



Małyszyn — pola doświadczalne
Fot. Gabriela Wodzyńska-Lapińska

BIULETYN
INSTYTUTU HODOWLI
I AKLIMATYZACJI ROŚLIN
Nr 262/2011



Małyszyn — pola doświadczalne. Fot. Gabriela Wodzyńska-Łapińska

RADZIKÓW 2011
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:

HENRYK J. CZEMBOR (Przewodniczący — Editor-in Chief),
DANUTA BOROS, WIESŁAW MĄDRY, WOJCIECH NOWACKI,
STANISŁAWA ROZTROPOWICZ-SZKUBEL, BARBARA ZAGDAŃSKA,
GABRIELA WODZYŃSKA-ŁAPIŃSKA (Sekretarz Redakcji — Editorial Secretary)

CZASOPISMO UKAZUJE SIĘ OD 1951 ROKU

Redaktor techniczny i skład komputerowy
GABRIELA WODZYŃSKA-ŁAPIŃSKA

Druk: PWR Sp. z o.o

JÓZEF PILCHInstytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB
Zakład Roślin Zbożowych — Kraków

Wykorzystanie genów z gatunków diploidalnych, tetraploidalnych i heksaploidalnych pszenicy *Triticum* L. w odmianach pszenicy heksaploidalnej *Triticum aestivum* L.

**Using genes of diploid, tetraploid and hexaploid species of wheat *Triticum* L. in the
varieties of hexaploid wheat *Triticum aestivum* L.**

W pracy dokonano przeglądu literatury w zakresie wykorzystania gatunków diploidalnych, tetraploidalnych i heksaploidalnych rodzaju *Triticum* L. w ulepszaniu odmian pszenicy *Triticum aestivum* L. Przedstawiono źródła korzystnych cech i dokonane introgresje 87 genów w odmianach pszenicy zwyczajnej, oraz podano lokalizację chromosomową. W genomie A, B i D odmian *T. aestivum* L. wprowadzono odpowiednio 36, 35 i 11 obcych genów. Introgresje te doprowadziły do ulepszenia cech pszenicy *T. aestivum* L., głównie odporności na patogeny zbożowe. Najwięcej genów obcych (23) warunkuje odporność na mączniaka prawdziwego *Erysiphe graminis* DC. f. sp. *tritici* Em. (syn. *Blumeria graminis* (DC.) E.O. Speer f. sp. *tritici* Em.), 16 genów nadaje odporność na rdzę brunatną *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f. sp. *tritici*, 13 genów — odporność na rdzę żdźbłową (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici*), 10 genów — odporność na rdzę żółtą *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, 3 geny — odporność na uszkodzenia kłosów przez *Fusarium graminearum* Schwabe. (*Gibberella zeae* (Schw.) Petch). Wprowadzono także 12 genów odporności na pryszczarka heskiego (syn. muszka heska) *Mayetiola destructor* Say (syn. *Phytophaga destructor* Say) (Diptera : *Cecidomyiidae*), 7 genów wysokiej zawartości białka w ziarnie i 3 geny wysokiej zawartości Zn, Fe, Mn w ziarnie. Geny obce pochodziły z gatunków: *T. monococcum* L., *T. boeoticum* Boiss., *T. urartu* Tum, *T. tauschii* (Coss.) Schmal., *T. speltoides* Taush., *T. carthlicum* Nevski, *T. dicoccoides* Schweinf., *T. turgidum* L., *T. macha* Dek., *T. ventricosa* Taush., *T. dicoccoides* Schweinf., *T. durum* Desf., *T. timopheevii* Zhuk, *T. comosa* Sibth et Sm., *T. spelta* L. W pracy posługiwano się oryginalnym nazewnictwem gatunków, genów, jak i patogenów występujących w źródłowych pracach.

Słowa kluczowe: gatunki diploidalne, tetraploidalne, heksaploidalne pszenicy, geny obce, introgresje genów, odmiany pszenicy *Triticum aestivum* L., rodzina *Poaceae* (*Triticeae*), rodzaj *Triticum* L.

The paper is a review of the publications on using the diploid, tetraploid and hexaploid species of the genus *Triticum* L. in improvement of wheat varieties *Triticum aestivum* L. The sources of profitable

characters and introgressions of 87 alien genes in the varieties of common wheat are presented together with their chromosome localization. The A, B and D genomes of wheat *T. aestivum* L. were improved by 36, 35 and 11 alien genes, respectively, which mostly affected resistance to the pathogens of wheat. Majority of the introgressed genes (23) determined the resistance to powdery mildew *Erysiphe graminis* DC. f.sp. *tritici* Em.(syn. *Blumeria graminis* (DC.) E.O. Speer f.sp. *tritici* Em.), 16 genes determined the resistance to leaf/brown rust *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f. sp. *tritici*, 13 genes — the resistance to stem /black rust *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Eriks and E. Henn, 10 genes were responsible for the resistance to yellow/stripe rust *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* Westend, and 3 genes determined the resistance to the blotch of spike caused by *Fusarium graminearum* Schwabe. (*Gibberella zeae* (Schw.) Petch). Also, 12 genes of the resistance to hessian fly *Mayetiola destructor* Say (syn. *Phytophaga destructor* Say) (*Diptera:Cecidomyiidae*) and 7 quality genes, as high protein content and high content of Zn, Fe, Mn in grain were introgressed to *T. aestivum* L. These genes were transferred from the following species: *T. monococcum* L., *T. boeoticum* Boiss., *T. urartu* Tum., *T. tauschii* (Coss.) Schmal., *T. speltoides* Taush., *T. carthlicum* Nevski, *T. dicoccoides* Schweinf., *T. turgidum* L., *T. macha* Dek., *T. ventricosa* Taush., *T. dicoccoides* Schweinf., *T. durum* Desf., *T. timopheevii* Zhuk., *T. comosa* Sibth et Sm., and *T. spelta* L. In the paper, the original names of the species, genes, diseases and pathogens were used, as encountered in the source papers.

Key words: alien genes, diploid, tetraploid, hexaploid species of wheat, family *Poaceae* (*Triticeae*), gene introgression, genus *Triticum* L., varieties of wheat *Triticum aestivum* L.

WSTĘP

Gatunki rodziny *Poaceae* (*Triticeae*) mają wiele korzystnych genów, które są od dawna wykorzystywane w ulepszeniach odmian i materiałów hodowlanych pszenicy heksaploidalnej *T. aestivum* L. Wykazują one homologiczne / homeologiczne podobieństwo chromosomów do pszenicy i duże podobieństwo sekwencji rDNA (Dvorak, 1980; Sybenga, 1983; Miller, 1984; Barkworth, 1992; Frederiksen i Seberg, 1992; Qi i in., 1999; Zhang i in., 2008). Stwarza to możliwości ich introgresji i trwałego wbudowania do genotypu *AA BB DD* pszenicy *T. aestivum* L., gdzie mogą funkcjonować w nowym systemie genetycznym (Pilch i in., 1995; Pilch i Głowacz, 1997; Rabinowich, 1998; Valkoun, 2001; Hegde i in., 2002; Bhalla i in., 2006; Grądzielewska, 2006; Hajjar i Hodgkin, 2007; Xie i Nevo, 2008).

Gatunki te są źródłem dopływu nowych genów niespotykanych w pszenicy zwyczajnej i umożliwiają poszerzenie zakresu zmienności genetycznej, co pozwala na selekcjonowanie innych kombinacji genów determinujących ważne cechy użytkowe.

Jednak nie wszystkie gatunki *Poaceae* mogą być wykorzystane w ulepszeniach pszenicy ze względu na trudności, z których najważniejsze to: (1) niezgodność gatunkowa pomiędzy komponentami krzyżowania przejawiająca się brakiem kielkowania ziarna pyłku na znamionach słupka, (2) brak żywotności mieszańców F_1 , związany z zahamowaniem rozwoju wegetatywnego roślin — rośliny rozwijają się do etapu kłoszenia, po którym następuje zamieranie, co wynika z dysharmonii rozwojowych gatunków krzyżowanych, (3) sterylność mieszańców F_1 przejawiająca się brakiem zawiązywania ziaren w kłosach, która wynika z braku koniugacji chromosomów lub słabej koniugacji, (4) niektóre gatunki wnoszą większość niekorzystnych cech, tzw. trawiastych, trudnych do wyeliminowania w dalszych generacjach hodowlanych. Prace nad tworzeniem mieszańców pszenicy z gatunkami oddalonymi trwają od prawie 120 lat. Jako pierwsze otrzymano mieszańce z

żytem (Wilson, 1876). Rimpau (1891) opisał 12 roślin uzyskanych z ziarniaków pszenno-żytnich reprezentujących pierwsze pszenżyto. Od tego okresu do 1930 roku trwały intensywne krzyżowania pszenicy z gatunkami obcymi, lecz bez efektów w uzyskaniu płodnych mieszańców F_1 . Dopiero odkrycie w roku 1930 właściwości kolchicyny do podwajania liczby chromosomów spowodowało otrzymywanie płodnego pokolenia F_1 i umożliwiło prace hodowlane nad dalszymi generacjami mieszańców, jak też prace nad pochodzeniem gatunków allopoliploidalnych. W 1946 roku McFadden i Sears (1946) dokonali resyntezy gatunku heksaploidalnej pszenicy *Triticum spelta* L. z gatunkiem *Aegilops squarrosa* L. (syn. *Ae. tauschii*, *T. tauschii*) — dawcą genomu *D*. Po wprowadzeniu kolchicyny, kolejnym etapem było opracowanie przez Murashige (1974) techniki transplantacji embrionów na pożywki agarowe ("embryo-culture") w celu dalszego rozwoju zarodków mieszańców pomostowych F_1 . Metody te umożliwiły podjęcie prac hodowlanych, genetycznych i filogenetycznych.

Spośród gatunków rodziny *Poaceae* (*Triticeae*), szczególną przydatność w hodowli dotychczas wykazały tylko niektóre z nich, głównie pochodzące z rodzajów ($2x$, $4x$, $6x$) *Triticum* L., ($2x$) *Secale* L., ($2x$, $4x$) *Hordeum* L., ($2x$, $4x$, $6x$) *Aegilops* L., ($2x$, $4x$, $6x$) *Agropyron* Gaertn., ($2x$) *Lolium* L., ($2x$) *Elymus* L., ($2x$) *Haynaldia* L.

Praca koncentruje się na wykorzystaniu gatunków diploidalnych, tetraploidalnych i heksaploidalnych pszenicy *Triticum* L. w ulepszaniu cech użytkowych odmian pszenicy heksaploidalnej *T. aestivum* L. poprzez ustalenie na podstawie dotychczasowej literatury obcych genów wprowadzonych do tych odmian. W opracowaniu tym stosowano oryginalne nazewnictwo gatunków, genów i patogenów występujących w źródłowych pracach.

METODY INTROGRESJI GENÓW Z GATUNKÓW $2X$, $4X$, $6X$ *TRITICUM* L. DO ODMIAN PSZENICY *T. AESTIVUM* L.

Metody introgresji obcych genów do pszenicy heksaploidalnej *T. aestivum* L. przedstawiono w pracach Pilcha (2005 a, b). Ponadto szczegóły znajdują się w literaturze podanej w pozycji genów wyszczególnionych w tabelach 1–6.

Jednak nie wszystkie możliwości były wykorzystane w przypadku gatunków diploidalnych, tetraploidalnych i heksaploidalnych pszenicy. Literatura wyszczególniona w tabelach 1–6 wskazuje, iż stosowane były zasadniczo 2 sposoby: (1) bezpośrednie krzyżowania pszenicy z gatunkiem obcym i kilkakrotne krzyżowanie wsteczne (ang. backcrossing — BC) (2) syntetyczne pszenice (Hatchett i in., 1981; Stack i in., 2003; Friesen i in., 2008; Hartel i in., 2008). Wynikało to z dużej homeologii chromosomów *A*, *B*, *D* tych gatunków (Frederiksen i Seberg, 1992; Hajjar i Hodgkin, 2007; Zhang i in. 2008).

Gatunki diploidalne, tetraploidalne i heksaploidalne pszenicy *Triticum* L. należą do pierwszej puli genowej obejmującej gatunki, które były dawcami genomów *A*, *B* i *D*. Transfer genów pomiędzy nimi, w tym do odmian pszenicy heksaploidalnej *T. aestivum* L. odbywał się na zasadzie homologicznej rekombinacji w efekcie przekrzyżowań prostych, wstecznych i selekcji. Jednym sposobem wykorzystania istniejącej puli zmienności

genomów *A* (*T. boeoticum* Boiss., *T. monococcum* L., *T. urartu* Tum. ($2n=2x=14$, *AA*) i *D* (*Ae. squarrosa* L. (syn. *Ae. tauschii* Coss.) były krzyżowania pomostowe z amfiploidami *AABBAA* lub *AABBDD*, które otrzymano poprzez tetraploidalne pszenice *AABB* skrzyżowane z gatunkami pszenicy *AA* lub *DD* — *Ae. squarrosa* L., następnie kolchicynowanie amfihaploidów *ABA*, *ABD*, które prowadzi do uzyskania heksaploidalnego amfiploida *AABBAA*, i *AABBDD* (syntetyczna pszenica), jako pomostowe mieszańce. Reprezentują one poziom heksaploidalny, jak pszenica *T. aestivum* L., co umożliwia lepsze krzyżowanie i stabilność chromosomową (Ter-Kuile i in., 1988; Villareal i in., 2001). Już mejoza F_1 amfihaploida (*ABA*) wykazuje koniugację biwalentną chromosomów genomów *A*, *A*, co umożliwia wymianę genów już na tym etapie.

Niektóre geny odporności na rdzę brunatną transferowano za pośrednictwem uzyskanych syntetycznych pszenic. Leonova i in. (2007) zidentyfikowali nowe QTL odporności w stadium siewki i dojrziałych roślin u linii pszenicy odmiany Saratovskaya 29 uzyskanej w efekcie krzyżowania z syntetycznym allopoliploidem *T. timopheevii* / *T. tauschii*. Gen *Lr35* uzyskano z amfiploida *Ae. speltoides* Taush / *T. monococcum* L. (Kerber i Dyck, 1990).

Bezpośrednie krzyżowanie międzygatunkowe i międzyrodzajowe było metodą najczęściej stosowaną w introgresji obcych genów odporności na rdzę brunatną a mechanizmem introgresji były translokacje z chromosomami obcego gatunku. Uzyskiwano je po inaktywacji *Ph*-systemu homologicznej / homeologicznej koniugacji w *T. aestivum* L. Do inaktywacji *Ph*-systemu wykorzystywano: monosomiki *5B* ($2n=41$), nullisomiki *5B* ($2n=40$), mutantą *ph1b* Chinese Spring ($2n=42$) lub linie pszenicy z genami supresorami *Ph¹* kozieńca (Pilch, 2005 a).

Z literatury wynika (tab. 1–6), że geny transferowane do pszenicy *T. aestivum* L. lokalizowano na chromosomach trzema metodami. W pracach prowadzonych do lat 90-tych stosowano analizę monosomiczną lub telocentryczną cech morfologicznych. Po tym okresie wykorzystywano metody cytogenetyczne, jak techniki barwienia prążkowego (ang. C-banding, N-banding), lub hybrydyzacji DNA *in-situ* (GISH, FISH). Jednak służyły one do identyfikowania fragmentów obcych chromosomów i określały jedynie położenie obcych genów na ich ramionach, w odległości liniowej od centromeru. Była to identyfikacja niedokładna. W pracach prowadzonych po 2000 roku stosowane były głównie techniki markerów molekularnych *PCR*, *RFLP*, *RAPD*, *SCAR*, *CAPS*, jako instrumentów dokładnego identyfikowania genów w DNA i określania położenia względem genów sąsiednich (Ma i in., 1994; Autrique i in., 1995; Dubcovsky i in., 1998; Sun i in., 1997, 2002; Chantret i in., 2000; Helguera i in., 2000; Khan i in., 2000; Peng i in., 2000; Tao i in., 2000; Rong i in., 2000; Huang i Gill, 2001; Raupp i in. 2001; Dweikat i in., 2002; Liu i in., 2002, 2005 c; Williams i in., 2003; Hayden i in., 2004; Leonova i in., 2004; Xie i in., 2003, 2006; Chen i in., 2005; Kong i in., 2005; Qiu i in., 2005; Zhu i in., 2005; Li i in., 2006; Wang i in., 2006, 2008; Nocente i in., 2007; Massa i in., 2007; Yi i in., 2007; Hiebert i in., 2007; Ji i in., 2008; McNeil i in., 2008).

WYNIKI INTROGRESJI I DYSKUSJA

1. Źródła genów dla odmian pszenicy *T. aestivum* L.

Gatunki diploidalne, tetraploidalne i heksaploidalne pszenicy *Triticum* L. prezentują korzystne wartości cech użytkowych spośród innych *Poaceae*, w tym wysokie parametry technologiczne ziarna, szczególnie zawartość białka ogółem dochodzącą do 19% i jego jakość, nowe allele glutenin i gliadyn, wczesność dojrzewania, odporność na suszę, tolerancyjność na zasolenie gleby, zawartość mikroelementów w ziarnie (Zn, Fe, Mn), odporność na mączniaka prawdziwego, rdze, septoriozy i fuzariozy, muszkę heską (Levy i Feldman, 1987; Gill i in., 1989; Liu i in., 1995; Ahmad i in., 1997; Pilch i in., 1993; 1995; Mesfin i in., 2000; Shewry i in., 2001; Sasanuma i in., 2002; Zhang i in., 2002; Olmos i in., 2003; Elia i in., 2004; Gonzalez-Hernandez i in., 2004; De Vita i in., 2006; Herrera-Foessel i in., 2007; Friesen i in., 2008; Maccaferri i in., 2008; He i in., 2009; Marone i in., 2009).

Wśród tych gatunków największe znaczenie w introgresjach genów odegrały pszenice tetraploidalne, jak *T. carthlicum* Nevski, *T. durum* Desf., *T. dicoccum* Schubl., *T. timopheevii* Zhuk., *T. dicoccoides* Schweinf., *T. turgidum* L.. Spośród gatunków pszenicy heksaploidalnej wyróżnia się *T. spelta* L., a z diploidalnych gatunków — *T. tauschii* (Coss) Schmal (syn. *Ae. squarrosa* L., *Ae. tauschii* (Coss) Schmal.), *T. monococcum* L., *T. boeoticum* Boiss., *T. urartu* Tum.

W pszenicy *T. aestivum* L. wysokocząsteczkowe gluteniny kodowane są przez 20 alleli występujących w 3 kompleksowych loci *Glu-1* położonych na długich ramionach chromosomów homeologicznych 1-grupy (Payne i Lawrence 1983). W locus *Glu-A1* występują 3 allele (a-c), w locus *Glu-B1* — 11 alleli (a-k) i w locus *Glu-D1* — 6 alleli (a-f). Gatunki *Triticum* L. są bogatym źródłem zmienności glutenin albowiem mają allele nie występujące u pszenicy zwyczajnej i mogą wprowadzić nową zmienność do pszenic chlebowych (Liu i Shepherd, 1996; Vallega i in., 1987; Branlard i in., 1989; Caballero i in., 2001; Xu i in., 2004; Xueli i in., 2005). I tak pszenica *T. durum* Desf. w locus *Glu-A1* ma allele odpowiadające tym z pszenicy zwyczajnej, a ponadto 4 allele dodatkowe, zaś w locus *Glu-B1* zawiera 7 alleli wspólnych z pszenicą i 11 alleli dodatkowych.

Gatunek *T. dicoccum* Schubl. ma w locus *Glu-A1* allele jak w pszenicy zwyczajnej i 5 alleli dodatkowych, zaś w locus *Glu-B1* ma 8 alleli wspólnych i 14 alleli dodatkowych.

Gatunek *T. turgidum* L. ma w locus *Glu-A1* allele jak w pszenicy zwyczajnej i 1 allel dodatkowy a w locus *Glu-B1* — 6 alleli wspólnych i 4 allele dodatkowe.

Gatunek *T. dicoccoides* Schweinf. w locus *Glu-A1* ma 1 allel wspólny i 9 alleli dodatkowych; w locus *Glu-B1* nie ma alleli wspólnych z pszenicą zwyczajną, tylko 16 alleli nieobecnych u *T. aestivum* L. U *T. timopheevii* Zhuk. zidentyfikowano 3 nowe podjednoski sekwencji genowych wysokocząsteczkowych glutenin *1Ax*, *1Ay*, *1Gx* związane z wartością wypiekową ziarna (Wan i in., 2002).

Gatunek heksaploidalny *T. spelta* L. w locus *Glu-A1* ma allele jak w pszenicy zwyczajnej i 1 allel dodatkowy, w locus *Glu-B1* ma 6 alleli jak w pszenicy zwyczajnej i 11 alleli dodatkowych; w locus *Glu-D1* ma 5 alleli pszenica zwyczajna i 8 alleli dodatkowych.

Niektóre gatunki rodzaju *Triticum* L. mają loci niskocząsteczkowych glutenin (LMW-GS) korzystne dla jakości ziarna jakie nie są obecne u pszenicy zwyczajnej. Większość

LMW-GS pszenic diploidalnych z genomem *A* nie występuje u pszenicy zwyczajnej (Lee i in., 1999 a). Gatunki pszenicy z genomem *D* wykazują duże podobieństwo z pszenicą zwyczajną pod względem LMW-GS (Ciaffi i in., 1999). Trzy geny *LMW-GSs*, *LMWG-E2*, *LMWG-E4* genomu *A* i gen *LMW-16/10* genomu *D* diploidalnych gatunków pszenicy wykazywały zróżnicowany wpływ na właściwości wypiekowe ciasta u tych gatunków (Lee i in., 1999 b).

Pszenica tetraploidalna *T. durum* Desf. ma w *locus Glu-B3* allel *lmw-gs* silnie wpływający na właściwości makaronowe i chlebowe ciasta (Gupta i Shepherd, 1990).

Ponadto u gatunku *T. tauschii* (Coss) Schmal zidentyfikowano nowy *locus Glu-DT1* omega-gliadyn T1 (Gianibelli i in., 2002). Występuje na krótkim ramieniu chromosomu *1DS* w odległości liniowej 13,18 cM od *Glu-D1* i 40,20 cM od *loci Glu-D1*. W niektórych liniach *T. turgidum* L. zidentyfikowano allele *LMW-2* niskocząsteczkowych glutenin *B-LMW* i *y-45* gama-gliadyn, które mają korzystny związek ze wskaźnikiem sedymentacji SDS-PAGE, rozwojem ciasta i objętością chleba (Dessalegn i in., 2003). Niskocząsteczkowe gluteniny kontrolowane przez allele *c*, *j* *Glu-B3* mają większy pozytywny wpływ na wskaźnik sedymentacji SDS-PAGE i cechy miksograficzne aniżeli allele *a*, *k*, *b* *Glu-1* wysokocząsteczkowych glutenin podjednostek 14+15, 7+8, 20 (Brites i Carrillo, 2001).

Ponadto niektóre gatunki diploidalne i tetraploidalne mają specyficzne geny, jak 7 dodatkowych alleli polifenolowej oksydazy (PPO) ziarna *Ppo-A1c* (*T. urartu* Tum.), *Ppo-A1d* (*T. boeoticum* Boiss.), *Ppo-A1e* (*T. monococcum* L., *T. durum* Desf.), *Ppo – A1f* (*T. dicoccoides* Schweinf.), *Ppo-A1g* (*T. durum* Desf.), dwa allele *Ppo D1c* i *Ppo – A1d* u *T. tauschii* (Coss) Schmal.) (syn. *Ae. tauschii* (Coss) Schmal.) jakie nie występują w pszenicy zwyczajnej (Massa i in., 2007; He i in., 2009). Polifenolowa oksydaza powoduje enzymatyczne odbarwianie produktów z mąki, które (białe) jest preferowane w Azji.

Puroindoliny — białka bogate w cysteinę występują sporadycznie u roślin. W ziarnie pszenicy mają one korzystny wpływ na twardość ziarna i występują w warstwie aleuronowej oraz pomiędzy ziarnami skrobi. Ich syntezę warunkują 2 geny *pinA* (sekwencja białka pinA-D1) i *pinB* (sekwencja białka pinB-D1) na chromosomie *5DS*. Wysoki poziom tych białek stwierdzono u *T. monococcum* L., *T. urartu* Tum., *Ae. tauschii* (Coss) Schmal., a także u kozińca *Ae. speltoides* Taush., lecz geny kontrolujące je występują w tych gatunkach na innych chromosomach (Lillemo i in., 2002).

Oprócz genów jądrowych, rodzaj cytoplazmy niektórych gatunków powoduje wzrost cech użytkowych u pszenicy zwyczajnej. Ekiz i in. (1998) stwierdzili, że cytoplazma *T. turgidum* L. zwiększała masę tysiąca ziaren.

2. Introgresje obcych genów w odmianach pszenicy *T. aestivum* L.

Gatunki diploidalne, tetraploidalne i heksaploidalne rodzaju *Triticum* L. należą do I puli genowej rodziny *Poaceae*, z których przepływ genów do pszenicy zwyczajnej *T. aestivum* L. jest najłatwiejszy. Dlatego też z tych gatunków *Poaceae* wprowadzono najwięcej genów do *T. aestivum* L. Spośród wszystkich korzystnych dla pszenicy zwyczajnej cech jakie mają te gatunki (*2x*, *4x*, *6x*) *Triticum* L. nie wszystkie zostały u nich zlokalizowane na chromosomach. Wpłynęło to na introgresje tylko niektórych genów do pszenicy *T. aestivum* L.

Z literatury wynika, że z gatunków diploidalnych, tetraploidalnych i heksaploidalnych *Triticum* L. wprowadzono do odmian pszenicy heksaploidalnej *T. aestivum* L. 87 genów, z których 82 geny zlokalizowano na chromosomach.

Tabela 1

Geny odporności na mączniaka prawdziwego *Erysiphe graminis* DC.(syn. *Blumeria graminis* DC.E.O. Speer) f. sp. *tritici* Em. w pszenicy *T. aestivum* L. przeniesione z gatunków 2x, 4x, 6x *Triticum* L.
Genes of powdery mildew resistance to *Erysiphe graminis* DC.(syn. *Blumeria graminis* DC.E.O. Speer) f. sp. *tritici* Em. in wheat *T. aestivum* L. transferred from (2x, 4x, 6x) *Triticum* L. species

Gen/lokalizacja Gene / location	Źródło genów Source of gene	Cytowanie References
<i>Mlm2033</i> , 7AL	<i>T. monococcum</i> L.	Yao i in., 2007,
<i>Mlm80</i> , 7AL		Yao i in., 2007,
<i>NCA6</i> , 7AL		Miranda i in., 2007,
<i>Pm2026</i> , 5AL		Xu i in., 2008,
<i>Pm25</i> , 1A	<i>T. boeoticum</i> Boiss.	Shi i in., 1998
<i>PmU</i> , 7AL	<i>T. urartu</i> Tum.	Qiu i in., 2005
<i>Pm16</i> , 4A	<i>T. dicoccoides</i> Schweinf.	Allan 1997, Reader and Miller 1991, Chen i in., 2005,
<i>Pm26</i> , 2BS		Rong i in., 2000,
<i>Pm30</i> , 5BS		Liu i in., 2002, Chen i in., 2005, Xie 2006
<i>Pm31</i> , 6AL		Xie i in., 2004,
<i>Pm36</i> , 5BL		Blanco i in., 2008,
<i>MIZec1</i> , 2BL		Mohle i in., 2005,
<i>MIIW72</i> , 7AL		Ji i in., 2008,
<i>MIG</i> , 6AL		Xie i in., 2003,
<i>PmG16</i> , 7AL		Xie 2006,
<i>PmG3M</i> , 6AL		Xie 2006,
<i>Pm4a</i> , 2AL	<i>T. dicoccum</i> Schubl.)	Heun i Friebe 1990, Ma i in., 1994, Ostergard 1998, Zhu i in., 2005,
<i>Pm5a</i> , 7BL		Szunics i in., 2001, Hsam i in., 2001,
<i>mlre</i> , 6AL		Robe i Doussinault 1995, Chantret i in., 2000,
<i>Pm4b</i> , 2AL	<i>T. carthlicum</i> Nevski	Heun i Friebe 1990, Ma i in., 1994, Ostergard 1998, Zhu i in., 2005,
<i>PmPs5A</i> , 2AL		Yi i in., 2007,
<i>Pm6</i> , 2BL	<i>T. timopheevii</i> Zhuk.	Heun i Friebe 1990, McIntosh i Park 1995, Ostergard 1998, Tao i in., 2000, Ji i in., 2008,
<i>Pm1d</i> , 7AL	<i>T. spelta</i> L.	Hsam i in., 1998, Ma i in., 2001, Szunics i in., 2001,

W genomie *A* pszenicy *T. aestivum* L. jest 36 genów obcych, genomie *B* — 35 genów i w genomie *D* — 11 genów. W genomie *A* najwięcej genów jest na chromosomie 1A (10 genów) a następnie na 7A (9 genów). W chromosomach 1A i 6A jest po 5 genów, na chromosomie 4A są 3 geny i na chromosomach 3A i 5A — po 2 geny.

W genomie *B*, chromosom 4B nie ma genów wprowadzonych z tych gatunków. Najwięcej wystąpiło na 2B (11 genów) i 1B (10 genów), następnie na chromosomie 5B (7 genów), 6B (4 geny), 7B (2 geny) i 3B (1 gen).

W genomie *D*, chromosom 5D nie ma obcych genów. Najwięcej jest zlokalizowanych na chromosomie 1D (5 genów), następnie 2D (2 geny) i po jednym genie na chromosomach 3D, 4D, 6D, 7D.

Najwięcej wprowadzonych genów odporności (23) działa na mączniaka prawdziwego *Erysiphe graminis* DC. f. sp. *tritici* Em. (syn. *Blumeria graminis* (DC.) E.O. Speer f. sp. *tritici* Em.). Wyszczególniono je w tabeli 1 z podziałem na gatunki źródłowe. Z gatunków diploidalnych wprowadzono 6 genów (Shi i in., 1998; Qiu i in., 2005; Yao i in., 2007; Miranda i in., 2007; Xu i in., 2008), z tetraploidalnych — 16 genów (Heun i Friebe, 1990; Reader i Miller, 1991; Ma i in., 1994; Robe i Doussinault, 1995; McIntosh i Park, 1995; Allan, 1997; Ostergard, 1998; Chantret i in., 2000; Rong i in., 2000; Tao i in., 2000; Szunics i in., 2001; Hsam i in., 2001; Liu i in., 2002; Xie i in., 2003; Xie i in., 2004; Chen i in., 2005; Mohle i in., 2005; Zhu i in., 2005; Xie, 2006; Yi i in., 2007; Blanco i in., 2008; Ji i in., 2008; Ji i in., 2008) i z gatunków heksaploidalnych wprowadzono tylko 1 gen (Hsam i in., 1998; Ma i in., 2001; Szunics i in., 2001).

Efektywnymi źródłami okazały się gatunki *T. monococcum* L., *T. urartu* Tum, *T. boeoticum* Boiss., *T. dicoccoides* Schweinf., *T. dicoccum* Schubl., *T. carthlicum* Nevski, *T. timopheevii* Zhuk., *T. spelta* L. Geny tych gatunków występują w genomie *A* — 17 genów, tj. na chromosomach *1A* — 1 gen, *2A* — 3 geny, *4A* — 1 gen, *5A* — 1 gen, *6A* — 4 geny, *7A* — 7 genów. W genomie *B* występuje 6 genów na chromosomach *2B* — 3 geny, *5B* — 2 geny, *7B* — 1 gen. W genomie *D* nie występuje żaden obcy gen z gatunków *2x*, *4x*, *6x* *Triticum* L.

Wprowadzono 16 genów odporności na rdzę brunatną *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f. sp. *tritici* (tab. 2). Z gatunków diploidalnych przeniesiono 11 genów (Dyck i Kerber, 1970, 1987; Wells i in., 1982; Kerber i Dyck, 1975, 1990; Dvorak i Knott, 1990; McIntosh i in., 1982, 1995 b; Asins i Carbonell, 1986; Kimber i Feldman, 1987; Roelfs, 1988; Gill i in., 1991; Roelfs i in., 1992; Autrique i in., 1995; McIntosh i in., 1995 b; Friebe i in., 1991, 1996; Lukaszewski, 1995, 2000; Cox i in., 1994 b, 1997; Dubcovsky i in., 1998; Helguera i in., 2000; Kaur i in., 2000; Huang i Gill, 2001; Raupp i in., 2001; Labuschagne i in., 2002; Martin i in. 2003; Singh i in., 2003 b; Chicasa i in., 2006; Nocente i in., 2007; Hiebert i in., 2007, 2008), z tetraploidalnych — 4 geny (McIntosh, 1983; Yamamori, 1994; McIntosh 1995 b; Friebe i in., 1996; Leonova i in., 2004; Brown-Guedira i in., 1999, 2003; Marais i in., 2005 b) i z gatunku heksaploidalnego — 1 gen (Roelfs, 1988; Roelfs i in., 1992).

Źródłami tych genów okazały się gatunki *T. tauschii* (Coss) Schmal, *T. speltooides* (Taush.) Gren., *T. timopheevii* Zhuk., *T. dicoccoides* Schweinf., *T. spelta* L. Występują one głównie w genomie *D* — 8 genów na chromosomach *1D* — 4 geny, *2D* — 2 geny, *3D* — 1 gen, *7D* — 1 gen; w genomie *A* — 2 geny na chromosomie *2A* — 2 geny i w genomie *B* — 6 genów na chromosomach *1B* — 1 gen, *2B* — 2 geny, *5B* — 1 gen, *6B* — 2 geny.

Tabela 2

Geny odporności na rdzę liści/brunatną *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f. sp. *tritici* w pszenicy *T. aestivum* L. przeniesione z gatunków (2x, 4x, 6x) *Triticum* L.

Genes of leaf /brown rust resistance to *Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f. sp. *tritici* in wheat *T. aestivum* L. transferred from (2x, 4x, 6x) *Triticum* species

Gen/lokalizacja Gene /location	Źródło genu Source of gene	Cytowanie References
<i>Lr21 (Lr40), 1DL</i>	<i>T. tauschii</i> (Coss) Schmal.	Kerber i Dyck 1975, Gill i in., 1991, Cox i in., 1997, Huang Gill 2001, Hiebert i in., 2008,
<i>Lr22a, 2DS</i>		Dyck i Kerber 1970, Roelfs i in., 1992, Kaur i in., 2000, Hiebert i in., 2007,
<i>Lr32, 3DS</i>		Kerber 1987, Roelfs i in., 1992, Autrique i in., 1995, McIntosh i in., 1995b,
<i>Lr39 (Lr41), 2DS</i>		Cox i in., 1997, Raupp i in., 2001, Singh i in., 2003 b,
<i>Lr 40 (Lr21), 1DS</i>		Roelfs 1988, Gill i in., 1991, Roelfs i in., 1992, Cox i in., 1994b, Huang i Gill 2001,
<i>Lr 41 (Lr39), 1DS</i>		Roelfs 1988, Roelfs i in., 1992, Cox i in., 1994b, Martin i in., 2003, Singh i in., 2003b,
<i>Lr42, 1DS</i>		Roelfs 1988, Roelfs i in., 1992, Cox i in., 1994b, Martin i in., 2003,
<i>Lr43, 7DS</i>		Roelfs 1988, Roelfs i in., 1992, Cox i in., 1994b,
<i>Lr 35, 2B</i>	<i>T. speltooides</i> (Taush.) Gren.	McIntosh i in., 1982, Asins i Carbonell 1986, Kimber i Feldman 1987, Kerber i Dyck 1990, McIntosh i in., 1995b, Friebe i in., 1996, Labuschagne i in., 2002,
<i>Lr 36, 6BS</i>		McIntosh i in., 1982, Asins i Carbonell 1986, Kimber i Feldman 1987, Dvorak i Knott 1990,
<i>Lr47, 7AS</i>		Wells i in., 1982, Friebe i in., 1991, Lukaszewski 1995, Friebe i in., 1996, Dubcovsky i in., 1998, Helguera i in., 2000, Lukaszewski i in., 2000, Chicasa i in., 2006, Nocente i in., 2007,
<i>Lr18, 5BL</i>	<i>T. timopheevii</i> Zhuk.	McIntosh 1983, Yamamori 1994, McIntosh 1995 b, Friebe i in., 1996,
<i>IrTtl, 2A</i>		Leonova i in., 2004,
<i>Lr50, 2BL</i>		Brown-Guedira i in., 1999, 2003,
<i>Lr53, 6BS</i>	<i>T. dicoccoides</i> Schweinf.	Marais i in., 2005 b,
<i>Lr44, 1B</i>	<i>T. spelta</i> L.	Roelfs 1988, Roelfs i in., 1992,

Tabela 3

Geny odporności na rdzę źdźbłową/czarną *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Eriks and E. Henn w pszenicy *T. aestivum* L. przeniesione z gatunków (2x, 4x, 6x) *Triticum* L.

Genes of the resistance to stem /black rust *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Eriks and E. Henn in wheat *T. aestivum* L. transferred from (2x, 4x, 6x) *Triticum* species

Gen/lokalizacja Gene /location	Źródło genu Source of gene	Cytowanie References
<i>Sr21, 2AL</i>	<i>T. monococcum</i> L.	The 1973, McIntosh 1988b, Roelfs i in., 1992
<i>Sr22, 7AL</i>		McIntosh 1988b, Roelfs i in., 1992
<i>Sr35, 3AL</i>		McIntosh i in., 1984
<i>Sr32, 2BL</i>	<i>T. speltooides</i> (Taush.) Gren.	Kerber i Dyck 1979, McIntosh 1988a, 1995
<i>Sr39, 2B</i>		Kerber i Dyck 1979, McIntosh 1995
<i>Sr33, 1DL</i>	<i>T. tauschii</i> (Coss) Schmal.	McIntosh 1988a, Kerber i Dyck 1979
<i>Sr34, 2A(2B)</i>	<i>T. comosa</i> Sibth et Sm.	McIntosh 1995
<i>Sr36, 2BS</i>	<i>T. timopheevii</i> Zhuk	McIntosh i Gyrfas 1971, McIntosh i in., 1995, Rowel 1982, Luig 1985, Roelfs i in., 1992, Roelfs 1988, Pathan i Park 2007
<i>Sr37, 4AL</i>		McIntosh i Gyrfas 1971, Roelfs 1988, Roelfs i in., 1992
<i>Tt-3, ?</i>		Roelfs 1988, Roelfs i in., 1992
<i>Sr2, 3BS</i>	<i>T. dicoccum</i> Schubl.	McFadden 1930, Rajaram i in., 1988, McIntosh 1988b, Roelfs i in., 1992, Hayden i in., 2004, Mishra i in., 2005, McNeil i in., 2008
<i>Sr38, 2AS</i>	<i>T. ventricosa</i> Taush.	Bariana i McIntosh 1993, Pathan i Park 2007
<i>Sr40, 2BS</i>	<i>T. araraticum</i> Jakubz.	Dyck 1992, McIntosh i in., 1995 b

Wprowadzono 13 genów odporności na rdzę żółtą (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici*) (tab. 3). Z gatunków diploidalnych pochodzi 6 genów, (The, 1973; Kerber i Dyck, 1979; Roelfs i in., 1992; McIntosh, 1988 a,b, 1995; McIntosh i in., 1984) i z tetraploidalnych — 7 genów (McFadden, 1930; McIntosh i Gyrfas, 1971; Rowel, 1982; Luig, 1985; Roelfs i in., 1992; Roelfs, 1988; Dyck, 1992; Bariana i McIntosh, 1993; McIntosh, 1995; McIntosh, 1988 b; McIntosh i in., 1995; Rajaram i in., 1988; Hayden i in., 2004; Mishra i in., 2005; Pathan i Park, 2007; McNeil i in., 2008).

Donorami były gatunki *T. monococcum* L., *T. speltoides* Taush., *T. tauschii* (Coss) Schmal., *T. comosa* Sibth et Sm., *T. timopheevii* Zhuk, *T. dicoccum* Schubl., *T. ventricosa* Taush., *T. araraticum* Jakubz. Występują na chromosomach; genomu *A* — 6 genów, *2A* — 3 geny, *3A* — 1 gen, *4A* — 1 gen, *7A* — 1 gen; genomu *B* — 5 genów, *2B* — 4 geny, *3B* — 1 gen; genomu *D* — 1 gen na chromosomie *1D*. Gen *Tt-3* nie został dotychczas zlokalizowany na chromosomach *T. aestivum* L.

Wprowadzono 10 genów odporności na rdzę żółtą *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* (tab. 4). Z gatunków diploidalnych nie wprowadzono żadnego genu, natomiast większość pochodzi z gatunków tetraploidalnych 9 genów (Gramma i Gerechter-Amitai, 1974; Gerechter-Amitai i in., 1989; Sun i in., 1997; Stubbs, 1985; Bariana i McIntosh, 1993; Peng i in., 2000; Robert i in., 2000; Ma i in., 2001; Mallard i in., 2005; Marais i in., 2005; Uauy i in., 2005; Chicaiza i in., 2006; Li i in., 2006; Hovmoller, 2007; Wang i in., 2008) i z heksaploidalnych tylko 1 gen (Macer, 1966; Law, 1976; Stubbs, 1985; Chen i in., 2002; Sun i in., 2002; Yan i in., 2003). Gatunkami tymi były *T. durum* Desf., *T. dicoccoides* Schweinf., *T. ventricosa* Taush., *T. turgidum* L., *T. spelta* L. Prawie wszystkie geny obce występują na chromosomach genomu *B* — 9 genów, *1B* — 5 genów, *2B* — 2 geny, *6BS* — 2 geny; genomu *A* — 1 gen na chromosomie *2A*. Brak jest genów obcych na chromosomach genomu *D*.

