magnezu w gruncie nawiezionym osadem ściekowym był najniższy spośród trzech ocenianych składników pokarmowych. Najwyższą zawartość Mg odnotowano na obiekcie z gatunkami i mieszancami wierzby i wynosiła ona 63,6 mg·kg⁻¹ i była ponad 8-krotnie wyższa niż na obiekcie kontrolnym (7,7 mg·kg⁻¹). W przypadku kostrzewy trzcinowej zawartość tego pierwiastka wzrosła 3-krotnie do wartości 23,1 mg·kg⁻¹. Na obiekcie ze ślázowcem pensylwańskim i różnikiem przerośniętym zawartość potasu wyniosła 17,5 i 16,8 mg·kg⁻¹ (wzrost ponad 2-krotny),

a na obiektach porośniętych topinamburem i nawłocią kanadyjską zawartość 10,6 i 10,8 mg·kg⁻¹ i wzrost prawie 1,5-krotny.

Zawartość przyswajalnego fosforu, potasu i magnezu w poziomie próchnicznym była wyższa niż na poziomie skały macierzystej na obiektach porośniętych wszystkimi gatunkami roślin, ale tylko w przypadku gatunków i mieszańców wierzb były to różnice istotne. Wiąże się to z wyższą zawartością węgla organicznego (C_{org}) w poziomie próchnicznym. Odnotowano także malejącą zawartość fosforu zarówno w poziomie próchnicznym jak i skale macierzystej w kolejnych latach badań w zasadzie na wszystkich obiektach.

Wprowadzenie do wapiennego podłoża osadów ściekowych wraz z porastającą roślinnością wpłynęło na niewielkie ale zauważalne obniżenie jego pH w obydwu poziomach glebowych na wszystkich badanych obiektach. Obserwowano powolne zmniejszanie się zawartości węgla organicznego (C_{org}) w gruncie, na którym rósł topinambur, nawłóć kanadyjską oraz gatunki i mieszańce wierzb, jak również jego zwiększenie w podłożu porośniętym kostrzewą trzcinową i różnikiem przerośniętym w porównaniu do poprzednich badań (Klimont i in., 2013 a; Klimont, Bulińska-Radomska, 2013 b). Odnotowano również zmniejszenie zawartości przyswajalnego fosforu, potasu i magnezu w gruncie ukształtowanym z wapna poflotacyjnego pobranym spod wszystkich gatunków roślin, z wyjątkiem niewielkiego wzrostu poziomu magnezu w obiekcie pokrytym wierzbami, w porównaniu do innych badań (Klimont, 2004, 2011; Klimont i in., 2013 a; Klimont i in., 2013 b; Klimont, Bulińska-Radomska, 2013). Obserwowano w zasadzie zbyt wysoką zawartość wapnia, potasu i fosforu w pędach pobranych ze wszystkich badanych roślin w porównaniu do normatywnych zawartości tych składników w runi (Wiśniewska-Kielian, Lipiński, 2007), ale należy tłumaczyć to tym, iż doświadczenie założono na gruncie wapiennym nawiezionym osadem ściekowym zasobnym w fosfor i potas. Natomiast zawartość magnezu we wszystkich analizowanych próbkach pobranych z obiektów była niska, ale wynika to być może z niskiej zawartości tego pierwiastka w gruncie wapiennym (Gołda, 2007), natomiast według Siuty (2004) osady ściekowe zawierają wystarczająco dużo magnezu do uzupełnienia jego niedoborów w glebach i dostarczenia go roślinom. Zawartość P oznaczonego w roślinach wahała się od 2,70 do 6,38, K od 19,28 do 40,48, Mg od 0,88 do 2,90 i Ca od 4,60 do 26,108 g·kg⁻¹ i była podobna do zawartości tych składników w roślinności porastającej składowiska odpadów komunalnych i przemysłowych (Dyguś i in., 2012). Wyniki badań Kalembasy i in. (2007) wskazują, że osady ściekowe mogą być potencjalnym źródłem makroelementów dla roślin i wpływać pozytywnie na wysokość plonu oraz zawartość w nim tych składników. O wysokiej efektywności osadowej rekultywacji gruntów bezglebowych i gleb ubogich w próchnicę donosi Siuta (2007) podkreślając dużą zawartość w osadach próchnicotwórczej substancji organicznej i zawartość składników pokarmowych dla roślin. Zawartość wszystkich oznaczanych składników P, K, Mg i Ca w bulwach topinamburu była najniższa i w przypadku Ca istotnie różniła się od jego zawartości w pędach, co pokazują badania Górala (1999). Natomiast Piskier (2009) donosi o pozytywnym oddziaływaniu kompostu z osadu ściekowego na biomasę topinamburu z przeznaczeniem na opał.