Tabela 4

Geny odporności na rdzę żółtą/pasiastą *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* Westend w pszenicy *T. aestivum* L. przeniesione z gatunków (2x, 4x, 6x) *Triticum* L.

Genes of the resistance to yellow/stripe rust *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* Westend in wheat *T. aestivum* L. transferred from (2x, 4x, 6x) *Triticum* species

Gen/lokalizacja Gene /location	Źródło genu Source of gene	Cytowanie References
<i>Yr7</i> , <i>2BL</i>	<i>T. durum</i> Desf.	Stubbs 1985, Mallard i in., 2005
<i>Yr24</i> , <i>1B</i>		Ma i in., 2001
<i>Yr17</i> , <i>2AS</i>	<i>T. ventricosa</i> Taush.	Bariana i McIntosh 1993, Robert i in., 2000
<i>Yr26</i> , <i>1BS</i>	<i>T. turgidum</i> L.	Ma i in., 2001, Wang i in., 2008
<i>YrCH42</i> , <i>1BS</i>		Li i in., 2006
<i>Yr15</i> , <i>1BS</i>	<i>T. dicoccoides</i> Schweinf.	Gramma i Gerechter-Amitai 1974,
<i>YrH52</i> , <i>1BS</i>		Gerechter-Amitai i in., 1989, Sun i in., 1997
<i>Yr35</i> , <i>6</i>		Peng i in., 2000
<i>Yr36</i> , <i>BS</i>		Marais i in., 2005, Uauy i in., 2005, Chicaiza i in., 2006, Hovmoller 2007
		Marais i in., 2005, Uauy i in., 2005, Chicaiza i in., 2006
<i>Yr5</i> , <i>2BL</i>	<i>T. spelta</i> L.	Macer 1966, Law 1976, Stubbs 1985, Chen i in., 2002, Sun i in., 2002, Yan i in., 2003

Do genotypu pszenicy zwyczajnej przeniesiono 12 genów odporności na przyszcarka heskiego (syn. muszka heska) *Mayetiola destructor* Say (syn. *Phytophaga destructor* Say) (Diptera: Cecidomyiidae) (tab. 5). Z gatunków diploidalnych i heksaploidalnych pszenicy nie ma żadnego genu, natomiast wszystkie pochodzą z gatunków tetraploidalnych, którymi były *T. turgidum* L., *T. tauschii* (Coss.) Schmal. (Hatchett i in., 1981; McIntosh, 1981; Gill i in., 1987; Obanni i in., 1989; Cox i Hatchett, 1994; Patterson i in., 1994; Ohm i in., 1995; Dweikat i in., 2002; Ratcliffe i in., 2002; Williams i in., 2003; Kong i in., 2005; Liu i in., 2005 a, b, c; Wang i in., 2006).

Geny te zlokalizowane zostały na chromosomach: genomu *A* — 5 genów, *1A* — 4 geny, *5A* — 1 gen; genomu *B* — 1 gen na chromosomie *5B*; genomu *D* — 2 geny, *4D* — 1 gen, *6D* — 1 gen. Geny *H3*, *H5*, *H6*, *H16* nie zostały zlokalizowane na chromosomach *T. aestivum* L.

Dokonano introgresji 3 genów odporności na uszkodzenia kłosów powodowane przez *Fusarium graminearum* Schwabe. (*Gibberella zeae* (Schw.) Petch) (tab. 5). Pochodzą one z dwóch gatunków tetraploidalnych, tj. *T. dicoccoides* Schweinf. i *T. macha* Dek. (Otto i in., 2002; Stack i in., 2002, 2003; Steed i in., 2005; Chen i in., 2007; Hartel i in., 2008; Kumar i in., 2007).

Table 5

Geny odporności na inne choroby pszenicy *T. aestivum* L. przeniesione z gatunków (2x, 4x, 6x) *Triticum* L.
Genes of the resistance to other diseases in wheat *T. aestivum* L. transferred from (2x, 4x, 6x) *Triticum* species

Gen/lokalizacja Gene /location	Źródło genu Source of gene	Cytowanie References
Muszka heska — Hessian fly <i>Mayetiola destructor</i> Say (syn. <i>Phytophaga destructor</i> Say) (Diptera: Cecidomyiidae)		
<i>H13</i> , <i>6DS</i> , (<i>6DL</i>)	<i>T. tauschii</i> (Coss) Schmal.	Hatchett i in., 1981, Gill i in., 1987, Patterson i in., 1994, Liu i in., 2005 b, Wang i in., 2006
<i>H26</i> <i>4DS</i>		Cox and Hatchett 1994
<i>H3</i> , ?	<i>T. turgidum</i> L.	Obanni i in., 1989, Ratcliffe i in., 2002
<i>H5</i> , ?		Obanni i in., 1989, Ratcliffe i in., 2002
<i>H6</i> , ?		Obanni i in., 1989, Dweikat i in., 2002, Ratcliffe i in., 2002
<i>H9</i> , (<i>5A</i>), <i>1AS</i>		Patterson i in., 1994, Ohm i in., 1995, Kong i in., 2005, Liu i in., 2005 a
<i>H10</i> , <i>1AS</i>		McIntosh 1981, Kong i in., 2005, Liu i in., 2005 a
<i>H11</i> , <i>1AS</i>		Kong i in., 2005, Liu i in., 2005 a
<i>H12</i> , <i>5A</i>		Ohm i in., 1995
<i>H16</i> , ?		Obanni i in., 1989, Ratcliffe i in., 2002
<i>H31</i> , <i>5BS</i>		Williams i in., 2003
<i>Hdic 1AS</i> (<i>Hdicoccum</i>)		Liu i in., 2005 a, c
<i>Fusarium graminearum</i> Schwabe (<i>Gibberellazeae</i> (Schw.) Petch)		
<i>Qfhs.ndsu-3AS</i>	<i>T. dicoccoides</i>	Otto i in., 2002, Stack i in., 2002, 2003, Chen i in., 2007, Hartel i in., 2008
<i>Qfhs.fcu-7AL</i>	Schweinf.	Kumar i in., 2007
<i>Fhb ?</i> <i>4AS</i>	<i>T. macha</i> Dek.	Steed i in., 2005

Wszystkie geny zlokalizowano w genomie *A* na 3 jego chromosomach: *3A*, *4A* i na chromosomie *7A*. Do odmian pszenicy *T. aestivum* L. przeniesiono 10 genów jakości ziarna, z których 7 genów wysokiej zawartości białka w ziarnie a dawcą był tylko jeden gatunek tetraploidalny pszenicy *T. dicoccoides* Schweinf. (tab. 6). Występują one na chromosomach genomu *A* — 2 geny, *2A* — 1 gen, *6A* — 1 gen; genomu *B* — 5 genów, *1B*

— 1 gen, 5B — 3 geny, 7B — 1 gen. Brak genów w genomie D. (Distelfeld i in., 2004, 2006; Gonzalez-Hernandez i in., 2004; Khan i in., 2000; Olmos i in., 2003, Blanco i in., 2006; Uauy i in., 2006). Dokonano także introgresji 3 genów wysokiej zawartości Zn, Fe, Mn w ziarnie (tab. 6). Dawcą był tylko jeden gatunek tetraploidalnej pszenicy *T. dicoccoides* Schweinf. Wszystkie geny zlokalizowano w genomie B na chromosomie 1B. (Cakmak i in., 2004; Uauy i in., 2006; Distelfeld i in., 2007).

Tabela 6

Geny jakości ziarna pszenicy *T. aestivum* L. przeniesione z gatunków (2x, 4x, 6x) *Triticum* L.
Genes of grain quality in wheat *T. aestivum* L. transferred from (2x, 4x, 6x) *Triticum* species

Gen/lokalizacja Gene/location	Źródło genu Source of gene	Cytowanie References
Wysoka zawartość białka — High protein content		
<i>Gpc-B1</i> ,	<i>T. dicoccoides</i> Schweinf.	Distelfeld i in., 2004, 2006
<i>QGpc-ndsu-5B1</i> ,		Gonzalez-Hernandez i in., 2004
<i>QGpc-ndsu-5B2</i> ,		Gonzalez-Hernandez i in., 2004
<i>QGpc-ndsu-5B3</i> ,		Gonzalez-Hernandez i in., 2004
<i>QTL-2AS</i> ,		Khan i in., 2000, Olmos i in., 2003, Blanco i in., 2006
<i>QTL-6AS</i> ,		Olmos i in., 2003, Blanco i in., 2006
<i>QTL-7BL</i>		Blanco i in., 2006, Uauy i in., 2006
Wysoka zawartość mikroelementów — High content of microelements:		
<i>Gpc-B1</i>	<i>T. dicoccoides</i> Schweinf.	Zn Cakmak i in., 2004, Uauy i in., 2006, Distelfeld i in., 2007
<i>Gpc-B1</i>		Fe Uauy i in., 2006, Distelfeld i in., 2007
<i>Gpc-B1</i>		Mn Cakmak i in., 2004, Distelfeld i in., 2007

PODSUMOWANIE

Z dokonanego przeglądu literatury wynika, że 15 gatunków diploidalnych, tetraploidalnych i heksaploidalnych rodzaju *Triticum* L. było donorami 87 genów. Spowodowały one ulepszenie cech w odmianach pszenicy *T. aestivum* L., głównie odporności na patogeny zbożowe. Gatunkami tymi okazały się: *T. monococcum* L., *T. boeoticum* Boiss., *T. urartu* Tum, *T. tauschii* (Coss.) Schmal., *T. speltoide*s Taush., *T. carthlicum* Nevski, *T. dicoccoides* Schweinf., *T. turgidum* L., *T. macha* Dek., *T. ventricosa* Taush., *T. dicoccoides* Schweinf., *T. durum* Desf., *T. timopheevii* Zhuk, *T. comosa* Sibth et Sm., *T. spelta* L.

Oprócz wymienionych introgresji genów pojedynczych podjęto działania nad introgresją *loci* cech ilościowych (QTL) warunkujących złożone cechy u pszenicy. Huang i in. (2003) uzyskali introgresje QTL dla plonu ziarna i jego komponentów (liczba kłosów na pow. 1 m², masa 1000 ziaren) oraz wysokości roślin, do odmiany niemieckiej Prinz z tetraploidalnych gatunków *T. turgidum* L. i *T. tauschii* (Coss) Schmal. W 52 liniach introgresyjnych z *T. tauschii* (Coss) Schmal.) uzyskano polepszenie cech jak wysokość roślin, termin kwitnienia, długość kłosa, liczba kłosków, płodność kłosa i masa ziarna z kłosa (Pestsova i in., 2006). Zidentyfikowano 17 *loci* QTL dla tych cech. Gatunek *T. tauschii* (Coss) Schmal. wykorzystano do zwiększenia plonu ziarna w niskoplonujących odmianach pszenicy heksaploidalnej uprawianych w rejonach deficytu wody i wysokiej temperatury w południowej Australii i północno-wschodnich Meksyku (Gororo i in.,

2002). Efekt ten uzyskano na skutek zwiększenia wielkości ziarna, jego wypełnienia, a tym samym i masy ziarna w krzyżowaniach z tym gatunkiem (Gororo i in., 2002).

Literatura wskazuje, że wraz z rozwojem technik uzyskiwania i identyfikowania mieszańców międzygatunkowych i międzyrodzajowych oraz mapowania genów poszerza się zasięg zainteresowania szerszą grupą gatunków dzikich. Do znacznego postępu prac przyczyniło się rozwiązanie 3 problemów. Pierwszym i największym problemem były biologiczne bariery krzyżowalności gatunków odległych taksonomicznie, które stanowiły największą przeszkodę w transferowaniu obcych genów do odmian pszenicy zwyczajnej. Kolejnym problemem było utrzymywanie się przez wiele generacji rozmnażania wielu niekorzystnych cech, jak tzw. „dzikość pokroju / fenotypu” oddziedziczonych po gatunkach dzikich. Kolejnym i trzecim problemem była niestabilność mitotyczna i mejozytyczna mieszańców oraz ustawiczna rozszczepialność cech. Wprowadzana jest coraz częściej w hodowli mieszańców dihaploidyzacja przyspieszająca homozygotyzację cech i umożliwiającą szybką selekcję cech korzystnych w liniach DH oraz stabilność chromosomową.

LITERATURA

- Ahmad M., Arain M. A., Siddiqui K. A. 1997. Screening of *Aegilops*, *Triticum* and *Hordeum* species for grain weight, protein and lysine content. *Wheat Inf. Serv.* 85: 7 — 13.
- Allan R. E. 1997. Registration of 10 pairs of alloplasmic and euplasmic Stephens wheat germplasms. *Crop Sci.* 37 (3): 1033 — 1034.
- Asins M. J., Carbonell E. A. 1986. A comparative study on variability and philology of *Triticum* species. 2. Interspecific relationship. *Theor. Appl. Genet.* 72: 559 — 568.
- Autrique E., Singh R. P., Tanksley S. D., Sorrells M. E. 1995. Molecular markers for four leaf rust resistance genes introgressed into wheat from wild species. *Genome* 38: 75 — 83.
- Bariana H. S., McIntosh R. A. 1993. Cytogenetic studies in wheat. XV. Location of rust resistance genes in VPMI and their genetic linkage with other disease resistance genes in chromosome 2A. *Genome* 36: 476 — 482.
- Barkworth M. E. 1992. Taxonomy of the *Triticeae*: a historical perspective. *Hereditas* 116: 1 — 14.
- Bhalla P. L., Ottenhof H. H., Singh M. B. 2006. Wheat transformation — an update of recent progress. *Euphytica* 149: 353 — 366.
- Blanco A., Simeone R., Gadaleta A. 2006. Detection of QTLs for grain protein content in durum wheat. *Theor. Appl. Genet.* 112: 1195 — 1204.
- 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.
- Branlard G., Autran J. C., Monneveux P. 1989. High molecular weight glutenin subunits in durum wheat (*Triticum durum*). *Theor. Appl. Genet.* 78: 353 — 358.
- Brites C., Carrillo J. M. 2001. Influence of high molecular weight (HMW) and low molecular weight (LMW) glutenin subunits controlled by Glu-1 and Glu-3 loci on durum wheat quality. *Cereal. Chem.* 78 (1): 59 — 63.
- Brown-Guedira G., Cox T. S., Gill B. S., Sears R. G. 1999. Registration of KS96WGRC35 and KS96WGRC36 leaf rust-resistant hard red winter wheat germplasms. *Crop Sci.* 39: 595.

- Brown-Guedira G., Singh S., Fritz A. K. 2003. Performance and mapping of leaf rust resistance transferred to wheat from *Triticum timopheevii* subsp. *Armeniacum*. *Phytopathology* 93: 784 — 789.
- Caballero L., Martin L. M., Alvarez J. B. 2001. Allelic variation of the HMW glutenin subunits in Spanish accessions of spelt wheat (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L. em. Thell). *Theor. Appl. Genet.* 103: 124 — 128.
- Cakmak I., Torun A., Millet E., Feldman M., Fahima T., Korol A. B., Nevo E., Braun H. J., Ozkan H. 2004. *Triticum dicoccoides*: an important genetic resources for increasing zinc and iron concentration in modern cultivated wheat. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50: 1047 — 1054.
- Chantret N., Sourdille P., Roder M., Tavaud M., Bernard M., Doussinault G. 2000. Location and mapping of the powdery mildew resistance gene *MIRE* and detection of a resistance QTL by bulked segregant analysis (BSA) with microsatellites in wheat. *Theor. Appl. Genet.* 100: 1217 — 1224.
- Chicaiza O., Khan I. A., Zhang X., Brevis J. C., Jackson L., Chen X., Dubcovsky J. 2006. Registration of five wheat isogenic lines for leaf rust and stripe rust resistance genes. *Crop Sci* 46: 485 — 487.
- Chen X. M., Moore M., Milus E. A., Long D., Marshall D., Line R. F., Jackson L. 2002. Wheat rust epidemics and races of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* in the United States in 2000. *Plant Dis.* 86: 39 — 46.
- 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 (3): 225 — 228.
- Chen X., Faris J. D., Hu J., Stack R. W., Adhikari T., Elias E. M., Kianian S. F. Cai X. 2007. Saturation and comparative mapping of a major *Fusarium* head blight resistance QTL in tetraploid wheat. *Mol. Breeding* 19: 113 — 124.
- Ciaffi M., Lee Y. K., Tamas L., Gupta R., Skerritt J., Appels R. 1999. The low- molecular-weight glutenin subunit proteins of primitive wheats. III. The genes from D-genome species. *Theor. Appl. Genet.* 98: 135 — 148.
- Cox T. S., Hatchett J. H. 1994. Hessian fly resistance gene *H26* transferred from *Triticum tauschii* to common wheat. *Crop Sci* 34: 958 — 960.
- Cox T. S., Raupp W. J., Gill B. S. 1994 a. Leaf rust resistance genes *Lr41*, *Lr42* and *Lr43* transferred from *Triticum tauschii* to common wheat. *Crop Sci.* 34: 339 — 343.
- Cox T. S., Sears R. G., Gill B. S., Jellen R. N. 1994 b. Registration of KS91WGRC11, KS92WGRC15 and KS92WGRC23 leaf rust resistant hard red winter wheat germplasms. *Crop Sci.* 34: 546.
- Cox T. S., Hussien T., Sears R. G., Gill B. S. 1997. Registration of KS92WGRC16 winter wheat germplasm resistant to leaf rust. *Crop Sci.* 37: 634.
- De Vita P., Riefolo C., Codianni P., Cattivelli L., Fares C. 2006. Agronomic and qualitative traits of *T. turgidum* ssp. *dicoccum* genotypes cultivated in Italy. *Euphytica* 150: 195 — 205.
- Dessalegn T., Van Deventer C. S., Labuschagne M. T., Maartens H. 2003. B-LMW glutenin and y-gliadin of Ethiopian durum wheat genotypes and their association with some quality traits. *Cereal Res. Comm.* Vol. 31, 3–4: 453 — 457.
- Distelfeld A., Uauy C., Olmos S., Schlatter A.R., Dubcovsky J., Fahima T. 2004. Microcolinearity between a 2-cM region encompassing the grain protein content locus *Gpc-6B1* on wheat chromosome 6B and a 350 – kb region on rice chromosome 2. *Funct. Integr. Genomics* 4: 59 — 66.
- Distelfeld A., Uauy C., Fahima T., Dubcovsky J. 2006. Physical map of the wheat high-protein content gene *Gpc-B1* and development of a high-throughput molecular marker. *New Phytol.* 169: 753 — 763.
- Distelfeld A., Cakmak I., Peleg Z., Ozturk L., Yazicii A. M., Budak H., Saranga Y., Fahima T. 2007. Multiple QTL-effects of wheat *Gpc-B1* locus on grain protein and micronutrient concentrations. *Physiol. Plant* 129: 635 — 643.
- Dvorak J. 1980. Homoeology between *Agropyron elongatum* chromosomes and *Triticum aestivum* chromosomes. *Can. J. Genet. Cytol.* 22: 237 — 259.

- Dvorak J., Knott D. R. 1990. Location of a *Triticum speltoides* chromosome segment conferring resistance to leaf rust in *Triticum aestivum*. Genome 33: 892 — 897.
- Dweikat I., Zhang W., Ohm H. 2002. Development of STS markers linked to Hessian fly resistance gene *H6* in wheat. Theor. Appl. Genet. 105: 766 — 770.
- Dubcovsky J., Echaide M., Antonelli E. F., Lukaszewski A. L. 1998. Molecular characterization of two *Triticum speltoides* interstitial translocations carrying leaf rust and green bug resistance genes. Crop Sci. 38: 1655 — 1660.
- Dyck P.L. 1992. Transfer of gene for stem rust resistance from *Triticum araraticum* to hexaploid wheat. Genome 35: 788 — 792.
- Dyck P. L., Kerber E. R. 1970. Inheritance in hexaploid wheat of adult-plant leaf rust resistance derived from *Aegilops squarrosa*. Can. J. Genetics Cytol. 12: 175 — 180.
- Ekiz H., Kiral A. S., Akcin A., Simsek L. 1998. Cytoplasmic effects on quality traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Euphytica 100: 189 — 196.
- Elia M., Moralejo M., Rodriguez-Quijano M., Molina-Cano J. L. 2004. Spanish spelt: a separate gene pool within the spelt germplasm. Plant Breed. 123, 3: 297 — 299.
- Frederiksen S., Seberg O. 1992. Phylogenetic analysis of the *Triticeae* (*Poaceae*). Hereditas 116: 15 — 19.
- Friebe B., Mukai Y., Dhaliwal H. S., Martin T. J. Gill B. S. 1991. Identification of alien chromatin specifying resistance to wheat streak mosaic virus and greenbug in wheat germplasm by C-banding and in situ hybridization. Theor. Appl. Genetic. 81: 381 — 389.
- Friebe B., Jiang J., Raupp W. J., McIntosh R. A., Gill B. S. 1996. Characterization of wheat- alien translocations conferring resistance to diseases and pests: current status. Euphytica 91: 59 — 87.
- Friesen T. L., Xu S. S., Harris M. O. 2008. Stem rust, tan spot, stagonospora nodorum blotch, and hessian fly resistance in Langdon durum — *Aegilops tauschii* synthetic hexaploid wheat lines Crop Sci. 48: 1062 — 1070.
- Gerechter-Amitai Z. K., Silfhout C. H., Grama A., Kleitman F. 1989. *Yr15* a new gene for resistance to *Puccinia striiformis* in *Triticum dicoccoides* se. G-25. Euphytica 43: 187 — 190.
- Gianibelli M. C., Lagudah E. S., Wrigley C. W., MacRitchie F. 2002. Biochemical and genetic characterization of a monomeric storage protein (T1) with an unusually high molecular weight in *Triticum tauschii*. Theor. Appl. Genet. 104 (2-3): 497 — 504.
- Gill B. S., Dhaliwal H. S., Multani D. S., Singh P. J. 1989. Evaluation and utilization of wild germplasm of wheat. Review of advances in plant biotechnology 1985–1988: 2nd International Symposium on Genetic Manipulation in Crops. Mexico, D. F. and Manila, Philippines: CIMMYT and IRRI (Eds. Mujeeb-Kazi A., Sitch L. A. 1989), CIMMYT: 165 — 177.
- Gill B. S., Hatchett J. H., Raupp W. J. 1987. Chromosomal mapping of Hessian fly-resistance gene *H13* in the D genome of wheat. J. Heredity 78: 97 — 100.
- Gill B. S., Raupp W. J., Browder L. E., Cox T. S., Sears R. G. 1991. Registration of KS89WGRC7 leaf rust-resistance hard red winter wheat germplasm. Crop Sci. 31: 246.
- Gonzalez-Hernandez J. L., Elias E. M., Kianian S. F. 2004. Mapping genes for grain protection concentration and grain yield on chromosome 5B of *Triticum turgidum* (L.) var. *dicoccoides*. Euphytica 139: 217 — 225.
- Gororo N. N., Eagles H. A., Eastwood R. F., Nicolas M. E., Flood R. G. 2002. Use of *Triticum tauschii* to improve yield of wheat in low-yielding environments. Euphytica 123: 241 — 254.
- Grama A., Gerechter-Amitai Z. K. 1974. Inheritance of resistance to stripe rust (*Puccinia striiformis*) in crosses between wild emmer (*Triticum dicoccoides*) and cultivated tetraploid and hexaploid wheat. II. *Triticum aestivum*. Euphytica 23: 393 — 398.
- Grądzielewska A. 2006. The genus *Dasypyrum* — part 2. *Dasypyrum villosum* — a wild species used in wheat improvement. Euphytica 152: 441 — 454.

- Gupta R. B., Shepherd K. W. 1990. Two-step one-dimensional SDS-PAGE analysis of LMW subunits of glutenin. 2. Genetic control of the subunits in species related to wheat. *Theor. Appl. Genet.* 80: 183 — 187.
- Hajjar R., Hodgkin T. 2007. The use of wild relatives in crop improvement: a survey of development over the last 20 years. *Euphytica* 156: 1 — 13.
- Hartel K. D., Berzonsky W., A., Kianian S. F., Ali S. 2008. Expression of a *Triticum turgidum* var. *dicoccoides* source of *Fusarium* head blight resistance transferred to synthetic hexaploid wheat. *Plant Breed.* 123, 6: 516 — 519.
- Hayden M. J., Kuchel H., Chalmers K. J. 2004. Sequence tagged microsatellites for the *Xgwm533* locus provide new diagnostic markers to select for the presence of stem rust resistance gene *Sr2* in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.* 100: 1641 — 1647.
- Hatchett J. H., Martin T. J., Livers R. V. 1981. Expression and inheritance of resistance to Hessian fly in synthetic hexaploid wheats derived from *Triticum tauschii* (Coss.) Schal. *Crop Sci.* 21: 731 — 734.
- He X. Y., He Z. H., Morris C. F., Xia X. C. 2009. Cloning and phylogenetic analysis of polyphenol oxidase genes in common wheat and related species. *Genet. Resour. Crop Evol.* 56: 311 — 321.
- Hegde S. G., Valkoun J., Waines J. G. 2002. Genetic diversity in wild and weedy *Aegilops*, *Amblyopyrum*, and *Secale* species — a preliminary survey. *Crop Sci.* 42: 608 — 614.
- Helguera M., Khan I. A., Dubcovsky J. 2000. Development of PCR markers for wheat leaf resistance gene *Lr47*. *Theor. Appl. Genet.* 100: 1137 — 1143.
- Herrera-Foessel S. A., Singh R. P., Huerta-Espino J., Crossa J., Djurle A., Yuen J. 2007. Evaluation of slow rusting resistance components to leaf rust in CIMMYT durum wheats. *Euphytica* 155: 361 — 369.
- Heun M., Friebe B. 1990. Introgression of powdery mildew resistance from rye into wheat. *Phytopathology* 80: 242 — 245.
- Hiebert C. W., Thomas J. B., Somers D. J., McCallum B. D., Fox S. L. 2007. Microsatellite mapping of adult-plant leaf resistance gene *Lr22a* in wheat. *Theor. Appl. Genet.* 115: 877 — 884.
- 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.
- Hovmoller M. S. 2007. Sources of seedling and adult plant resistance to *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* in European wheats. *Plant Breeding* 126: 225 — 233.
- Hsam S. L. K., Huang X. Q., Ernst F. 1998. Chromosome location of genes for resistance to powdery mildew in common wheat (*Triticum aestivum* L. Em.Thell.). 5. Alleles at the *Pm1* locus. *Theor. Appl. Genet.* 96: 1129 — 1134.
- Hsam S. L. K., Huang X. Q., Zeller F. J. 2001. Chromosomal location of genes for resistance to powdery mildew in common wheat (*Triticum aestivum* L. em Thell.). 6. Alleles at the *Pm5* locus. *Theor. Appl. Genet.* 102: 127 — 133.
- Huang L., Gill B. S. 2001. An RGA — like marker detects all known *Lr21* leaf rust resistance gene family members in *Aegilops tauschii* and wheat. *Theor. Appl. Genet.* 103: 1007 — 1013.
- 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.
- Kaur M., Saini R. G., Preet K. 2000. Adult plant leaf rust resistance from 111 wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Euphytica* 113: 235 — 243.
- Kerber E. R. 1987. Resistance to leaf rust in hexaploid wheat *Lr32* a third gene derived from *Triticum tauschii*. *Crop Sci.* 27: 204 — 206.
- Kerber E. R., Dyck P. L. 1979. Resistance to stem rust and leaf rust of wheat in *Aegilops squarrosa* and transfer of a gene for stem rust resistance to hexaploid wheat. In: Ramanujam S. (ed.) *Proc. 5th Int. Wheat Genet. Sym., Indian Society of Genetics and Plant Breeding, IARI, New Delhi, India*: 358 — 364.

- Kerber E. R., Dyck P. L. 1990. Transfer to hexaploid wheat of linked genes for adult-plant leaf rust and seedling stem rust resistance from an amphiploid of *Aegilops speltoides* × *Triticum monococcum*. *Genome* 33: 530 — 537.
- Khan I. A., Procinier J. D., Humphreys D. G., Tranquilli G., Schlatter A. R., Marcucci-Poltri S., Frohberg R., Dubcovsky J. 2000. Development of PCR — based markers for a high grain protein content gene from *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides* transferred to bread wheat. *Crop Sci.* 40: 518 — 524.
- Kimber G., Feldman M. 1987. Wild wheat. An introduction. Special report 353, College of Agriculture, Univ. of Missouri, Columbia, USA.
- Kong L., Ohm H. W., Cambron S. E., Williams C. E. 2005. Molecular mapping determines that Hessian fly resistance gene *H9* is located on chromosome 1A of wheat. *Plant Breed.*, 124, 6: 525 — 531.
- Kumar S., Stack R. W., Friesen T. L., Faris J. D. 2007. Identification of a novel *Fusarium* head blight resistance quantitative trait locus on chromosome 7A in tetraploid wheat. *Phytopathology* 97: 592 — 597.
- Labuschagne M. T., Pretorius Z. A., Grobbelaar B. 2002. The influence of leaf rust resistance genes *Lr29*, *Lr34*, *Lr35* and *Lr37* on breadmaking quality in wheat. *Euphytica* 124: 65 — 70.
- Law C. N. 1976. Genetic control of yellow rust resistance in *T. spelta album*. Ann. Report (Plant Breeding Institute, Cambridge) 1975: 108 — 109.
- Lee Y. K., Bekes F., Gupta R., Apples R., Morrell M. K. 1999 a. The low-molecular-weight glutenin subunit proteins of primitive wheats. I. Variation in A-genome species. *Theor. Appl. Genet.* 98: 119 — 125.
- Lee Y. K., Bekes F., Gras P., Ciaffi M., Morrell M. K., Apples R. 1999 b. The low-molecular-weight glutenin subunit proteins of primitive wheats. IV. Functional properties of products from individual genes. *Theor. Appl. Genet.* 98: 149 — 155.
- Leonova I., Borner A., Budashkina E., Kalinina N., Unger O., Roder M., Salina E. 2004. Identification of microsatellite markers for a leaf rust resistance gene introgressed into common wheat from *Triticum timopheevii*. *Plant Breeding* 123: 93.
- Levy A. A., Feldman M. 1987. Increase in grain protein percentage in high-yielding common wheat breeding lines by genes from wild tetraploid wheat. *Euphytica* 36: 353 — 359.
- Li G. Q., Li Z. F., Yang W. Y., Zhang Y., He Z. H., Xu S. C., Singh R. P., Qu Y. Y., Xia X. C. 2006. Molecular mapping of stripe rust resistance gene *YrCH42* in Chinese wheat cultivar Chuanmai 42 and its allelism with *Yr24* and *Yr26*. *Theor. Appl. Genet.* 112: 1434 — 1440.
- Lillemo M., Simeone M. C., Morris C. F. 2002. Analysis of puroindoline a and b sequences from *Triticum aestivum* cv. “Penawawa” and related diploid taxa. *Euphytica* 126: 321 — 331.
- 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.
- Liu C. Y., Rathjen A. J., Shepherd K. W., Gras P. W., Giles L. C. 1995. Grain quality and field characteristics of D-genome disomic substitution lines in „Langdon” (*Triticum turgidum* var. *durum*). *Plant Breed.* 114: 34 — 39.
- Liu C. Y., Shepherd K. W. 1996. Variation of B subunits of glutenin in durum, wild and less widely cultivated tetraploid wheats. *Plant Breed.* 115: 172 — 178.
- Liu X. M., Fritz A. K., Reese J. C., Wilde G. E., Gill B. S., Chen M. S. 2005 a. *H9*, *H10*, and *H11* compose a cluster of Hessian fly-resistance genes in the distal gene-rich region of wheat chromosome 1AS. *Theor. Appl. Genet.* 110: 1473 — 1480.
- Liu X. M., Gill B. S., Chen M. S. 2005 b. Hessian fly resistance gene *H13* is mapped to a distal cluster of resistance genes in chromosome 6DS of wheat. *Theor. Appl. Genet.*, 111: 243 — 249.
- Liu X. M., Brown-Guedira G. L., Hatchett J. H., Owuochi J. O., Chen M. S. 2005 c. Genetic characterization and molecular mapping of a Hessian fly-resistance gene transferred from *T. turgidum* ssp. *dicoccum* to common wheat. *Theor. Appl. Genet.* 111: 1308 — 1315.
- Luig N. H. 1985. Epidemiology in Australia and New Zealand. Diseases, distribution, epidemiology, and control. (Eds A. P. Roelfs, W. R. Bushnell, Orlando) *Cereal Rusts Vol. II*: 301 — 328.

- Lukaszewski A. J. 1995. Physical distribution of translocation breakpoints in homoeologous recombinants induced by the absence of the *Ph1* gene in wheat and triticale. *Theor. Appl. Genet.* 90: 714 — 719.
- Lukaszewski A. J., Porter D. R., Antonelli E. F., Dubcovsky J. 2000. Registration of UCRBW98-1 and UCRBW98-2 wheat germplasms with leaf rust and greenbug resistance genes. *Crop Sci.* 40: 590.
- Ma Z. Q., Sorrells M. E., Tanksley S. D. 1994. RFLP markers linked to powdery mildew resistance genes *Pm1*, *Pm2*, *Pm3*, and *Pm4* in wheat. *Genome* 37: 871 — 875.
- Ma J., Zhou R., Dong Y., Wang L., Wang X., Jia J. 2001. Molecular mapping and detection of the yellow rust resistance gene *Yr26* in wheat transferred from *Triticum turgidum* L. using microsatellite markers. *Euphytica* 120: 219 — 226.
- Maccaferri M., Mantovani P., Tuberosa R., DeAmbriogio E., Giulani S., Demontis A., Massi A., Sanguineti M. C. 2008. A major QTL for durable leaf rust resistance widely exploited in durum wheat breeding programs maps on the distal region of chromosome arm 7BL. *Theor. Appl. Genet.* 117: 1225 — 1240.
- Macer R. C. F. 1966. The formal monosomic genetic analysis of stripe rust (*Puccinia striiformis*) resistance in wheat. *Proc. 2nd Int. Wheat Genet. Symp. Hereditas Suppl.* 2: 127 — 142.
- Mallard S., Gaudet D., Aldeia A., Abelard C., Besnard A., L., Sourdille P., Dedryver F. 2005. Genetic analysis of durable resistance to yellow rust in bread wheat. *Theor. Appl. Genet.* 110: 1401 — 1409.
- Marais G. F., McCallum B., Snyman J. E., Pretorius Z. A., Marais A. S. 2005. Leaf rust and stripe rust resistance genes *Lr54* and *Yr37* transferred to wheat from *Aegilops kotschy*. *Plant Breeding* 124: 538 — 541.
- Marais G. F., Pretorius Z. A., Wellings C. R., McCallum B., Marais A. S. 2005 b. Leaf rust and stripe rust resistance genes transferred to common wheat from *Triticum dicoccoides*. *Euphytica* 143: 115 — 123.
- Marone D., Del Olmo A. I., Laido G., Sillero J. C., Emeran A. A., Russo M. A., Ferragonio P., Giovanniello V., Mazzucotelli E., De Leonardi A. M., De Vita P., Blanco A., Cattivelli L., Rubiales D., Mastrangelo A. M. 2009. Genetic analysis of durable resistance against leaf rust in durum wheat. *Mol. Breeding* 19: 113 — 124.
- Martin J. N., Carver B. F., Hunger R. M., Cox T. S. 2003. Contributions of leaf rust resistance and awns to agronomic and grain quality performance in winter wheat. *Crop Sci.* 43: 1712 — 1717.
- Massa A. N., Beecher B., Morris C. F. 2007. Polyphenol oxidase (PPO) in wheat and wild relatives: molecular evidence for a multigene family. *Theor. Appl. Genet.* 114: 1239 — 1247.
- McFadden E. S. 1930. A successful transfer of emmer characters to vulgare wheat. *Agronomy Journal* 22: 1020 — 1034.
- McIntosh R. A. 1981. Catalogue of gene symbols for wheat. *Wheat Newsletter* 27: 10 — 11.
- McIntosh R. A. 1983. Genetic and cytogenetic studies involving *Lr18* resistance to *Puccinia recondita*. In: S. Sakamoto (ed.). *Proc. 6th Int. Wheat Genet. Symp., Kyoto, Japan*: 777 — 783.
- McIntosh R. A. 1988 a. Catalogue of gene symbols for wheat. In: Koebner R., Miller T.E. (Eds.) *Proc. 7th Int. Wheat Genet. Symp. Inst. Of Plant Sci. Res., Cambridge, UK*: 1225 — 1324.
- McIntosh R. A. 1988 b. The role of specific genes in breeding for durable stem rust resistance in wheat and triticale. *Breeding strategies for resistance to the rusts of wheat* (Eds. Hettel G., Simmonds N. W., Rajaram S., CIMMYT — Mexico): 1 — 9.
- McIntosh R. A., Dyck P. L., The T. T., Cusick J. E., Milne D. L. 1984. Cytogenetical studies of wheat. XIII. *Sr35*- a third gene from *Triticum monococcum* for resistance to *Puccinia graminis tritici*. *Z. Pflanzenzüchtg.* 92: 1 — 14.
- McIntosh R. A., Friebe B., Jiang J., The D., Gill B. S. 1995. Cytogenetical studies in wheat XVI. Chromosome location of a new gene for resistance to leaf rust in a Japanese wheat-rye translocation line. *Euphytica* 82: 141 — 147.
- McIntosh R. A., Friebe B., Jiang J., The D., Gill B. S. 1995 a. Cytogenetical studies in wheat XVI. Chromosome location of a new gene for resistance to leaf rust in a Japanese wheat-rye translocation line. *Euphytica* 82: 141 — 147.

- McIntosh R. A., Gyrfas J. 1971. *Triticum timopheevii* as a source of resistance to wheat stem rust. *Z. Pflanzenzüchtg.* 66: 240 — 248.
- McIntosh R. A., Miller T. E., Chapman V. 1982. Cytogenetical studies in wheat. XII. *Lr28* for resistance to *Puccinia recondita* and *Sr34* for resistance to *P. graminis tritici*. *Z. Pflanzenzüchtg.* 92: 1 — 14.
- McIntosh R. A., Wellings C. R., Park R. F. 1995 b. Wheat rusts: an atlas of resistance genes. CSIRO, Australia.
- McNeil M. D., Kota R., Paux E., Dunn D., McLean R., Feuillet C., Li D., Kong X., Lagudah E., Zhang J. C., Jia J. Z., Spielmeier W., Bellgard M., Appels R. 2008. BAC-derived markers for assaying the stem rust resistance gene, *Sr2* in wheat breeding programs. *Mol. Breeding* 22: 15 — 24.
- Mesfin A., Froberg R. C., Khan K., Olson T. C. 2000. Increased grain protein content and its association with agronomic and end-use quality in two hard red spring wheat populations derived from *Triticum turgidum* L. var. *dicoccoides*. *Euphytica* 116: 237 — 242.
- Miller T. E. 1984. The homoeologous relationships between the chromosomes of rye and wheat. Current status. *Can. J. Genet. Cytol.* 26: 578 — 589.
- Miranda M. L., Perugini L., Srnić G., Brown-Guedira G., Marshall D., Leath S., Murphy J. P. 2007 b. Genetic mapping of a *Triticum monococcum* — derived powdery mildew resistance gene in common wheat. *Crop Sci.* 47: 2323 — 2329.
- Mishra A. N., Kaushal K., Yadoav S. R., Shrekar G., S., Pandey H., N. 2005. The linkage between the stem rust resistance gene *Sr2* and pseudo-black chaff in wheat can be broken. *Plant Breeding* 124 (5): 520 — 522.
- Mohler V., Zeller F. J., Wenzel G., Hsam S. L. K. 2005. Chromosomal location of genes for resistance to powdery mildew in common wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell.). 9. Gene *MIZec1* from the *Triticum dicoccoides*-derived wheat line Zeco-1. *Euphytica* vol. 142, No.1 - 2: 161 — 167.
- Murashige T. 1974. Plant propagation through tissue culture. *Ann. Rev. Pl. Physiol.* 25: 35 — 166.
- Nocente F., Gazza L., Pasquini M. 2007. Evaluation of leaf rust resistance genes *Lr1*, *Lr9*, *Lr24*, *Lr47* and their introgression into common wheat cultivars by marker-assisted selection. *Euphytica* 155: 329 — 336.
- Obanni M., Ohm H. W., Foster J. F., Patterson F. L. 1989. Reactions of eleven tetraploid and hexaploid wheat introductions to Hessian fly. *Crop Sci.* 29: 267 — 269.
- Ohm H. W., Sharma H. C., Patterson F. L., Ratcliffe R. H., Obanni M. 1995. Linkage relationships among genes on wheat chromosome 5A that condition resistance to Hessian fly. *Crop Sci.* 35, 6: 603 — 1607.
- Olmos S., Distelfeld A., Chicaiza O., Schlatter A. R., Fahima T., Echenique V., Dubcovsky J. 2003. Precise mapping of a locus affecting grain protein content in durum wheat. *Theor. Appl. Genet.* 107: 1243 — 1251.
- Ostergard H. 1998. European cooperation in the field of scientific and technical research, COST817, population studded of air borne pathogens on cereals as a means of improving strategies for disease control. Annual report 1997. EUR18422 EN: 58 — 230.
- Otto C. D., Kianian S. F., Elias E. M., Stack R.W., Joppa L. R. 2002. Genetic dissection of a major *Fusarium* head blight QTL in tetraploid wheat. *Plant. Mol. Biol.* 48: 625 — 632.
- Pathan A. K., Park R. F. 2007. Evaluation of seedling and adult plant resistance to stem rust in European wheat cultivars. *Euphytica* 155: 87 — 105.
- Patterson F. L., Mass F. B., Foster J. E., Ratcliffe R. H., Cambron S., Safanski G., Taylor P. L., Ohm H. W. 1994. Registration of eight Hessian fly resistant common winter wheat germplasm lines (Carol, Erin, Flynn, Iris, Joy, Karen, Lola, and Molly). *Crop Sci.* 34: 315 — 316.
- Payne P. I., Lawrence G. J. 1983. Catalogue of alleles for the complex gene loci *Glu-A1*, *Glu-B1*, *Glu-D1* which code for high-molecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat. *Cereal Res. Comm.* 11: 29 — 36.
- Peng J. H., Fahima T., Roder M. S., Huang Q.Y., Dahan A., Li Y. C., Grama A., Nevo E. 2000. High-density molecular map of chromosome region harboring stripe-rust resistance genes *YrH52* and *Yr15* derived from wild emmer wheat, *Triticum dicoccoides*. *Genetica* 109: 199 — 210.

- Pestsova E. G., Borner A., Roder M. S. 2006. Development and QTL assessment of *Triticum aestivum* — *Aegilops tauschii* introgression lines. *Theor. Appl. Genet.* 112: 634 — 647.
- Pilch J., Głowacz E., Kubara-Szpunar Ł. 1993. Usefulness of some interspecific and intergeneric hybrids *T. aestivum* L. in breeding for resistance of hexaploid winter wheat. *Biul. IHAR.* 187: 7 — 12.
- Pilch J., Głowacz E., Kubara-Szpunar Ł., Gajda Z. 1995. Mieszańce oddalone *Triticum aestivum* L. jako źródła odporności na choroby kłosa. *Biul. IHAR* 194: 159 — 167.
- Pilch J., Głowacz E. 1997. Międzygatunkowe i międzyrodzajowe krzyżowania jako sposób ulepszania cech kłosa i ziarna w hodowli pszenicy heksaploidalnej *Triticum aestivum* L. *Biul. IHAR* 204: 15 — 31.
- Pilch J. 2005 a. Możliwości wykorzystania krzyżowania introgresywnego w hodowli pszenicy ozimej *Triticum aestivum* L. Część I. Zastosowanie systemów genetycznych pszenicy *T. aestivum* L. do otrzymania mieszańców pomostowych F₁. *Biul. IHAR* 235: 31 — 41.
- Pilch J. 2005 b. Możliwości wykorzystania krzyżowania introgresywnego w hodowli pszenicy ozimej *Triticum aestivum* L. Część II. Efektywność w ulepszaniu cech kłosa i jakości ziarna. *Biul. IHAR* 235: 43 — 55.
- Qi L., Chen P. D., Liu D. J., Gill B.S. 1999. Homoeologous relationships of *Haynaldia villosa* chromosomes with those of *Triticum aestivum* as revealed by RFLP analysis. *Genes Genet. Syst.* 74: 77 — 82.
- Qiu Y. C., Zhou R. H., Kong X.Y., Zhang S. S., Jia J. Z. 2005. Microsatellite mapping of a *Triticum urartu* Tum. derived powdery mildew resistance gene transferred to common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet* 111: 1524 — 1531.
- Rabinowich S. V. 1998. Importance of wheat-rye translocations for breeding modern cultivars of *Triticum aestivum* L. *Euphytica* 100: 323 — 340.
- Rajaram S., Singh R. P., Torres E. 1988. Current CIMMYT approaches in breeding wheat for rust resistance. Breeding strategies for resistance to the rusts of wheat (Eds. Hettel G., Simmonds N. W., Rajaram S. CIMMYT — Mexico): 101 — 118.
- Ratcliffe R. H., Patterson F. L., Cambron S. E., Ohm H. W. 2002. Resistance in durum wheat sources to Hessian fly (*Diptera: Cecidomyiidae*) populations in eastern USA. *Crop Sci.* 42: 1350 — 1356.
- Raupp W. J., Singh S., Brown-Guedira G. L., Gill B. S. 2001. Cytogenetic and molecular mapping of the leaf rust resistance gene *Lr39* in wheat. *Theor. Appl. Genet.* 102: 347 — 352.
- Reader S. M., Miller T. E. 1991. The introduction into bread wheat of a major gene for resistance to powdery mildew from wild emmer wheat. *Euphytica* 53: 57 — 60.
- Rimpau W. 1891. Kreuzungsprodukte landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. *Landwirts Jahrb.* 20: 335 — 371.
- Robe P., Doussinault G. 1995. Genetic analysis of powdery mildew resistance of a winter wheat line, RE714, and identification of a new specific-resistance gene. *Plant Breeding* 114: 387 — 391.
- Robert O., Dedryver F., Leconte M., Rolland B., De Vellavieille-Pope C. 2000. Combination of resistance tests and molecular tests to postulate the yellow rust resistance gene *Yr17* in bread wheat lines. *Plant Breed.* 119, 6: 467 — 472.
- Roelfs A. P. 1988. Resistance to leaf and stem rusts in wheat. Breeding strategies for resistance to the rusts of wheat (Eds. Hettel G., Simmonds N.W., Rajaram S. CIMMYT — Mexico): 10 — 22.
- Roelfs P., Singh R. P., Saari E. E. 1992. Rust Diseases of Wheat. Concepts and methods of disease Management. (Ed. G. P. Hettel, CIMMYT Mexico): 7 — 14.
- Rong J. K., Millet E., Manisterski J., Feldman M. 2000. A new powdery mildew resistance gene: Introgression from emmer into common wheat and RFLP-based mapping. *Euphytica* 115: 121 — 126.
- Rowell J. B. 1982. Control of wheat stem rust by low receptivity to infection conditioned by a single dominant gene. *Phytopathology* 72: 297 — 299.
- Valkoun J. J. 2001. Wheat pre-breeding using wild progenitors. *Euphytica* 119: 17 — 23.
- Vallega V., Mello-Sampayo T. 1987. Variation of high-molecular weight glutenin subunits amongst cultivars of *T. turgidum* L. from Portugal. *Euphytica* 3: 755 — 762.

- Wan Y., Wang D., Shewry P. R., Halford N. G. 2002. Isolation and characterization of five novel high molecular weight subunit of glutenin genes from *Triticum timopheevi* and *Aegilops cylindrica*. *Theor. Appl. Genet.* 104: 828 — 839.
- Wang Ch., Zhang Y., Han D., Kang Z., Li G., Cao A., Chen P. 2008. SSR and STS markers for wheat stripe rust resistance gene *Yr26*. *Euphytica* 159: 359 — 366.
- Sasanuma T., Chabane K., Endo T. R., Valkoun J. 2002. Genetic diversity of wheat wild relatives in the Near East detected by AFLP. *Euphytica* 127: 81 — 93.
- Shewry P. R., Tatham A. S., Fido R., Jones H., Barcelo P., Lazzeri P. A. 2001. Improving the end use properties of wheat by manipulating the grain protein composition. *Euphytica* 119: 45 — 48.
- Shi A. N., Leath S., Murphy J. P. 1998. A major gene for powdery mildew resistance transferred to common wheat from wild einkorn wheat. *Phytopathology* 88: 144 — 147.
- Singh R. P., Huerta-Espino J. 2003 a. Effect of leaf rust resistance gene *Lr34* on components of slow rusting at seven growth stages in wheat. *Euphytica* 129: 371 — 376.
- Sing S., Franks C. D., Huang L., Brown-Guedira G. L., Marshall D. S., Gill B. S., Fritz A. 2003 b. *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.
- Stack R. W., Elias E. M., Mitchell F. J., Miller J. D., Joppa L. R. 2002. *Fusarium* head blight reaction of Langdom durum-*Triticum dicoccoides* chromosome substitution lines. *Crop Sci.* 42: 637 — 642.
- Stack R. W., Froberg R. C., Hansen J. M., Mergoum M. 2003. Transfer and expression of resistance to *Fusarium* head blight from wild emmer chromosome 3A to bread wheat. *Proc. of National Fusarium Head Blight Forum*, USA, (Eds. Canty S. C., Lewis J., Ward R. W.), Wheat and Barley Scab Initiative: 232.
- Steed A., Chandler E., Thomsett M., Gosman N., Faure S., Nicholson P. 2005. Identification of type I resistance to fusarium head blight controlled by a major gene located on chromosome 4A of *Triticum macha*. *Theor. Appl. Genet.* 111: 521 — 529.
- Stubbs R. W. 1985. Strip rust. *The cereal rusts vol. II: Diseases, distribution, epidemiology, and control* (Eds. Roelfs A. P., Bushnell W. R.): 61 — 101.
- Sun G. L., Fahima T., Korol A. B., Turpeinen T., Grama A., Ronin Y. I., Nevo E. 1997. Identification of molecular markers linked to the *Yr15* stripe rust resistance gene of wheat originated in wild emmer wheat, *Triticum dicoccoides*. *Theor. Appl. Genet.* 95: 622 — 628.
- Sun Q., Wei Y., Ni Z., Xie C., Yang T. 2002. Microsatellite marker for yellow rust resistance gene *Yr5* in wheat introgressed from spelt wheat. *Plant Breed.* 121, 6: 539 — 541.
- Sybenga J. 1983. Rye chromosomes nomenclature and homoeology relationships. *Workshop report. Z. Pflanzenzüchtg.* 90: 297 — 304.
- Szunics L., Szunics L., Vida G., Bedo Z., Svec M. 2001. Dynamics of changes in the races and virulence of wheat powdery mildew in Hungary between 1971 and 1999. *Euphytica* 119: 143 — 147.
- Tao W., Liu D., Liu J., Feng Y., Chen P. 2000. Genetic mapping of the powdery mildew resistance gene *Pm6* in wheat by RFLP analysis. *Theor. Appl. Genet.* 100: 564 — 568.
- The T. T. 1973. Chromosome location of genes conditioning stem rust resistance transferred from diploid to hexaploid wheat. *Nature New Biology* 241: 256 — 262.
- Uauy C., Brevis J. C., Chen X., Khan I., Jackson L., Chicaiza O., Distelfeld A., Fahima T., Dubcovsky J. 2005. High temperature adult-plant (HTAP) stripe rust resistance gene *Yr36* from *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides* is closely linked to the grain protein content locus *Gpc-B1*. *Theor. Appl. Genet.* 122: 97 — 105.
- Uauy C., Distelfeld A., Fahima T., Blechl A., Dubcovsky J. 2006. A NAC gene regulating senescence improves grain protein, zinc, and iron content in wheat. *Science* 314: 1298 — 1301.

- Wang T., Xiu S. S., Harris M. O., Hu J., Liu L., Cai X. 2006. Genetic characterization and molecular mapping of Hessian fly resistance genes derived from *Aegilops tauschii* in synthetic wheat. *Theor. Appl. Genet.* 113: 611 — 618.
- Wells D. G., Kota R. S., Sandhu H. S., Gardner W. A. S., Finney K. F. 1982. Registration of one disomic substitution line and five translocation lines of winter wheat germplasm resistant to wheat strain mosaic virus. *Crop Sci.* 22: 1277 — 1278.
- Williams C. E., Collier N., Sardesai C. C., Ohm H. W., Cambron S. E. 2003. Phenotypic assessment and mapped markers for *H31*, a new wheat gene conferring resistance to Hessian fly (*Diptera: Cecidomyiidae*). *Theor. Appl. Genet.* 107: 1516 — 1523.
- Wilson A. S. 1876. On wheat and rye hybrids. *Trans. Proc. Bot. Soc., Edinburgh*, 12: 286 — 288.
- Xie Ch., 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.
- Xie Ch., Sun Q., Ni Z., Yang T., Nevo E., Fahima T. 2004. Identification of resistance gene analogue markers closely linked to wheat powdery mildew resistance gene *Pm31*. *Plant Breeding* 123: 198 — 200.
- Xie W. L. 2006. Identification and molecular mapping of powdery mildew resistance genes derived from wild relatives of wheat. Ph.D. Thesis, Univ. of Haifa, Israel.
- Xu H., Yao G., Xiong L., Yang L., Jiang Y., Fu B., Zhao W., Zhang Z., Zhang C., Ma Z. 2008. Identification and mapping of *pm2026*: a recessive powdery mildew resistance gene in an einkorn (*Triticum monococcum* L.). *Theor. Appl. Genet.* 117: 471 — 477.
- Xu S. S., Khan K., Klindworth D. L., Faris J. D., Nygard G. 2004. Chromosomal location of genes for novel glutenin subunits and gliadins in wild emmer wheat (*Triticum turgidum* L. var. *dicoccoides*). *Theor. Appl. Genet.* 108: 1221 — 1228.
- Xueli A., Qiaoyun L., Yueming Y., Yinghua X., Hsam S. L. K., Zeller F. J. 2005. Genetic diversity of European spelt wheat (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L. em. Thell) revealed by glutenin subunit variations at the *Glu-1* and *Glu-3* loci. *Euphytica* 146: 193 — 201.
- Yao G., Zhang J., Yang L., Xu H., Jiang Y., Xiong L., Zhang C., Zhang Z., Ma Z., Sorrells M. E. 2007. Genetic mapping of two powdery mildew resistance genes in einkorn (*Triticum monococcum* L.) accessions. *Theor. Appl. Genet.* 114: 351 — 358.
- Yan G. P., Chen X. M., Line R. F., Wellings C. R. 2003. Resistance gene-analog polymorphism markers cosegregating with the *Yr5* gene for resistance to wheat stripe rust. *Theor. Appl. Genet.* 106: 636 — 643.
- Yi Y. J., Liu H. Y., Huang X. Q., An L. Z., Wang F., Wang X. L. 2007. Development of molecular markers linked to the wheat powdery mildew resistance gene *Pm4b* and marker validation for molecular breeding. *Plant Breeding* 127 (2): 116 — 120.
- Zhang W., Qu L. J., Gu H., Gao W., Liu M. 2002. Studies on the origin and evolution of tetraploid wheats based on the internal transcribed spacer (ITS) sequences of nuclear ribosomal DNA. *Theor. Appl. Genet.* 104: 1099 — 1106.
- Zhang H. Q., Fan X., Sha L. N., Zhang C., Yang R. W., Zhou Y. H. 2008. Phylogeny of *Hystrix* and related genera (*Poaceae: Triticeae*) based on nuclear rDNA ITS sequences. *Plant Biology* 10, 5: 635 — 642.
- Zhu Z. D., Zhou R. G., Kong X. Y., Dong Y. C., Jia J. Z. 2005. Microsatellite markers linked to powdery mildew resistance genes introgressed from *Triticum carthlicum* accession PS5 into common wheat. *Genome* 48: 585 — 590.

RADOSŁAW SPYCHAJ¹**ZYGMUNT GIL**¹**BARBARA CHRZANOWSKA-DROŻDŻ**²

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

¹ Zakład Technologii Zbóż² Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin

Wartość technologiczna ziarna ozimej pszenicy twardej odmiany Komnata w zależności od sposobu chemicznej ochrony roślin

Technological value of winter durum wheat cv. Komnata as dependent on chemical plant protection

W pracy oceniono wpływ sposobu chemicznej ochrony roślin na właściwości ziarna i mąki ozimej pszenicy twardej odmiany Komnata. W latach 2005–2008 w RZD Pawłowice, należącym do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu przeprowadzono ścisłe doświadczenie polowe w 4 powtórzeniach, na glebie kompleksu pszennego dobrego, w stanowisku po rzepaku ozimym. W doświadczeniu polowym zastosowano trzy sposoby chemicznej ochrony roślin oraz poziom kontrolny, w którym nie stosowano środków ochrony roślin przeciwko patogenom wywoływanym przez grzyby. Uzyskane ziarno oceniono pod względem cech fizycznych, przemiałowych oraz cech jakościowych mąki, według metodyki obowiązującej w przetwórstwie pszenicy twardej. Uzyskane wyniki badań wykazywały znacznie większy wpływ warunków pogodowych na cechy ziarna i mąki ozimej pszenicy twardej niż sposobu chemicznej ochrony roślin. Ziarno o najkorzystniejszych cechach jakościowych otrzymano w 2006 roku, w którym w lipcu, podczas dojrzewania pszenicy odnotowano bardzo niską sumę opadów (12 mm), a temperatura przekraczała o prawie 5°C średnią wieloletnią z lat 1976–2005. Wartość współczynnika Sielinianova (k) dla tego okresu wyniosła tylko 0,16. Sposób chemicznej ochrony roślin, polegający na zaprawianiu ziarna siewnego i dwukrotnym stosowaniu fungicydów, sprzyjał uzyskaniu ziarna o najlepszych cechach jakościowych za wyjątkiem wartości wskaźnika wielkości cząstki. Wpływ badanego czynnika na cechy przemiałowe ziarna za wyjątkiem wydajności mąki śrutowej i wymielności kaszek był nieistotny, natomiast w odniesieniu do cech jakościowych mąki powodował jedynie obniżenie rozpywalności glutenu.

Słowa kluczowe: jakość ziarna, chemiczna ochrona roślin, ozima pszenica twarda

The influence of chemical plant protection on properties of grain and flour was determined in winter durum wheat (*T. durum* L.) cv. Komnata. The field experiment was carried out in the years 2005–2008 at the Agriculture Experimental Station in Pawłowice, in vicinity of Wrocław, Poland, on lessive soil developed from silty clay, after winter oilseed rape forecrop. The 16.5 m² plots were arranged in randomized replicate blocks. In the experiment three ways of chemical plant protection were applied together with the control, without chemical plant protection. Physical and milling properties of the

obtained grain and milling properties and quality features of flour were estimated according to the current methodology used in hard wheat technology. The results show greater influence of weather conditions than that of chemical plant protection on the grain and flour features. The best grain was harvested in 2006 when, during maturation, the lowest rainfall was recorded (12 mm) and temperature was higher, about 5°C in comparison to means from the years 1976–2005. The value of Sielinianov coefficient for this period was only 0.16. The best grain, excluding particle size index, was obtained from plants cultivated from the treated seed and twice sprayed with fungicides. Influence of the estimated factor on milling properties, excluding break flour and middling extraction, was not important. Chemical plant protection decreased considerably only flowingness of gluten.

Key words: chemical plant protection, grain quality, winter durum wheat

WSTĘP

Zainteresowanie pszenicą twardą wynika przede wszystkim z jej wykorzystania do produkcji najlepszego jakościowo makaronu. Produkcja i spożycie makaronów w Polsce od wielu lat systematycznie wzrasta, ponadto preferencje konsumentów skupiają się na wysokiej jakości produktach z pszenicy twardej (Jurga, 2007 b).

W Polsce jak dotychczas nie uprawia się pszenicy twardej na skalę przemysłową. Potrzeby surowcowe dotyczące tego gatunku pokrywa import, głównie z USA, Kanady, Włoch i Rosji. W ostatnich latach, dzięki intensywnym pracom hodowlanym wpisano do Krajowego Rejestru Odmian dwie polskie odmiany pszenicy twardej hodowli smolickiej: Komnata — odmiana ozima oraz SMH87 — odmiana jara.

Wartość technologiczna ziarna kształtowana jest przez warunki środowiskowe, czynniki agrotechniczne oraz czynnik genetyczny, wyrażony cechami odmianowymi. Określenie wpływu zabiegów agrotechnicznych na jakość ziarna linii, rodów czy odmian pszenicy twardej było przedmiotem wielu prac, a dokonana w nich ocena oparta została na cechach typowo rolniczych takich jak plon ziarna, odporność upraw na wyleganie, czy choroby (Rachoń i Dziamba, 1999; Płaskowska i Chrzanowska-Drożdż, 2008; Segit i Szwed-Urbaś, 2008) oraz liczba i masa ziaren w kłosie (Rachoń i in., 2002 a; Sulewska i in., 2007; Woźniak, 2006; Woźniak i Staniszewski, 2007). Szersza ocena uzyskanego ziarna pszenicy twardej opierała się przede wszystkim na określeniu wartości cech fizycznych ziarna oraz określenie w ziarnie takich parametrów jak zawartość popiołu, białka ogółem oraz wydajności glutenu mokrego czy poziomu aktywności α -amylazy za pomocą liczby opadania (Szwed-Urbaś i in., 1997; Ciołek i Makarska, 2004 c; Woźniak i Staniszewski, 2007).

Specyficzne właściwości ziarna pszenicy twardej, zwłaszcza wysoka zawartość białka, wpływają na odmienne niż w przypadku pszenicy zwyczajnej warunki przemiału, w wyniku, którego uzyskuje się kaszkę makaronową zwaną semoliną. Ponadto cechy jakościowe ziarna determinują technologiczne parametry tego podstawowego surowca do produkcji makaronu. Wyjątkowe właściwości glutenu mokrego, wysoka zawartość barwników karotenoidowych oraz odmienna granulacja mąki z pszenicy zwyczajnej są cechami szczególnie cennymi w przypadku semoliny właściwej jakości (Obuchowski, 1997; Troccoli i in., 2000; Rachoń i in., 2002b; Cacak-Pietrzak, 2008).

Ocena nowych odmian i linii rodzimych pszenicy twardej oraz określenie wpływu warunków ich uprawy na inne niż rolnicze cechy ziarna oraz produktów jego przemiału na podstawie cech typowo technologicznych w literaturze fachowej jest udokumentowana w niedostatecznym stopniu (Rachoń i in., 2002 b; Ciołek i Makarska, 2004 a,b; Makowska i in., 2008).

Ważnym kryterium oceny odmian pszenicy *T. durum* w aspekcie rolniczym są między innymi: odporność na choroby i szkodniki, suszę, wyleganie, odporność na niskie temperatury zimą a także wielkość i jakość uzyskanego plonu. Sprawia to, że jej uprawa w warunkach klimatu umiarkowanego należy do wyjątkowo wymagających (Płaskowska i Chrzanowska-Drożdż, 2008; Rachoń i Szumiło, 2006). Spośród czynników agrotechnicznych oddziałujących na jakość ziarna pszenicy twardej w naszym kraju, w najmniejszym stopniu zbadany jest wpływ środków ochrony roślin na parametry jakości ziarna. Stosowanie zabiegów fungicydowych w uprawie pszenicy przynosi znane korzyści ekonomiczne, wyrażające się ograniczeniem występowania patogenów, a przez to wzrostem plonu ziarna. Może równocześnie przyczynić się do zmian jakości ziarna, mąki i makaronu. Zatem wiedza o konsekwencjach wpływu stosowania chemicznej ochrony roślin na właściwości technologiczne surowca zbożowego jest istotna szczególnie w przypadku nowych odmian zbóż, jaką jest ozima pszenica twarda odmiany Komnata (Bojarczuk, 2005; Jurga, 2007 a).

Celem pracy było określenie wpływu sposobu chemicznej ochrony roślin na cechy jakościowe ziarna, w tym właściwości przemiałowe oraz cechy jakościowe mąki nowego genotypu ozimej pszenicy *T. durum* w warunkach Niżu Dolnośląskiego.

MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań pochodził z uprawy ozimej pszenicy twardej odmiany Komnata z sezonów wegetacyjnych 2005/2006, 2006/2007 oraz 2007/2008.

W ramach prowadzonego doświadczenia stosowano następujące sposoby chemicznej ochrony roślin.

- kontrola — bez ochrony
- zaprawianie ziarna: Panoctine 300LS (octan guazatyny) w 2005 i 2006 r., Maxim 025 FS (fludioxnil) w 2007 roku
- zaprawianie ziarna + 1x mieszanina fungicydów: Alert 375 SC (fluzilazol, karbendazym) + Talius 200 EC (proquinazyd) w fazie BBCH 32.
- zaprawianie ziarna + 2x mieszanina fungicydów Alert + Talius oraz Acanto 250 SC (pikoksystrobina) + Charisma 207 EC (flusilazol, famoksat) w fazie BBCH 51. W 2006 roku zastosowano insektycyd Nurelle D 550 SC (chloropiryfos, cypermetryna) przeciwko mszycom. Na wszystkich obiektach jesienią po siewie stosowano herbicyd Maraton 375 SC (izoproturon, diflufenikan).

Wysiew ziaren następował w 3 dekadzie września w latach 2005, 2006 oraz 2007. Powierzchnia poletka do zbioru wynosiła 16,5 m², gęstość siewu 500 ziaren·m⁻². Gleba charakteryzowała się wysoką zasobnością w fosfor, potas i średnią w magnez oraz lekko kwaśnym odczynem pH. Przedsięwzięcie zastosowano nawożenie P (35 kg·ha⁻¹) i K

(83 kg·ha⁻¹). Nawożenia azotem w dawce całkowitej 90 kg·ha⁻¹ aplikowano z podziałem 60 kg N·ha⁻¹ (BBCH 30) oraz 30 kg·ha⁻¹ (BBCH 33).

Ziarno oceniono na podstawie szklistości, gęstości w stanie zsypanym, masy tysiąca ziaren, wyrównania (Jakubczyk i Haber, 1983) oraz twardości ziarna (wskaźnik wielkości cząstki — 95µm) (Gąsiorowski i in., 1999). Właściwości przemiałowe pszenicy twardej określono za pomocą młyna Quadrumat Senior na podstawie wydajności mąk pasażowych i mąki ogółem, wydajności i wymielności kaszek oraz liczby pstrocin. Określono zawartość białka ogółem w ziarnie i mące (PN-75/A-04018) oraz wydajność i rozpuszczalność glutenu mokrego (PN-74041:1977), wykonano oznaczenie liczby opadania (PN-ISO 3093:1999), zawartości skrobi (Jakubczyk i Haber, 1983) oraz stopnia jej mechanicznego uszkodzenia (AACC 76-30; AACC 80-60). Ponadto mąkę oceniono na podstawie wskaźnika sedymentacyjnego Zeleny'ego (PW-ISO 5529:1998) oraz zawartości barwników karotenoidowych (AACC 14-50).

Analiza statystyczna wyników polegała na wykonaniu dwuczynnikowej analizy wariancji (rok uprawy oraz sposób chemicznej ochrony roślin) a istotność różnic między średnimi określono na podstawie testu Duncana przy P = 0,95.

Warunki pogodowe

Warunki pogodowe (suma opadów oraz średnie miesięczne dobowe temperatury) panujące podczas rozwoju pszenicy w trzech sezonach badań zestawione zostały w tabeli 1. Z przedstawionego zestawienia wynika znaczne ich zróżnicowanie.

Tabela 1

Przebieg warunków pogodowych podczas uprawy pszenicy twardej odmiany Komnata w latach 2005–2008

Weather conditions during vegetation periods of durum wheat cv. Komnata in the years 2005–2008

Rok Year	Miesiąc Month											Średnia Mean IX–VII
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	
	Opady Precipitation (mm)											
2005/2006	20,2	5,4	26,3	95,9	23,5	39,3	22,1	51,1	15,9	56,6	12,0	368,3
2006/2007	17,6	57,9	68,3	35,2	52,0	59,0	48,8	2,7	50,3	69,2	92,4	553,4
2007/2008	46,1	21,7	53,9	21,0	56,7	20,4	33,0	87,1	37,3	36,5	65,6	479,3
Suma z lat Sum from years 1976–2005	45,3	32,3	36,6	37,4	31,9	26,7	31,7	30,5	51,3	59,5	78,9	462,1
Średnia dobową temperatura Mean temperature of day(°C)												
2005/2006	17,7	15,2	9,9	3,2	-5,9	-1,9	0,6	9,9	14,3	18,4	23,4	9,5
2006/2007	16,2	11,0	6,7	4,3	4,9	2,7	6,6	10,9	16,2	19,2	19,2	10,7
2007/2008	12,9	8,3	2,8	1,0	2,7	3,9	4,6	8,9	14,3	18,8	19,8	8,9
Średnia z lat Mean from years 1976–2005	13,3	9,2	3,7	0,2	-1,0	0,1	3,7	8,3	14,1	16,9	18,7	7,9

Okres wegetacji pszenicy w sezonie 2005/2006 charakteryzował się najniższą sumą opadów (368,3 mm). W sezonie (2006/2007) stwierdzono najwyższą sumę opadów 553,4 mm, a w kolejnym 2007–2008 wynosiła 479,3 mm i była zbliżona do średniej wieloletniej z lat 1976–2005, która wynosiła (462 mm). We wszystkich sezonach wegetacyjnych średnia temperatura była wyższa o co najmniej 1°C od średniej wieloletniej (7,9°C).

Jesień roku 2005 cechowały warunki termiczno-wilgotnościowe sprzyjające równomiernym wschodom roślin. Miesiące zimowe odznaczały się znacznie niższą temperaturą w styczniu, lutym i marcu oraz wyższą sumą opadów odnotowanych w grudniu i lutym od średniej wieloletniej. Pomimo znacznie niższej temperatury w styczniu i lutym w stosunku do wielolecia, pszenica *durum* bardzo dobrze przetrzymała. W kwietniu i maju temperatura przewyższała średnią wieloletnią, a suma opadów w maju stanowiła zaledwie 30% wieloletniej. Czerwiec odznaczał się zbliżoną sumą opadów i wyższą temperaturą od wieloletniej. Suma opadów w lipcu wynosiła 12 mm i stanowiła jedynie 15% średniej wieloletniej, a średnia temperatura przekroczyła o 5°C wieloletnią, co wpłynęło na bardzo szybkie dojrzewanie ziarna.

We wszystkich miesiącach sezonu 2006/2007 odnotowana temperatura przekraczała średnią wieloletnią. Zanotowano również wyższą od wieloletniej sumę opadów z wyjątkiem września, kwietnia i maja. Zimowe zahamowanie wegetacji wystąpiło dopiero w lutym i trwało tylko jeden miesiąc. Kwiecień był ciepły i bardzo suchy (spadło zaledwie 2,7 mm deszczu). W czerwcu i lipcu, w okresie wypełniania i dojrzewania ziarna, suma opadów przewyższała o 20% średnią wieloletnią, co skutkowało silniejszym występowaniem patogenów, opóźnieniem zbioru pszenicy i pogorszeniem jakości ziarna.

W sezonie 2007/2008 średnia temperatura września, października i listopada była niższa od wieloletniej, a w pozostałych miesiącach przekraczała przeciętną wieloletnią. Suma opadów okresu jesienno-zimowego była zbliżona do wieloletniej, natomiast w okresie wiosenno-letnim bardzo mokry był kwiecień. Maj i czerwiec były suche, a w lipcu suma opadów była niższa o 13 mm od średniej wieloletniej i były one nierównomiernie rozłożone. W każdym roku badań, pszenicę *durum* odmiany Komnata zbierano kombajnem w II lub III dekadzie lipca przy wilgotności ziarna 12–13%.

Warunki termiczno-wilgotnościowe w okresie od IV do VII trzech sezonów wegetacyjnych przedstawiono również przy pomocy współczynnika hydrotermicznego Sielianiowa (Molga, 1986) obliczonego według wzoru:

$$k = P/0,1 \sum t,$$

gdzie:

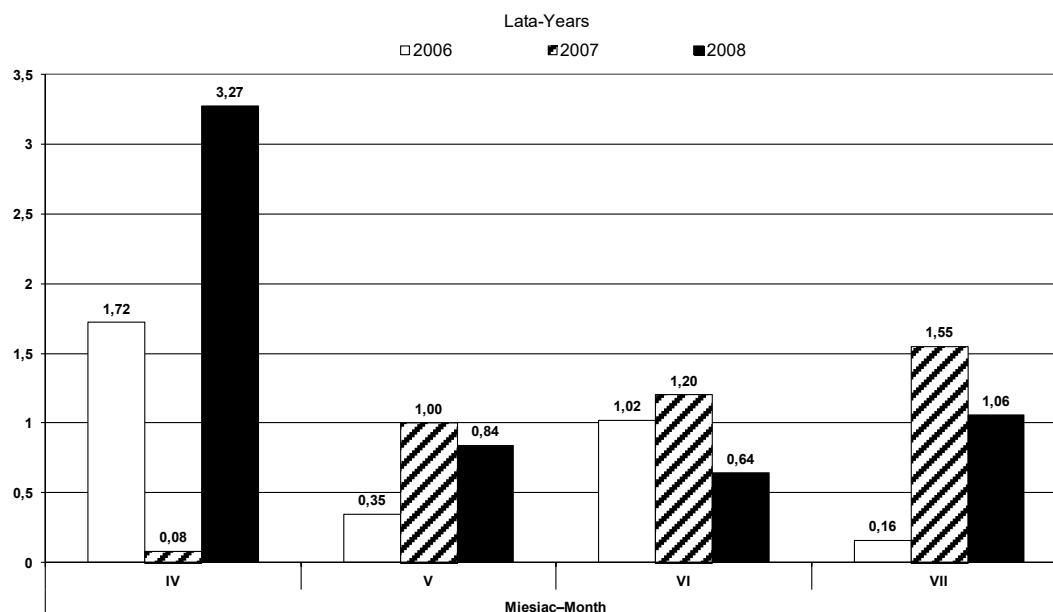
P — suma miesięczna opadów atmosferycznych w mm

$\sum t$ — miesięczna suma temperatur powietrza $> 0^{\circ}\text{C}$.

Za warunki ekstremalne przyjmuje się wartości k , które mieszczą się w przedziałach niższych od 0,5, a więc skrajnie suche i bardzo suche oraz powyżej 2,5 warunki bardzo wilgotne i skrajnie wilgotne.

Wartości współczynnika k w miesiącach IV–VII w badanym trzyleciu (rys. 1) pozwoliły wydzielić miesiące, w których panowały warunki ekstremalne. W 2006 roku w V i VII wystąpiły warunki skrajnie suche bądź bardzo suche, a wartość współczynnika k była

niższa od 0,5. W kwietniu roku 2007 wykazano warunki skrajnie suche a w tym samym miesiącu kolejnego roku stwierdzono warunki skrajnie wilgotne.



* Objasnienie — Explanation

0–0,5 – okres suszy; drought period

0,51–1,0 – okres półsuszy; semi-drought period

1,01–2,0 – okres względnie wilgotny; relatively moist period

> 2,01 – okres o dużym uwilgotnieniu; high-moisture period

Rys. 1. Wartości współczynnika Sieliniánova (k^*)

Fig. 1. Values of Sieliniánov coefficient (k^*)

WYNIKI

Na podstawie przeprowadzonej analizy uzyskanych wyników stwierdzono znaczne różnice między jakością ziarna i mąki pomiędzy latami oraz mniejsze w wyniku zastosowania sposobu chemicznej ochrony roślin (tab. 2–4).

Uzyskany materiał w pierwszym roku badań (sezon wegetacyjny 2005/2006) charakteryzował się najwyższą szklistością (85%), twardością (16,6%) oraz liczbą opadania (416 s) (tab. 2). Materiał badawczy z pozostałych dwóch lat badań cechował się istotnie mniejszą szklistością (odpowiednio 59%, 68%), wyższymi wartościami wskaźnika wielkości cząstek (18,9%, 20,5%) oraz niższą liczbą opadania (364 s, 384 s). Ziarno z pierwszego sezonu cechowało się również najniższym wyrównaniem (93%), a mąka otrzymana z niego zawierała najmniej pstrocin (28 szt. $\cdot$ dm^{-2}). Najniższą gęstość ziarna w stanie zsypanym oraz masę tysiąca ziaren odnotowano w drugim roku zbiorów (sezon 2006/2007) i wynosiły one odpowiednio 79,8 $\text{kg} \cdot \text{hl}^{-1}$ i 53,1 g. W trzecim roku badań

odnotowano najwyższą gęstość ($82,7 \text{ kg} \cdot \text{hl}^{-1}$) i masę tysiąca ziaren ($64,3 \text{ g}$), a także najniższą twardość ($20,5\%$).

Tabela 2

Cechy jakościowe ziarna i mąki z pszenicy twardej odmiany Komnata
Quality features of grain and flour of durum wheat cv. Komnata

Czynniki Factors		Cecha Feature						
		szklistość ziarna vitreosity of grain (%)	gęstość w stanie zsypanym test weight ($\text{kg} \cdot \text{hl}^{-1}$)	masa 1000 ziaren weight of 1000 kernels (g)	wskaźnik wielkości cząstki particle size index (%)	wyrówna- nie ziarna uniformity of grain (%)	liczba pstrocin number of speck (szt. $\cdot \text{dm}^{-2}$)	liczba opadania falling number (s)
Rok Year	2005/2006	85 a*	80,7 b	62,4 b	16,6 c	93 c	28 c	416 a
	2006/2007	59 c	79,8 c	53,1 c	18,9 b	97 a	46 a	364 c
	2007/2008	68 b	82,7 a	64,3 a	20,5 a	95 b	35 b	384 b
Sposób chemicznej ochrony roślin Chemical plant protection	kontrola — control	74 a	80,8 b	57,2 c	18,8 b	95 a	37 a	395 a
	zaprawianie — treated	70 b	81,3 ab	59,2 b	18,8 b	94 a	35 a	397 a
	zaprawianie+1 x fungicyd treated+1xfungicide	71 b	81,2 ab	61,4 a	19,5 a	95 a	36 a	393 a
	zaprawianie+2 x fungicyd treated +2 x fungicide	77 a	81,5 a	61,9 a	17,7 c	95 a	36 a	373 a

*Małe litery oznaczają grupy jednorodne wg testu Duncana ($p = 0,95$)

*Small letters stand for homogenous groups of the Duncan test ($p = 0.95$)

Sposób ochrony chemicznej roślin spowodował uzyskanie ziarna o zróżnicowanych wartościach cech jakościowych (tab. 2). Przy zastosowaniu zaprawiania z dwukrotnym zabiegiem fungicydowym otrzymano ziarno o najwyższej szklistości (77%) oraz wysoką gęstością ziarna w stanie zsypanym ($81,5 \text{ kg} \cdot \text{hl}^{-1}$) oraz masie tysiąca ziaren ($61,9 \text{ g}$). Jednocześnie należy zaznaczyć, że wysoką szklistością cechowało się ziarno z obiektów kontrolnych (74%), a zastosowanie chemicznej ochrony roślin polegającej na zaprawianiu ziarna oraz zaprawianiu w połączeniu z jednokrotnym stosowaniem fungicydu, spowodowało pogorszenie jakości pszenicy twardej pod względem szklistości. Najniższą masą tysiąca ziaren ($57,2 \text{ g}$) odznaczało się ziarno bez stosowania chemicznej ochrony. W miarę intensyfikowania ochrony wartości tej cechy wzrastały istotnie do $61,9 \text{ g}$. Wpływ omawianego czynnika na wyrównanie ziarna, liczbę pstrocin oraz liczbę opadania był nieistotny, a uzyskane wartości cech były na poziomie odpowiednio 94–95%; 35–37 szt. $\cdot \text{dm}^{-2}$ oraz powyżej 373 s.

Podczas przemiału ziarna w pierwszym roku badań wydajność mąki śrutowej była najniższa i wynosiła 10,9% (tab. 3). Ilość mąki wymiałowej uzyskanej w pierwszym i trzecim roku wynosiła odpowiednio 50,3% oraz 49,8%. W 2008 roku otrzymano najwięcej mąki ogółem (67,3%) i była to wydajność o 6,2 i 4,8% wyższa niż w latach 2006 i 2007. Pod względem wydajności kaszek wyróżnić należy sezon 2005–2006, w którym wydajność wynosiła 57,3% i była najwyższa w badanym trzyleciu. Największą wymielność kaszek stwierdzono w trzecim roku badań (92,1%). W pozostałych latach wartość tej cechy wynosiła 87,9% (sezon 2005/2006) oraz 87,6% (sezon 2006/2007).

Zastosowanie sposobu chemicznej ochrony w uprawie pszenicy twardej istotnie wpływało na zróżnicowanie cech przemiałowych tylko w odniesieniu do wydajności mąki śrutowej oraz wymielności kaszek (tab. 3). Zaprawianie ziarna spowodowało uzyskanie mąki śrutowej w największej ilości 15,4%. Przy pozostałych sposobach ochrony roślin uzyskano mąkę śrutową w ilości od 14,6% do 14,8%. Zaobserwowano zmniejszenie wymielności kaszek wraz ze wzrostem intensywności omawianego czynnika z 90,1% (bez ochrony) do 88,0% przy zaprawianiu ziarna i dwukrotnym stosowaniu fungicydów.

Tabela 3

Właściwości przemiałowe ziarna pszenicy twardej odmiany Komnata
Grain milling properties of durum wheat cv. Komnata

Czynniki Factors		Cecha Feature				
		wydajność mąki (%) flour extraction (%)			wydajność kaszek middlings extraction (%)	wymielność kaszek middlings reduction (%)
		śrutowej break	wymiałowej reduction	ogółem total		
Rok Year	2005/2006	10,9 c	50,3 a	61,1 b	57,3 a	87,9 b
	2006/2007	16,4 b	46,1 b	62,5 b	52,6 c	87,6 b
	2007/2008	17,4 a	49,8 a	67,3 a	54,1 b	92,1 a
Sposób chemicznej ochrony roślin Chemical plant protection	kontrola — control	14,8 ab	49,1 a	64,0 a	54,6 a	90,1 a
	zaprawianie — treated	15,4 a	49,1 a	64,4 a	54,6 a	89,9 ab
	zaprawianie+1 x fungicyd treated+1 x fungicide	14,6 b	48,9 a	63,5 a	55,1 a	88,9 bc
	zaprawianie+2 x fungicyd treated+2 x fungicide	14,7 b	47,9 a	62,6 a	54,5 a	88,0 c

Na parametry jakościowe mąki z pszenicy twardej odmiany Komnata w dużej mierze wpływał przebieg pogody a w niewielkim stopniu sposób chemicznej ochrony roślin (tab. 4). W pierwszym roku badań stwierdzono największą zawartość białka w ziarnie i mące (13,1%, 1,1%) oraz wydajność glutenu mokrego o największej rozplywalności (30,5%, 7,2 mm). Wartość wskaźnika sedymentacyjnego Zeleny'ego z tego samego roku badań oraz 2008 roku była najwyższa i wynosiła 19,8 cm³, 19,7 cm³. Ilość skrobi w mące z pierwszego roku badań była najmniejsza (72,7%), ale jej stopień mechanicznego uszkodzenia największy (16,29%). W mące odnotowano również najmniejszą zawartość barwników karotenoidowych (2,98 ppm). Ilość barwników w mące z pozostałych lat badań wynosiła 3,76 ppm (sezon 2006/2007) oraz 4,02 ppm (sezon 2007/2008).