Tabela 4

Zawartość fosforu, potasu, magnezu i wapnia w roślinach rosnących na gruncie wapna poflotacyjnego wzbogaconego osadem ściekowym w dawce 250t·ha⁻¹ (2010–2013)

The content of phosphorus, potassium, magnesium and calcium in plants grown on post flotation lime subsoil enriched with sludge at dose of 250t·ha⁻¹ (2010–2013)

Gatunek rośliny (badany materiał roślinny) Species of plant (plant material)	Zawartość — Content									
	P (g·kg ⁻¹)					K (g·kg ⁻¹)				
	2010	2011	2012	2013	$\bar{x}$	2010	2011	2012	2013	$\bar{x}$
<i>Helianthus tuberosus</i> L. (pędy; shots)	3,4	3,7	5,5	4,2	4,20	47,1	20,7	52,5	41,6	40,48
<i>Helianthus tuberosus</i> L. (bulwy; tubers)	2,8	3,0	3,2	1,8	2,70	25,5	19,6	20,7	11,3	19,28
<i>Festuca arundinacea</i> Scherb. (pędy; shots)	6,3	3,6	4,0	2,3	4,05	19,1	17,1	34,5	16,3	21,75
<i>Silphium perfoliatum</i> L. (pędy; shots)	3,2	4,4	3,8	3,5	3,76	36,6	27,7	36,1	25,0	31,35
<i>Sida hermaphroditis</i> Rusby. (pędy; shots)	7,3	6,6	5,5	6,1	6,38	45,8	42,0	41,6	30,9	40,08
<i>Solidago canadensis</i> L. (pędy; shots)	3,6	5,0	5,0	4,6	4,55	32,4	51,7	35,0	32,5	37,90
<i>Salix</i> sp. (pędy; shots)	4,4	5,0	2,7	4,1	4,05	36,6	37,6	20,6	20,8	28,90
NIR α = 0,05	-	-	-	-	3,09	-	-	-	-	29,05
LSD α = 0.05										

	Zawartość — Content									
	Mg (g·kg ⁻¹)					Ca (g·kg ⁻¹)				
	2010	2011	2012	2013	$\bar{x}$	2010	2011	2012	2013	$\bar{x}$
<i>Helianthus tuberosus</i> L. (pędy; shots)	2,4	1,3	2,3	2,5	2,13	24,8	20,7	22,7	36,2	26,10
<i>Helianthus tuberosus</i> L. (bulwy; tubers)	1,1	0,8	0,7	0,9	0,88	5,4	6,7	4,5	7,7	6,08
<i>Festuca arundinacea</i> Scherb. (pędy; shots)	1,4	1,5	1,4	1,3	1,40	4,1	4,4	4,9	5,0	4,60
<i>Silphium perfoliatum</i> L. (pędy; shots)	2,1	2,2	2,6	1,4	2,08	15,1	23,1	17,3	28,4	21,98
<i>Sida hermaphroditis</i> Rusby. (pędy; shots)	3,2	2,2	3,0	3,2	2,90	15,5	18,9	11,5	27,5	18,35
<i>Solidago canadensis</i> L. (pędy; shots)	1,7	2,4	3,1	1,5	2,18	16,8	12,0	17,1	17,0	15,73
<i>Salix</i> sp. (pędy; shots)	2,1	2,2	1,8	2,3	2,10	27,2	26,3	21,7	19,2	23,60
NIR α = 0,05	-	-	-	-	1,46	-	-	-	-	15,28
LSD α = 0.05										

Spośród badanych gatunków najwięcej fosforu, potasu i magnezu gromadziły pędy ślazuca pensylwańskiego, co potwierdzają opracowania Borkowskiej i Styka (2006), a najwięcej wapnia zawierały części nadziemne topinamburu, podobnie jak w pracy Górala (1999).