Cechy jakościowe mąki z pszenicy durum za wyjątkiem białka ogółem w ziarnie i rozplywalności glutenu mokrego nie były modyfikowane sposobem ochrony chemicznej roślin. Zawartość białka w ziarnie z obiektów bez ochrony i najintensywniejszej ochrony była zbliżona (11,8 i 11,9%). Ziarno z pozostałych obiektów zawierało istotnie, aczkolwiek nieznacznie, mniej tego składnika. Intensywna ochrona roślin przyczyniła do istotnego zmniejszenia rozplywalności glutenu mokrego.

Tabela 4

Cechy jakościowe mąki z pszenicy twardej odmiany Komnata
Quality features of flour from durum wheat cv. Komnata

Czynniki Factors		Cecha Featur							
		białko ogółem total protein		gluten mokry wet gluten (%)	rozpływal- ność glutenu deliquesce- nce of wet gluten (mm)	wskaźnik sedymen- tacyjny Zeleny'ego sedimenta- tion test (cm ³)	skrobia starch (%)	uszkodzenie skrobi starch damage (%)	barwniki karotenoi- dowe caroteno- ids pigment (ppm)
		A	B						
Rok	2005/2006	13,1 a	11,1 a	30,5 a	7,2 a	19,8 a	72,7 b	16,29 a	2,98 b
Year	2006/2007	11,3 b	9,7 b	22,3 b	5,9 b	18,0 b	75,7 a	12,85 c	3,76 a
	2007/2008	10,8 c	9,6 b	22,4 b	5,4 b	19,7 a	75,5 a	14,05 b	4,02 a
Sposób	kontrola — control	11,8 a	10,2 a	25,6 a	6,7 a	19,5 a	74,3 a	14,12 a	3,65 a
chemicznej	zaprawianie — treated	11,6 b	10,1 a	25,0 a	6,8 a	19,2 a	75,0 a	14,15 a	3,69 a
ochrony	zaprawianie+1 x fungicyd	11,7 b	10,1 a	25,4 a	6,4 a	19,7 a	74,3 a	14,70 a	3,41 a
roślin	treated+1 x fungicide								
Chemical	zaprawianie+2 x fungicyd	11,9 a	10,3 a	25,8 a	5,7 b	18,6 a	74,8 a	14,92 a	3,47 a
plant	treated +2 x fungicide								
protection									

A — w ziarnie; in grain (%)

B — w mące; in flour (%)

DISKUSJA

Ziarno pszenicy twardej wykorzystywane w przetwórstwie powinno charakteryzować się bardzo wysoką szklistością, dużą masą tysiąca ziaren i gęstością ziarna w stanie zsylnym oraz bursztynową barwą (Obuchowski, 1997). Z ziarna o niższej szklistości nie jest możliwe otrzymanie semoliny o właściwej granulacji, kolorze oraz zawartości białka (Fabriani i Lintas, 1988). Badania Matsuo i Dextera (1980) dowodzą, że wysoka gęstość ziarna w stanie zsylnym oraz masa tysiąca ziaren są dodatnio skorelowane z wydajnością procesu przemiału ziarna *T. durum* na semolinę. W prezentowanych badaniach ziarno ozimej odmiany Komnata cechowała bardzo duża zmienność szklistości w latach badań (od 59% do 85%) oraz znacznie mniejsza zależność tego wyróżnika od sposobu chemicznej ochrony roślin. Szklistość jarych linii pszenicy twardej w badaniach Ciołek i Makarskiej (2004 c) zawierała się w zakresie 79,4–88,6% i również zależna była od warunków pogodowych. Pszenica ta cechowała się niższą niż w badaniach własnych masą tysiąca ziaren. Zastosowanie przez Rachonia i in. (2002 a) intensywnej w stosunku do minimalnej chemicznej ochrony roślin powodowało uzyskanie ziarna jarej pszenicy twardej o lepszych cechach fizycznych. W pracach innych autorów (Rachoń i in., 2002 a; Ciołek i Makarska, 2004 c) odnotowano wzrost masy tysiąca ziaren spowodowany intensyfikacją ochrony, który wyniósł od 2,5 g do 4 g. W pracach tych oraz w pracy Woźniaka (2006) zmiana gęstości ziarna pszenicy twardej w stanie zsylnym pod wpływem intensyfikacji poziomu agrotechniki była nieistotna. W obecnych badaniach stwierdzono istotnie statystyczny wzrost wartości obu cech w porównaniu z kontrolą.

Wyrównanie ziarna odmiany Komnata wynosiło powyżej 93%, a zastosowane chemiczne środki ochrony roślin nie wpływały na wartość tej cechy. Porównywane przez Woźniaka (2006) ziarno pszenicy zwyczajnej i twardej cechowało się takim samym wyrównaniem (83,8% 83,9%) natomiast zastosowane w uprawie środki ochrony roślin spowodowały wzrost wartości omawianej cechy o 1,5% u pszenicy zwyczajnej i 1,2% w przypadku pszenicy twardej. Wspomnieć należy, że cecha ta dla pszenicy twardej determinowana jest również przez zmianowanie roślin w uprawie (Woźniak i Staniszewski, 2007). W badaniach Rachonia i Szumiło (2009) nie wykazano zróżnicowania masy tysiąca ziaren oraz gęstości ziarna w stanie zsypanym pod wpływem intensywniej ochrony.

Ważnym wyróżnikiem jakościowym ziarna w aspekcie wykorzystania w produkcji makaronów jest jego twardość (Obuchowski i Bushuk, 1980; Kilborn i in., 1982; El-Khayat i in., 2006). Koreluje ona ze szklistością ziarna oraz zawartością białka, co znalazło potwierdzenie w niniejszych badaniach. Uzyskane obecnie wartości wskaźnika wielkości cząstki nie przekraczały 20,5% twardość zależała od warunków pogodowych niż stosowania chemicznej ochrony roślin.

Przeznaczone do produkcji makaronu surowce cechować powinna wysoka czystość pod względem ilości cząstek okrywy owocowo-nasiennej w postaci pstrocin lub jej uszkodzeniu pod wpływem patogenów (Obuchowski, 1997). Duża ilość pstrocin stanowi potencjalne źródło peroksydaz będących przyczyną ciemnienia ciasta makaronowego (Feillet i in., 2000). Ocenianą mąkę z pszenicy durum odmiany Komnata uznać można za produkt o dużej czystości (28–46 szt. $\cdot$ dm⁻²). Nie stwierdzono wpływu sposobu chemicznej ochrony roślin na ten wyróżnik. Zwrócić należy uwagę, że najmniejszą liczbę pstrocin w mące stwierdzono w pierwszym roku badań, w którym ziarno cechowało się najlepszą jakością.

Jednym z podstawowych wyróżników oceny surowca makaronowego jest określenie aktywności α -amylazy przez oznaczenie liczby opadania Hagberga-Pertena (Obuchowski, 1997). Za najkorzystniejszą uznaje się wartości liczby opadania w zakresie 350–450 s. Segit i Szwed-Urbaś (2008) wykazali wpływ zmiennych warunków pogodowych na wartość liczby opadania, która kształtowała się w zakresie od 82 s do 502 s. Niejednoznaczny jest również wpływ chemicznej ochrony roślin na aktywność α -amylazy. W badaniach Woźniaka (2006) nie wykazano wpływu tego czynnika na liczbę opadania. Ciołek i Makarska (2004 c) podają, iż intensywna chemiczna ochrona roślin powoduje istotne statystycznie zmniejszenie wartości liczby opadania (o 29 s) w porównaniu z minimalnym poziomem ochrony upraw. Również w naszych badaniach wykazano zmniejszenie (o 22 s) wartości liczby opadania przez intensyfikację chemicznej ochrony roślin, ale bez potwierdzenia statystycznego.

Właściwości przemiałowe ocenianej pszenicy twardej ulegały znacznym zmianom w poszczególnych latach badań, o czym dobitnie świadczą uzyskane wydajności mąk pasażowych oraz ich wzajemna relacja ilościowa. W pierwszym roku badań uzyskano ponad 5 razy więcej mąki wymiałowej niż mąki śrutowej. W pozostałych latach mąka śrutowa stanowiła 1/3 mąki wymiałowej. Cacak-Pietrzak i in. (2005) stwierdzili, że w przemiale pszenicy zwyczajnej mąka śrutowa stanowi około 50% mąki wymiałowej. W obecnych badaniach najmniejszą ilość mąki śrutowej oraz ogółem otrzymano z ziarna o

największej twardości i szklistości. Wpływ chemicznej ochrony roślin na cechy przemiałowe pszenicy twardej był niewielki, jednak jak podają Płaskowska i Chrzanowska-Drożdż (2008) czynnik ten w istotnym stopniu ogranicza stopień porażenia upraw *T. durum* przez *Blumeria graminis*, *Puccinia recondita* oraz patogeny związane z obecnością chorób podstawy źdźbła.

Ziarno oraz otrzymana z niego mąka w obecnych badaniach cechowała zawartość białka na poziomie 10,8–13,1% oraz 9,6–11,1%, a o jego poziomie w zdecydowanie większym stopniu decydowały warunki pogodowe niż sposób chemicznej ochrony roślin. Poziom zawartości białka w ziarnie pszenicy *T. durum* może zawierać się w szerokim zakresie 9–18% (Szwed-Urbaś i in., 1997; Rachoń i Szumiło, 2002) jednak surowiec na cele przetwórcze nie powinien zawierać mniej niż 13% tego składnika (Fabriani i Lintas, 1988). Kolejnym kryterium oceny surowca makaronowego jest ilość i jakość kompleksu glutenowego oceniana poprzez jego wydajność (nie mniej niż 30%) i rozplywalność glutenu (9–13 mm) (Obuchowski, 1997; Fabriani i Lintas, 1988; Samaan i in., 2006). W obecnych badaniach tylko materiał z pierwszego roku badań cechował się wyższą niż 30% wydajnością glutenu a rozplywalność glutenu dla wszystkich obiektów była niższa od zalecanej. Ważnym parametrem oceny surowca, związanym z frakcją białkową, jest wskaźnik sedymentacyjny Zeleny’ego. Wartość tego wskaźnika koreluje z zawartością białka ogółem (Hruskova i in., 2004). Uzyskane w prezentowanych badaniach wartości omawianego testu dla mąki z pszenicy twardej odmiany Komnata należy uznać za niskie, co wynika z innego niż w przypadku pszenicy zwyczajnej składu białek glutenowych (Bourdet i Feillet, 1967).

Brak jest doniesień literaturowych dotyczących wpływu sposobu ochrony chemicznej *T. durum* na tak ważne technologiczne parametry, jak stopień uszkodzenia skrobi czy zawartość barwników karotenoidowych. W badaniach własnych nie stwierdzono wpływu chemicznej ochrony roślin na wartości obu tych cech.

Przy przemiale pszenicy twardej uzyskuje się mąkę o wyższym stopniu uszkodzenia skrobi w porównaniu z mąką z pszenic miękkich. Wskaźnik ten w bardzo dużym stopniu koreluje z wodochłonnością mąki (0,99), co nie jest korzystne dla uzyskania ciasta makaronowego o prawidłowo ukształtowanej siatce glutenowej (Laskowski i Różyło, 2004). Zastosowana obecnie zróżnicowana chemiczna ochrona roślin nie powodowała istotnych zmian stopnia uszkodzenia skrobi. Wskaźnik ten różnicowany był warunkami pogodowymi w okresie wegetacji.

Kolejną ocenianą cechą mąki odmiany Komnata była zawartość barwników karotenoidowych, która jest wyższa niż w mące z pszenicy zwyczajnej (Obuchowski, 1997). Oceniane przez Aalamiego i in. (2007) odmiany pszenicy twardej zawierały od 3,8–7,2 ppm barwników karotenoidowych, a w pszenicy zwyczajnej 2,7–3,6 ppm. Ponadto w badaniach tych stwierdzono również wyższą aktywność lipooksygenaz, peroksydaz oraz polifenylooksydaz w ziarnie pszenicy zwyczajnej niż w pszenicy twardej, co ma istotne znaczenie w kształtowaniu barwy ciasta makaronowego i makaronu. Pszenica twarda uprawiana w warunkach polskich cechowała się zawartością barwników karotenoidowych na poziomie 1,82–2,88 ppm (Rachoń i in., 2002 b) 1,6–3,14 ppm (Ciołek i Makarska, 2004 c). Sulewska i in. (2007) badała odmiany zagraniczne *T. durum* w warunkach

Wielkopolski i stwierdziła ich nieprzydatność ze względu na niską zawartość karotenoidów. Uzyskane w badanych własnych zawartości związków barwnych (2,98–4,02 ppm) na tle doniesień literaturowych należy uznać za satysfakcjonujące, a chemiczna ochrona roślin nie powodowała ich ilościowych zmian.

WNIOSKI

1. Warunki termiczno-wilgotnościowe w znacznie większym stopniu modyfikowały cechy technologiczne ziarna pszenicy twardej odmiany Komnata niż sposób ochrony chemicznej roślin. Najbardziej korzystne cechy jakościowe ziarna oraz mąki stwierdzono w 2006 roku, w którym podczas dojrzewania pszenicy w lipcu, odnotowano bardzo niską sumę opadów (12 mm) i wartość współczynnika Sielinianova (0,16), a średnia dobową temperaturę przekraczała o prawie 5°C średnią wieloletnią.
2. Uprawa pszenicy twardej odmiany Komnata z zastosowaniem intensywnej ochrony roślin (zaprawianie ziarna oraz dwukrotne użycie fungicydów) sprzyjała uzyskaniu zadowalających wartości większości badanych cech jakościowych ziarna i mąki. Wartości te nie były gorsze od uzyskanych dla pszenicy twardej uprawianej bez ochrony chemicznej.

LITERATURA

- American Association of Cereal Chemists. 2000. Approved methods of the AACC. 10th Ed. Methods 76-60, 80-60; 14-50. The Association: St. Paul, MN.
- Aalami M., Leelavathi K., Prasada Rao U. J. S. 2007. Spaghetti making potential of Indian durum wheat varieties in relation to their protein, yellow pigment and enzyme contents. Food Chemistry 100: 1243 — 1248.
- Bojarczuk J. 2005. A może pszenic twarda?, Agroservis. 6: 4 — 5.
- Bourdet A., Feillet P. 1967. Distribution of phosphorus compounds in the protein fraction of various types of wheat flour. Cereal Chem. 44: 457 — 482.
- Cacak-Pietrzak G. 2008. Wykorzystanie pszenicy w różnych gałęziach przemysłu spożywczego-wymagania technologiczne. Prz. Zboż. Młyn. 11: 11 — 13.
- Cacak-Pietrzak G., Ceglińska A., Torba J. 2005 Wartość przemysłowa wybranych odmian pszenicy z hodowli „Nasiona Kobierzyc” Pam. Puł. 139: 27 — 38.
- Ciołek A., Makarska E. 2004 a. Wpływ chemicznej ochrony na aktywność antyoksydacyjną polifenoli i frakcji tokoferoli ziarniaków pszenicy twardej (*Triticum durum* Desf.). Biul. IHAR 231:147 —156.
- Ciołek A., Makarska E. 2004 b. Ocena jakości nowych linii pszenicy twardej na podstawie charakterystyki białek gliadynowych i glutenowych w warunkach stosowania zróżnicowanego nawożenia azotem. Acta Scient. Pol. Technol. Aliment. 3 (2): 147 — 155.
- Ciołek A., Makarska E. 2004 c. Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem i ochrony chemicznej na wybrane parametry jakościowe ziarna pszenicy twardej. Annales UMSC, Sec. E, LIX,2:777 — 784.
- El-khayat G. H., Samaan J., Manthey F. A., Fuller M. P., Brennan C. S. 2006. Durum wheat quality I. some physical and chemical characteristics of Syrian durum wheat genotypes. Int. J. Food Sci. and Technology 41 (Supplement 2): 22 — 29.
- Fabiani G., Lintas C. 1988. Durum wheat: chemistry and technology. AACC Inc.
- Feillet P., Autran J., Icard-Vernie' re C. 2000. Pasta Brownness: An Assessment. J. Cereal Sci. 32: 215 — 233.
- Gąsiorowski H., Kołodziejczyk P., Obuchowski W. 1999. Twardość ziarna pszenicy. Przegl. Zboż.-Młyn. 7: 6 — 8.

- Hruskova M., Skodova V., Blazek J. 2004. Wheat sedimentation values and falling number. Czech J. Food Sci. 22 (2): 51 — 57.
- Jakubczyk T., Haber T. Analiza zbóż i przetworów zbożowych. Zakład Graficzny Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1983.
- Jurga R. 2007 a. Stan i perspektywy krajowego przetwórstwa zbóż. Przeg. Zboż. Młyn. 9: 7 — 8.
- Jurga R. 2007 b. 10-lecie działalności Polskiej Izby Makaronowej. Przeg. Zboż. Młyn. 7: 23 — 25.
- Kilborn K. R., Black H. C., Dexter J. E., Martin D. G. 1982. Energy consumption during milling: description of two measuring systems and influence of wheat hardness on energy requirements. Cereal Chem. 59 (4): 284 — 288.
- Laskowski J., Różyło R. 2004. Ocena wpływu stopnia uszkodzenia skrobi w mące pszennej na właściwości reologiczne (alweograficzne) ciasta. Acta Agrophysica 4 (2): 373 — 380.
- Makowska A., Obuchowski W., Sulewska H., Kozłara W., Paschke H. 2008. Effect of nitrogen fertilization of durum wheat varieties on some characteristics important for pasta production. Acta Sci. Pol., Technologia Alimentat. 7 (1): 28 — 39.
- Matsuoka R. R., Dexter J. E. 1980. Relationship between some durum wheat physical characteristics and semolina milling properties. Can. J. Plant Sci. 60: 49 — 53.
- Molga M. 1986. Podstawy klimatologii rolniczej. PWRiL, Warszawa.
- Obuchowski W. 1997. Technologia przemysłowej produkcji makaronu. Wyd. AR Poznań.
- Obuchowski W., Bushuk W. 1980. Wheat hardness: comparison of methods of its evaluation. Cereal Chem. 57 (6): 421 — 425.
- Płaskowska E., Chrzanowska-Drożdż B. 2008. Ocena zdrowotności i plonowania pszenicy twardej ozimej *Triticum durum* Desf. w zależności od sposobu ochrony roślin. Zeszyty Prob. Post. Nauk Rol. 531: 177 — 184.
- PN-75/A-04018-Produkty rolniczo-żywnościowe — Oznaczanie azotu metodą Kjeldahla i przeliczanie na białko.
- PN-74041:1977. Ziarno zbóż i przetwory zbożowe. Oznaczenie ilości i jakości glutenu.
- PN-ISO 5529:1998. Pszenica. Oznaczenie wskaźnika sedymentacyjnego. Test Zeleny'ego.
- PN-ISO 3093:1999. Pszenica, żyto i mąki z nich uzyskane, pszenica durum i semolina — oznaczanie liczby opadania metodą Hagberga-Pertena.
- Rachoń L. 2004. Ocena przydatności ziarna krajowych i zagranicznych linii i odmian jarej pszenicy twardej (*Triticum durum* Desf.) do produkcji makaronu. Biul. IHAR 231: 129 — 137.
- Rachoń L., Dziamba Sz. 1999. Wpływ przedsiewnej biostymulacji nasion światłem na plonowania i jakość pszenicy twardej (*Triticum durum* Desf.). Pam. Puł. 118: 341 — 347.
- Rachoń L., Szumiło G. 2002. Plonowanie i jakość niektórych polskich i zagranicznych odmian i linii pszenicy twardej (*Triticum durum* Desf.). Pam. Puł. 130: 619 — 624.
- Rachoń L., Szumiło G. 2006. Plonowanie i opłacalność upraw pszenicy twardej (*Triticum durum* Desf.). Pam. Puł. 142: 403 — 409.
- Rachoń L., Szumiło G. 2009. Yield of winter durum wheat (*Triticum durum* Desf.) lines in condition of different protection level of plants. Acta Sci. Pol. Agricultur 8 (3): 15 — 22.
- Rachoń L., Szwed-Urbaś K., Segit Z., 2002 a. Plonowanie nowych odmian linii pszenicy twardej (*Triticum durum* Desf.) w zależności od poziomu nawożenia azotem i ochrony roślin. Annales UMCS, Sec. E, LVII: 71 — 76.
- Rachoń L., Dziamba Sz., Obuchowski W., Kołodziejczyk P. 2002 b. Ocena przydatności ziarna odmian pszenicy twardej (*Triticum durum*) i zwyczajnej (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*) do produkcji makaronu. Annales UMCS, Sec. E, LVII: 77 — 86.
- Samaan J., El-khayat G. H., Manthey F. A., Fuller M. P., Brennan Ch. S. 2006. Durum wheat quality II: The relationship of kernel physicochemical composition to semolina quality and end product utilisation. Int. J. Food Sci. and Technology 41 (Supplement 2): 47 — 55.
- Segit Z., Szwed-Urbaś K. 2008. Zróżnicowanie genetyczne cech użytkowych pszenicy twardej. Biul. IHAR 250: 117 — 124.
- Sulewska H., Kozłara W., Bojarczuk J. 2007. Kształtowanie plonu i jakość ziarna wybranych genotypów *Triticum durum* Desf. w zależności od nawożenia azotem i gęstości siewu. Biul. IHAR 245: 17 — 28.

- Szwed-Urbaś K., Segit Z., Mazurek H. 1997. Parametry jakościowe ziarna krajowych linii pszenicy zwyczajnej. Biul. IHAR 204: 129 — 139.
- Troccoli A., Borrelli G. M., De Vita P., Fares C., Di Fonzo N. 2000. Durum wheat quality: a multidisciplinary concept. J. Cereal Sci. 32: 99 — 113.
- Woźniak A., 2006. Plonowanie i jakość ziarna pszenicy jarej zwyczajnej (*Triticum aestivum* L.) i twardej (*Triticum durum* Desf.) w zależności od poziomu agrotechniki. Acta Agroph. 8 (3): 755 — 763.
- Woźniak A., Staniszewski M. 2007. Plonowanie i jakość ziarna pszenicy twardej (*Triticum durum* Desf.) w zależności od jej udziału w zmianowaniu. Acta Agroph. 9 (3): 809 — 816.

WACŁAW JARECKI**DOROTA BOBRECKA-JAMRO**

Katedra Produkcji Roślinnej

Wydział Biologiczno-Rolniczy, Uniwersytet Rzeszowski

Reakcja pszenicy jarej odmiany Parabola na dolistne dokarmianie mocznikiem i Mikrokomplexem

Reaction of spring wheat, Parabola variety, to leaf feeding with urea and Microcomplex

W latach 2008–2010 przeprowadzono ściśle doświadczenie polowe, którego celem było określenie reakcji roślin pszenicy jarej na dolistne dokarmianie. Stwierdzono, że zastosowane nawozy: mocznik, Mikrokomplex oraz mieszanka mocznika z Mikrokomplexem nie zmodyfikowały istotnie liczby ziaren w kłosie i MTN, jednak plon nasion na obiektach dokarmianych był większy w porównaniu do obiektu kontrolnego, przy czym istotna różnica dotyczyła tylko łącznej aplikacji mocznika z Mikrokomplexem. Wyrównanie i celność ziarna wyniosły średnio 85% i nie zostały istotnie zróżnicowane przez badany czynnik. Największą zawartość białka ogólnego oznaczono w ziarnie pozyskanym z obiektów dokarmianych azotem i wyniosła ona 14,6%.

Słowa kluczowe: dokarmianie dolistne, pszenica jara, struktura plonu

In the years 2008–2010 a precise field experiment was carried out aimed at defining the reaction of spring wheat to leaf feeding. It was stated that the used fertilizers: urea and Microcomplex and the mixture of urea and Microcomplex did not modify considerably the number of grains per ear and weight of thousand grains. However, the yield of grain being leaf fed was higher in comparison with the control and the significant difference concerned only the combined application of urea with Microcomplex. Grain uniformity and plumpness amounted, on average, to 85% and were not considerably differentiated by the examined factor. The highest amount of total protein was recorded in grain fed with nitrogen and it was 14.6%.

Key words: foliar fertilization, spring wheat, yield components

WSTĘP

Oferowane na rynku nawozy dolistne są uniwersalne, przeznaczone pod określoną uprawę, a nawet dla określonej fazy rozwojowej roślin (Szewczuk i Sugier, 2009). W technologii uprawy zbóż, dokarmianie dolistne w formie oprysku bezpośrednio na części nadziemne, głównie liść, pozwala uzupełnić niedobór składników pokarmowych.

Unika się przy tym sorpcji chemicznej i biologicznej składników mineralnych w glebie (Orlik i in., 2005).

W dotychczasowych badaniach potwierdzono, że na wysokość i jakość plonu pszenicy jarej duży wpływ wywiera nawożenie azotem (Wojciechowski i Waławowicz, 2005; Sułek i Cacak-Pietrzak, 2008), przy czym część jego dawki można zastosować w formie dolistnego dokarmiania. Orlik i in. (2005) oraz Gąsiorowska i Makarewicz (2008) potwierdzają, iż zabieg taki jest efektywny i wywiera korzystny wpływ na parametry jakości ziarna. Wpływ dolistnie stosowanego azotu uwidacznia się zwłaszcza przy jednoczesnym zastosowaniu siarczanu magnezu (Ralcewicz i in., 2009) czy nawozów mikroelementowych (Kocoń, 2005; Filipek i Harasim, 2007). Znaczenie mikroelementów we współczesnym rolnictwie znacząco wzrosło ze względu na rolę jaką pełnią we wzroście i rozwoju roślin (Grzyś, 2004; Wróbel, 2008). Nawożenie makro- i mikroelementami obok wielkości i jakości plonu trzeba również rozpatrywać w aspekcie efektywności ekonomicznej i zagrożeń ekologicznych. Ustalenie optymalnego poziomu nawożenia dla konkretnej odmiany i warunków siedliskowych pozostaje więc nadal ważne poznawczo (Borkowska i in., 2003; Wojciechowski i Waławowicz, 2005). W hipotezie badawczej założono, iż łączne zastosowanie mocznika z Mikrokompleksem wpłynie najkorzystniej na badane cechy.

Celem pracy było określenie reakcji roślin pszenicy jarej odmiany Parabola na dokarmianie dolistne mocznikiem, Mikrokompleksem oraz mieszanką mocznika z Mikrokompleksem.

MATERIAŁ I METODY

Ścisłe doświadczenie polowe z pszenicą jarą (odmiana Parabola) przeprowadzono w latach 2008–2010 w Stacji Doświadczalnej Wydziału Biologiczno-Rolniczego Uniwersytetu Rzeszowskiego w Krasnem koło Rzeszowa. Jednoczynnikowe doświadczenie, przeprowadzono w czterech powtórzeniach. Czynnikiem było dokarmianie dolistne, stosowane dwukrotnie w fazie krzewienia i początku kłoszenia. Zastosowano trzy poziomy czynnika:

- a1 mocznik 36 kg/ha (I termin) oraz 18 kg/ha (II termin),
- a2 Mikrokomplex 5 kg/ha (I termin) oraz 5 kg/ha (II termin),
- a3 mieszanka mocznika z Mikrokompleksem 36 i 5 kg/ha (I termin) oraz 18 i 5 kg/ha (II termin).

Obiekt kontrolny stanowiły poletka bez dokarmiania dolistnego. Ilość cieczy roboczej wyniosła 300 l/ha. Zawartość azotu w Moczniku — 46%. Skład chemiczny Mikrokompleksu przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Skład chemiczny w % — Mikrokomplex
Chemical composition in % — Mikrokomplex

Siarka Sulfur SO ₃	Magnez Magnesium MgO	Bor Boron	Miedź Copper	Mangan Manganese	Cynk Zinc	Molibden Molybdenum
32	16	0,05	0,3	0,35	0,2	0,01

Doświadczenie założono na glebie klasy bonitacyjnej IIIa, o pH w granicach od 5,10 (2009 r.) do 5,94 (2010 r.). Zawartość oznaczonych w glebie: fosforu, potasu i mikroelementów była średnia, zaś magnezu bardzo niska (tab. 2).

Tabela 2

Wyniki analizy gleby
Results of soil analysis

Rok Year	pH w KCl	Przyswajalne Available							
		makroskładniki — macroelements mg/100g gleby			mikroskładniki — microelements mg/kg gleby				
		P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Cu	Mn	Zn	Fe	B
2008	5,66	13,1	15,5	2,2	4,2	459,0	5,3	1110	1,65
2009	5,10	14,1	17,0	2,1	4,1	188,0	5,3	1210	1,55
2010	5,94	11,2	13,0	1,9	4,5	139,5	4,8	965	1,50

Nasiona wysiano w ilości 450 szt./m², w następujących terminach: 11.04.2008 r., 9.04.2009 r., 13.04.2010 r. Przedplonem corocznie był rzepak jary. Powierzchnia poletek wynosiła 15 m² (do zbioru 12 m²). Nawożenie mineralne PK zastosowano pod orkę przedzimową i wyniosło: 100 kg P₂O₅/ha i 140 kg K₂O/ha. Nawożenie doglebowe azotem zastosowano w dawce 50 kg N/ha (saletra amonowa 34%) przed siewem i 50 kg N/ha w fazie strzelania w źdźbło. Chwasty zwalczano stosując preparat Chwastox Extra 300 SL, szkodniki Alfamor 050 SC, choroby Alert 375 SC.

W okresie wegetacji pszenicy prowadzono obserwacje faz wzrostu i rozwoju roślin. Obejmowały one: wschody, krzewienie, strzelanie w źdźbło, kłoszenie, dojrzewanie. Na powierzchni 1 m² policzono obsadę roślin w fazie wschodów oraz liczbę kłosów przed zbiorem. Rośliny przed zbiorem liczono wyrывая je z 0,5 m². Na podstawie uzyskanych wyników obliczono współczynnik krzewistości produkcyjnej. Ocenę wylegania podano w skali od 1 do 9°.

W fazie dojrzałości technicznej z każdego poletka pobrano 20 kolejnych roślin ze środkowej części rzędów poletka i określono ich elementy struktury plonu: liczbę ziaren w kłosie i masę tysiąca nasion (przy 15% wilgotności). Separacji ziaren na frakcje dokonano na Separatorze laboratoryjnym Sortimat. Pomiar na próbce 100 g, przy czasie wytrząsania 3 minuty i wilgotności ziarna 14,5%.

Zbiór przeprowadzono jednoetapowo w fazie dojrzałości pełnej w dniach: 6.08.2008r., 5.08.2009 r. i 5.08.2010 r. Uzyskaną z poletek masę nasion przeliczono na plon z 1 ha przy uwzględnieniu wilgotności 15%. Nasiona do analizy chemicznej pozyskano w trakcie zbioru z każdej kombinacji i oznaczono w nich białko ogólne — metodą Kjeldahla.

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej: analiza wariancji (według modelu split-plot). Istotność różnic pomiędzy wartościami cech testowano na podstawie półprzedziałów ufności Tukeya, przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Do obliczeń wykorzystano program statystyczny AWAR (IUNG Puławy).

Warunki pogodowe podano według Biuletynów Agrometeorologicznych IMiGW w Warszawie, z zapisów stacji Meteorologicznej w Jasionce koło Rzeszowa. Analizę próbek glebowych wykonano w Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Rzeszowie.

WYNIKI I DYSKUSJA

W latach badań układ warunków atmosferycznych był zmienny, dotyczyło to przede wszystkim sumy opadów. W okresie kwiecień-sierpień wyniosła ona: 410,4 mm w 2008 r., 372,5 mm w 2009 r. oraz 651,8 mm w 2010 r. Średnie temperatury w tym samym okresie były mniej zróżnicowane (tab. 3). Warunki pogodowe wywarły umiarkowany wpływ na plon ziarna. Biskupski i in. (2007) stwierdzili natomiast wyłączne oddziaływanie warunków pogodowych na plon badanych odmian pszenic jarych.

Tabela 3

Warunki pogodowe w latach 2008–2010
Weather conditions in the years 2008–2010

Miesiące Months	Opady Rainfall (mm)				Średnie temperatury Mean temperatures (°C)			
	2008	2009	2010	średnia average	2008	2009	2010	średnia average
Kwiecień — April	45,5	3,7	49,9	33,03	9,1	11,1	8,9	9,70
Maj — May	105,3	102,6	177,0	128,30	13,6	13,8	14,3	13,90
Czerwiec — June	86,7	146,4	126,1	119,73	18,1	16,6	17,9	17,53
Lipiec — July	117,6	98,0	200,2	138,60	18,9	20,7	20,8	20,13
Sierpień — August	55,3	21,8	98,6	58,57	18,8	19,4	19,5	19,23
Suma Sum	410,4	372,5	651,8	—	15,70	16,32	16,28	16,09

Dokarmianie dolistne nie modyfikowało długości faz rozwojowych roślin. W latach badań faza krzewienia wystąpiła po 33–39 dniach, strzelania w źdźbło po 45–52 dniach a kłoszenia po 63–71 dniach od daty siewu (tab. 4). Haliniarz (2010) podaje zbliżone terminy wchodzenia roślin pszenicy jarej w wymienione fazy rozwojowe.

Najkrótszy okres wegetacji odnotowano w 2010 roku (114 dni). Wynikało to z wcześniejszego osiągnięcia przez pszenicę poszczególnych faz rozwojowych w 2010 r. w porównaniu do lat 2008 i 2009.

Tabela 4

Przebieg wegetacji roślin pszenicy jarej w dniach od daty siewu
Course of vegetation of spring wheat in days from date of seeding

Rok Year	Wschody Emergence	Krzewienie Tillering	Strzelanie w żdźbło Shooting	Kłoszenie Earing	Dojrzałość — Maturity		
					mleczna milk stage	woskowa dough stage	pełna fully
2008	15	37	50	71	89	106	117
2009	16	39	52	69	95	108	118
2010	13	33	45	63	90	103	114

Liczba roślin po wschodach wyniosła średnio 411 szt·m², przy współczynniku krzewistości produkcyjnej od 1,36 do 1,39. Nieróbca (2004) przy obsadzie roślin 450 szt./m² uzyskał podobny procentowy udział roślin z jednym pędem produkcyjnym (około 50% populacji). Zróżnicowany stopień wylegania łanu na badanych obiektach nie został potwierdzony statystycznie (tab. 5).

Tabela 5

Obsada roślin
Plot density

Obiekt Object	Liczba roślin po wschodach (szt.·m ⁻²) Plot density (plants/ m ²)	Liczba roślin przed zbiorem (szt.·m ⁻²) Number of plants before harvest (pcs.·m ⁻²)	Wyleganie 1–9° Lodging 1–9°	Liczba kłosów (szt.·m ⁻²) Number of ears (pcs.·m ⁻²)	Współczynnik krzewistości produkcyjnej Productive tillering
Kontrola Control	411	401	8,5	555	1,39
Mocznik Urea	412	402	8,0	558	1,39
Mikrokomplex	411	402	8,5	549	1,36
Mocznik i Mikrokomplex Urea and Mikrokomplex	411	401	8,0	556	1,39
NIR $\alpha=0,05$	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
LSD $\alpha=0,05$	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

r.n. — różnica nieistotna

n.s — no significant difference

Liczba ziaren w kłosie i masa tysiąca ziaren nie zostały istotnie zmodyfikowane przez czynnik doświadczenia. Średnio kłosy pszenicy zawierały 35,63 ziarna, zaś średnia MTN wyniosła 39,93 g. W badaniach Sułek i Cacak-Pietrzak (2008) średnia MTN pszenicy wzrastała do poziomu 2,4 N/g na wazon, przy czym reakcja poszczególnych odmian była zróżnicowana. Z kolei Biskupski i in. (2007) oraz Borkowska i in. (2003) nie potwierdzili istotnego zróżnicowanie omawianej cechy przez zastosowane dawki azotu.

Dokarmianie dolistne azotem istotnie zwiększyło zawartość białka ogólnego w ziarnie. Uzyskana różnica, w porównaniu do obiektu kontrolnego, wyniosła 1,1% po aplikacji Mocznika i 1,3% po aplikacji Mocznika z Mikrokompleksem (tab. 6). Wielu autorów (Bly i Woodard, 2003; Orlik i in., 2005; Wojciechowski i Wacławowicz, 2005; Cacak-Pietrzak i Sułek, 2007; Gąsiorowska i Makarewicz, 2008; Sułek i Cacak-Pietrzak, 2008)

udowodniło, że nawożenie mineralnym azotem w podobnym zakresie zwiększa zawartość białka ogólnego w ziarnie pszenicy jarej.

Szewczuk i Michajłóć (2003) podają, że w wyniku dolistnego dokarmiania można oczekiwać wzrostu plonów roślin uprawnych rzędu 8–20%. Gąsiorowska i Makarewicz (2008) potwierdzili, że wysoki plon ziarna pszenicy jarej można uzyskać stosując część azotu dolistnie. W przeprowadzonym badaniu dolistne dokarmianie wpłynęło na wzrost plonu ziarna. Istotną różnicę, w porównaniu do obiektu kontrolnego, uzyskano tylko po łącznej aplikacji mocznika z Mikrokompleksem, wyniosła ona $0,29 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 7). Orlik i in. (2005) zauważają jednak, że dokładne określenie wpływu dolistnego dokarmiania na plonowanie zbóż jest trudne, szczególnie przy użyciu polowych metod badawczych.

Tabela 6

Elementy struktury plonu pszenicy jarej (średnie dla czynników z lat 2008–2010)
Yield components of spring wheat (means for the factors 2008–2010)

Obiekt Object	Liczba ziaren w kłosie Number of grains per ear	Masa tysiąca ziaren (g) Weight of 1000 grains (g)	Białko ogółem (% s.m.) Total protein (% d.m.)
Kontrola Control	35,3	39,4	13,3
Mocznik Urea	35,5	40,2	14,4
Mikrokomplex	35,7	39,8	13,9
Mocznik i Mikrokomplex Urea and Mikrokomplex	36,0	40,3	14,6
NIR $\alpha=0,05$	r.n.	r.n.	0,982
LSD $\alpha=0,05$	n.s	n.s	
Średnia ogólna Total mean	35,63	39,93	14,05

r.n. — różnica nieistotna

n.s — no significant difference

Tabela 7

Plon ziarna $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$
Grain yield $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$

Obiekt Object	Lata Years			Średnia z lat Mean
	2008	2009	2010	
Kontrola Control	6,77	6,52	6,40	6,56
Mocznik Urea	6,95	6,75	6,62	6,77
Mikrokomplex	6,82	6,62	6,45	6,63
Mocznik i Mikrokomplex Urea and Mikrokomplex	7,01	6,80	6,75	6,85
NIR $\alpha=0,05$	0,238	0,276	0,344	0,278
LSD $\alpha=0,05$				
Średnia ogólna Total mean	6,89	6,67	6,56	6,70

Dokarmianie dolistne istotnie różnicowało frakcję ziarna o średnicy poniżej 2,2 mm. Najwięcej ziaren drobnych (2,6%) uzyskano z kontroli, natomiast najmniej z partii ziaren pochodzących z obiektów po aplikacji mocznika oraz mocznika z Mikrokompleksem odpowiednio 0,9% i 0,6%. Wyrównanie i celność ziarna wyniosły 85% i nie zostały zmodyfikowane przez czynnik doświadczenia (tab. 8). Cacak-Pietrzak i in. (2005) uzyskali natomiast niższą celność od wyrównania u wszystkich badanych odmian pszenicy jarej.

Tabela 8

Procentowy udział poszczególnych frakcji ziaren (średnie dla czynników z lat 2008–2010)
The prevalence of different fractions of grains (means for factors 2008–2010)

Obiekt Object	<2,20 mm	2,20–2,49 mm	2,50–2,79 mm	≥2,80 mm	Celność ziarna Grain fraction
Kontrola Control	2,6	14,1	29,2	54,1	83,3
Mocznik Urea	0,9	13,4	31,0	54,7	85,7
Mikrokomplex	1,6	13,1	30,6	54,7	85,2
Mocznik i Mikrokomplex Urea and Mikrokomplex	0,6	13,1	31,5	54,8	86,3
NIR $\alpha=0,05$		r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
LSD $\alpha=0,05$	0,142	n.s	n.s	n.s	n.s.
Średnia ogólna Total mean	1,4	13,4	30,6	54,6	85,1

r.n. — różnica nieistotna
n.s — no significant difference

WNIOSKI

1. Dokarmianie dolistne nie wpłynęło na daty osiągnięcia faz rozwojowych i długość okresu wegetacji pszenicy jarej odmiany Parabola. Na wzrost i rozwój roślin wpłynęły warunki pogody w latach badań.
2. Zastosowane nawozy, tj. mocznik, Mikrokomplex oraz mieszanka mocznika z Mikrokompleksem nie miały istotnego wpływu na liczbę ziaren w kłosie i MTZ. Plon ziarna na obiektach dokarmianych był większy w porównaniu do obiektu kontrolnego, przy czym istotną różnicę uzyskano tylko po łącznej aplikacji mocznika z Mikrokompleksem.
3. Wyrównanie i celność ziarna (85,1%) nie były istotnie różnicowane przez zastosowane nawozy.
4. Największą zawartość białka ogólnego oznaczono w ziarnach pozyskanych z obiektów, na których rośliny dokarmiano mocznikiem oraz mocznikiem z Mikrokompleksem.

LITERATURA

- Biskupski A., Kaus A., Włodek S., Pabin J. 2007. Zróżnicowane nawożenie azotem a plonowanie i wybrane wskaźniki architektury łanu kilku odmian pszenicy jarej. *Inżynieria Rolnicza*, nr 3 (91): 29 — 35.
- Bly A. G., Woodard H. J. 2003. Nitrogen management, foliar nitrogen application timing influence on grain yield and protein concentration of hard red winter and spring wheat. *Agron. J.* vol. 95 No. 2: 335 — 338.

- Borkowska H., Grundas S., Styk B. 2003. Zmiany wybranych cech jakościowych ziarna kilku odmian pszenicy pod wpływem zróżnicowanego nawożenia azotowego. *Acta Agrophys.* nr 2 (4): 717 — 723.
- Cacak-Pietrzak G., Ceglińska A., Torba J. 2005. Wartość przemiałowa wybranych odmian pszenicy z hodowli „Nasiona Kobierzyce”. *Pam. Puł.* 139: 27 — 38.
- Cacak-Pietrzak G., Sułek A. 2007. Wpływ poziomu nawożenia azotem na plonowanie i jakość technologiczną ziarna pszenicy jarej. *Biul. IHAR* 245: 47 — 55.
- Filipek T., Harasim P. 2007. Kumulacja pierwiastków śladowych (Zn i Ni) w biomase pszenicy jarej i rzepaku jarego dokarmianych dolistnie mocznikiem i nawozami mikroelementowymi. *Acta Agrophys.* nr 9 (3): 591 — 602.
- Gąsiorowska B., Makarewicz A. 2008. Wpływ nawożenia dolistnego na plon i jakość ziarna pszenicy jarej. *Annales UMCS, Sec. E, LXIII*, nr 4: 87 — 95.
- Grzyś E. 2004. Rola i znaczenie mikroelementów w żywieniu roślin. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* z. 502: 89 — 99.
- Haliniarz M. 2010. Wpływ gęstości łanu na dynamikę przyrostu biomasy pszenicy jarej i chwastów. *Annales UMCS, Sec. E, LXV*, nr 2: 68 — 79.
- Kocoń A. 2005. Nawożenie jakościowej pszenicy jarej i ozimej a plon i jakość ziarna. *Pam. Puł.* z. 139: 55 — 64.
- Nieróbca P. 2004. Architektura łanu pszenżyta jarego i pszenicy jarej w warunkach różnej obsady roślin. *Biul. IHAR* 231: 223 — 229.
- Orlik T., Wesołowska-Janczarek M., Marzec M. 2005. Porównanie wpływu dolistnego dokarmiania i nawożenia doglebowego na plonowanie zbóż w terenach erodowanych. *Acta Agrophys.* 5(2): 367 — 375.
- Ralcewicz M., Knapowski T., Kozera W., Barczak B. 2009. Technological value of spring wheat of Zebra cultivar as related to the way of nitrogen and magnesium application. *Journal of Central European Agriculture*, Vol. 10, No. 3: 223 — 232.
- Sułek A., Cacak-Pietrzak G. 2008. Kształtowanie się cech jakościowych ziarna odmian pszenicy jarej w zależności od nawożenia azotem. *Fragm. Agron.* XXV nr 1 (97): 400 — 409.
- Szewczuk Cz., Michałojć Z. 2003. Praktyczne aspekty dolistnego dokarmiania roślin. *Acta Agrophys.* nr 85: 19 — 29.
- Szewczuk Cz., Sugier D. 2009. Ogólna charakterystyka i podział nawozów dolistnych oferowanych na polskim rynku. *Annales UMCS, Sec. E, LXIV*, nr 1: 29 — 36.
- Wojciechowski W., Wacławowicz R. 2005. Efektywność nawożenia azotem pszenicy jarej w warunkach zróżnicowanego nawożenia organicznego. *Fragm. Agron.* XXII nr 1 (85): 624 — 632.
- Wróbel S. 2008. Działanie nawożenia dolistnego borem w zależności od uwilgotnienia i odczynu gleby lekkiej w okresie wegetacyjnym. *Annales UMCS, Sec. E, LXIII*, nr 4: 17 — 23.

KRYSTYNA WITKOWSKA¹**TADEUSZ ŚMIAŁOWSKI**²**EDWARD WITKOWSKI**¹¹ HR Smolice Sp. z o.o. Gr. IHAR² Zakład Roślin Zbożowych IHAR — PIB w Krakowie

Zależność plonu rodów pszenicy ozimej od stopnia porażenia przez *Stagonospora nodorum* i *Puccinia triticina* w zróżnicowanych warunkach polowych

Dependence of yield of winter wheat strains on the degree of infection by *Stagonospora nodorum* and *Puccinia triticina* in different conditions of field experiments

Celem pracy była ocena wpływu porażenia septorią liści (*Stagonospora nodorum*) i rdzą brunatną (*Puccinia triticina*) na plon pszenicy ozimej w zróżnicowanych środowiskach agroklimatycznych. Ścisłe doświadczenia polowe z 49 obiektami pszenicy ozimej przeprowadzono w 3 miejscowościach: Grodkowice, Bąków i Smolice. Zbadano zmienność, genetyczne warunkowanie, stopień porażenia septorią liści, rdzą brunatną oraz wysokość plonu ziarna badanych form. Oceniono współzależność fenotypowo-genotypową pomiędzy septorią liści, rdzą brunatną i plonem ziarna. Przeprowadzono wieloczynnikową analizę wariancji do oceny wpływu środowisk i badanych chorób na plon ziarna pszenicy ozimej. Stwierdzono wysoce istotną dodatnią zależność pomiędzy odpornością na *S. nodorum* a plonem ziarna pszenicy ozimej. Analiza wieloczynnikowa ujawniła istotny wpływ miejscowości (czynnik środowiskowy), stopnia porażenia *S. nodorum* i *P. triticina* oraz niektórych interakcji pomiędzy tymi czynnikami na plon pszenicy ozimej.

Słowa kluczowe: analiza wieloczynnikowa, korelacje fenotypowe i genotypowe, plon ziarna pszenicy, *Puccinia triticina*, *Septoria nodorum*

The aim of this study was to estimate the influence of leaf septoria (*Stagonospora nodorum*) and leaf rust (*Puccinia triticina*) on yield of winter wheat in different conditions of cultivation. The precise field experiments with 49 objects of winter wheat were conducted in three locations: Grodkowice, Bąków and Smolice located in different environments. Variability and genetic determination (heritability) have been examined for degrees of infestation with leaf septoria, leaf rust and for grain yield. The genotypic and the phenotypic correlations have been estimated between leaf septoria, leaf rust and grain yield. Multivariate analysis revealed a significant effect of locality (environmental factor), severity of the *S. nodorum* and *P. triticina* infestations and some interactions between these factors on the yield of winter wheat.

Key words: genotypic correlation, grain yield, multivariate analysis, phenotypic correlation, *Puccinia triticina*, *Septoria nodorum*, winter wheat

WSTĘP

Wysokość plonu zbóż, a w tym i pszenicy jest determinowana przez wiele czynników: mrozoodporność i przetrzymywanie, podatność na wyleganie, liczne choroby (mączniak, septoriozy, rdze, fuzariozy), szkodniki a także czynniki glebowo-klimatyczne. Każdy z tych czynników w warunkach niesprzyjających wzrostowi i rozwojowi zbóż może spowodować bardzo duże straty. Okazuje się, że spośród tych czynników choroby i szkodniki powodują na świecie bardzo duże straty, których wielkość szacuje się na około 27–42% plonów najważniejszych gatunków roślin uprawnych. Duża liczba chorób atakujących pszenicę oraz duża zmienność patotypów sprawia, że genetyka odporności na choroby jest dziedziną, w której prowadzone są intensywne badania. Obszerny przegląd literatury dotyczący badań nad septorią pszenicy i jęczmienia dokonał już w 1983 roku King (King, 1983). Szczegółowy opis genetycznych podstaw dziedziczenia septoriozy liści i rdzy brunatnej u pszenicy zamieszczony został w podręczniku „Zarys Genetyki Zbóż” (Górny i in., 2004). W Polsce prowadzi się liczne badania obejmujące ocenę zagrożenia porażeniem odmian uprawnych i rodów hodowlanych pszenicy przez *Stagonospora nodorum* i *Puccinia triticina* (Drzazga i in., 2006; Strzembicka i in., 2009; Weber i in., 2009; Czajowski i in., 2011; Ziemichód i in., 2011). Poszukuje się i wytwarza źródła odporności na te choroby (Chełkowski i in., 2005; Arseniuk i in., 2009). Rozwój nowoczesnych technik badawczych umożliwia lokalizację genów odpowiedzialnych za rozwój chorób (Czembor i in., 2007) oraz wytwarzanie materiałów wyjściowych odpornych na septorię liści (*Stagonospora nodorum*) (Arseniuk i in., 2009; Walczewski i in., 2011) oraz rdzę brunatną (*Puccinia triticina*) (Sejbuk i in., 2011).

Przeprowadzone badania wskazują na istotną rolę środowiska w rozprzestrzenianiu się i rozwoju chorób (Nieróbca i in., 2006; Jaczewska i in., 2009;). Wykorzystując matematyczne modelowanie prognozuje się zagrożenia roślin przez *Puccinia recondita* ROB ex DESM. f sp. *tritici* (Wójtowicz i in., 2009). Dokonany przegląd wyników badań wymienia opracowania matematyczne służące do oceny wpływu środowiska na rozwój objawów chorobowych wywołanych porażeniem pszenicy przez patogeny grzybowe.

W tym celu stosuje się funkcje regresji krokowej, logistycznej oraz innych modeli matematycznych. W tych eksperymentach, na podstawie oceny porażenia liści pszenicy ozimej uzyskanej z licznych lokalizacji, ocenia się wpływ wielu czynników biologicznych i agroklimatycznych (temperatury, opadu atmosferycznego, wilgotności powietrza) i wykorzystuje do modelowania rozwoju objawów chorobowych wywołanych porażeniem roślin przez grzyby.

Wykorzystując własne wyniki badań na tle dokonanego przeglądu wiedzy, jako cel niniejszej pracy przyjęto poznanie wpływu porażenia septorią liści (*Stagonospora nodorum*) i rdzą brunatną (*Puccinia triticina*) na plon pszenicy ozimej w zróżnicowanych środowiskach agroklimatycznych.

MATERIAŁ I METODY

Przedmiotem badań była ocena wpływu porażenia chorobami rodów hodowlanych pszenicy ozimej badanych w ścisłych doświadczeniach polowych przeprowadzonych w 3 powtórzeniach na poletkach o pow. 10 m² metodą niekompletnych bloków w odmiennych warunkach ekogeograficznych w trzech miejscowościach: Smolicach (SMH), Bąkowie (BKH) i Grodkowicach (GRH) na plon ziarna. Na podstawie uzyskanych wyników podjęto ustalenia wzajemnych relacji pomiędzy stopniem porażenia septorią liści (*Stagonospora nodorum*) i rdzą brunatną (*Puccinia triticina*) oraz plonem ziarna, genetycznego uwarunkowania tych cech, zmienności wynikającej z lokalizacji w odmiennych środowiskach oraz oszacowanie wpływu różnych czynników na plon ziarna 46 obiektów pszenicy ozimej uzyskanych w programie hodowlanym realizowanym w HR Smolice oraz trzech odmian wzorcowych. Obejmowały one rody z doświadczenia przedwstępnego, a więc materiały hodowlane o wysokim stopniu tożsamości i jednolitości odmianowej, z których najlepsze trafiają do doświadczeń wstępnych i dalej do rejestrowych. Na tym etapie spotykają się rody z różnych kierunków, czyli z programów krzyżowań mających na celu wprowadzenie zimotrwałości, odporności na choroby i wyleganie oraz wartości technologicznej ziarna. Pochodzą również z krzyżowań z formami bardzo krótkimi, czy z programu wyprowadzania odmian z linii DH. Ostatecznym jednak kryterium selekcji jest plon i dobry poziom wszystkich pozostałych ważnych parametrów. W okresie wegetacji wykonano obserwacje porażenia chorobami (skala 1–9), po zbiorach oznaczono plon ziarna z poletka (przy 15% H₂O). Odnotowano również opady, temperaturę powietrza oraz nawożenie. Jako zmienne ilościowe objaśniane przyjęto: stopień porażenia *Stagonospora nodorum* (septoria liści) i *Puccinia triticina* (rdza brunatna) a zmienne objaśniające — klasyfikujące: obiekty i miejscowości. Do obliczeń wykorzystano Procedurę GLM w SAS. W tym celu wykonano analizy statystyczne, które obejmowały analizę wariancji dla plonu i cech obserwowanych w czasie wegetacji. Następnie z wydzielonych w analizie wariancji składników, tj.: średnich kwadratów zmienności genotypowej, zmienności błędu obliczono współczynniki zmienności genetycznej CV(%), genetycznego uwarunkowania (*H*) jako stopnia powtarzalności. Korelacje fenotypowe (*rP*) wyznaczono jako współczynniki korelacji prostej ze średnich cech dla badanych genotypów a współczynniki korelacji genotypowych (*rG*) jako współczynniki korelacji prostej pomiędzy nieobserwowalnymi efektami genotypowymi. Zestaw danych zawierający wartości, które wzrastają lub opadają w stałym tempie przedstawiono na wykresach regresji liniowej w postaci najlepiej dopasowanej linii prostej. Dla tego typu linii trendu jest używane równanie liniowe służące do obliczania dopasowania linii metodą najmniejszych kwadratów wg wzoru: $y = mx + b$; gdzie *m* to nachylenie, a *b* to punkt przecięcia.

Dla ujawnienia wpływu czynników agroklimatycznych na plon pszenicy przeprowadzono analizę wieloczynnikową, której celem było poznanie zależności pomiędzy różnymi czynnikami środowiska czyli miejscowościami, które różniły się typem gleby, sumą opadu atmosferycznego, sumą temperatur, stopniem porażenia septorią liści (*Stagonospora nodorum*) i rdzą brunatną (*Puccinia triticina*) czyli niekontrolowanymi

zmiennymi losowymi jak i subiektywnymi czyli deterministycznymi zmiennymi kontrolowanymi czynnikami środowiska np. poziomem nawożenia a plonem pszenicy ozimej.

Zastosowana analiza wariancji (wiele czynników objaśniających i jedna cecha mierzona — objaśniana — plon ziarna) tworzy model analizy pozwalający wyjaśnić istotność wpływu kontrolowanych czynników na przebieg eksperymentu (Frątczak i in., 2005). Działanie takiego modelu możemy prześledzić na przykładzie 2 czynników A i B badając ich wpływ na badaną cechę.

Mamy wówczas do czynienia z modelem klasyfikacji dwuczynnikowej:

$$x_{ijk} = m + a_i + b_j + (ab)_{ij} + e_{ijk}$$

gdzie: x_{ijk} jest wartością zmiennej zależnej (obserwacją uzyskaną z eksperymentu) i oznacza k -ty pomiar dla i -tego poziomu czynnika A oraz j -tego poziomu czynnika B,

m — jest średnią ogólną,

a_i — jest efektem głównym i -tego poziomu czynnika A,

b_j — jest efektem głównym j -tego poziomu czynnika B,

$(ab)_{ij}$ — jest efektem współdziałania (interakcji) i -tego poziomu czynnika A z j -tym poziomem czynnika B, i mówi nam, jaki wpływ jednego czynnika zależy od poziomów drugiego czynnika.

Jeżeli pozostaje on taki sam, to nie ma żadnej interakcji. W przeciwnym wypadku między dwoma czynnikami zachodzi interakcja, gdzie e_{ijk} jest losowym błędem doświadczalnym o rozkładzie normalnym ze średnią równą zeru i wariancją s^2 . (Sokołowski, 2010).

WYNIKI BADAŃ

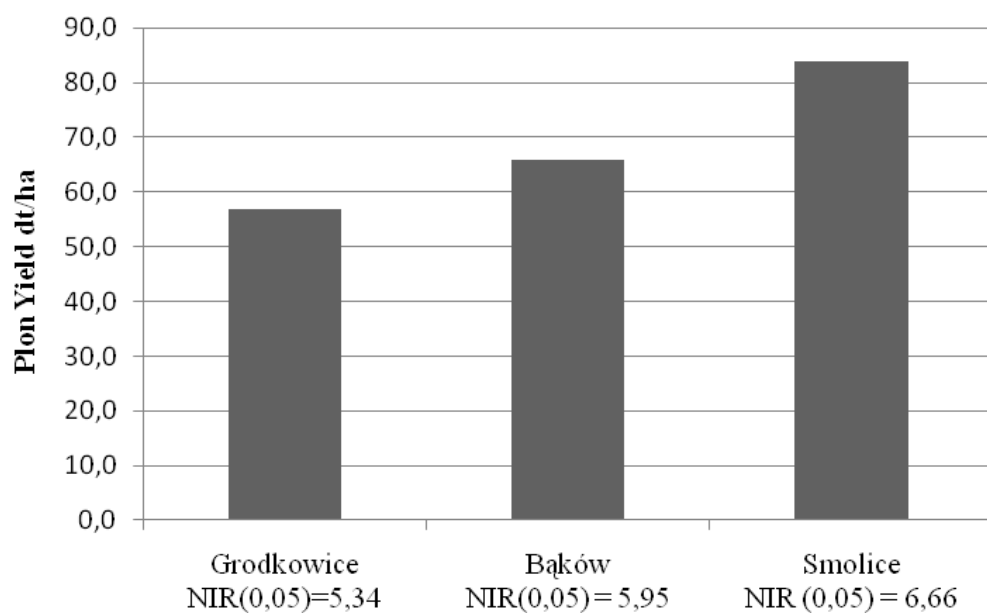
W tabeli 1 przedstawiono warunki agroklimatyczne w trzech miejscowościach: Grodkowice, Smolice i Bąków. Widoczne jest wyraźne zróżnicowanie pomiędzy miejscowościami w ilości opadów (najwyższe opady odnotowano w GRH, najniższe w SMH) oraz sumach temperatur dodatnich w okresie wegetacji (najwyższa w SMH).

Tabela 1

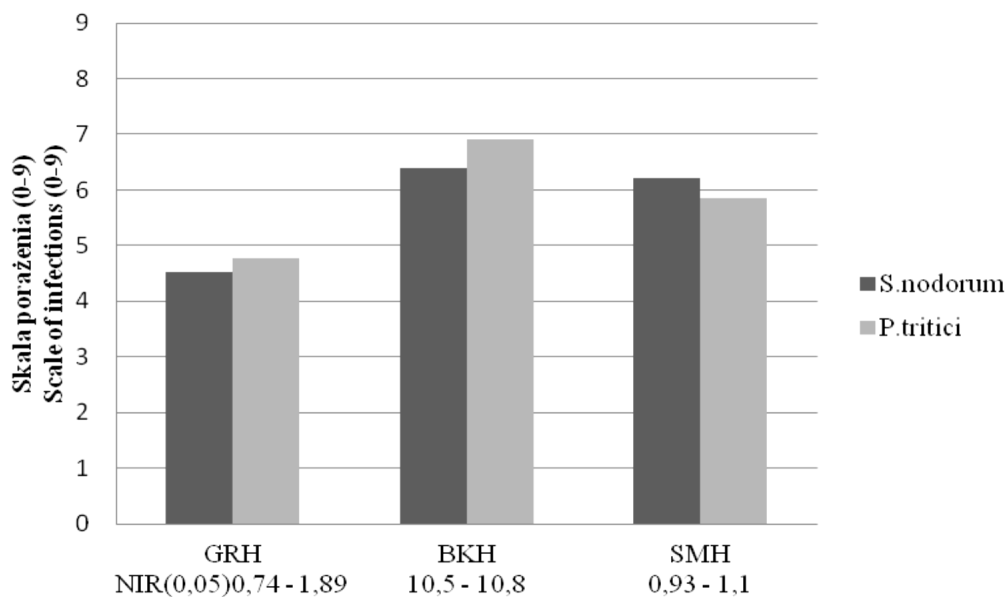
Warunki agroklimatyczne w miejscowościach
Agro-climatic circumstances in the locations

Miejscowość Location	Typ gleby Type of soil	NPK The fertilization	Temp. stycznia January temp.	Temp. minim. Min. temperature	Temp. lipca Temperature of July	Suma temperatur Sum of temperature	Suma opadów w okresie wegetacji Precipitation in vegetable period
Bąków	3	252	-9,5	-26,5	17,7	86,1	741,6
Grodkowice	1	180	-6,5	-22,5	21,2	84,7	954,1
Smolice	2	249	-6,5	-21,6	35,3	105,4	615,5

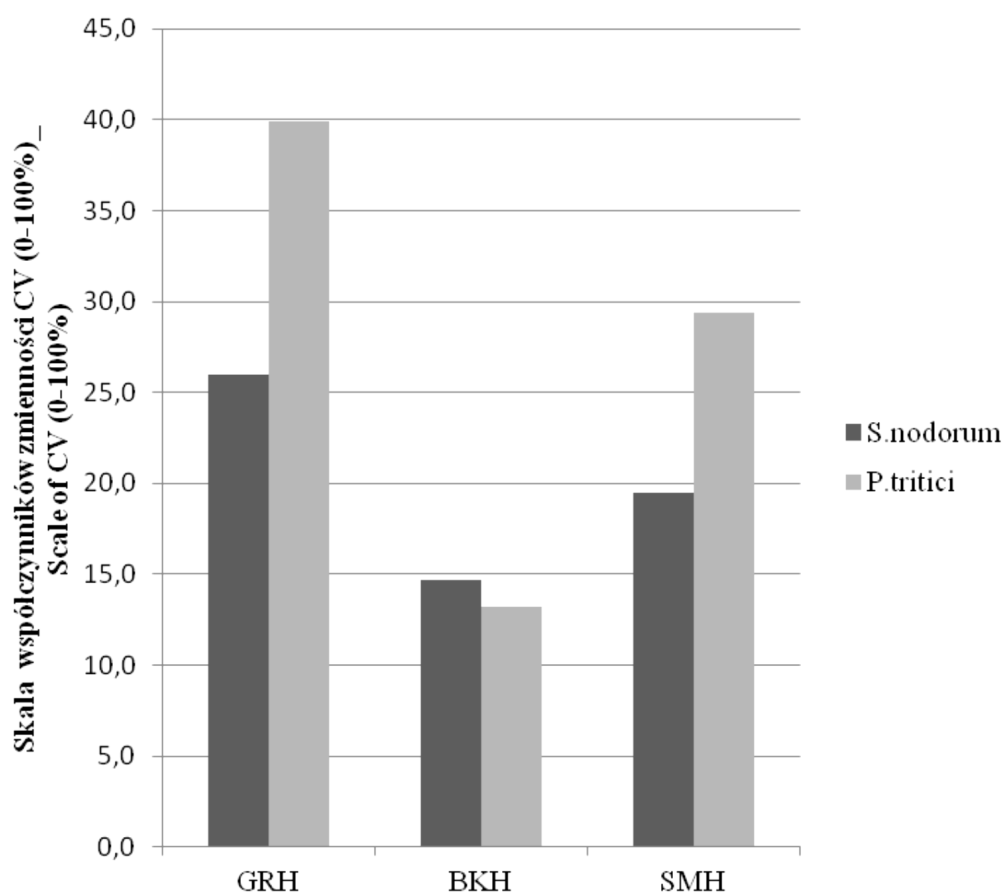
Również poziom nawożenia dostosowano do typów gleby. Badane obiekty plonowały stosownie do warunków glebowo-klimatycznych, najwyższy plon ziarna uzyskano w Smolicach (83,4 dt/ha), a najniższy w Grodkowicach (56,2 dt/ha) (rys. 1).



Rys. 1. Plon ziarna pszenicy ozimej w trzech miejscowościach
Fig. 1. Yield of winter wheat in three locations



Rys. 2. Średnie porażenie septorią liści i rdzą brunatną w trzech miejscowościach
Fig. 2. The average degree of infestation with the leaf septoria and leaf rust diseases in three locations



Rys. 3. Współczynniki zmienności genetycznej CV(%) dla septorii liści i rdzy brunatnej w trzech miejscowościach

Fig. 3. Coefficient of variability for leaf septoria and leaf rust in three locations

Podobnie duże różnice pod względem zmienności porażenia septorią liści i rdzą brunatną zaobserwowano w poszczególnych miejscowościach (rys. 2 i 3). Natomiast zbliżoną wartość w trzech miejscowościach charakteryzowały się współczynniki genetycznego uwarunkowania dla plonu oraz septorii i rdzy (rys. 4). Wskazuje to na wysoką stabilność genetyczną badanych rodów, i na to, że w odmiennych warunkach środowiska, zróżnicowanych pod względem klimatycznym i glebowym oraz sposobem uprawy uszeregowanie obiektów będzie zbliżone. Tabela 2 przedstawia średnie wartości z 3 miejscowości: plonu (dt/ha), zmienności genotypowej CV_g (%) i współczynniki genetycznego uwarunkowania H . Na podstawie wykonanych analiz statystycznych stwierdzono wysoką zmienność genetyczną stopnia odporności na rdzę $CV_g = 35,7\%$, mniejszą odporności na septorię $CV_g = 32,9\%$ i najmniejszą dla plonu $CV_g = 16,6\%$. Współczynniki genetycznego uwarunkowania były wysokie dla septorii liści i rdzy

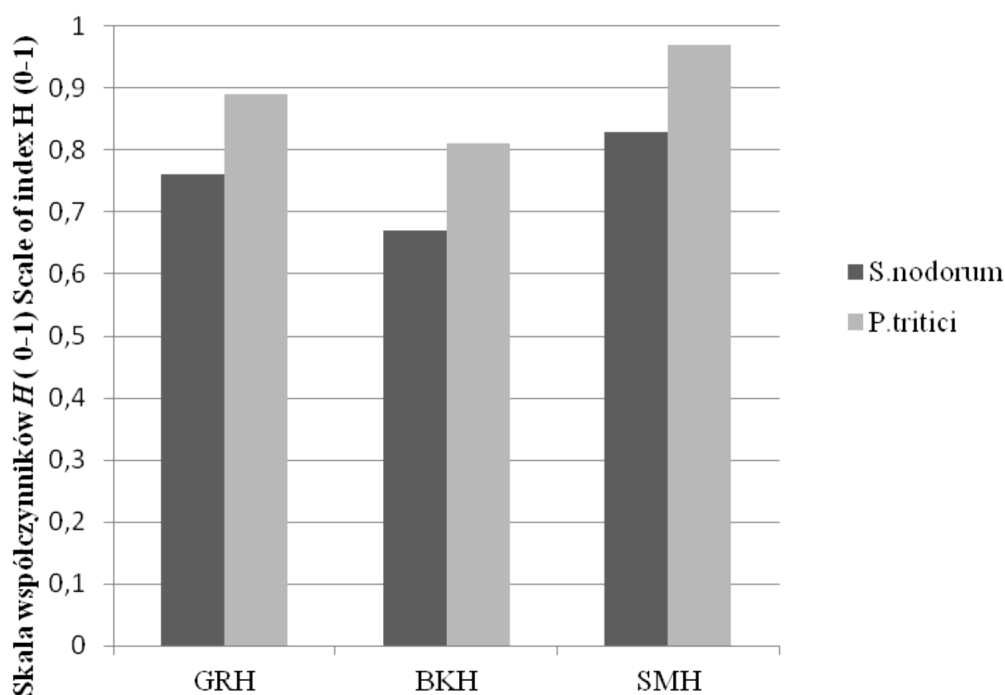
brunatnej $H = 0,86$, nieznacznie niższy dla plonu $H = 0,75$. Można by zatem wysnuć wniosek, że wpływ środowiska na wysokość plonu, stopień porażenia septorią liści i rdzą brunatną okazał się niewielki. Jednak przeprowadzona szczegółowa analiza wyników uzyskanych z trzech miejscowości pozwoliła zaobserwować duże różnice w plonach, jak i w porażeniu chorobami.

Tabela 2

Średnie wyniki oceny chorób i plonowania oraz parametry statystyczne badanych rodów pszenicy ozimej

The average of results of diseases of *Septoria nodorum*, *Puccinia triticina* and yield, and statistical parameters of investigated varieties of winter wheat

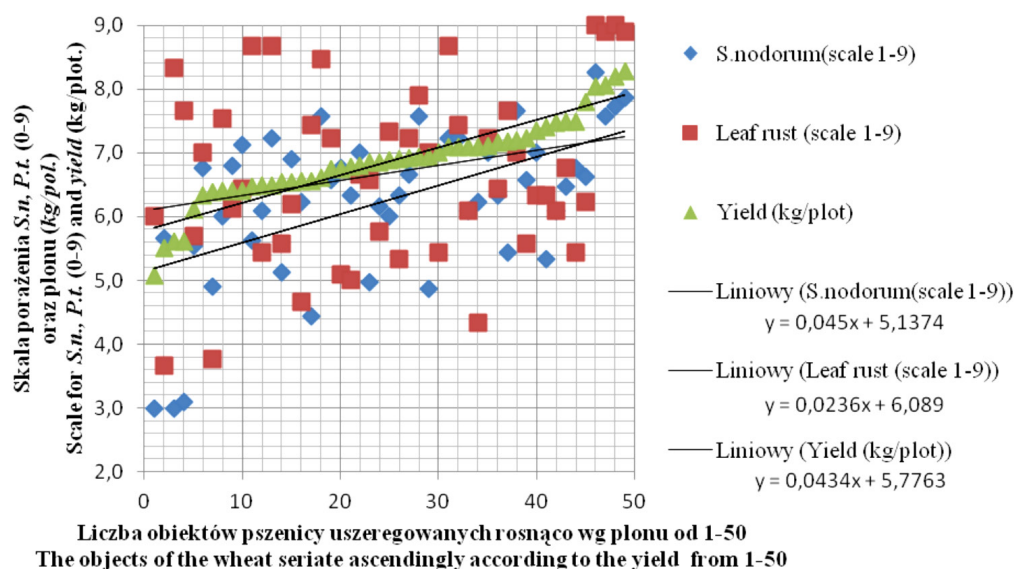
Cechy Traits	Średnia Average	CV % Coefficient of variability	H Heritability	Błąd stand. S.E. (H)
Septoria liści Septoria leaf (%)	6,26	32,93	0,8612	0,067
Rdza brunatna Leaf rust (%)	6,68	35,66	0,8579	0,067
Plon ziarna Yield (dt/ha)	72,42	16,39	,7519	0,068



Rys. 4. Współczynniki genetycznego uwarunkowania (H) septorii liści i rdzy brunatnej w trzech miejscowościach

Fig. 4. Heritability coefficients for leaf septoria and leaf rust in three locations

Interesująca jest wzajemna relacja pomiędzy porażeniem chorobami a plonem ziarna. Przedstawiona na rys. 5 liniowa regresja pomiędzy plonem a septorią liści i rdzą brunatną wskazuje, że plon pszenicy proporcjonalnie wzrastał wraz z lepszą odpornością na omawiane choroby. Wyraźnie zbliżoną rosnącą tendencję wskazuje linia wykreślona dla zależności septorii i plonu (rys. 5).



Rys. 5. Wykres trendu liniowego między plonem pszenicy ozimej a stopniem porażenia przez *Septoria nodorum* i *Puccinia triticina*

Fig. 5. The graph of the linear trend *S. nodorum* and *P. triticina* in relation to yield of grain of wheat

Tabela 3

Korelacje fenotypowe i genotypowe pomiędzy 3 cechami
Phenotypic and genotypic coefficients of correlation between the traits

Cechy Traits	Jedn. miary Name	1	2	3
Septoria liści Septoria leaf	(%)		0,24	0,64**
Rdza brunatna Leaf rust	„	0,30*		0,31*
Plon ziarna Yield	(dt/ha)	0,67**	0,44**	

*, ** Istotne dla $P = 0,05$ lub $P = 0,01$

*, **Significant at $P = 0.05$ and $P = 0.01$

Korelacje fenotypowe (rP) powyżej diagonalnej; Phenotypic(rP) correlations of above diagonal

Korelacje genotypowe (rG) poniżej diagonalnej; Genotypical (rG) correlations of below diagonal

Spostrzeżenie to potwierdza macierz korelacji pomiędzy septorią liści i rdzą brunatną a plonem ziarna (tab. 3). Współczynniki korelacji fenotypowych i genotypowych pomiędzy

septorią liści, rdzą brunatną a plonem okazały się dodatnie i istotne. Stwierdzono wyższe współczynniki korelacji fenotypowej, jak i genotypowej pomiędzy septorią liści a plonem $rP = 0,64^{**}$, a $rG = 0,67^{**}$ niż pomiędzy rdzą brunatną a plonem $RP = 0,31^*$, $rG = 0,44^{**}$ (tab. 3). Słabą korelacją charakteryzowała się współzależność pomiędzy septorią liści a rdzą brunatną $rP = 0,24$, co potwierdza że cechy te są niezależne od siebie (tab. 3). Na tej podstawie można przypuszczać, że podatność badanych obiektów pszenicy ozimej na obie choroby objawia się odmiennie, silniej odporne na septorię okazywały się równocześnie mniej odporne na rdzę brunatną i odwrotnie. Silne porażenie obydwoma patogenami nie występuje razem w jednym terminie, objawy pojawiają się w terminach kolejno następujących po sobie. Zjawisko to wynika stąd, że inne systemy genetyczne są odpowiedzialne za odporność na septorię liści a inne za odporność na rdzę brunatną oraz inna jest etiologia obu patogenów. Jeżeli jednak wystąpi silne porażenie badanych obiektów septorią liści a potem rdzą brunatną, to pomimo iż wpływa ono na plon niezależnie, jego szkodliwe działanie sumuje się.

Tabela 4

Analiza wariancji oceny wpływu wybranych czynników objaśniających ich wpływ na plon
(model liniowy)
Analysis of variance for estimations of selected factors explanatory their of the influence on the yield
(the linear model)

Zródło zmienności Source of variance	Liczba stopni swobody DF	Suma kwadratów SS	Średnia kwadratów MS	Wart. F Test „F”	Pr > F
Model	57	265,96	4,70	24,37	<0,001
Błąd — Error	87	17,16	0,19		
Razem — Total	146	285,13			
Miejscowości Location	2	191,81	95,90	497,18	<0,001
Odmiany Cultivars	48	62,17	1,29	6,72	<0,001
Septoria liści Septoria leaf	1	1,648	1,64	8,55	0,004
Rdza brunatna Leaf rust	1	7,528	7,52	39,03	<0,001
Interakcje w tym: — Interactions in:					
Sept. liści × Rdza brunatna S. leaf × Leaf rust	1	2,35	2,35	12,19	0,0007
Septoria liści × miejscowości S. leaf × Location	2	1,19	0,59	3,10	0,0501
Rdza brunatna × miejscowości Leaf rust × Location	2	1,25	0,62	3,25	0,0436

W celu ujawnienia wpływu zespołu czynników na plon pszenicy przeprowadzono analizę wieloczynnikową (tab. 4). Uzyskane wyniki potwierdziły wcześniejsze spostrzeżenia, że na wysokość plonu ziarna pszenicy ozimej istotnie wpływały warunki klimatyczno-glebowe miejscowości (typ gleb, wysokość nawożenia, temperatura i opady), czynnik genetyczny (badane obiekty) oraz stopień porażenia septorią liści i rdzą brunatną. (tab. 4). Istotną rolę w kształtowaniu plenności wykazuje interakcja działania patogenów

septorii liści z rdzą brunatną, oznacza to, że działanie obu patogenów krzyżuje się a w efekcie sumuje negatywne skutki (tab. 4). Brak lub niska interakcja pomiędzy septorią liści i rdzą brunatną a miejscowościami oznacza, że działania tych czynników nie krzyżują się. Jeżeli jednak choroby pszenicy wywołane przez te patogeny wystąpiły, nie były one uzależnione od specyficznych warunków przyrodniczo-glebowych i klimatycznych w badanych miejscowościach. Zjawisko to oznacza, że siła odporności na choroby powodowane przez *Stagonospora nodorum* i *Puccinia triticina* badanych rodów i odmian pszenicy w większym stopniu zależała od jej właściwości genetycznych, tzn. wprowadzonych genów odporności, niż stymulującego działania czynników zewnętrznych.

WNIOSKI

1. Przeprowadzona analiza wyników plonowania rodów i odmian pszenicy ozimej wykazała, iż istotną rolę w kształtowaniu jego wysokości odgrywa zróżnicowane pod względem glebowym i przyrodniczym środowisko, właściwości genetyczne oraz współdziałania zachodzące pomiędzy tymi czynnikami. Stwierdzono istotny wpływ miejscowości, genotypów, porażenia septorią liści i rdzą brunatną na plon ziarna pszenicy ozimej. Nie bez znaczenia pozostaje również interakcja pomiędzy septorią liści i rdzą brunatną, która, pomimo niezależnego wpływu badanych czynników chorobotwórczych, powoduje sumujące się skutki ich działania.
2. Spośród czynników będących przedmiotem badań stwierdzono większą proporcjonalną zależność plonowania ziarna ocenianych obiektów pszenicy ozimej od poziomu ich odporności na septorię liści.
3. Wzrastający wpływ chorób na plon ziarna pszenicy ozimej, a zwłaszcza septorii liści, powinien mobilizować hodowców do poprawy odporności selekcionowanych materiałów hodowlanych pszenicy.

LITERATURA

- Arseniuk A., Ziemichód M., Żołudziejewicz Ł. 2009. Wykorzystanie linii DH pszenicy i pszenżyta w podnoszeniu odporności na *Stagonospora nodorum*. Streszczenia prac. Konferencja Nauka dla Hodowli Roślin Uprawnych. Zakopane 2009: 198.
- Chełkowski J., Stępień Ł., Strzembicka A. 2005. Ocena podatności pszenicy ozimej na rdzę brunatną oraz poszukiwanie źródeł odporności Acta Agrobotanica Vol. 58, z. 1: 143 — 152.
- 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 2011: 161.
- Czembor P. Cz., Radecka M., Arseniuk E. 2007. Mapowanie molekularne odporności na septoriozę paskowaną liści (*Mycosphaerella graminicola*) w odmianie pszenicy ozimej Liwilla. Streszczenia prac. Konferencja Nauka dla Hodowli Roślin Uprawnych. Zakopane 2007: 139.
- Drzazga T., Krajewski P. 2006. Analiza zależności plonu od wybranych cech użytkowych na podstawie doświadczeń hodowlanych z pszenicą ozimą. Biul. IHAR 240/241: 5 — 11.
- Frątczak E., Pęczkowski M., Sienkiewicz K., Skaskiewicz K. 2005. Statystyka od podstaw z systemem SAS. Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, Analiza wariancji: 125 — 146.
- Górny A., Kubicka H., Nawracała J. 2004. Zarys Genetyki Zbóż. Tom 1. Jęczmień, pszenica i żyto: 268 — 273.
- Jaczevska-Kalicka A. 2009. Zmienność nasilenia rozwoju chorób grzybowych pszenicy ozimej w latach 2001–2005. Postępy w Ochronie Roślin 46 (1): 453 — 460.

- King J. E. 1983. A review of *Septoria* diseases of wheat and barley. Ann. Appl. Biol. 103: 345 — 373.
- Nieróbca A., Horoszkiewicz-Janka J. 2006. Wpływ warunków pogodowych na występowanie grzybów patogenicznych w uprawie pszenicy ozimej. Postępy w Ochronie Roślin, 46 (2): 576 — 579.
- Sejbuk K., Czembor P. Cz. 2011. Wprowadzanie genów odporności *Lr46-Yr29* na rdzę brunatną i żółtą do pszenicy jarej Raweta z użyciem markerów molekularnych. Konferencja Nauka dla Hodowli i Nasiennictwa Roślin Uprawnych. Zakopane 2011: 158.
- Sokołowski A. 2010. Estymacja i testowanie hipotez. Statistica w badaniach naukowych i nauczaniu statystyki. Kraków. StatSoft: 25 — 60.
- Strzembicka A, Czajowski G. 2009. Wirulencja populacji rdzy brunatnej *Puccinia triticina* w Polsce. Streszczenia prac. Konferencja Nauka dla Hodowli Roślin Uprawnych. Zakopane 2009. Zakopane 2009: 191.
- Walczewski J., Arseniuk E. 2011. Wykorzystanie techniki podwojonych haploidów do podniesienia odporności pszenicy ozimej na *Stagonospora nodorum*. Konferencja Nauka dla Hodowli i Nasiennictwa Roślin Uprawnych. Zakopane 2011: 140.
- Weber R., Zalewski D. 2009. Zmienność porażenia liści odmian pszenicy ozimej na dolnym Śląsku przez grzyby z rodzaju *septaria*. Postępy w Ochronie Roślin, 49 (1) 2009: 296 — 300.
- Wójtowicz A., Wójtowicz M. 2009. Matematyczne modelowanie zagrożenia roślin przez *Puccinia recondita* ROB. Ex DESM. f sp. *tritici*. Postępy Nauk Rolniczych nr 5/6: 69 — 75.
- Ziemichód M., Arseniuk E. 2011. Występowanie nekrotroficznych patogenów zbóż (*Stagonospora* spp., *Septoria tritici*) w różnych rejonach geograficznych kraju oraz zmienność ich patogeniczności . 2011. Konferencja Nauka dla Hodowli i Nasiennictwa Roślin Uprawnych. Streszczenia prac. Zakopane 2011: 16.