WNIOSKI

1. Osady ściekowe wraz z porastającymi gatunkami roślin inicjują życie biologiczne w martwym gruncie ukształtowanym z wapna poflotacyjnego, a powstała materia organiczna umożliwia magazynowanie składników pokarmowych i wody.
2. Zastosowanie osadów ściekowych do użyźnienia gruntu ukształtowanego z wapna poflotacyjnego wpływało na intensywny kilkukrotny wzrost zawartości węgla organicznego (C_{org}) oraz przyswajalnych form fosforu i potasu, a przyrost magnezu był mniejszy.
3. Spośród badanych gatunków roślin największą zawartość węgla organicznego (C_{org}) stwierdzono w gruncie pobranym spod kostrzewy trzcinowej i różnych form wierzby (*Salix* sp.). Oceniając glebotwórcze oddziaływanie roślinności na wapienny bezglebowy grunt wraz z osadami ściekowymi stwierdzono, że próbki pobrane spod kostrzewy trzcinowej zawierały najwięcej węgla organicznego, spod ślazuwca pensylwańskiego przyswajalnych form fosforu, a spod różnych form wierzby przyswajalnego potasu i magnezu.
4. Odnotowano zbyt wysoką zawartość wapnia, potasu i fosforu oraz niską magnezu w pędach wszystkich badanych roślin, co wiąże się z zawartością tych składników w gruncie i osadach ściekowych.

LITERATURA

- Borkowska H., Styk B. 2006. Ślazuwiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby). Uprawa i wykorzystanie. Wyd. AR Lublin: 69 ss.
- Dyguś R. H., Siuta J., Wasiak G., Madej M. 2012. Roślinność składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych. Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania, Warszawa: 134 ss.
- Gołda T. 2007. Wykorzystanie szlamów poflotacyjnych rudy siarkowej do rekultywacji terenów poeksploatacyjnych w górnictwie otworowym siarki. Inżynieria Ekologiczna 19. PTIE Warszawa: 79 — 88.
- Góral S. 1999. Słonecznik bulwiasty — topinambur, uprawa i użytkowanie. IHAR Radzików. Dział Promocji Postępu Biologicznego: 22 ss.
- Jońca M. 2000. Zastosowanie osadów ściekowych w rekultywacji gruntów. Inżynieria Ekologiczna 3. PTIE Bydgoszcz: 161 — 178.
- Kalembasa S., Kuziemska B., Godlewska A. 2007. Osady ściekowe jako potencjalne źródło makroelementów. Inżynieria Ekologiczna 18. PTIE Warszawa: 132 — 133.
- Klimont K. 2004. Przydatność wybranych gatunków roślin użytkowych do rekultywacji terenów zdewastowanych. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 497: 673 — 684.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z. 2011. Wpływ wybranych gatunków roślin na procesy glebotwórcze i ich przydatność do rekultywacji bezglebowych utworów wapna poflotacyjnego na powierzchni po otworowej eksploatacji siarki. Roczniki Gleboznawcze. Tom LXII (2) Warszawa: 204 — 211.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z. 2013. Możliwość wykorzystania ślazuwca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* Rusby.) do rekultywacji terenów po otworowej eksploatacji siarki. Problemy Inżynierii Rolniczej 1: 125 — 132.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z., Górka J. 2013 a. Możliwość wykorzystania wybranych roślin miododajnych do rekultywacji terenów po eksploatacji siarki. Polish Journal of Agronomy 12. Puławy: 17 — 25.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z., Górka J. 2013 b. Ocena przydatności różnych form wierzby (*Salix* sp.) do rekultywacji terenów poeksploatacyjnych kopalni siarki. Biul. IHAR 269: 161 — 168.