MARIA SURMA
TADEUSZ ADAMSKI
ANETTA KUCZYŃSKA
KAROLINA KRYSTKOWIAK
RENATA TRZECIAK
KRZYSZTOF MIKOŁAJCZAK
PIOTR OGRODOWICZ

Instytut Genetyki Roślin Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu

Zmodyfikowana technika pojedynczego ziarna w hodowli jęczmienia ozimego*

Modified single seed descent technique in winter barley breeding

Technika pojedynczego ziarna (ang. single seed descent, SSD) jest coraz częściej stosowana do uzyskiwania form homozygotycznych w hodowli zbóż. Stanowi ona modyfikację klasycznego ramszu i polega na losowym wyborze w każdym pokoleniu, począwszy od F₂, po 1 ziarnie z rośliny. W pokoleniu F₅ lub dalszym zbiera się wszystkie nasiona z rośliny; potomstwo pojedynczej rośliny stanowi linię SSD. Praca przedstawia modyfikację techniki SSD polegającą na połączeniu jej z kulturą *in vitro* niedojrzałych zarodków. Pozwala to wyeliminować okres spoczynku nasion i tym samym przyspieszyć cykl hodowlany. Wykazano, że stosując zaproponowaną technikę można w ciągu pierwszych trzech lat przyspieszyć cykl hodowli jęczmienia ozimego o 2–3 lata.

Słowa kluczowe: jęczmień ozimy, jarowizacja, kultura *in vitro*, niedojrzałe zarodki, linie SSD

Single seed descent technique (SSD) is frequently used in cereal breeding to obtain homozygous lines. It is a modified method of classical ramsh (bulk) and it is based on random choice of one seed from each individual plant in each generation (number of individuals is dependent on assumed number of lines to obtain), starting from F₂ hybrids. In F₅ or later generation all seeds from each plant are harvested and progeny of a single plant is treated as a SSD line. In the present paper a modification of this technique is presented, which combines the procedure with *in vitro* culture of immature embryos. The modified SSD technique allows elimination of seed dormancy and acceleration of the breeding process. It was shown that the use of proposed technique in early stages of winter barley breeding permits to accelerate breeding cycle by 2-3 years.

Key words: immature embryos, *in vitro* culture, winter barley, SSD lines, vernalization

* Praca finansowana przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Zadanie MR38 „Optymalizacja procesu homozygotyzacji jęczmienia w aspekcie skracania cyklu hodowlanego”

WSTĘP

W hodowli jęczmienia, podobnie jak i innych gatunków roślin uprawnych, istotną kwestią jest skrócenie okresu czasu potrzebnego do uzyskania nowych odmian. U roślin samopylnych związane jest to głównie z czasem potrzebnym do otrzymania z heterozygotycznych mieszańców form o wysokim stopniu homozygotyczności. Uzyskiwanie linii homozygotycznych lub prawie homozygotycznych może odbywać się dwiema drogami: pośrednią poprzez samozapylenie roślin w kolejnych pokoleniach bądź bezpośrednią poprzez haploidyzację mieszańców wczesnych pokoleń (F_1 lub F_2). W przypadku jęczmienia rośliny haploidalne można uzyskać wykorzystując zjawisko eliminacji chromosomów zachodzące w wyniku krzyżowania *Hordeum vulgare* z *H. bulbosum* bądź też metodą androgenezy (Adamski i in., 1983; Pickering, Devaux, 1992). Rośliny haploidalne uzyskane z mieszańców odpowiadają losowej próbie gamet wytwarzanych przez heterozygoty, a podwajając liczbę chromosomów u haploidów uzyskuje się formy homozygotyczne o utrwalonej segregacji i rekombinacji na poziomie gametycznym. Mogą być one wykorzystane do badań genetycznych bądź też w hodowli nowych odmian (Snape, 1976; Gardner, 1977; Choo i Reinbergs, 1982; Kaczmarek i in., 1994).

Jedną z dróg pośrednich jest metoda pojedynczego nasiona (ang. single seed descent, SSD). Stanowi ona modyfikację klasycznego ramszu i polega na wyborze w każdym pokoleniu, począwszy od roślin pokolenia F_2 , po 1 nasieniu (ziarnie w przypadku zbóż) z rośliny (liczba roślin F_2 uzależniona jest od założonej liczby linii, jaką chcemy uzyskać). Z roślin pokolenia F_5 lub dalszego zbiera się wszystkie nasiona. Potomstwo pojedynczej rośliny stanowi linię SSD (Golden, 1939). Zarówno system DH jak i SSD pozwalają uzyskać linie homozygotyczne w stosunkowo krótkim czasie, przy czym linie DH są homozygotyczne we wszystkich *loci*, natomiast SSD mogą zawierać tzw. resztkową heterozygotyczność, która w przypadku linii SSD- F_5 wynosi 6,25%, a SSD- F_6 już tylko 3,12%. Mimo to technika SSD ma przewagę nad DH wynikającą z możliwości uzyskania linii z każdego heterozygotycznego genotypu, podczas gdy w przypadku androgenezy mogą wystąpić formy odporne, z których otrzymanie form haploidalnych jest trudne. Przewaga techniki SSD związana jest również z większym prawdopodobieństwem wystąpienia korzystnych rekombinantów wynikającym z faktu „wykorzystania” w procesie ich otrzymywania kilku rund crossing-over, podczas gdy w przypadku linii DH uzyskiwanych z mieszańców F_1 czy F_2 — jedynie 1–2 rund. Ma to istotne znaczenie, ponieważ w miarę upływu pokoleń wzrasta prawdopodobieństwo przerwania sprzężeń genów, a tym samym powstania nowego kompleksu cech. Zaletą techniki SSD jest także zachowanie wystarczającego zakresu zmienności genetycznej potomstwa przy maksymalnej oszczędności pracy i kosztów (Courtois, 1993; Surma i in., 2003, 2006).

Zastosowanie techniki SSD w jej klasycznej formule pozawala zaoszczędzić miejsce i ograniczyć pracochłonność w procesie hodowli nowych odmian, nie skraca natomiast czasu potrzebnego dla otrzymania form ustalonych. Poniżej przedstawiamy propozycję modyfikacji tej techniki dla jęczmienia ozimego, która może być zastosowana także do innych gatunków zbóż ozimych.

MATERIAŁ I METODY

W celu skrócenia czasu potrzebnego do uzyskania kolejnego pokolenia przeprowadzono doświadczenie mające na celu zbadanie możliwości wyeliminowania okresu spoczynku ziarniaków poprzez hodowlę *in vitro* niedojrzałych zarodków. Aby ustalić optymalny termin izolacji zarodków pobierano je z ziarniaków odmian Nickela, Reni, Lomerit i Merlot w stadium dojrzałości wodnej, późno-mlecznej oraz woskowej twardej, co odpowiada kodom 71, 77 i 87 w skali BBCH (skala przyjęta w krajach UE do określania faz wzrostu i rozwoju roślin — skrót od Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry), w każdym terminie po 100 zarodków z odmiany.

Technikę SSD w połączeniu z kulturą *in vitro* niedojrzałych zarodków stosowano począwszy od: (1) ziarniaków uzyskanych bezpośrednio ze skrzyżowania (doświadczenie I); (2) ziarniaków pobranych z roślin pokolenia F₁ (doświadczenie II); (3) ziarniaków pobranych z roślin F₂ (doświadczenie III), przy czym we wszystkich trzech przypadkach w pierwszym etapie badań ziarniaki pochodziły z roślin rosnących w warunkach polowych. Każde następne pokolenie uzyskiwano w warunkach szklarniowych stosując hodowlę *in vitro* niedojrzałych zarodków izolowanych z ziarniaków w odpowiednim stadium rozwoju. W doświadczeniu I i II materiał do badań stanowiły mieszańce Nickela × Reni i Tiffany × Bombay, Lomerit × Merlot, Franziska × Merlot, natomiast w doświadczeniu III — Pascaline × Carola, Orchidee × Bażant, Merle × Orchidee i Merele × Amarena.

Stosowano pożywkę B5 Gamborga (Gamborg i in., 1968). Hodowlę *in vitro* prowadzono w pudełkach o wymiarach 77 × 77 × 97 mm firmy Sigma (Magenta Vessel GA-7), w które wykładano po 50 zarodków. Obserwowano liczbę zarodków rozwijających się oraz długość pędu po 4, 8 i 12 dniach kultury.

Jarowizację roślin w kulturze *in vitro* rozpoczynano po 2–5 dniach od wyłożenia zarodków na pożywkę i prowadzono ją w temperaturze 4°C przez 8 tygodni. Po tym okresie rośliny wysadzano do doniczek o średnicy 20 cm lub skrzynek o wymiarach 60 × 40 × 30 cm w rozstawie 5 × 3 cm w szklarni, gdzie rosły do czasu osiągnięcia stadium rozwojowego odpowiedniego do pobrania ziarniaków do dalszej hodowli.

WYNIKI I DYSKUSJA

W kulturze *in vitro* hodowano niedojrzałe zarodki pobrane z ziarniaków w trzech różnych stadiach rozwojowych. Stwierdzono, że optymalnym stadium rozwoju ziarniaków, z których izolowano zarodki, było końcowe stadium dojrzałości mlecznej. W omawianym doświadczeniu był to okres 16–24 dni po zapyleniu w zależności od genotypu. W tabeli 1 podano rezultaty kultury *in vitro* zarodków 4 odmian izolowanych z ziarniaków będących w różnych stadiach dojrzałości. Tempo wzrostu zarodków badanych odmian było podobne. Rozwój w kulturze *in vitro* zarodków młodych, pobranych z ziarniaków w stadium dojrzałości wodnej był znacznie wolniejszy niż zarodków pochodzących ze starszych ziarniaków, tak więc w efekcie wcześniejsze wykładanie zarodków nie skracało czasu potrzebnego do uzyskania roślin. W przypadku zbyt młodych ziarniaków nie wszystkie wyizolowane zarodki rozwijały się w warunkach *in vitro*.

Tabela 1

Rozwój roślin jęczmienia ozimego w kulturze *in vitro* z zarodków pobranych z ziarniaków w trzech stadiach dojrzałości: wodnej, późno-mlecznej i woskowej twardej

Development of winter barley plants in *in vitro* culture of embryos dissected from grains of watery ripeness, late milk and hard dough stages

Odmiana Variety	Liczba dni od rozpoczęcia kultury <i>in vitro</i> No. of days from beginning of <i>in vitro</i> culture	Dojrzałość wodna Watery ripeness stage (BBCH – 71)		Dojrzałość późno-mleczna Late milk stage (BBCH – 77)		Dojrzałość woskowa twarda Hard dough stage (BBCH - 87)	
		zarodki rozwijające się developing embryos (%)	długość pędu shoot length (cm)	zarodki rozwijające się developing embryos (%)	długość pędu shoot length (cm)	zarodki rozwijające się developing embryos (%)	długość pędu shoot length (cm)
Nickela	4	60	0,1	95	1,0	80	0,5
	8	75	0,2	99	5,5	85	4,0
	12	85	0,5	100	9,0	90	7,5
Reni	4	62	0,1	90	2,1	87	1,2
	8	68	0,2	94	6,9	90	3,9
	12	73	0,4	97	8,9	92	6,4
Lomerit	4	55	0,2	85	1,5	87	0,8
	8	59	0,3	88	4,8	92	3,2
	12	68	0,4	93	6,5	93	7,4
Merlot	4	63	0,1	79	2,3	80	3,1
	8	76	0,4	86	4,6	83	4,3
	12	87	0,9	95	7,9	88	6,9
Średnia Mean	4	60,0	0,17	87,2	2,3	83,5	1,4
	8	69,5	0,27	91,7	5,4	90,0	3,8
	12	78,2	0,55	96,2	8,1	90,7	7,0

Jak wspomniano wyżej, metodę pojedynczego ziarna stosuje się począwszy od pokolenia F₂, jednakże aby skrócić cykl hodowlany kulturę *in vitro* niedojrzałych zarodków można zastosować wcześniej. W prezentowanych badaniach zarodki izolowano z ziarniaków uzyskanych bezpośrednio po skrzyżowaniu oraz — dla porównania — z roślin F₁ i F₂ rosnących w polu. Dalsze pokolenia — do F₅ lub F₆ — otrzymywano w warunkach szklarniowych.

W doświadczeniu I stosując kulturę *in vitro* niedojrzałych zarodków wyizolowanych z ziarniaków uzyskanych bezpośrednio w wyniku skrzyżowania roślin w 2008 r., w następnym roku otrzymano już rośliny pokolenia F₃ i F₄, a jesienią 2010 r., to jest po upływie 2,5 roku od przeprowadzenia krzyżowań, dojrzałe rośliny pokolenia F₅. W doświadczeniu II, w którym kulturę *in vitro* zaczęto stosować w 2008 r. począwszy od zarodków wyizolowanych z ziarniaków pochodzących z roślin pokolenia F₁ (krzyżowanie odmian przeprowadzono w 2007 r.), w 2009 r. uzyskano rośliny pokolenia F₅, a w 2010 r. jesienią dojrzałe ziarna z roślin pokolenia F₆, a więc po upływie 3,5 roku od przeprowadzenia krzyżowań. W doświadczeniu III pobierając w 2009 r. zarodki z ziarniaków z roślin pokolenia F₂ w 2010 r. uzyskano rośliny F₅, z których jesienią (październik — listopad) 2010 r. zebrano dojrzałe ziarno. W tym wypadku przyspieszono cykl hodowlany o 2 lata (tab. 2).

Tabela 2

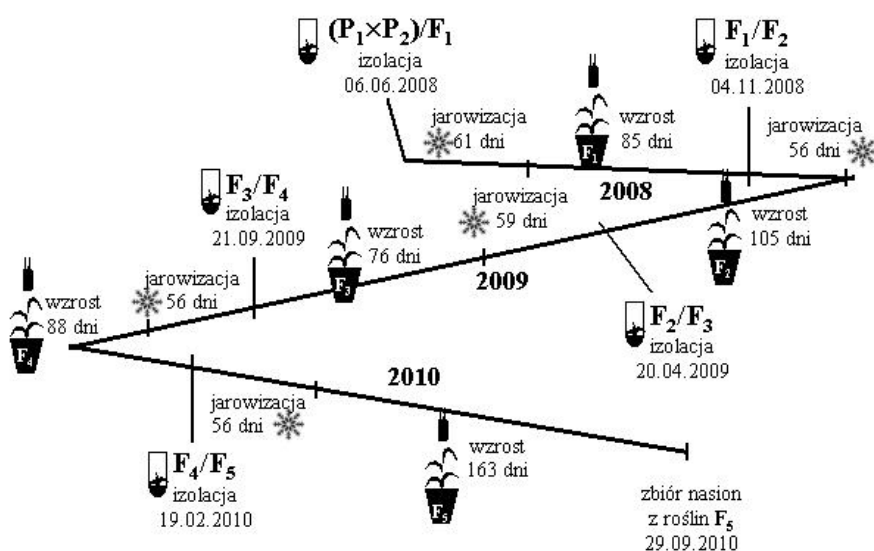
Efektywność techniki SSD w połączeniu z kulturą *in vitro* niedojrzałych zarodków u jęczmienia ozimego
Effectiveness of SSD technique in combination with *in vitro* culture of immature embryos in winter barley

Kombinacja krzyżówkowa Cross combination	Krzyżowanie (rok) Crossing (year)	Rozpoczęcie kultury <i>in vitro</i> Start of vitro culture	Zbiór nasion linii SSD (pokolenie — rok) Kernel harvest of SSD lines (generation — year)	Pokolenie uzyskane metodą rodowodową w 2010 roku Generation obtained by pedigree method in 2010	Liczba „zaoszczędzonych” lat Number of „saved” years
Doświadczenie I — Experiment I					
Nickela × Reni	2008	6.06.2008	F ₅ — 29.09.2010	F ₂	3
Tiffany × Bombay		(ziarniaki	F ₅ — 21.09.2010	F ₂	3
Franziska × Merlot		bezpośrednio po skrzyżowaniu	F ₅ — 23.11.2010	F ₂	3
Lomerit × Merlot		grains directly after crossing)	F ₅ — 27.09.2010	F ₂	3
Doświadczenie II — Experiment II					
Nickela × Reni	2007	28.05.2008	F ₆ — 30.08.2010	F ₃	3
Tiffany × Bombay		(ziarniaki z roślin F ₁	F ₆ — 20.09.2010	F ₃	3
Franziska × Merlot		grains from F ₁ plants)	F ₆ — 25.11.2010	F ₃	3
Lomerit × Merlot			F ₆ — 30.08.2010	F ₃	3
Doświadczenie III — Experiment III					
Pascaline × Carola	2007	6.06.2009	F ₅ — 25.11.2010	F ₃	2
Orchidee × Bazant		(ziarniaki z roślin F ₂	F ₅ — 18.10.2010	F ₃	2
Merle × Orchidee		grains from F ₂	F ₅ — 28.11.2010.	F ₃	2
Merle × Amarena		plants)	F ₅ — 28.11.2010	F ₃	2

Na rysunku 1. przedstawiono przebieg trzyletniego cyklu prac związanych z uzyskiwaniem linii SSD, w którym zastosowano kulturę *in vitro* zarodków izolowanych z ziarniaków uzyskanych bezpośrednio ze skrzyżowania.

Przeprowadzone badania wykazały, że zastosowanie zmodyfikowanej metody SSD już od początku cyklu hodowlanego, to znaczy od momentu uzyskania ziarniaków w wyniku przeprowadzonych krzyżowań, bądź też od roślin pokolenia F₁ można w ciągu trzech pierwszych lat przyspieszyć cykl hodowlany o 3 lata. Warunkiem zastosowania tej metody w praktyce jest posiadanie odpowiedniego wyposażenia, a więc ogrzewanej szklarni, chłodni do jarowizacji roślin oraz laboratorium do prowadzenia kultur *in vitro*. Ważne jest także, aby końcowy zbiór ziaren z roślin pokolenia F₅ lub F₆ odbył się w czasie umożliwiającym ich wysiew jesienią do gruntu. W prezentowanych badaniach materiał początkowy do kultury *in vitro* zarodków pochodził z roślin uprawianych w warunkach polowych, a zakończenie cyklu i końcowy zbiór dojrzałych ziaren miał miejsce jesienią w okresie od września do listopada, w zależności od roku i genotypu jęczmienia. Taki termin zbioru nie zawsze dawałby możliwość wysiewu ziarniaków do gruntu jeszcze tego samego roku. Porównując zastosowane trzy podejścia należy stwierdzić, że najkorzystniejsze byłoby rozpoczęcie stosowania kultury *in vitro* zarodków z nasion otrzymanych bezpośrednio ze skrzyżowania. Aby uzyskać dojrzałe nasiona z roślin F₅ w okresie letnim

lub wczesnojesiennym, należałoby krzyżowanie przeprowadzać w wiosną warunkach szklarniowych, co pozwoliłoby na wcześniejsze zakończenie cyklu.



izolacja — isolation, jarowizacja — vernalization, wzrost — growth, zbiór nasion — harvest

Rys. 1. Schemat obrazujący otrzymywanie linii SSD jęczmienia ozimego z mieszańców Nickela (P_1) × Reni (P_2) techniką SSD w połączeniu z kulturą zarodków *in vitro*

Fig. 1. Scheme of development of winter barley lines from Nickela (P_1) × Reni (P_2) hybrids by means of SSD technique in combination with embryo *in vitro* culture

W przedstawionych badaniach jarowizację roślin przeprowadzano w kulturze *in vitro* po upływie 2-5 dni od momentu wyłożenia zarodków na pożywkę. Dzięki takiemu rozwiązaniu można zaoszczędzić zarówno miejsce jak i czas. Dla uzyskania 100 linii z jednej kombinacji krzyżówkowej, kulturę *in vitro* zarodków prowadzono w 2 pudełkach (2 x 50 zarodków), a rośliny w szklarni w jednej skrzynce (100 roślin). Należy jednak zwrócić uwagę, żeby rośliny ostatniego pokolenia SSD rosły w większej rozstawie, najlepiej w doniczkach, aby dobrze się rozkrzewiły i wydały jak najwięcej nasion.

Czynnikiem przyspieszającym uzyskiwanie kolejnych pokoleń — oprócz wyeliminowania okresu spoczynku — są także warunki wzrostu i rozwoju roślin w szklarni, które powinny być ustalone na minimalnym poziomie agrotechnicznym, to jest tak, aby rośliny wchodziły jak najwcześniej w fazę rozwoju generatywnego. Cykl mógłby być również znacznie skrócony, gdyby można było wyeliminować lub ograniczyć okres jarowizacji. U jęczmienia wynosi on od 4-8 tygodni w zależności od genotypu. Ponieważ hodowcy nie mają informacji *a priori* o wymaganiach jarowizacyjnych poszczególnych komponentów do krzyżowań, w naszych badaniach zastosowano najdłuższy, 8-tygodniowy okres gwarantujący skuteczność jarowizacji wszystkich genotypów. Podjęto próby skróceniem okresu jarowizacji poprzez zastosowanie zearalenonu, który został

zidentyfikowany po raz pierwszy przez Menga i in. (1986, 1992) jako substancja istotna dla kontroli procesu rozwoju generatywnego. W Polsce badania prowadzone przez Biesagę-Kościelniak i in. (1997, 2009) na pszenicy potwierdziły rolę tego związku w przyspieszaniu rozwoju generatywnego pszenicy ozimej. W naszych badaniach (dane niepublikowane) użycie w kulturach *in vitro* niedojrzałych zarodków jęczmienia ozimego zearalenonu w ilości 1 mg na 1 l pożywki nie spowodowało skrócenia okresu jarowizacji.

WNIOSKI

1. Optymalnym terminem izolacji niedojrzałych zarodków jęczmienia ozimego jest okres dojrzałości późno-mlecznej. Wcześniejszy termin powoduje wolniejszy rozwój zarodków w kulturze *in vitro* i w konsekwencji nie uzyskuje się spodziewanego przyspieszenia cyklu hodowlanego.
2. Najbardziej efektywne jest zastosowanie techniki SSD w połączeniu z kulturą *in vitro* niedojrzałych zarodków począwszy od ziarniaków uzyskanych bezpośrednio po skrzyżowaniu roślin bądź pobranych z roślin pokolenia F₁, gdyż wówczas można uzyskać w okresie pierwszych 3 lat przyspieszenie cyklu hodowlanego o 3 lata.

LITERATURA

- Adamski T., Jeżowski S., Kurhańska G., Surma M. 1983. Zastosowanie metody bulbosowej w hodowli jęczmienia. I. Otrzymywanie form haploidalnych i linii autodiploidalnych. *Hodowla Roślin* 4: 1 — 5.
- Biesaga-Kościelniak J., Dubert F., Marcińska I. 1997. Wpływ ekstraktów tkankowych na rozwój generatywny pszenicy ozimej — współdziałanie ekstraktów z egzogennym zearalenonem. W: F. Dubert i A. Skoczowski (red.), „Zastosowanie kultur *in vitro* w fizjologii roślin”, Kraków: 39 — 49.
- Biesaga-Kościelniak J., Dziurka M. 2009. Endogenne zmiany poziomu zearalenonu w zależności od długości okresu wernalizacji. Jakość środowiska, surowców i żywności, Lublin: 140 — 142.
- Choo T. M., Reinbergs E. 1982. Estimation of the number of genes in doubled haploid populations of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Can. J. Genet. Cytol.* 24: 337 — 341.
- Courtois B. 1993. Comparison of single seed descent and anther culture-derived lines of three single crosses of rice. *Theor. Appl. Genet.* 85: 625 — 631.
- Gamborg O. L., Miller R. A., Ojima K. 1968. Nutrient requirements of suspension cultures of soybean root cells. *Exp. Cell Res.* 50: 151 — 158.
- Gardner C. O. 1977. Quantitative genetic research in plants: past accomplishments and research needs. In: *Proceedings of the International Conference Quantitative Genetics*. Iowa State Univ. Press, Ames.: 29 — 37.
- Goulden C. H. 1939. Problems in plant selection. In: *Proc. Seventh Genet. Cong.* Cambridge University Press: 132 — 133.
- Kaczmarek Z., Surma M., Adamski T. 1994. Theoretical bases for detection of linkage of genes between two quantitative characters in the presence of nonallelic interaction. *Genet. Pol.* 35: 53 — 62.
- Meng F. J., Que Y. M., Zhang S. Q. 1986. Zearalenone-like substance in winter plants and its relation to vernalization. *Acta Botanica Sinica* 28: 622 — 627.
- Meng F. J., Han Y. Z., Que Y. M., Wang H. 1992. Zearalenone, a key substance controlling plant development. *Advances in Plant Regulation*. Kluwer Acad. Press, Dordrecht: 291 — 297.
- Pickering R. A., Devaux P. 1992. Haploid production: Approaches and use in plant breeding. In: *Barley: Genetics, biochemistry, molecular biology and biotechnology*. CAB International. Wallingford, UK: 519 — 547.
- Snappe J. W. 1976. A theoretical comparison of diploidised haploid and single seed descent populations. *Heredity* 36 (2): 275 — 277.

- Surma M., Adamski T., Kaczmarek Z., Czajka S. 2003. Zmienność cech ilościowych w populacjach linii DH i SSD jęczmienia. Biul. IHAR 226/227: 277 — 283.
- Surma M., Adamski T., Kaczmarek Z. 2006. Phenotypic distribution of barley SSD lines and doubled haploids derived from F₁ and F₂ hybrids. Euphytica 149: 19 — 25.

JADWIGA NADZIAK**BARBARA NOWAK****ZDZISŁAW R. BILIŃSKI**

Hodowla Roślin Smolice Sp. z o.o. — Grupa IHAR

Oddział Bąków

Ocena zmienności cech agronomicznych odmian jęczmienia jarego z Banku Genów w Radzikowie

Estimation of variability in agronomic traits of spring barley from the Gene Bank at Radzików

W pracy przedstawiono zmienność cech agronomicznych odmian jęczmienia jarego w latach 2008–2010 zgromadzonych w Banku Genów IHAR — PIB Radzików. Praca jest kontynuacją wcześniejszych badań. Wykonano obserwacje i pomiary: wczesności (liczba dni od 1 stycznia do kłoszenia), odporności na podstawowe choroby i wyleganie (w skali 9-stopniowej), wysokości roślin, długości i wagi kłosa, liczby ziaren w kłosie, masy 1000 ziaren. Odmiany znacznie różniły się pod względem badanych cech. Pozwoliło to na wstępne wyodrębnienie genotypów jęczmienia jarego o pożądanych cechach agronomicznych i ewentualne włączenie ich do programów hodowlanych.

Słowa kluczowe: bank genów, cechy agronomiczne, jęczmień jary

Variability of agronomic traits was determined in spring barley accessions regenerated and evaluated in the Gene Bank of IHAR — PIB Radzików in the years 2008–2010. The work is continuation of the earlier study. The following observations and measurements were completed: earliness of heading (no of days from 1 January to heading), resistance to main diseases and lodging (in 1–9 scale), plant height, length and weight of spike, number of kernels per spike, 1000 kernels weight. High variation of the agronomic traits was stated among the tested varieties of spring barley. It allowed to separate genotypes with convenient agronomic traits and to include them into breeding programs.

Key words: agronomic traits, gene bank, spring barley

WSTĘP I CEL PRACY

Odmiany jęczmienia jarego zgromadzone w Centrum Roślinnych Zasobów Genowych IHAR — PIB są systematycznie regenerowane i waloryzowane w Spółce Hodowla Roślin Smolice Sp. z o.o. — Grupa IHAR Oddział Bąków. Regeneracja dotyczy odmian przechowywanych przez długi okres czasu i jej celem jest odnowienie i poprawienie wartości siewnej nasion. Natomiast dane waloryzacyjne stanowią charakterystykę kolekcji

pod względem cech agronomicznych i gospodarczych. Badania koordynowane są przez Krajowe Centrum Roślinnych Zasobów Genowych IHAR — PIB w Radzikowie.

Jednym z głównych zadań Banku Genów jest zachowanie i ocena zmienności genetycznej poszczególnych gatunków roślin.

Wielu autorów wykazało w przeprowadzanych badaniach nad jęczmieniem dużą zmienność pod względem odporności na choroby i elementów struktury plonu (Biliński i in., 2000; Czembor, Czembor, 2003; Czembor, 2008; Gacek, 2000; Nadziak i in., 1994, 1996, 1998, 2007; Węgrzyn i in., 1979). Zmienność ta może być wykorzystywana zarówno przez hodowców, jak i w pracach badawczych, np. w celu otrzymania nowych plennych odmian jęczmienia odpornych na podstawowe choroby grzybowe i korzystnych elementach struktury plonu. Może ona również służyć w ocenie np. odporności częściowej na mączniaka prawdziwego poszczególnych odmian, poprzez określenie powierzchni pod krzywą rozwoju choroby.

Prowadzenie prac kolekcyjnych umożliwia dalsze poszerzenie zakresu zmienności dla wielu cech użytkowych.

Celem przeprowadzonych badań była ocena zmienności analizowanych cech u odmian jęczmienia jarego, które były regenerowane i waloryzowane w latach 2008–2010 oraz wstępne wyodrębnienie genotypów o korzystnych cechach użytkowych, które mogłyby być wykorzystane w pracach hodowlanych. Wyniki oceny materiałów kolekcyjnych stanowią ważną informację przy wyborze źródeł genetycznych dla praktycznej hodowli tego gatunku. Odmiany te charakteryzują się dużą zmiennością cech agronomicznych i morfologicznych. Praca ta jest kontynuacją wcześniejszych opracowań (Nadziak i in., 1998, 2007).

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły odmiany jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L. var. *distichon*, *Hordeum vulgare* L. var. *polistichon*). W latach badań oceniano następującą liczbę odmian: w 2008 roku — 46, w 2009 — 28, w 2010 — 58. Odmiany wysiewano na poletkach o powierzchni 4 m². Wysiewy prowadzono zgodnie z ogólnymi zasadami agrotechniki dla uprawy jęczmienia jarego. Metodyka prowadzenia kolekcji zgodna jest z procedurami opracowanymi w Centrum Roślinnych Zasobów Genowych IHAR — PIB.

Analizowano następujące cechy użytkowe:

- długość okresu od 1 stycznia do początku kłoszenia,
- odporność na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*) (kilkukrotna ocena w skali 9° w sezonie wegetacji oraz analiza ocen w celu określenia odporności częściowej na mączniaka prawdziwego badanych genotypów za pomocą powierzchni pod krzywą rozwoju choroby AUDPC wg Shaner, Finley (1977). Oceny wykonywano w fazie rozwoju roślin: przed kłoszeniem, podczas kłoszenia oraz po kwitnieniu.
- odporność na plamistość siatkową (*Pyrenophora teres* Drechsl.), ocena w skali 9°,
- odporność na rynchosporiozę (*Rhynchosporium secalis* (Oud.) Davis), ocena w skali 9°,
- odporność na rdzę karłową (*Puccinia hordei* Otth.), ocena w skali 9°,
- odporność na wyleganie (dwukrotna ocena w skali 9°),

- wysokość roślin,
- długość kłosa,
- liczbę ziaren w kłosie,
- masę 1000 ziaren (MTZ),
- masę kłosa.

Pomiary wysokości roślin wykonywane były w polu na 25 losowo wybranych źdźbłach. Natomiast dla oceny elementów struktury plonu zbierano losowo z poszczególnych poletok po 25 kłosów, a masę 1000 ziaren określano po 3 próby dla każdego obiektu.

Na podstawie danych waloryzacyjnych oceniono zmienność dla odmian i cech, która jest określana współczynnikiem zmienności (CV%) i zakresami zmienności.

WYNIKI

W tabeli 1 przedstawiono zakresy zmienności cech użytkowych u odmian jęczmienia jarego.

Tabela 1

Zakresy zmienności cech agronomicznych u odmian jęczmienia jarego badanych w latach 2008–2010
Agronomic traits variability of spring barley varieties in 2008–2010

Cecha Trait	Lata — Year		
	2008	2009	2010
Liczba dni od 1 stycznia do kłoszenia No of days from 1 January to heading	149–168	154–179	158–213
Odporność na mączniaka I oc. Resistance to powdery mildew I sc.	5–9	3–9	6–9
Odporność na mączniaka II oc. Resistance to powdery mildew II sc.	1–9	2–9	4–9
Odporność na mączniaka III oc. Resistance to powdery mildew III sc.	1–9	2–7	4–9
Odporność na plamistość siatkową Resistance to net blotch	7–9	6–8	5–9
Odporność na rynchosporiozę Resistance to scald	6–9	6–8	7–9
Odporność na rdzę karłową oc. Resistance to leaf rust	6–9	7–9	3–9
Odporność na wyleganie I oc. Resistance to lodging I sc.	2–9	7–9	9
Odporność na wyleganie II oc. Resistance to lodging II sc.	1–9	4–9	7–9
Wysokość roślin w cm Plant height in cm	61–118	34–103	58–106
Masa 1 kłosa w gramach spike weight in g	0,70–2,12	0,43–1,91	0,92–1,92
Długość kłosa w cm Spike length in cm	4,0–13,2	4,88–11,7	4,88–9,28
Liczba ziaren w kłosie Number of kernels/ spike	20,5–61,8	24,7–53,7	17,9–50,2
MTZ w g — 1000 kernel weight	29,9–50,4	20,7–42,1	20,0–55,4
Liczba obiektów — No of tested varieties	46	28	58

*Ocena w skali 9-stopniowej, gdzie 9 — najlepsza wartość dla danej cechy

* — Scoring in 1–9 scale, where 9 — best value for the trait

1 — najgorsza wartość dla danej cechy; 1 — worst value for the trait

Odmiany różniły się pod względem terminu kłoszenia i różnice pomiędzy odmianami wynosiły: w 2008 r. — 19 dni, w 2009 r. — 25 dni, w 2010 r. — 55 dni. Odnotowano dużą zmienność w zakresie odporności na mączniaka prawdziwego (zmienność w latach badań wynosiła od 1°–9°, czyli od maksymalnie porażonych do całkowicie odpornych. Mniejsze różnice odnotowano w odporności na: plamistość siatkową, rynchosporiozę i rdzę karłową w latach 2008 i 2009, ale nieco wyższe zróżnicowanie w porażeniu odmian przez te choroby stwierdzono w 2010 roku.

W przypadku oceny wylegania, zmienność tej cechy wynosiła w latach 2008 i 2009 od 1° do 9°, czyli były odmiany całkowicie wylegające oraz bardzo sztywne. W 2010 roku znacznie słabsze było zróżnicowanie pod względem odporności na wyleganie. Odmiany różniły się również pod względem pozostałych analizowanych cech. Wysokość roślin wahała się od 61 cm do 118 cm w 2008 roku, od 34 cm do 103 cm w 2009 roku, od 58 cm do 106 cm w 2010 roku. Zmienność w latach pod względem masy kłosa wynosiła od 0,43 g do 2,12 g, długości kłosa od 4 cm do 13,2 cm, liczby ziaren w kłosie od 17,9 do 61,8, masy 1000 ziaren od 20,0 g do 55,4 g.

W tabeli 2 przedstawiono współczynniki zmienności dla analizowanych cech w latach badań.

Tabela 2

Współczynniki zmienności cech odmian jęczmienia jarego badanych w latach 2008–2010
Coefficients of variation (CV%) for spring barley agronomic traits in 2008–2010

Cecha Trait	Lata — Years		
	2008	2009	2010
Liczba dni od 1 stycznia do kłoszenia No of days from 1 January to heading	2,6	4,1	4,4
Odporność na mączniaka I oc. Resistance to powdery mildew I sc.	18,3	25,9	11,1
Odporność na mączniaka II oc. Resistance to powdery mildew II sc.	44,1	40,1	16,3
Odporność na mączniaka III oc. Resistance to powdery mildew III sc.	42,9	37,2	18,8
Odporność na plamistość siatkową Resistance to net blotch	4,3	7,7	11,5
Odporność na rynchosporiozę Resistance to scald	6,1	9,2	6,2
Odporność na rdzę Resistance to rust	9,3	5,8	19,4
Odporność na wyleganie I oc. Resistance to lodging I sc.	21,3	9,3	0
Odporność na wyleganie II oc. Resistance to lodging II sc.	36,7	23,7	9,9
Wysokość roślin w cm Plant height in cm	16,4	21,1	15,7
Masa 1 kłosa w g Spike weight in g	29,5	24,9	16,1
Długość kłosa w cm Spike length in cm	20,3	24,4	13,1
Liczba ziaren w kłosie No of kernels in spike	35,8	24,9	19,6
MTZ w g — 1000 kernel weight in g	9,9	12,3	12,4

Największe różnice we współczynnikach zmienności zaobserwowano dla takich cech jak: odporność na mączniaka dla pierwszej oceny (od 11,1% w roku 2010 do 25,9% w 2009 roku), drugiej oceny (od 16,3% w roku 2010 do 44,1% w 2008 roku), trzeciej oceny (18,8% w roku 2010 do 42,9% w roku 2008). Natomiast wartość współczynnika zmienności dla odporności na rdzę karłową wynosiła od 5,8% do 19,4%. Współczynniki zmienności dla odporności na wyleganie (pierwszej i drugiej oceny) najbardziej były zróżnicowane w 2008 roku i wynosiły od 21,3% do 36,7%.

Współczynniki zmienności dla cech elementów struktury plonu wynosiły odpowiednio: dla masy kłosa od 16,1% do 29,5%, dla długości kłosa od 13,1% do 24,4%, liczby ziaren w kłosie od 19,6% do 35,8% oraz dla masy 1000 ziaren od 9,9% do 12,4%.

W tabeli 3 przedstawiono odmiany jęczmienia jarego o skrajnych wartościach dla poszczególnych cech. Badane odmiany różniły się pod względem terminu kłoszenia. Najwcześniej kłosiły się odmiany: Indien, BG-105, K-126. Jednocześnie odmiana Indien była najbardziej odporna na wyleganie i rdzę karłową (tab. 5) oraz odmiana ta była najniższa i miała najniższą masę kłosa, MTZ i liczbę ziaren w kłosie. Natomiast odmiana France Dea była najpóźniej kłoszącą się odmianą i charakteryzowała się również najniższą masą kłosa, najmniejszą liczbą ziaren w kłosie i najniższą masą 1000 ziaren. Pod względem odporności na wyleganie należy stwierdzić że większość odmian charakteryzowała się wysokimi parametrami tej cechy. Natomiast korzystnymi cechami elementów struktury plonu w roku 2008 charakteryzowały się następujące odmiany: Samson, Primus, w roku 2009 — Babolnai III, Chevalier II, Samson, w roku 2010 — Hor 2476, Estate CI 3410.

Tabela 3

Przykłady odmian jęczmienia jarego o skrajnych wartościach dla danej cechy
Examples of spring barleys with extreme values of the traits

Cecha Trait	Lata — Years					
	2008		2009		2010	
	min	max	min	max	min	max
1	149	168	154	179	158	213
	2	3	4	5	6	7
Liczba dni od 1 stycznia do kłoszenia No of days from 1 st January to heading	Indien	Chapka	BG-105	G 478 He 106	K-126 Hor 12476 Estate CI3410	France Dea
	5	9	3	9	6	9
* Odporność na mączniaka I ocena * Resistance on to powdery mildew I sc.	Jull Indien Pamela Lovilsa Artturi I-1949/05	Maresi Portia Jaspis Annasfie Condor Edgar Ragtime Margit Viktor Halla	Hor 12476 Estate CI3410	G 287/73 G 478 H 5/77	C 1138/73 G 567	C 889/71 G 375/73 G 689/73 H 260/72 H 291/72 H 1485/73 H 1766/73 Hor1873 Peloponnes H 5/77 A 326/74

c.d. Tabela 3

1	2	3	4	5	6	7
Odporność na mączniaka II ocena Resistance to powdery mildew II sc.	1 Lovirsa Heran Indien Artturi	9 Maresi Ragtime	2 Babolnai III BG-105,K-126 Hor 12476 Estate CI3410 040427, Samson	9 G 478	4 K 126	9 G 375/73 H 5/77 A 326/74
Odporność na mączniaka III ocena Resistance to powdery mildew III sc	1 Lovirsa Heran Indien Artturi	9 Maresi Ragtime	2 Babolnai III BG-105,K-126 Hor 12476 Estate CI3410 040427, Samson	7 G 287/73 G 478	4 C 54/71 K 126	9 G 375/73 H 5/77
Odporność na plamistość siatkową Resistance to net blotch	7 Maresi	9 większość odmian	6 E 452	8 większość odmian	5 HE 593	9 większość odmian
Odporność na rynchosporiozę Resistance to scald	6 Viktor	9 większość odmian	6 Strengs H 29/3 AethiopianAB15 Hor 3007 Chapka	8 większość odmian	7 B 229/71, C 1138/73 HE 748	9 większość odmian
Odporność na rdzę Resistance to rust	6 Annasfie Lovilsa	9 Caminant, Orlik Ambelozus, Patrik Minnesota 457, T5 Indien, 040427	7 H 5/77 Samson	9 Babolnai III Triumph Hor 1884 Cebada Forrajera	3 H 5/77	9 A 307/72 France Dea
Odporność na wyleganie I ocena Resistance to lodging I sc	2 Minnesota 457 T5	9 większość odmian	7 Bg-105 Deawn CI 15475 Hor 1884 Cebada Forrajera Hor 1873 Peloponnes Hor 12476 Estate CI3410	9 większość odmian	9 wszystkie odmiany	9 wszystkie odmiany
Odporność na wyleganie II ocena Resistance to lodging I sc.	1 Minnesota 457 T5 040427	9 większość odmian	4 Deawn CI 15475 Hor 1873 Peloponnes	9 B 175/71 B1371/73, Bona Heges, G 287/73, G 478 Anatolien Hor 1188 J 258/73, M1064/73 Samson	7 AHOR 2872/73 B 229/71,B 1471/73 C 54/71, F 209/73, G 567,G 603, HE 593	9 większość odmian

c. d. Tabela 3

1	2	3	4	5	6	7
Wysokość roślin Plant height (cm)	61 Indien	118 Pamela	34 He 106	103 Strengs H 29/3	58 B 30/72	106 12010/00039
Masa 1 kłosa (g) Spike weight	0,70 Indien	2,12 Samson	0,43 He 106	1,91 Babolnai III	0,92 France Dea	1,92 Hor 2476 Estate CI 3410
Długość kłosa Length of spike	4,0 T5 Indien	13,2 Chapka	4,9 Deawn CI 15475	11,7 Chevalier II	4,9 Hor 2476 Estate CI 3410	9,3 C 1138/73
Liczba ziaren w kłosie No of kernels in spike	20,5 Heran	61,8 Samson	24,7 B 175/71	53,7 Samson	17,9 France Dea	50,2 12010/00044
MTZ 1000 kernels weight	29,9 Indien	50,4 Primus	20,7 He 106	42,1 Hor 1884 Cebada Forrajera	20,0 France Dea	55,4 12010/00040

*Ocena w skali 9°; gdzie 9 — najlepsza wartość dla danej cechy, 1 — najgorsza wartość dla danej cechy

*Scoring in 1–9 scale, where 9 — best value for the trait, 1 — worst value for the trait

W tabeli 4 przedstawiono odmiany z wartością AUDPC (powierzchnia pod krzywą rozwoju mączniaka prawdziwego). Odmiany odporne charakteryzowały się niską wartością AUDPC. Zaliczały się do nich: w roku 2008 — Maresi, Ragtime, Jaspis, w roku 2009 — G 478, w roku 2010 — G 375/73, H5/77, A 326/74, G 689/73, H 291/72, H 1485/73, 1766/73, HE 593, HE 607. Odmiany o wysokich wartościach AUDPC charakteryzują się niską odpornością częściową na mączniaka prawdziwego. Podstawowymi cechami rozpoznawczymi odporności częściowej jest powierzchnia pod krzywą rozwoju choroby jak podają Czembor i Gacek (1990). Natomiast w pracach hodowlanych odporność tę należy traktować jak każdą inną cechę ilościową (Gacek, 1990).

Tabela 4

Ocena porażenia mączniakiem prawdziwym odmian jęczmienia jarego wyrażone w wartościach powierzchni pod krzywą rozwoju choroby (AUDPC) (odmiany uszeregowane wg wzrastającej wartości AUDPC)

Scoring of powdery mildew severity in value of Area Under Disease Progress Curve (AUDPC) (varieties are ranked with increasing value of AUDPC)

Lp.	2008	AUDPC	2009	AUDPC	2010	AUDPC
1	2	3	4	5	6	7
1.	Maresi 1	43,5	G 478	90,3	G 375/73	35,7
2.	Ragtime	43,5	G 287/73	122,9	H 5/77	35,7
3.	Maresi 2	43,5	H 5/77	192,2	A 326/74	49,7
4.	Jaspis	92,3	B 1371/73	287,6	G 689/73	76,4
5.	Annasfie	130,7	J 258/73	287,6	H 291/72	76,4
6.	Portia	207,5	Anatolien Hor 1188	331,5	H 1485/73	76,4
7.	Condor	207,5	Hor 1873 Peloponnes	404,4	H 1766/73	76,4
8.	Chapka	223,8	Hor 1643	423,9	HE 593	89,2
9.	Goldie	223,8	Chapka	493,2	HE 607	89,2
10.	I-1980/05	223,8	Samson	493,2	H 260/72	109,3
11.	Gota	262,2	Strengs H 29/3	540,7	Hor 1873 Peloponnes	109,3

c.d. Tabela 4

1	2	3	4	5	66	7
12.	Mie	262,2	HE 106	542,6	France Dea	119,4
13.	Halla	262,2	Bona Heges	585,7	12010/00040	122,1
14.	Orlik	262,2	M 1064/73	585,7	12010/00043	122,1
15.	Patrick	262,2	Mata	702,4	B 1052/73	122,1
16.	Margit	262,2	A 326/74	702,4	Berenice	122,1
17.	Primus	304,7	E 542	702,4	E 638/72	122,1
18.	Edgar	450,1	Aethiopien AB 15 Hor 3007	748,2	C 899/71	178,6
19.	Orja	504,8	Triumph	838,5	A 307/71	185,2
20.	BR-110/43	504,8	B 175/71	974,8	BR 19	185,2
21.	Rubin	504,8	Chevalier II	1453,0	C 1099/73	185,2
22.	Profit	875,0	Hor 1884, Cebada Forrajer	1606,6	H 1683/71	185,2
23.	Samson	913,4	Samson	1990,2	HE 748	185,2
24.	Rambo	913,4	Deawn CI 15475	2016,9	12010/00044	215,4
25.	Caminant	994,2	Babolnai III	2161,2	Ambre	215,4
26.	Krystal	994,2	BG - 105	2345,5	C 1021/72	215,4
27.	Perum	1074,7	K - 126	2345,5	Hebe	215,4
28.	Jull	1130,4	Hor 2476 Estate CI 3410	2491,0	G 287/73	215,4
29.	Viktor (1)	1155,5			B 1710/73	254,5
30.	Halla	1235,9			F 848/71	254,5
31.	Ambeluzos	1316,8			A307/72	284,7
32.	Siri	1316,8			Brigilta	284,7
33.	Viktor (1)	1397,2			Polonez	284,7
34.	040415	1397,2			G 561	284,7
35.	T5	1478,1			AHor 2872/73	318,1
36.	I-1949/05	1614,3			B 27/72	318,1
37.	Pamela	1715,7			C 1138/73	348,2
38.	BAB 88	1732,8			G 565	348,2
39.	0 40427	1932,3			HE 586	348,2
40.	Minnesota 457	2076,5			Amcar	417,5
41.	0 40412	2076,5			B 30/72	417,5
42.	Lovirsa	2176,6			B 229/71	417,5
43.	Heran	2176,6			B 744/72	417,5
44.	Lovilsa	2246,1			B 1471/73	417,5
45.	Indien	2312,8			G 554	417,5
46.	Artturi	2312,8			12010/00039	417,5
47.					G 567	481,1
48.					F 209/73	534,3
49.					HE 106	534,3
50.					Burbanks Nackte	539,7
51.					C 54/71	672,5
52.					Hor 2476 Estate CI 3410	672,5
53.					F 200/73	758,0
54.					G 569	758,0
55.					G 603	758,0
56.					C 1138/73	821,5
57.					Aethiopien AB 15 Hor 3007	896,3
58.					Peshaver	1161,2
					K-126	1161,2

W tabeli 5 przedstawiono na podstawie uzyskanych wyników odmiany jęczmienia jarego posiadające korzystne cechy agronomiczne, które mogą być wykorzystane programach hodowlanych. Wyodrębniono genotypy, które posiadają więcej niż jedną korzystną cechę.

Tabela 5

Odmiany jęczmienia jarego z korzystnymi parametrami cech w latach 2008–2010
The cultivars of spring barley with high scores for the traits in 2008–2010

Lata — Years								
2008			2009			2010		
odmiany z liczbą cech the cultivars with number of traits			odmiany z liczbą cech the cultivars with number of traits			odmiany z liczbą cech the cultivars with number of traits		
2	3	4	2	3	4	2	3	4
9 odmian:	—	—	5 odmian	—	—	7 odmian	2 odmiany	
Chapka (wyl., dł. kł.)			G 287/73 (wyl. mącz.)			12010/00044 (wyl., l. ziaren z kł.)	12010/00040 (wyl., waga z kł., MTZ)	
Samson (L. ziaren, waga z kł.)			G 478 (wyl., mącz.)			A 307/71 (wyl., dł. kł.)	France Dea (wyl., rdza, dł. kłosa)	
Caminant (wyl., rdza)			Babolnai III (rdza, waga z kł.)			Berenice (wyl., waga kł.)		
Maresi (wyl., mącz.)			Hor 1884 (rdza, MTZ)			C 1138/73 (wyl., dł. kł.)		
Primus (wyl., MTZ)			Samson (wyl., l. ziaren z kł.)			G 375/73 (wyl., mącz.)		
Orlik (wyl., rdza)						H 5/77 (wyl., mącz.)		
Patrick (wyl., rdza)						Hor 2476 Estate CI 3410 (wyl., waga z kł.)		
Indien (wyl., rdza)								
Ragtime (wyl., mącz.)								

W roku 2008 wyodrębniono dziewięć odmian, które miały dwie cechy o najwyższych wartościach. Wśród tych odmian: Caminant, Orlik, Patrick, Indien charakteryzowały się dobrą odpornością na wyleganie i rdzę karłową, natomiast odmiany Maresi i Ragtime odpornością na wyleganie i mączniaka prawdziwego, a odmiany Champa, Primus, Samson wysokimi parametrami struktury plonu.

W 2009 roku wyodrębniono pięć odmian, które miały dwie cechy o najwyższych wartościach. Odmiany: G 287/73 i G 478 charakteryzowały się dobrą odpornością na wyleganie i wysoką odpornością na mączniaka. Natomiast odmiany: Babolnai III i Hor 1884 charakteryzowały się odpornością na rdzę karłową i miały najwyższą masę 1000 ziaren lub wagę kłosa.

W roku 2010 wyodrębniono 7 odmian, które miały dwie cechy o najwyższych wartościach i 2 odmiany, które miały trzy cechy o najwyższych wartościach. Odmiany: 12010/00044, A 307/71, Berenice, C 1138/73, Hor 2476, Estate CI 3410 charakteryzowały się dobrą odpornością na wyleganie i wysokim jednym elementem struktury plonu. Natomiast odmiany G 375/73 i H 5/77, oprócz dobrej odporności na wyleganie, miały wysoką odporność na mączniaka prawdziwego. Odmiany 12010/00040 i France Dea miały trzy cechy o najwyższych wartościach.

Na podstawie uzyskanych wyników można wyodrębnić odmiany jęczmienia jarego posiadające korzystne cechy agronomiczne, które mogą być wykorzystane w programach hodowlanych.

WNIOSKI

1. Badane w doświadczeniach polowych w latach 2008–2010 odmiany jęczmienia jarego zgromadzone w Banku Genów okazały się materiałem o dużym zróżnicowaniu pod względem badanych cech agronomicznych.
2. Cechami najsilniej różnicującymi badane odmiany jęczmienia jarego w latach 2008–2010 były: odporność na mączniaka prawdziwego, wysokość roślin, długość kłosa, liczba ziaren w kłosie i masa jednego kłosa.
3. Badane odmiany znacznie różniły się pod względem odporności częściowej na mączniaka prawdziwego, co umożliwiło wyodrębnienie odmian o wysokiej odporności na tego patogena.
4. Przeprowadzona ocena badanego materiału (132 odmiany jęczmienia jarego) pozwoliła na wstępne wyodrębnienie form o pożądanych cechach agronomicznych w celu ewentualnego włączenia ich do programów hodowlanych.

LITERATURA

- Biliński Z. R., Nadziak J., Nowak B. 2000. Ocena wybranych odmian z kolekcji pastewnej jęczmienia jarego. Biul. IHAR 216: 159 — 164.
- Czembor H. J., Gacek E. 1990. Wybrane problemy hodowli odpornościowej zbóż na choroby. Biul. IHAR 173/174: 53 — 64.
- Czembor J. H., Czembor H. J. 2003. Odporność *Mlo* jęczmienia na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*). Cz. III. Trwałość odporności. Biul. IHAR 230: 375 — 386.
- Czembor H.J. 2008. Odporność na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*) odmian jęczmienia włączonych do badań rejestrowych w Polsce w latach 2004–2006. Biul. IHAR 248: 33 — 42.
- Gacek E. 1990. Studia nad sposobami wykorzystania odporności genetycznej jęczmienia w zwalczaniu mączniaka prawdziwego (*Erysiphe graminis* DC f. sp. *hordein* Marchal.). Hod. Rośl. Aklim. 34 (5/6): 3 — 49.
- Gacek E. 2000. Wykorzystanie różnorodności genetycznej roślin w zwalczaniu chorób roślin uprawnych. Postępy Nauk Rolniczych Nr 5: 17 — 25.
- Nadziak J., Biliński Z. R., Nowak B. 2007. Zmienność cech agronomicznych odmian jęczmienia jarego zgromadzonych w Banku Genów. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 517: 495 — 508.
- Nadziak J., Kudła M., Małysa M. 1994. Ocena odmian jęczmienia ozimego zgromadzonych w Banku Genów. Biul. IHAR 192: 39 — 57.
- Nadziak J., Małysa M., Kudła M. 1996. Ocena odmian jęczmienia ozimego zgromadzonych w Banku Genów. Biul. IHAR 197: 97 — 111.
- Nadziak J., Małysa M., Biliński Z. R. 1998. Ocena wybranych odmian jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) zgromadzonych w Banku Genów pod względem odporności na mączniaka prawdziwego (*Erysiphe graminis* f.sp. *hordei*). Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 463: 423 — 435.
- Shaner G., Finney R. E. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. Phytopath. 67: 1051 — 1056.
- Węgrzyn S., Poradzińska J. 1979. Genetyczne aspekty plonowania jęczmienia jarego. Hod. Rośl. Nasien. 23 (2): 99 — 115.

IGA TOMCZYŃSKA**JADWIGA ŚLIWKA**

Pracownia Badania Odporności na Grzyby i Bakterie

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Młochów

Piramidyzacja genów odporności w roślinach uprawnych*

Pyramiding resistance genes in cultivated plants

Intensywna chemiczna ochrona roślin przed chorobami i szkodnikami jest kosztowna, nieobojętna dla środowiska i budzi coraz większy sprzeciw konsumentów. Uzyskiwanie dużego plonu o wysokiej jakości przy jednoczesnym ograniczeniu stosowania pestycydów jest możliwe, jeśli odmiany, oprócz dobrych cech agronomicznych, będą również odporne na patogeny i szkodniki. Ważne jest, aby odporność ta była efektywna i trwała w stosunku do różnych ras/patotypów patogena lub różnych gatunków patogenów lub szkodników. W niniejszej pracy przedstawiono przykłady poprawy odporności odmian kilku roślin uprawnych przez piramidyzację genów *R* oraz *loci* odporności ilościowej (QTL).

Słowa kluczowe: hodowla, MAS, odporność, patogen, szkodnik

Intensive chemical protection of the crops against diseases and pests is expensive, harmful for the environment and raises growing consumers' concerns. Obtaining high yield of a good quality with limited pesticide use would be possible, if plant varieties, apart from possessing good agricultural traits, were resistant. It is important that resistance should be effective and durable against wide spectrum of different races/pathotypes or different pathogen and pest species. In this work examples of improvement to resistance in a few varieties of cultivated plants by pyramiding *R* genes and quantitative resistance loci for resistance (QTL) are presented.

Key words: breeding, MAS, resistance, pathogen, pest

WSTĘP

Hodowla odmian roślin uprawnych odpornych na choroby i szkodniki jest uznawana za wartościową metodę walki z nimi. Jeśli odmiana jest odporna, jej uprawa nie wymaga stosowania chemicznych zabiegów ochronnych, co jest korzystne ze względów ekonomicznych oraz sprzyja ochronie środowiska naturalnego. Największe nakłady pracy w tym wypadku ponosi hodowca. Warunkiem sukcesu nowej odmiany, poza parametrami

* Praca sfinansowana przez NCBiR grant LIDER/06/82/L-1/09/NCBiR/2010.

jakościowymi, które muszą być równie dobre lub lepsze niż popularnych odmian uprawnych, jest, aby cecha odporności była stabilna i trwała.

W 1905 roku Biffen wykazał, że odporność na żółtą rdzę zbóż i traw powodowaną przez *Puccinia striiformis* jest kontrolowana przez jeden gen. W myśl tego odkrycia wiele programów hodowlanych zainicjowanych w początkach XX wieku zakładało, że uzyskanie odpornych odmian będzie prowadziło do całkowitego zwalczenia chorób roślin (Stackman i in., 1918). Wkrótce jednak okazało się, że za odporność na różne rasy patogenów odpowiadają także różne geny gospodarza (McRostie, 1919). Wyjaśnienie tego zjawiska doprowadziło do sformułowania przez Florę hipotezy „gen na gen”, w której autor przedstawił model interakcji pomiędzy patogenem a gospodarzem (Flor, 1956). Do wystąpienia choroby nie dochodzi jedynie wtedy, gdy roślina posiada gen odporności *R* zdolny rozpoznać czynnik awirulencji *Avr* patogena. Jeśli jednak u patogena wystąpi czynnik wirulencji (*avr*), będzie on w stanie porazić roślinę niezależnie czy będzie miała allel *R*, czy nie. Brak allelu *R* będzie skutkować porażeniem rośliny, nawet jeśli patogen posiada czynnik awirulencji (*Avr*).

Reakcja odpornościowa roślin jest kaskadą sygnałów biochemicznych warunkowaną przez geny odporności *R*, która zostaje zapoczątkowana przez białkowy produkt genu *R* wchodzącego bezpośrednio lub pośrednio w interakcję ze specyficznym czynnikiem awirulencji (*Avr*) wyprodukowanym przez patogena. Białka te są zaangażowane w wykrycie wnikaćcych do rośliny bakterii, wirusów, grzybów, nicieni, owadów oraz uruchomienie reakcji odpornościowych, przede wszystkim reakcji nadwrażliwości, czyli programowanej śmierci zainfekowanych komórek i zatrzymania patogena (McHale i in., 2006).

Wyróżnia się dwa typy odporności: monogeniczną oraz poligeniczną. Odporność monogeniczna, warunkowana przez pojedyncze geny (geny *R*), określana jest także terminem pionowej, wertykalnej lub jakościowej. Ten rodzaj odporności jest zwykle specyficzny w stosunku do rasy patogena (Tuzun, 2001; Castro i in., 2003).

Drugim typem odporności jest odporność warunkowana wieloma genami nazywana horyzontalną, ilościową lub poligeniczną. Jest ona efektem interakcji pomiędzy produktami wielu genów roślinnych. Wpływ pojedynczego genu może być bardzo słaby, dopiero suma efektów wielu genów może zapewniać poprawę odporności. Odporność ilościowa zwykle zapewnia jedynie spowolnienie i ograniczenie występowania objawów chorobowych. Poligeniczna odporność jest zwykle uważana za niespecyficzną w stosunku do rasy patogena (Tuzun, 2001; Castro i in., 2003).

Wymienionym typom odporności przypisywana jest różna trwałość. Podczas gdy trwałość odporności warunkowanej pojedynczym genem *R* zależy od tempa ewolucji zaledwie jednego genu patogena — czynnika *Avr*, pokonanie odporności ilościowej wymaga od patogena zmian interakcji z wieloma białkami rośliny. Pojedyncza mutacja w genie *Avr* patogena powodująca zmianę tego genu prowadzącą do przełamania monogenicznej odporności rośliny jest wysoce prawdopodobna. W przeciwieństwie do pojedynczej mutacji, równoczesne zmiany wielu genów patogena komplementarnych do wielu różnych genów sumujących się w odporności poziomej są zjawiskiem mało prawdopodobnym. W związku z tym odporność ilościowa jest uważana za trwalszą.

Nietrwałość odporności typu „gen na gen” jest powszechnie znana i istnieją sytuacje, kiedy to wirulencja patogena zmieniała się szybciej, niż hodowcy byli w stanie tworzyć nowe odmiany z kolejnym pojedynczym genem odporności (Castro i in., 2003). Wzrost powierzchni upraw nowej odmiany z odpornością monogeniczną powoduje większą presję selekcyjną na populację patogena, która faworyzuje osobniki posiadające allel nie rozpoznawany przez gen *R*.

W przypadku odporności ilościowej problem stanowi fakt, iż korzystny układ wielu alleli leżących u jej podłoża zmienia się wskutek rekombinacji w kolejnym pokoleniu. Ekspresja odporności ilościowej podlega silnym wpływom środowiska, a więc hodowla roślin cechujących się taką odpornością wymaga obszernych i kosztownych testów polowych, co na etapie selekcji czyni program hodowlany trudniejszym (Castro i in., 2003). Obiecującym sposobem wykorzystania genów *R*, który daje nadzieję na zwiększenie spektrum działania i trwałości uzyskanej odporności, jest ich łączenie, czyli piramidyzacja.

Model teoretyczny tworzenia piramid genowych zakłada, że prawdopodobieństwo pasującej kombinacji wirulencji w populacji patogena zmniejsza się proporcjonalnie do liczby nieprzełamanych genów *R* użytych w piramidzie. Jest to jednak założenie czysto teoretyczne. Nie udowodniono jasnego powiązania pomiędzy liczbą genów odporności w odmianie, a trwałością odporności. Przykładem mogą być odmiany pszenicy zawierające piramidę genów odporności na rdzę żdźbłową *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, w których spiramidyzowane geny nie zapewniły trwałej odporności (Mundt, 1990, 1991; Pink, 2002).

Porównanie trwałości genów *R* występujących pojedynczo i w piramidzie genowej nie jest kwestią jednoznaczną. Aby zapewnić maksymalną trwałość genów *R* ważne jest, aby rośliny z pojedynczymi i spiramidyzowanymi genami *R* nie były uprawiane równocześnie. Rośliny posiadające pojedynczy gen mogą stanowić w tym wypadku dla patogena ułatwienie, dzięki któremu będzie mógł stopniowo ewoluować zmieniając kolejne geny *Avr* i zyskując zdolność do infekcji odmiany zawierającej spiramidyzowane geny (Pink, 2002; Tan i in., 2010).

UŻYCIE MAS

MAS (Marker-Assisted Selection) jest to rodzaj selekcji, która odbywa się w oparciu o genotyp, a nie, jak w przypadku tradycyjnej selekcji, o fenotyp. W porównaniu z selekcją fenotypową metoda ta ma następujące zalety: szybciej otrzymuje się wyniki oraz są one niezależne od wpływów środowiska. Selekcja przy pomocy markerów molekularnych pozwala na wykrycie obecności genu w roślinach oraz łączenie kilku genów lub QTL w jednej roślinie.

MAS jest metodą szczególnie przydatną w hodowli odpornościowej. W sytuacji, kiedy obecność jednego efektywnego genu *R* zapewnia roślinie pełną odporność, odróżnienie takiej rośliny od roślin zawierających spiramidyzowane geny *R* bądź QTL na poziomie fenotypowym jest często niemożliwe. Jedynym rozwiązaniem pozostaje wtedy MAS. Obecność markerów sprzężonych z docelowymi allelami pozwala na określenie czy roślina posiada interesującą nas cechę.

Aby metoda MAS była skuteczna, częstość rekombinacji pomiędzy genem docelowym a markerem musi być możliwie jak najmniejsza. Im odległość ta będzie mniejsza, tym mniej osobników będzie błędnie sklasyfikowanych. Przykładem może być selekcja linii soczewicy odpornych na antraknozę. Użyty do selekcji marker RAPD OPO6₁₂₅₀ znajdujący się w odległości 6,5 cM od genu głównego dał niezadowalające wyniki. Z 72 linii odpornych tylko 11 posiadało marker, z kolei wśród 84 podatnych linii 66 miało marker obecny. Uznano, że do przeprowadzenia miarodajnej selekcji maksymalna odległość między markerem a genem powinna wynosić mniej niż 5cM (Tar'an i in., 2003). Zdarza się jednak, że używa się markera położonego w większej odległości, a więc tym samym akceptuje się odsetek osobników błędnie sklasyfikowanych, jak miało to miejsce w przypadku markera GP94 oddalonego o 6,7 cM od genu *Rpi-phu1*, który warunkuje odporność ziemniaka na *Phytophthora infestans* (Śliwka i in., 2010) lub markera RZ536 zlokalizowanego w odległości 7,9 cM od genu *Pil* warunkującego odporność ryżu na grzyba *Magnaporthe grisea* (Hittalmani i in., 2000).

ŁĄCZENIE GENÓW *R* W CELU UZYSKANIA WYŻSZEGO POZIOMU LUB ZWIĘKSZONEJ TRWAŁOŚCI ODPORNOŚCI

Jest to symultaniczne użycie kilku genów *R* w tej samej odmianie uprawnej. Założenie, że hodowcy kiedykolwiek tworzyli odmiany wyłącznie z jednym genem odporności jest pewnym uproszczeniem. W wielu przypadkach, ponieważ hodowcy wprowadzali nowy gen odporności do już istniejących odmian, dodawali nowy gen do innych, już przełamanych genów *R*, tworząc w ten sposób piramidę genową.

Przykładem mogą być programy hodowlane prowadzone w Holandii do lat 70 XX w. dążące do uzyskania odporności na mączniaka rzekomego sałaty powodowanego przez *Bremia lactucae*. Wiele z wyhodowanych wtedy odmian posiadało piramidę nawet trzech genów *R* (Pink, 2002).

Strategię tę wykorzystała także Osiecka (1988) w hodowli ziemniaków odpornych na zarazę ziemniaka. W toku krzyżowań *S. microdontum* × *S. phureja* oraz *S. stenotomum* × *S. phureja* uzyskała mieszańce o wysokim poziomie odporności pochodzącej z dwóch różnych źródeł. Jako narzędzie selekcji wykorzystano ocenę odporności poprzez zastosowanie materiału infekcyjnego, na który składała się mieszanina ras *Phytophthora infestans* o znanych profilach wirulencji. Zaobserwowano także efekt komplementarnego działania genów odporności w materiałach pochodzących od *S. verrucosum*. Jedna z form potomnych wykazała reakcję odporności bulw na poziomie 8, podczas gdy formy rodzicielskie były na zarazę ziemniaka podatne, ich ocena odporności wynosiła 1–2 (Osiecka, 1988).

Jednoczesne wprowadzanie więcej niż jednego efektywnego genu *R* za pomocą konwencjonalnych metod hodowli było stosowane, jednak bez możliwości potwierdzenia jednoczesnej obecności wprowadzanych genów. Z powodu epistatycznego efektu działania genów nie było możliwe rozróżnienie fenotypowe pomiędzy roślinami odpornymi mającymi jeden lub więcej genów *R*. W konsekwencji hodowcy tworzyli piramidy genów *R*, dla których pasująca specyficzna wirulencja była już obecna w populacji patogena (to

zapewniało możliwość diagnozy przy pomocy różnych izolatów dla każdego komponentu w piramidzie genów). Trwałość odporności w takim wypadku była uzależniona od czasu, jaki patogen potrzebował do mutacji lub rekombinacji generującej odpowiednią kombinację czynników wirulencji oraz czasu w jakim nowy patotyp ustabilizował się w populacji (Pink, 2002).

Trwałość odporności bezpośrednio zależy od biologii patogena. Jeśli jest to patogen glebowy, który ma ograniczoną możliwość rozprzestrzeniania się, piramida z genów *R*, dla których spotykane są kompatybilne izolaty patogena, wykaże większą trwałość, niż w przypadku, kiedy piramida będzie stworzona w celu ochrony przed łatwo szerzącym się patogenem liściowym, takim jak rdze i mączniaki (Pink, 2002). Do patogenów takich zalicza się także *P. infestans*, sprawca zarazy ziemniaka. Odmiana Pentlant Dell, w kilka lat po tym, jak zaczęto ją uprawiać komercyjnie, stała się podatna na zarazę ziemniaka, mimo iż miała piramidę złożoną z trzech genów odporności: *R1*, *R2* i *R3* (Malcolmson, 1969).

Strategia piramidyzacji wydaje się być szczególnie przydatna, kiedy pojedyncze geny nie zapewniają pełnej odporności rośliny. Przykładem takiego podejścia jest piramidyzacja genów odporności na *P. infestans* *R_{pi-ber}* i *R_{pi-mcd1}* w ziemniaku jadalnym. Jeśli w roślinie geny znajdowały się pojedynczo, gen *R_{pi-ber}* wykazywał silniejszy efekt jednostkowy a *R_{pi-mcd1}* słabszy. Oczekiwano, że genotyp zawierający piramidę obu genów będzie wykazywał pełny, lub chociaż zwiększony stopień odporności w porównaniu z genotypem zawierającym jeden gen. Aby wyselekcjonować rośliny zawierające obydwa geny posłużono się markerami Q133, CT214 i TG63, które znajdowały się kolejno w odległości 6,4, 5,1 i 1,3 cM od *R_{pi-ber}* oraz markerem TG339 wykazującym sprzężenie z *R_{pi-mcd1}*. Efektem piramidyzacji, w porównaniu do roślin zawierających tylko gen *R_{pi-ber}* było opóźnienie infekcji o kilka dni. Mimo nieznacznego zwiększenia stopnia odporności oraz braku znaczących korzyści ekonomicznych, zabieg ten może przyczyniać się do zwiększenia trwałości odporności (Tan i in., 2010).

Zdarza się jednak, że mimo obecności dodatkowego genu w roślinie, nie obserwuje się spodziewanego addytywnego efektu. Przykładem mogą być badania Sharmy i in. (2004). Efektem piramidyzacji genów odporności na pluskwiaka różnoskrzydłego *Nilaparvata lugens* *Bph1* i *Bph2* na chromosomie XII ryżu był taki sam stopień odporności linii zawierających geny spiramidyzowane jak linii zawierających tylko gen *Bph1*. Prawdopodobną przyczyną takiego wyniku jest fakt, iż na przełomie lat 70 i 80 XX w. wraz z pojawieniem się nowych agresywnych biotypów szkodnika, oba geny zostały przełamane, a więc pod względem praktycznym nie są już użyteczne dla hodowli.

Brak oczekiwanych wyników przyniosły także badania Tan i współpracowników (2009) nad piramidyzacją genów odporności na *Meloidogyne hapla* w ziemniaku. Pojedynczy gen *R_{Mh-chcA}* zmniejszał ilość znajdowanych jaj szkodnika o ok. 88% w stosunku do kontroli nie zawierającej żadnego genu odporności, a linia zawierająca gen *R_{Mh-tar}* redukowała ilość jaj o 55%. Połączenie obu genów nie wpłynęło na liczbę składanych jaj w stopniu istotnie statystycznie większym, niż robił to pojedynczy gen *R_{Mh-chcA}*. Powodem braku addytywnego efektu genu były prawdopodobnie błędy popełnione podczas selekcji. Odległość pomiędzy genem *R_{Mh-tar}* a sprzężonym z nim markerem użytym

do selekcji wynosiła 17 cM, a to z kolei powodowało niewłaściwe zakwalifikowanie osobników: te, które miały marker mogły nie posiadać genu a te które były odporne i posiadały gen mogły nie posiadać markera. Do selekcji fenotypowej użyto innych populacji nicieni, niż do mapowania genów. Autorzy zwracają uwagę na niedobór informacji o tych populacjach pod względem charakterystyki alleli wirulencji oraz domieszkach gatunków *M. chitwoodi* i *M. fallax* do populacji *M. hapla*. Konsekwencją tego mogą być różnice w określeniu zakresu efektu genu. W zależności od składu użytej populacji różnicującej *R_{Mh-tar}* może być zakwalifikowany jako QTL charakteryzujący się różną siłą lub nawet pojedynczy gen *R* o efekcie całkowitym.

UZYSKIWANIE WYŻSZEGO POZIOMU LUB ZWIĘKSZONEJ TRWAŁOŚCI ODPORNOŚCI PRZEZ ŁĄCZENIE WIELU GENÓW O MAŁYM EFEKCIE JEDNOSTKOWYM

Mimo, iż genetyczne podłoże oraz mechanizmy działania odporności ilościowej nie są do końca poznane, w celu uzyskania roślin o bardziej wartościowej odporności podejmuje się próby połączenia QTL. Obiecujące wyniki pod tym względem uzyskał Richardson i współpracownicy (2006). Obiektem badań był jęczmień infekowany przez rdzę *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*. Chcąc określić stopień odporności poszczególnych kombinacji zastosowano ocenę czterech parametrów: opóźnienie infekcji w stosunku do czasu inokulacji, skuteczność infekcji, rozmiar porażonej tkanki roślinnej oraz gęstość punktów zarodnikowania. Linie zawierające pojedyncze QTL wykazywały lepszą odporność pod względem wszystkich ocenianych parametrów niż posiadał podatny rodzic, przy czym zaobserwowano znaczące różnice pomiędzy siłą wpływu na cechę przez allele odporności pochodzące z różnych QTL. Najsilniejszy efekt wykazywał QTL 4H, kolejno 1H i 5H. Piramidyzacja tych trzech QTL prowadziła do uzyskania wyższego stopnia odporności pod względem wszystkich ocenianych parametrów z wyjątkiem opóźnienia infekcji. Sprawdzenie obecności poszczególnych QTL przeprowadzono metodą MAS za pomocą markerów SSR. Problemem, na jaki zwrócili uwagę autorzy był fakt, iż wprowadzenie tych samych QTL do różnych linii hodowlanych nie zawsze zapewniało taki sam stopień odporności. Nawet najwyższy stopień odporności, który warunkowała kombinacja połączonych QTL nie był równy poziomowi, jaki dawał gen główny odporności leżący na chromosomie 7H, który warunkował odporność skrajną.

Piramidyzacja QTL daje również nadzieje na wyhodowanie roślin kukurydzy, w których nie dochodziłoby do kumulacji aflatoksyn. Zanieczyszczenie ziaren tymi mykotoksynami może być zmniejszone poprzez połączenie QTL odporności na szkodniki uszkadzające kolby, które tworzą wrota dla infekcji oraz QTL zaangażowanych bezpośrednio w reakcję odporności na infekcję grzyba *Aspergillus flavus*. Wyniki sugerują epistatyczny efekt kombinacji QTL *umc176+csu3*. Bardziej szczegółowe zmapowanie chromosomów 1S i 2L, gdzie są położone QTL odporności jest niezbędne do ich precyzyjnego zlokalizowania i późniejszej selekcji roślin przy pomocy markerów (Widstrom i in., 2003).

PIRAMIDYZACJA GENÓW ODPORNOŚCI ILOŚCIOWEJ I JAKOŚCIOWEJ

Połączenie obu typów odporności (ilościowej i jakościowej) daje możliwość uzyskania wysokiej odporności warunkowanej genami głównymi a jednocześnie, dzięki licznym QTL, odporności trwałej. Dwa rodzaje odporności uzupełniając się wzajemnie mogą zmniejszyć prawdopodobieństwo wyselekcjonowania izolatów patogena zdolnych do infekcji i zapobiec powstaniu rasy zdolnej przełamać obydwa źródła. Nawet w sytuacji kiedy patogen przełamie odporność jakościową, odporność ilościowa wciąż będzie chronić roślinę przed infekcją (Hittalmani i in., 2000; Castro i in., 2003).

Badania nad współdziałaniem genów głównych i QTL prowadzili Castro i współpracownicy (2003). Chcąc uzyskać rośliny jęczmienia odporne na rdzę żółtą (*Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*) wyhodowano rośliny zawierające różne połączenia genów: głównego R_{psx} oraz QTL: QTL4, QTL4B, QTL4C, QTL5 i QTL7. Efekt genów odporności ilościowej był obserwowany jedynie w kombinacjach, które nie zawierały genu R_{psx} . Rezultat taki nie był zaskoczeniem, ponieważ geny odporności jakościowej maskują efekt QTL, a więc ograniczają przydatność selekcji fenotypowej. Aby prześledzić obecność poszczególnych komponentów piramidy zastosowano MAS. Metoda ta umożliwiła identyfikację osobników mających gen R_{psx} zlokalizowany na chromosomie 7H pomiędzy dwoma markerami RFLP: Ris44 i ABG461. Analiza statystyczna potwierdziła, że na ekspresję odporności w roślinach o spiramidyzowanych genach największy wpływ miał gen główny R_{psx} oraz kolejno wszystkie QTL z wyjątkiem QTL7, dla którego nie wykazano znaczącego wpływu na efekt całościowy. Przydatność takiej piramidy może być oceniana wyłącznie za pomocą rasy patogena, która byłaby w stanie porazić gen R_{psx} . Test taki nie jest możliwy do wykonania, ponieważ w Ameryce Północnej nie zanotowano przypadku przełamania tego genu (Castro i in., 2003).

ZWIELOKROTNIE NIE TYCH SAMYCH ALLELI

Zwielokrotnienie tych samych alleli powoduje zwiększenie stopnia odporności, jeśli ekspresja pojedynczej kopii genu odporności jest niewystarczająca, aby wygenerować skuteczną reakcję obronną. Zjawisko to wykorzystano w hodowli pszenicy. Gen *Ao*, który posiadała odmiana Sinvaloch MA, zapewniał odporność na izolat 66 rdzy brunatnej (*Puccinia recondita*). Odporność została jednak przełamana. Z izolatu 66 na skutek mutacji powstał nowy, F-05, który był w stanie przełamać *Ao*. Dopiero uzyskanie tetrasomicznych roślin pszenicy o czterech kopiach genu *Ao* gwarantowało brak porażenia przez izolat F-05 (Tranquilli i in., 1997).

Toxopeus (1957) porównując genotypy ziemniaka zawierające dupleks i tripleks genu *R3* (gen warunkujący odporność na *P. infestans*) z genotypami zawierającymi pojedynczą kopię *R3* nie zaobserwował addytywnego efektu. Brak efektu przy zwielokrotnieniu tego samego allelu zaobserwowano również w badaniach z genem *H1* odporności ziemniaka na mątwika ziemniaczanego (*Globodera rostochiensis*), kiedy liczba znajdowanych cyst była taka sama, zarówno na genotypach zawierających simpleks, jak i wiele kopii genu *H1* (Brodie i Plaisted, 1992). Formy o zwiększonej liczbie kopii danego allelu gwarantują

natomiast zwiększoną frekwencję form odpornych w potomstwie, co jest wykorzystywane w hodowli (Świeżyński, 1988).

UZYSKIWANIE ODPORNOŚCI O SZEROKIM SPEKTRUM NA RÓŻNE RASY/PATOTYPY PATOGENA

Przykładem zastosowania tej strategii mogą być badania nad odpornością soi na szczepy wirusa mozaiki soi (SMV) (Shi, 2009). Znane były piramidy dwugenowe; *Rsv1Rsv3*, *Rsv1Rsv4* lub *Rsv3Rsv4*, co gwarantowało pełną odporność na szczepy wirusa G₁-G₇, jednak uzyskane linie zawierające trzy geny odporności w stanie homozygotycznym (*Rsv1Rsv1Rsv3Rsv3Rsv4Rsv4*) cechowały się dodatkowo szerszym spektrum odporności na SMV. Rośliny z genem *Rsv1* są odporne na szczepy G₁-G₆, ale nie na G₇, natomiast te mające gen *Rsv3* nie są porażane przez szczepy G₅-G₇, ale są podatne na szczepy G₁-G₄. Gen *Rsv4* zapewnia odporność w stadium siewki, a w późniejszych stadiach spowalnia pojawienie się objawów choroby.

Innym przykładem może być piramidyżacja trzech genów odporności na bakteryjną chorobę ryżu powodowaną przez *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. Współdziałanie genów *Xa21*, *xa5* i *xa13* zapewniło wysoki stopień odporności na 17 izolatów pochodzących z rejonu Pendżabu i 6 szczepów pochodzących z Filipin. Najbardziej efektywnym genem okazał się *Xa21*. Jedynie izolat PX04 był zdolny do przełamania odporności, którą warunkował ten gen. Kiedy jednak rośliny posiadały piramidę trzech genów odporności, izolat nie powodował porażenia (Singh i in., 2001).

Przedmiotem badań była również odporność ryżu na plamicę powodowaną przez grzyba *Magnaporthe grisea*. Aby uzyskać pożądane cechy wyhodowano linie mające różne zestawienia genów *Pil*, *Piz-5* i *Pita*. Selekcję fenotypową roślin przeprowadzono za pomocą sześciu izolatów: IK81-25, C9232-5 (zdolne do infekcji roślin z genem *Pil*), C9240-2, C9240-5 (zdolne do infekcji roślin z genem *Piz-5*) oraz V86010 i P06-06 (zdolne do infekcji roślin z genem *Pita*). Poszczególne z wymienionych izolatów były zdolne porazić roślinę z pojedynczym genem odporności, nie były jednak w stanie w warunkach laboratoryjnych całkowicie porazić linii o spiramidyzowanych genach. W testach polowych linie o spiramidyzowanych genach wykazywały całkowitą odporność. Wskazuje to na istnienie efektu komplementarności dwóch nieallelicznych genów znajdujących się w jednej roślinie. Z testowanych dwu i trzygenowych piramid najbardziej odporne okazały się kombinacje zawierające geny *Pil+Piz-5* i *Pil+Piz-5+Pita*. W testach polowych były odporne w jednakowym stopniu, co rośliny zawierające tylko gen *Piz-5*. Mimo, że geny spiramidyzowane nie warunkują odporności o wyższym stopniu, niż pojedynczy gen *Piz-5*, piramida może zmniejszyć presję selekcyjną na patogena, a więc może zapewnić większą trwałość odporności odmiany (Hittalmani i in., 2000).

ŁĄCZENIE ODPORNOŚCI NA RÓŻNE GATUNKI PATOGENÓW I SZKODNIKÓW W JEDNEJ ODMIANIE

Najbardziej ekonomicznym i efektywnym rozwiązaniem jest wprowadzenie do jednej odmiany uprawnej genów odporności na wiele różnych chorób i patogenów. Łączenie

takiej odporności jest od dziesięcioleci podstawą postępu hodowlanego. W oparciu o selekcję fenotypową w latach 1985–1990 w Zakładzie Genetyki i Syntezy Materiałów Wyjściowych Instytutu Ziemniaka o. Młochów wyprowadzono 10 rodów ziemniaka, które cechowała jednoczesna odporność na wirusy X, Y i S ziemniaka, mątwika *Globodera rostochiensis* (patotyp Ro1) oraz odporność części nadziemnej i bulw na *P. infestans* (Sieczka i Pakosińska, 1991). Co ważne, odporność na *P. infestans* w tych materiałach determinowana była genami innymi niż te, które miały istniejące wtedy odmiany krajowe i zagraniczne. Podczas gdy w ówczesnych odmianach wyróżniano tylko geny *R1*, *R2*, *R3*, *R4* i *R10*, wyselekcjonowane rody nie ulegały infekcji po zakażeniu inokulum zdolnym porazić komercyjne odmiany (Sieczka i Pakosińska, 1991). Równocześnie prowadzono prace nad uzyskaniem form o jednoczesnej odporności na wirusy Y, M, S, X i liściozwoju ziemniaka (Domański i in., 1991).