- Klimont K., Bulińska-Radomska Z., Woś H. 2012. Możliwość wykorzystania jarych roślin oleistych w procesie rekultywacji terenów kopalnianych. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 2: 63 — 73.
- Klimont K., Góral S., Jońca M. 2002. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na podłożu wapna poflotacyjnego. *Biul. IHAR* 223/224: 415 — 425.
- Levyk V., Brzezińska M. 2007. Stan środowiska glebowego na terenie byłej Kopalni Siarki „Jaworów” (Ukraina) i Machów (Polska) w świetle aktualnych badań. *Acta Agrophysica* 10 (4): 149 — 157.
- Martyn W., Buczek Z., Jońca M., Sowińska J. 2001. Zastosowanie osadów ściekowych w rekultywacji terenów pogórnich w Kopalni Siarki „Jeziórko”. *Inżynieria Ekologiczna* 3. PTIE Bydgoszcz: 99 — 105.
- Martyn W., Gardiasz Z., Skwaryło-Bednarz B. 2001 a. Aktywność biologiczna gleb rekultywowanych osadem ściekowym z terenu Kopalni Siarki „Jeziórko”. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 475: 335 — 340.
- Piskier T. 2009. Wykorzystanie kompostu z osadu ściekowego w uprawie topinamburu. *Inżynieria Rolnicza* 9 (118): 189 — 194.
- Siuta J. 2004. Uwarunkowania i sposoby przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych. *Inżynieria Ekologiczna* 9. PTIE Warszawa: 7 — 42.
- Siuta J. 2005. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na składowisku odpadów przemysłowych. *Acta Agrophysica* 5 (2): 417 — 425.
- Siuta J. 2007. System uprawy i kompostowania roślin na składowisku odpadów posodowych w Janikowie z zastosowaniem osadów ściekowych. *Inżynieria Ekologiczna* 19. PTIE Warszawa: 38 — 38.
- Siuta J., Wasiak G., Chłopecki K., Kazimierzczuk M., Jońca M., Mamełka D., Sułek S. 1996. Przyrodniczo-techniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost. Synteza wyników programu KBN. Warszawa. Instytut Ochrony Środowiska: 40 ss.
- Siuta J., Żukowski B. 2008. Degradacja i rekultywacja powierzchni ziemi w Polsce. Warszawa, Dział Wydawnictw IOŚ: 238 ss.
- Warzybok W. 2000. Rekultywacja terenów górniczych Kopalni Siarki „Jeziórko”. *Inżynieria Ekologiczna* 1. PTIE Baranów Sandomierski: 23 — 26.
- Wiśniewska-Kielian B., Lipiński W. 2007. Ocena składu chemicznego roślin. Oddz. Krakowski PTIE, Krajowa Stacja Chemiczno-Rolnicza, Kraków-Warszawa-Wrocław: ss. 57.

LISTA RECENZENTÓW BIULETYNU INSTYTUTU HODOWLI I AKLIMATYZACJI
ROŚLIN ZA ROK 2015

Tadeusz Adamski	Instytut Genetyki Roślin — Polska Akademia Nauk, Poznań
Grzegorz Bartoszewski	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa
Danuta Boros	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Radzików
Zbigniew Broda	Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań
Henryk Bujak	Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław
Tadeusz Caliński	Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań
Alicja Ceglińska	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa
Danuta Chołuj	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa
Tamara Ciarkowska	Uniwersytet Rolniczy, Kraków
Henryk Czembor	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Radzików
Beata Feledyn-Szewczyk	Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa — Państwowy Instytut Badawczy, Puławy
Halina Gambuś	Uniwersytet Rolniczy, Kraków
Janusz Gołaszewski	Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn
Tomasz Góral	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin-Państwowy Instytut Badawczy, Radzików
Agnieszka Grądzielewska	Uniwersytet Przyrodniczy, Lublin
Ewelina Hallman	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa
Zofia Hanusz	Uniwersytet Przyrodniczy, Lublin
Tamara Jadczyzyn	Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa — Państwowy Instytut Badawczy, Puławy
Jan Kaczmarek	Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław
Irena Kiecana	Uniwersytet Przyrodniczy, Lublin
Marek Kołodziejczyk	Politechnika Łódzka, Łódź
Marcin Kozak	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa

Monika Krzewska	Instytut Fizjologii Roślin — Polska Akademia Nauk, Kraków
Jan Kuś	Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa — Państwowy Instytut Badawczy, Puławy
Ewa Łojkowska	Uniwersytet Gdański, Gdańsk
Anna Maćkowiak-Sochacka	Instytut Ochrony Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Poznań
Dariusz R. Mańkowski	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Radzików
Piotr Masojć	Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin
Jerzy Nawracała	Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań
Artur Nosalewicz	Instytut Agrofizyki — Polska Akademia Nauk, Lublin
Kamila Nowosad	Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław
Krzysztof Pawłowski	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa
Grażyna Podolska	Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa — Państwowy Instytut Badawczy, Puławy
Monika Rakoczy-Trojanowska	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa
Jan Rozbicki	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa
Stanisława Roztropowicz-Szkubel	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Radzików
Jan Rybczyński	Ogród Botaniczny — Polska Akademia Nauk, Warszawa
Barbara Sawicka	Uniwersytet Przyrodniczy, Lublin
Jan Siuta	Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa
Ryszard Słomski	Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań
Sławomir Stankowski	Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin
Stefan Stojalowski	Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin
Danuta Sugier	Uniwersytet Przyrodniczy, Lublin
Jadwiga Śliwka	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Młochów

Sylwester Świątkiewicz	Instytut Zootechniki — Państwowy Instytut Badawczy, Kraków
Cezary Trawczyński	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Jadwisin
Mirosław Tyrka	Politechnika Rzeszowska, Rzeszów
Mirosława Wesołowska-Janczarek	Uniwersytet Przyrodniczy, Lublin
Halina Wiśniewska	Instytut Genetyki Roślin — Polska Akademia Nauk, Poznań
Marian Wiwart	Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn
Katarzyna Wojciechowicz	Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Poznań
Henryk Woś	Hodowla Roślin Strzelce Spółka z o.o. Borowo, Czempin
Elżbieta Wszelaczyńska	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz
Henryk Zieliński	Instytut Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności — Polska Akademia Nauk, Olsztyn
Iwona Żur	Instytut Fizjologii Roślin — Polska Akademia Nauk, Kraków

SPIS TREŚCI — CONTENTS

Aleksandra Pietrusińska Jerzy H. Czembor	Piramidyzacja genów — powszechne narzędzie używane w programach hodowlanych Gene pyramiding — a tool commonly used in breeding programs	3
Anna Fraś Danuta Boros	Wpływ warunków środowiska na zmienność zawartości alkilorezorcynoli w ziarnie pszenicy ozimej Influence of environmental conditions on the variability of alkylresorcinols content in winter wheat grain	17
Irena Kolasińska Jacek Jagodziński Waldemar Brukwiński Katarzyna Banaszak Barbara Kozber Renata Krysztofik Michał Materka	Wartościowe komponenty rodzicielskie dla hodowli mieszańców żyta Valuable parental components for creation of rye hybrids	27
Piotr Barbaś Barbara Sawicka	Zawartość witaminy C w bulwach ziemniaka w zależności od sposobu pielęgnacji The content of vitamin C in potato tubers depending on different methods of potato production	39
Katarzyna Ambroży- Deregowska Iwona Mejza	Układ split-split-plot dla nieortogonalnego doświadczenia z łubinem Split-split-plot design for a non-orthogonal experiment with lupine	49
Krzysztof Klimont Zofia Bulińska-Radomska Agnieszka Osińska Grzegorz Gryziak Józef Górka Piotr Kraska	Rekultywacyjna efektywność komunalnych osadów ściekowych oraz wybranych gatunków roślin na bezglebowych utworach wapna poflotacyjnego pokrywającego powierzchnię po otworowej eksploatacji siarki Reclamation efficiency of municipal sewage sludge and selected plant species for soilless post-flotation lime ground covering the surface after the borehole exploitation of sulfur	61
Lista recenzentów za rok 2015		73