Przedmiotem badań było otrzymanie roślin ziemniaka odpornych na wirusy PVY i PVX, mątwika ziemniaczanego (*Globodera rostochiensis*) oraz raka ziemniaka powodowanego przez *Synchytrium endobioticum*. Uzyskano rośliny zawierające jednocześnie gen *Ry^{adg}* warunkujący odporność na PVY, gen *Gro1* warunkujący odporność na mątwika ziemniaczanego, gen *Rx1* odpowiadający za odporność na PVX oraz gen *Sen1* odpowiadający za odporność na raka ziemniaka. Za pomocą markerów sprzężonych z wymienionymi genami wyselekcjonowano rośliny o wysokiej odporności na wszystkie wymienione patogeny (Gebhardt i in., 2006).

WYKORZYSTANIE TRANSGENEZY

Próby uzyskania transgeniczných roślin posiadających geny odporności na różne szkodniki i patogeny, a dodatkowo także tolerancję na herbicyd podjęli Wei i współpracownicy (2008). W toku badań uzyskał transgeniczną linię ryżu T7773-1 zawierającą gen *cry1Ab* (warunkujący odporność na szkodnika *Chilo suppressalis* (*Lepidoptera*), dzięki obecności toksyny z *Bacillus thuringiensis*, *Bt* i gen *bar*, dzięki czemu rośliny były tolerancyjne na herbicyd Basta oraz linię T773-2, która zawierała gen *Xa21* warunkujący odporność na bakteryjną zarazę ryżu. W wyniku krzyżowań otrzymano 50 odpornych roślin pokolenia F₄ zawierających wszystkie trzy geny oraz wykazujących dobre cechy agronomiczne. Rośliny zawierające białko Bt wykazywały silną odporność na szkodnika- stopień uszkodzeń był bardzo niski — poniżej 1% w warunkach polowych, natomiast u kontrolnych roślin ryżu bez transgeny stopień uszkodzeń wynosił ponad 50%. W teście biologicznym po infekcji siedmioma szczepami *X. oryzae* pv. *oryzae* różne rośliny z linii wyposażonych we wszystkie trzy geny wykazywały różne stopnie infekcji, jednak także w tym przypadku powierzchnia uszkodzeń była mniejsza niż w kontroli.

Strategia otrzymywania roślin ryżu odpornego na różne choroby i patogeny została również opisana przez Datta i współpracowników (2002). Do roślin ryżu wprowadzono gen *Xa21* (odporność na *X. oryzae* pv. *oryzae*), gen *Bt* (odporność na motyla *Scirpophaga incertula*) oraz gen *RC7* (odporność na otoczkową zarazę ryżu wywołowaną przez *Rhizoctonia solani*) uzyskując w ten sposób pożądane parametry odporności.

Programy hodowlane dążące do uzyskania odmiany odpornej na różne choroby prowadzono także na jabłoni. W toku badań uzyskano odmianę Ariwa, która cechuje się odpornością na parcha jabłoni powodowanego przez *Venturia inaequalis* oraz mączniaka powodowanego przez *Podosphaera leucotricha*. Wadą tej odmiany jest jednak podatność na zarazę ogniową oraz raka bakteryjnego, w związku z czym kontynuuje się badania nad uzyskaniem odmiany o większej przydatności. Otrzymane 18 roślin zawierających geny *Vf*, *Vh2*, *Vh4*, warunkujących odporność na parcha jabłoni oraz gen *P12* odpowiadający za odporność na mączniaka jabłoni, zakwalifikowano jako materiał wyjściowy do tworzenia nowych odmian (Kellerhals i in., 2009). Przeprowadzono również piramidyzację genów odporności na szkodniki nikli indyjskiej *Melanagromyza obtusa* i *Heliothis armigera* (Tar'an i in., 2003 za Verulkar i in., 1997).

Opisane przykłady piramidyzowania genów i QTL odporności z wykorzystaniem MAS u szerokiej gamy roślin uprawnych jednoliściennych i dwuliściennych świadczą o wysokim potencjale tej strategii. Przy jej zastosowaniu osiągnięto zwiększenie poziomu odporności, rozszerzenie spektrum odporności o różne rasy tego samego patogena, a także kumulację odporności na różne patogeny i szkodniki w jednej linii hodowlanej. Dyskusyjne i trudne w ocenie pozostaje zwiększanie trwałości odporności przez piramidyzowanie genów *R* i/lub QTL, choć leżący u jego podstaw model teoretyczny wydaje się być oparty na solidnych argumentach. Zastosowanie markerów molekularnych do selekcji form odpornych może istotnie usprawnić konstrukcję piramid genowych, zwłaszcza z udziałem genów o efekcie epistatycznym, uniemożliwiającym wykrycie innych składników piramidy na poziomie fenotypu.

LITERATURA

- Biffen R. H. 1905. Mendel's laws of inheritance and wheat breeding. J. Agric. Sci. 1: 4 — 48.
- Brodie B. B., Plaisted R. L. 1992. Effect of *H1* gene dosage on the development of *Globodera rostochiensis* in potato. J. Nematol. 24: 584.
- Castro A. J., Capettini F., Corey A. E., Filichkina T., Hayes P. M., Kleinhofs A., Kudrna D., Richardson K., Sandoval-Islas S., Rossi C., Vivar H. 2003. Mapping and pyramiding of qualitative and quantitative resistance to stripe rust in barley. Theor. Appl. Genet. 107: 922 — 930.
- Datta K., Baisakh N., Maung Thet K., Tu J., Datta S. K. 2002. Pyramiding transgenes for multiple resistance in rice against bacterial blight, yellow stem borer and sheath blight. Theor. Appl. Genet. 106: 1 — 8.
- Domański L., Domańska M., Zielińska B. 1991. Eksperymentalna hodowla ziemniaków odpornych na wirusy przy wykorzystaniu materiałów wyjściowych z Instytutu Ziemniaka. Synteza materiałów wyjściowych dla hodowli ziemniaka — dorobek i perspektywa: materiały z konferencji zorganizowanej przez Zakład Genetyki i Syntezy Materiałów Wyjściowych Instytutu Ziemniaka 20–21 lutego 1991 r., Bonin: 50 — 57.
- Flor H. H. 1956. The complementary genetic systems in flax and flax rust. Adv. Genet. 8: 29 — 54.
- Gebhardt C., Bellin D., Henselewski H., Lehmann W., Schwarzfischer J., Valkonen J. P. 2006. Marker-assisted combination of major genes for pathogen resistance in potato. Theor. Appl. Genet. 112: 1458 — 1464.
- Hittalmani S., Parco A., Mew T. V., Zeigler R. S., Huang N. 2000. Fine mapping and DNA marker-assisted pyramiding of the three major genes for blast resistance in rice. Theor. Appl. Genet. 100: 1121 — 112.
- Kellerhals M., Székely T., Sauer C., Frey J. E., Patocchi A. 2009. Pyramidisieren von Schorfresistenzen in der Apfelzüchtung. Erwerbs-Obstbau 51: 21 — 28.
- Kryczyński S. 2005. Podstawy fitopatologii. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa: 218 — 219.
- Malcolmson J. F. 1969. Races of *Phytophthora infestans* occurring in Great Britain. Trans. Br. Mycol. Soc. 53: 417 — 423.

- McHale L., Tan X., Koehl P., Michelmore R. W. 2006. Plant NBS-LRR proteins: adaptable guards. *Genome Biology* 7: 212.
- McRostie G. P. 1919. Inheritance of anthracnose resistance as indicated by a cross between a resistant and a susceptible bean. *Phytopathology* 9: 139 — 148.
- Mundt C. C. 1990. Probability of mutation to multiple virulence and durability of resistance gene pyramids. *Phytopathology* 80: 221 — 22.
- Mundt C. C. 1991. Probability of mutation to multiple virulence and durability of resistance gene pyramids: further comments. *Phytopathology* 81: 240 — 242.
- Osiecka M. 1988. Postępy syntezy ziemniaków diploidalnych odpornych na zarazę ziemniaka (*Phytophthora infestans*) w latach 1980–1984. Genetyczne podstawy hodowli ziemniaka: materiały z konferencji zorganizowanej przez Zakład Genetyki i Syntezy Materiałów Wyjściowych Instytutu Ziemniaka 26–27 lutego 1985 r., Bonin: 47 — 57.
- Pink A. C. D. 2002. Strategies using genes for non-durable disease resistance. *Euphytica* 124: 227 — 236.
- Richardson K. L., Vales M. I., Kling J. G., Mundt C. C., Hayes P. M. 2006. Pyramiding and dissecting disease resistance QTL to barley stripe rust. *Theor. Appl. Genet.* 113: 485 — 495.
- Sharma P. N., Torii A., Takumi S., Mori N., Nakamura C. 2004. Marker-assisted pyramiding of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stal) resistance genes *Bph1* and *Bph2* on rice chromosome 12. *Hereditas* 140: 61 — 69.
- Shi A., Chen P., Li D., Zheng C., Zhang B., Hou A. 2009. Pyramiding multiple genes for resistance to soybean mosaic virus in soybean using molecular markers. *Mol. Breed.* 23: 113 — 124.
- Sieczka M., Pakosińska M. 1991. Synteza materiałów wyjściowych dla hodowli ziemniaków odpornych na wirusy i grzyby *Phytophthora infestans*. Synteza materiałów wyjściowych dla hodowli ziemniaka- dorobek i perspektywa: materiały z konferencji zorganizowanej przez Zakład Genetyki i Syntezy Materiałów Wyjściowych Instytutu Ziemniaka 20–21 lutego 1991r., Bonin: 28 — 40.
- 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.
- Stackman E. C., Parker J. H., Piemeisel F. J. 1918. Can biologic forms of stem rust on wheat change rapidly enough to interfere with breeding for rust resistance? *J. Agric. Res.* 14: 111 — 123.
- Śliwka J., Jakuczun H., Kamiński P., Zimnoch-Guzowska E. 2010. Marker-assisted selection of diploid and tetraploid potatoes carrying *Rpi-phu1*, a major gene for resistance to *Phytophthora infestans*. *J. Appl. Genet.* 51: 133 — 140.
- Świeżyński K. M. 1988. Synteza materiałów wyjściowych dla hodowli ziemniaka w latach 1980 — 1984. Genetyczne podstawy hodowli ziemniaka: Materiały z konferencji zorganizowanej przez Zakład Genetyki i Syntezy Materiałów Wyjściowych Instytutu Ziemniaka 26–27 lutego 1985 r., Bonin: 9 — 18.
- Tan M. Y. A., Alles R., Hutten R. C. B., Visser R. G. F., van Eck H. J. 2009. Pyramiding of *Meloidogyne hapla* resistance genes in potato does not result in an increase of resistance. *Potato Res.* 52: 331 — 340.
- Tan M. Y. A., Hutten R. C. B., Visser R. G. F., van Eck H. J. 2010. The effect of pyramiding *Phytophthora infestans* resistance genes *Rpi-mcd1* and *Rpi-ber* in potato. *Theor. Appl. Genet.* 121: 117 — 125.
- Tar'an B., Buchwaldt L., Tullu A., Banniza S., Warkentin T. D., Vandenberg A. 2003. Using molecular markers to pyramid genes for resistance to ascochyta blight and anthracnose in lentil (*Lens culinaris* Medik). *Euphytica* 134: 223 — 230.
- Toxopeus H. J. 1957. On the influence of extra *R*-genes on the resistance of the potato to the corresponding p-races of *Phytophthora infestans*. *Euphytica* 6: 106 — 11.
- Tranquilli G. E., Suarez E. Y., Saione H., Sacco F., Tozzini A. 1997. Effect of host allelic dosage on *Triticum aestivum* — *Puccinia recondita* specific interaction. *Plant Breeding* 116: 98 — 100.
- Tuzun S. 2001. The relationship between pathogen-induced systemic resistance (ISR) and multigenic (horizontal) resistance in plants. *Eur. J. Plant Pathol.* 107: 85 — 93.
- Wei Y., Yao F., Zhu C., Jiang M., Li G., Song Y., Wen F. 2008. Breeding of transgenic rice restorer line for multiple resistance against bacterial blight, striped stem borer and herbicide. *Euphytica* 163: 177 — 184.

- Werner K., Friedt W., Ordon F. 2007. Localisation and combination of resistance genes against soil-borne viruses of barley (BaMMV, BaYMV) using doubled haploids and molecular markers. *Euphytica* 158: 323 — 329.
- Widstrom N. W., Butron A., Guo B. Z., Wilson D. M., Snook M. E., Cleveland T.E., Lynch R.E. 2003. Control of preharvest aflatoxin contamination in maize by pyramiding QTL involved in resistance to ear-feeding insects and invasion by *Aspergillus* spp. *Europ. J. Agronomy* 19: 563 — 572.

PODZIĘKOWANIA

Autorzy dziękują prof. Ewie Zimnoch-Guzowskiej za cenne uwagi na temat manuskryptu.

MARIUSZ ŚWIĄTEK**JADWIGA ŚLIWKA**

Pracownia Badania Odporności na Grzyby i Bakterie

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Młochowie

Przegląd badań nad regulacją ekspresji genów głównych odporności roślin na patogeny*

Studies review of gene expression regulation of the plant major resistance genes against pathogens

Rośliny, podobnie jak zwierzęta, wykształciły wielopoziomowe mechanizmy obronne, które nadają im odporność na szkodniki i patogeny. Pierwotna odpowiedź obronna nie zawsze jednak zapewnia wystarczający poziom odporności na patogeny, które dysponują szerokim wachlarzem mechanizmów przystosowawczych. Inny typ odporności jest warunkowany przez geny główne odporności — geny *R*. Kodowane przez nie białka, pełniące rolę receptorów, oddziałują z produktami genów awirulencji patogenów i uruchamiają szlak transdukcji sygnału, który prowadzi do reakcji nadwrażliwości, co zapobiega szerzeniu się infekcji. W związku z wysokimi zdolnościami adaptacyjnymi patogenów, poszukuje się nowych genów odporności w dzikich gatunkach roślin, które zapewniłyby roślinom uprawnym trwałą odporność. Mimo dużej liczby zidentyfikowanych i sklonowanych genów *R*, badaniami ekspresji objęto jak dotąd niewiele z nich. Geny *R*, pomimo podobieństw budowy, wykazują różny wzór ekspresji pod wpływem działania czynników biotycznych i abiotycznych. Większość genów *R* ulega konstytutywnej ekspresji, lecz obserwowane są także przypadki wzmacniania lub indukcji ekspresji w wyniku kontaktu z patogenem. Badania molekularne dotyczące ekspresji genów *R* mogą mieć w niedalekiej przyszłości zastosowanie aplikacyjne w selekcji roślin do hodowli odpornościowej, na co wskazują wyniki dotychczasowych doświadczeń. Celem przeglądu jest usystematyzowanie informacji uzyskanych z dotychczasowych badań nad ekspresją genów odporności roślin na patogeny.

Słowa kluczowe: ekspresja genów, geny *R*, odporność roślin, patogeny roślin

Plants, like animals, have developed multi-layered defense mechanisms that make them resistant to pests and pathogens. Innate basal defense response do not always provide a sufficient level of resistance to pathogens that use a wide range of adaptive mechanisms. Another type of resistance is that conferred by the major resistance genes — *R* genes. Proteins coded by those genes act as receptors that interact with the corresponding products of avirulence genes of the pathogens. They trigger then signal transduction pathway that leads to hypersensitive reaction, thus preventing the spreading of infection. Due to the high adaptability of pathogens, scientists are forced to search for new resistance genes in wild species of plants that would provide more durable resistance in crops. Despite the fact that the large number of *R* genes has been identified and cloned up to date, the expression surveys were

* Praca sfinansowana przez NCBiR grant LIDER /06/82/L-1/09/NCBiR/2010

performed only on a few of them. The *R* genes have structural similarities but often show different pattern of expression under the influence of biotic and abiotic factors. Most of the *R* genes are constitutively expressed, but there are also cases of enhancing or inducing the expression as a result of interaction with the pathogen. Molecular research including gene expression issue may have an application aspect in the near future in selection of plants for resistance breeding programs, as was demonstrated in the some experiments. The objective of this review is to pool the information obtained from previous studies on gene expression of plant resistance genes to pathogens.

Key words: gene expression, plant pathogens, plant resistance, *R* genes

WSTĘP

Rośliny, podobnie jak zwierzęta, wykształciły wielopoziomowe mechanizmy obronne chroniące je przed atakiem szkodników i patogenów (Nurnberger i in., 2004). Przykładem odporności roślin określanej jako bazowa, jest PTI (PAMP-triggered immunity, PAMP-pathogen associated molecular pattern), która zaangażowana jest w rozpoznawanie konserwatywnych czynników, takich jak: flagellina bakterii (Gómez i Boller, 2002), chityna — budująca ściany komórkowe grzybów (Kaku i in., 2006) czy β -glukany, Pep-13 i CBEL (cellulose binding elicitor lectin) z *Oomycetes* (Tör, 2008; Hein i in., 2009 a). W konsekwencji następuje uruchomienie podstawowej odpowiedzi obronnej przejawiającej się wybuchem tlenowym, odkładaniem kalozy, produkcją etylenu czy indukcją genów związanych z patogenezą (PR1, PR5), ale nie występuje reakcja nadwrażliwości (HR — hypersensitive response). Inny rodzaj odpowiedzi obronnej rozpoznaje czynniki awirulencji patogena (avr) specyficzne względem danego gospodarza, tzw. efekторы. W mechanizmie tym, określanym jako ETI (effector-triggered immunity), główną rolę odgrywają produkty genów *R* (Jones i Dangl, 2006). Najprostsza hipoteza „gene-for-gene” opisująca bezpośrednie oddziaływania pomiędzy produktami genów *R* gospodarza i avr patogena zaproponowana została przez Florę już w pierwszej połowie XX wieku (Dangl i Jones, 2001). Dotychczas została potwierdzona między innymi u *Arabidopsis* (Deslandes i in., 2003), ryżu (Jia i in., 2000) i lnu (Catanzariti i in., 2006). Zakłada ona, że geny *R* kodują receptory rozpoznające czynniki avr patogena i w efekcie uruchamiają reakcję odpornościową powodującą zahamowanie rozwoju patogena, co w szczególnych przypadkach może prowadzić do lokalnej programowanej śmierci komórki (PCD — programmed cell death) określanej inaczej jako reakcja nadwrażliwości (Heath, 2000). Obecnie coraz większą popularnością cieszy się hipoteza o pośrednim oddziaływaniu efektorów patogena z białkami *R*, co ma swój oddźwięk w hipotezie strażnika — „guard hypothesis” (Dangl i Jones, 2001), której rozwinięciem są hipotezy „decoy” (van der Hoorn i Kamoun, 2008) i „bait-and-switch” (Collier i Moffett, 2009). Hipoteza strażnika zakłada, że białka *R* rozpoznają efekторы patogena pośrednio poprzez białka dodatkowe, które są bezpośrednim celem efektorów patogena. Efektor będący jednocześnie czynnikiem wirulencji modyfikuje swój białkowy cel w komórkach gospodarza i poprzez zmiany wywołane w wyniku wzajemnych interakcji przyczynia się do powstania infekcji w roślinach wrażliwych. W roślinach odpornych natomiast, następuje rozpoznanie zmian białkowego celu czynnika avr (efektora) przez białko *R*, które pełni rolę strażnika i uruchomienie reakcji odpornościowej, co zapobiega szerzeniu się patogena (Jones i Dangl,

2006). Hipoteza ta znalazła potwierdzenie w *Arabidopsis* na przykładzie reakcji odpornościowej uruchamianej przez gen *RPM1*. Czynniki awirulencji AvrRpm1 i AvrB z *Pseudomonas syringae* wiążą się najpierw z białkiem RIN4, które stanowi ich cel (ang. target). Związanie z nim czynników awirulencji w roślinach bez genu *RPM1* promowałoby rozwój patogena. Białka awirulencji poprzez fosforylację modyfikują białko RIN4, a to z kolei jest sygnałem do aktywacji białka RPM1 i uruchomienia szlaku transdukcji sygnału, w którym uczestniczą białka NDR1, PBS2/RAR1 oraz PBS3, wyzwalającego reakcję odpornościową. W przytoczonym przykładzie białko RPM1 stoi na straży RIN4 i przez to zapobiega kolonizacji rośliny przez patogena (Mackey i in., 2002; Martin i in., 2003). Autorzy hipotezy „decoy” zakładają, że białka, które stanowią cel efektorów patogena, są niestabilne w populacjach roślin polimorficznych pod względem genów odporności. W zależności od obecności lub braku genów *R*, białka te mogą podlegać przeciwnym presjom selekcyjnym zmierzającym albo do uniknięcia zmian powodowanych przez efektor, albo do usprawnienia percepcji patogena. W tym celu, możliwa jest duplikacja genu, który koduje białko docelowe lub niezależna ewolucja prowadząca do powstania białka naśladującego cel — tzw. „przynęty” (ang. decoy), która byłaby jednoznacznie zaangażowana w percepcję patogena (van der Hoorn i Kamoun, 2008). Model „bait-and-switch” zakłada z kolei, że rozpoznanie efektor zachodzi dwustopniowo. Efektor oddziałuje z białkiem docelowym — „przynętą”, co ułatwia raczej bezpośrednie rozpoznanie efektor niż zmodyfikowanego celu jak przewiduje to „hipoteza strażnika”. Modele te stanowią użyteczne koncepcje, pozwalające lepiej zrozumieć skomplikowane oddziaływania, jakie prowadzą do rozpoznania patogena i zainicjowania odpowiedzi obronnej przez roślinę. Należy jednak pamiętać, że proponowane modele są uogólnieniami bazującymi na niewielu przykładach, a ogromna różnorodność efektorów i odpowiadających im receptorów sugeruje możliwość wystąpienia innych mechanizmów, co może doprowadzić w niedalekiej przyszłości do wykrywania się nowych koncepcji na ten temat (Dodds i Rathjen, 2010).

Odporność, w której uczestniczą geny *R*, przenika się wzajemnie z odpornością pierwotną, która jednak nie zapobiega kolonizacji rośliny przez patogena, a jedynie ogranicza jego stopień rozprzestrzeniania się (Glazebrook i in., 1997). Atak patogena staje się efektywny, gdy roślina będąca pod jego wpływem, nie uruchomi na czas mechanizmów obronnych zależnych od posiadanych genów *R*, a także od czynników awirulencji (avr) patogena. Jeśli roślina ma dany gen *R*, ale patogen dokonujący inwazji nie ma odpowiadającego mu czynnika awirulencji, to nie nastąpi rozpoznanie patogena i w efekcie dojdzie do infekcji (Flor, 1970, za: Dangl i Jones, 2001). Genomy roślin zawierają dużą liczbę genów *R*. Tylko w *Arabidopsis* zidentyfikowano 149 potencjalnych sekwencji typowych dla genów odporności i uważa się, że wszystkie mogą ulegać ekspresji (Belkhadir i in., 2004). Jak dotąd sklonowano ponad 40 genów *R* warunkujących odporność na różne patogeny w roślinach jedno i dwuliściennych (Tan i in., 2007). Geny *R* znalazły zastosowanie w hodowli odpornościowej, przykładem jest ziemniak. Badania prowadzone już w pierwszej połowie XX wieku doprowadziły do zidentyfikowania 11 rasowo specyficznych genów głównych odporności na *Phytophthora infestans* (*R1-11*) w gatunku *Solanum demissum* (Black i in., 1953; Malcolmson i Black, 1966). Niektóre z nich zostały

wprowadzone do wielu odmian ziemniaka, na przykład geny *R1*, *R2*, *R3a*, *R3b*, *R6* i *R7* (Śliwka, 2004). Chociaż dziś szybko ewoluujący patogen stał się wirulentny w stosunku do roślin mających te geny, w pewnych regionach świata wciąż warunkują one znaczny stopień odporności (Kramer i in., 2009). W związku z dużym nakładem energii na ekspresję, zwłaszcza pod nieobecność patogena, poziom ekspresji genów *R* jest ściśle regulowany, jednak obecnie brak jest szczegółowych informacji o sposobie, w jaki się to odbywa (Li i in., 2010).

CHARAKTERYSTYKA GENÓW *R*

Geny *R* — geny główne odporności są pojedynczymi, dominującymi genami i odpowiadają za odporność na szeroką gamę patogenów i szkodników, włączając w to bakterie, grzyby, *Oomycetes*, wirusy, nicienie i owady. Większość genów *R*, które zostały obecnie zsekwencjonowane, wykazuje znaczne podobieństwo budowy. Można wśród nich wyróżnić kilka klas, a o przynależności do konkretnej klasy decyduje rodzaj charakterystycznych elementów strukturalnych, kodowanych przez dany gen (Jones, 2001). Produkty genów *R* można podzielić także, w zależności od miejsca ich działania, na białka *R*, które działają zewnątrzkomórkowo i wewnątrz komórki. Powszechnie uważa się, że białka *R* posiadające domeny NBS-LRR są receptorami cytoplazmatycznymi. Drugą grupę białek stanowią receptory zakotwiczone w błonie komórkowej i posiadające zewnątrzkomórkowe domeny eLRR (extracellular LRR) na N-końcu. Jeśli posiadają one na C-końcu kinazę białkową zaliczane są do klasy RLK (Receptor-Like Kinases), jeśli nie posiadają takowej, zalicza się je do klasy RLP (Receptor-Like Proteins), tego typu budowę mają geny odporności na *Cladosporium fulvum* Cf-2, Cf-4/4A, Cf-5, Cf-9/9B sklonowane z *Solanum lycopersicum* (van Ooijen i in., 2007). Najliczniejszą grupę stanowią geny mające domenę NBS — (nucleotide binding site) oraz region bogaty w powtórzenia leucyny LRR — (leucine rich repeats). Domena NBS wykazuje znaczny stopień konserwatywności wśród różnych białek *R*. Posiada zdolność hydrolizy ATP, przez co powoduje zmiany konformacji wymagane w procesie regulacji transdukcji sygnału (van Ooijen i in., 2007). Region LRR bierze natomiast udział w interakcjach białko-białko wśród szerokiego grona organizmów, stąd odpowiada za specyficzność interakcji z patogenem. Świadczyć może o tym chociażby przypadek zaobserwowany przez Chin i in., (2001), w którym uzyskane mutanty z delecjami w regionie LRR genu *Dm3* z sałaty utraciły swoją aktywność w rozpoznawaniu patogena (*Bremia lactucae*). Domenę NBS poprzedzać może domena CC — (coiled-coil), która występuje między innymi w strukturze genów: *I-2* — odporności na *Fusarium oxysporum*, *Prf* — odporności na *Pseudomonas syringae*, *Tm-2-2* — odporności na ToMV wyizolowane z *S. lycopersicum*, *R3a*, — odporności na *P. infestans* z *S. tuberosum*, czy *Rpi-blb1(RB)*, *Rpi-blb2* z *S. bulbocastanum* (van Ooijen i in., 2007) lub domena TIR — (Toll interleukin-1 like receptor), która wykazuje homologię z wewnątrzkomórkową domeną receptora Toll *Drosophila melanogaster* oraz interleukiny-1 człowieka (Radwan i in., 2005). Domenę TIR posiadają na przykład geny: *Bs4* — odporności na *Xanthomonas campestris* sklonowany z *S. lycopersicum* i *N* — odporności na TMV z *Nicotiana tabacum* (van Ooijen i in., 2007).

Możliwe jest także występowanie motywu LZ — (leucine zipper), który zawierają geny: *Rpi-blb3*, *Rpi-abpt* pochodzące z *S. bulbocastanum*, oraz *R2* z *S. demissum*, warunkujące odporność na *P. infestans* (Lokossou i in., 2009). Wśród dotychczas sklonowanych genów odporności na patogeny roślin, znajdują się także takie, które nie mają elementów strukturalnych charakterystycznych dla wyżej wymienionych klas, co może świadczyć o innych możliwych drogach uzyskania odporności w królestwie roślin. Takie geny można znaleźć w bazie danych Plant Resistance Genes Database (Sanseverino i in., 2010).

GENY *R* O EKSPRESJI NA STAŁYM, NISKIM POZIOMIE - NIE ULEGAJĄCYM ZMIANIE PO KONTAKCIE Z PATOGENEM

Gen *L6* został sklonowany z lnu i odpowiada za rasowo specyficzną odporność na rdzę żółtą lnu wywoływaną przez *Melampsora lini*. Należy do klasy genów odporności na patogeny kodujących domenę TIR-NBS-LRR. Ayliffe i in., (1999) zaobserwowali, że gen ten ulega ekspresji na bardzo niskim poziomie w wielu tkankach (korzeń, hipokotyl, liścienie, liście), w roślinach nienarażonych na kontakt z patogenem. Rośliny poddane inokulacji niekompatybilnym izolatem rdzy żółtej, badane techniką RT-PCR, nie różniły się profilem ekspresji tego genu od roślin kontrolnych, począwszy od momentu inokulacji do 48 godzin po inokulacji. Oznacza to, że w przypadku tego genu interakcja z patogenem nie wpływa na poziom jego ekspresji. Badania dotyczące ekspresji prowadzono także dla genu *Dm3* (klasa CC-NBS-LRR) pochodzącego z sałaty, warunkującego odporność na mączniaka powodowanego przez *B. lactucae*. Obecność transkryptów genu została zanotowana począwszy od trzeciego do 12 dnia rozwoju sadzonek, a także w pąkach, kwiatach, korzeniach i liściach dojrzałych roślin. Mimo że w tym przypadku nie poddawano roślin inokulacji, a charakter doświadczenia był raczej jakościowy, potwierdzono, że gen ulega ekspresji na stałym, niskim poziomie podczas rozwoju rośliny (Shen i in., 2002). W kolejnym doświadczeniu Huang i in., (2005) poddali inokulacji rośliny transgeniczne zawierające gen *R3a* (klasa CC-NBS-LRR) odpowiadający za odporność na *P. infestans* w ziemniaku i pomidorze oraz jego potencjalne paralogi. Autorzy zaobserwowali, że wszystkie badane geny ulegały konstytutywnej ekspresji od początku doświadczenia do 72 godzin po inokulacji. Transkrypty były także obserwowane wśród roślin nieinokulowanych. Przypadki genów podlegających stałej ekspresji wskazują na słuszność hipotezy o receptorowej roli białek odpornościowych w procesie rozpoznawania patogenów. Doświadczenie Tan i in., (2007), w którym przeprowadzono analizę profilu ekspresji genów *R* oraz pokrewnych, obejmujących grupę 170 genów *Arabidopsis*, zdają się potwierdzać wcześniejsze przypuszczenia dotyczące genów *R*. Zaobserwowano, że większość genów objętych analizą charakteryzowała się niskim poziomem ekspresji wykazującym różnice w zależności od tkanki.

GENY *R* O NISKIEJ BAZOWEJ EKSPRESJI ZWIĘKSZAJĄCEJ SIĘ W WYNIKU INTERAKCJI Z PATOGENEM

Wśród wielu sklonowanych i scharakteryzowanych genów odporności na choroby różnych gatunków roślin, tylko niewiele, objętych tego rodzaju badaniami, ulegało indukcji

ekspresji lub wzmożonej transkrypcji w wyniku kontaktu z patogenem (Kramer i in., 2009). Przykładem takiego genu jest gen *RB* (klasa CC-NBS-LRR) wykazujący odporność na zarazę ziemniaka powodowaną przez *P. infestans* sklonowany z dzikiego gatunku ziemniaka — *S. bulbocastanum*. Badane rośliny transgeniczne, charakteryzujące się wysoką odpornością, przejawiały gwałtowny wzrost poziomu ekspresji genu *RB* w pierwszym dniu po inokulacji, co odzwierciedlało profil ekspresji w roślinach będących donorem genu. W trzecim i piątym dniu doświadczenia ekspresja zmniejszała się. W przypadku jednej linii (z czterema kopiami genu) ekspresja zwiększała się stopniowo osiągając swoje maksimum piątego dnia eksperymentu. Badania Kramer i in. (2009) wykazały także korelację pomiędzy liczbą transkryptów genu *RB*, a poziomem odporności na zarazę ziemniaka. Analogicznie zachowywał się gen *Xa3* (klasa RLKs) odporności na *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (*Xoo*) z ryżu (Cao i in., 2007). W obu przypadkach poziom odporności związany był z liczbą transkryptów danego genu. Obserwacje te potwierdziły kolejne badania. Wśród testowanych roślin transgenicznych zauważono, że wyższa liczba kopii transgenu *RB* koresponduje ze wzmocnieniem transkrypcji tego genu, co pociąga za sobą wyższy stopień odporności na zarazę ziemniaka. Transgeniczne linie ziemniaków z 15 kopiami transgenu *RB* należały do najbardziej odpornych spośród testowanych 57 linii (Bradeen i in., 2009). Gen *Pib* pochodzący z ryżu, który nadaje odporność na zarazę ryżu (rice-blast) wywoływaną przez *Magnaporthe grisea*, jest jednym z pierwszych genów objętych szeroko zakrojoną analizą ekspresji (Wang i in., 1999). Należy do klasy genów odporności kodujących domeny CC-NBS-LRR. Wykazuje znaczną homologię z takimi genami, jak: *N*, *L6*, *RPM1*, *RPS2*, *Prf*, *Xa1*. Rośliny poddane inokulacji, zarówno izolatem kompatybilnym jak i niekompatybilnym, produkowały transkrypty genu począwszy od godziny zero, a skończywszy na 96 godzinie prowadzonego doświadczenia, przy czym dał się zaobserwować pewien wzór ekspresji. Początkowo liczba transkryptów była na niskim poziomie, po 12 godzinach od inokulacji wzrastała i utrzymywała się na podobnym poziomie do 24 godzin, a następnie w 96 godzinie spadała ponownie do poziomu wyjściowego. Obserwacja ta pozwala sformułować hipotezę o indukcji ekspresji genu pod wpływem interakcji z patogenem, jednakże dalsza część eksperymentu ujawniła, że podobny wzór ekspresji był typowy także w przypadku narażenia roślin na inny rodzaj stresów, a mianowicie inokulację wodą destylowaną, która miała naśladować inokulację, ale bez patogena czy przetrzymywanie roślin w ciemności. Rośliny kontrolne, wobec których nie stosowano czynników stresogennych, produkowały transkrypty genu na stałym poziomie przez cały czas trwania doświadczenia (Wang i in., 1999). W kolejnych pracach tych samych autorów zaobserwowano także efekt indukcji ekspresji genu *Pib* w wyniku traktowania roślin kwasami: salicylowym, jasmonowym i absycynowym. Podobny wpływ na poziom ekspresji genu *Pib* wywierało także zasolenie i podwyższona temperatura. Szczególnie wzrost wilgotności, taki jak po inokulacji wodą, i podwyższona temperatura są czynnikami środowiskowymi sprzyjającymi rozwojowi patogena, a następująca pod ich wpływem indukcja ekspresji tego genu może stanowić niejako działanie zapobiegawcze, przygotowujące roślinę na potencjalny atak patogena. Przypuszczalnie rośliny reagowały najpierw na zmieniające się warunki środowiska sprzyjające infekcji i aktywowały wiele genów związanych z reakcją obronną, w tym rasowo specyficzne geny *R*, zapewniając tym

samym wysoki poziom odporności w przypadku kontaktu z patogenem. Jak wynika z obserwacji autorów, spory patogena zaczynają kiełkować po trzech godzinach od inokulacji, a wzrost poziomu ekspresji genu *Pib* był notowany już po upływie jednej godziny, nie mógł więc być spowodowany przez patogena, ale przez czynniki abiotyczne. (Wang i in., 1999, 2001). Z kolei gen *Hslpro1* warunkujący odporność na mącznika burakowego (*Heterodera schachtii* Schm.) w buraku cukrowym ulegał ekspresji na niskim bazowym poziomie w roślinach niepoddanych działaniu patogena. W kontakcie z patogenem obserwowany poziom transkryptów wzrastał czterokrotnie jeden dzień po infekcji. Gen *Hslpro1* wydaje się być aktywowany wyłącznie przez patogeny, gdyż, jak wykazały dalsze testy, nie następowała zmiana w liczbie transkryptów genu pod wpływem innych czynników zewnętrznych, takich jak: kwas salicylowy, jasmonowy, giberelinowy, absycynowy oraz stres wywołany podwyższonym zasoleniem czy mechanicznym uszkodzaniem roślin poprzez nacinanie korzeni żyłką (Thurau i in., 2003). Kolejnymi genami, których ekspresja regulowana jest w wyniku współdziałania z patogenem, są geny *Mla6* oraz *Mla13* — zaliczane do klasy CC-NBS-LRR — warunkujące odporność na mączniaka prawdziwego jęczmienia powodowanego przez (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*). Zarówno gen *Mla6* jak i *Mla13* w testach z inokulacją niekompatybilnym izolatem wykazywał początkowo niski poziom transkryptów, który wzrastał kilkukrotnie po upływie 16–20 godzin od inokulacji, co pokrywa się z czasem, jaki zajmuje haustorium patogena wytworzenie kontaktu z błoną komórkową gospodarza (Halterman i in., 2003). Również w przypadku genu *Ha-NTIR11b* należącego do klasy CC-NBS-LRR, pochodzącego ze słonecznika zaobserwowano indukcję transkrypcji pod wpływem patogena (*Plasmopara halstedii*) wywołującego mączniaka rzekomego słonecznika. Gen ulegał ekspresji na niskim poziomie w roślinach odpornych, niepoddanych inokulacji przez cały czas doświadczenia. W wyniku inokulacji izolatem niekompatybilnym poziom ekspresji zwiększał się trzeciego dnia, osiągając swoje maksimum szóstego dnia, a po dziewiątym dniu znowu zaczął się zmniejszać. By wykluczyć wpływ innych czynników na ekspresję, przeprowadzono test z użyciem kwasu salicylowego i metylojasmonowego biorących udział w szlaku transdukcji sygnału. Kontrolne rośliny poddano także opryskowi sterylną wodą i uszkodzeniom mechanicznym poprzez pocieranie powierzchni liści sterylną pincetą. W doświadczeniach tych nie zaobserwowano zmian w poziomie transkryptów, co potwierdza wpływ patogena na ekspresję genu (Radwan i in., 2005). Innym genem, którego ekspresja została przeanalizowana pod kątem ewentualnej indukcji, jest gen *N* z tytoniu, zaliczany do klasy TIR-NBS-LRR i nadający odporność na wirusa mozaiki tytoniu (TMV). Jak zaobserwowano, gen ten ulega konstytutywnej ekspresji w roślinach niepoddanych działaniu patogena. Jednak, jak się okazało, profil ekspresji genu *N* zmienia się w wyniku kontaktu z wirusem TMV. W teście przeprowadzonym z użyciem techniki real-time PCR obserwowano ponad 38-krotny wzrost liczby transkryptów genu *N* w liściach inokulowanych, w porównaniu do roślin kontrolnych. Ciekawy wydaje się także fakt wzmocnienia ponad 165-krotnie ekspresji genu w liściach znajdujących się w wyższych piętach rośliny, które nie były inokulowane i nie stwierdzono w nich obecności wirusa. W tym przypadku ekspresja zwiększała się przez 72 godziny i utrzymywała się na podwyższonym poziomie przez dziesięć dni. Obserwowane zjawisko skłania do

przypuszczeń, że ekspresja genu *N* uruchomiła szlak transdukcji sygnału, w którym uczestniczą białka EDS1, NDR1, PBS2/RAR1 i PBS3 (Martin i in., 2003), i który prowadzi do reakcji nadwrażliwości oraz wywołania odporności systemowej. Sprawdzono także możliwość wzmocnienia ekspresji genu *N* w wyniku inokulacji roślin wirusem Y ziemniaka (PVY). Jednak w tym przypadku gen nie ulegał indukcji i utrzymywał się na stałym poziomie przez całe doświadczenie, co potwierdziło wcześniejsze przypuszczenia autorów o specyficzności działania genu (Levy i in., 2004).

GENY *R* O EKSPRESJI NIEWYKRYWALNEJ - INDUKCJA NASTĘPUJE W WYNIKU KONTAKTU Z PATOGENEM

Gen *Xa1* (klasa CC-NBS-LRR) wyizolowany z ryżu, warunkujący odporność na *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* jest jednym z nielicznych genów odporności, których ekspresja inicjowana jest pod wpływem kontaktu z patogenem (izolaty niekompatybilne i kompatybilne) oraz zranienia rośliny. Ekspresja genu, badana za pośrednictwem techniki „northern blot”, ujawniła występowanie transkryptów w roślinach odpornych dopiero piątego dnia po inokulacji. Sygnału nie obserwowano bezpośrednio po inokulacji ani trzeciego dnia doświadczenia. Wykorzystując czulszą technikę RT-PCR, transkrypty genu były wykrywane po trzech dniach od inokulacji i później do końca prowadzonego eksperymentu. Piątego dnia po inokulacji roślin wodą destylowaną również zanotowano występowanie transkryptów genu, co może świadczyć o indukcji genu także innymi czynnikami niż infekcja. Nie odnotowano natomiast obecności transkryptów w roślinach niepoddanych działaniu żadnego czynnika. Liczba bakterii, które zainfekowały rośliny testowe, była wyraźnie skorelowana z nagromadzeniem się mRNA genu *Xa1* i od momentu ekspresji genu utrzymywała się na stałym poziomie. Stąd nasuwał się wniosek, iż indukcja genu zasadniczo wzmacniała odporność roślin na atak patogena (Yoshimura i in., 1998). Podobnie jak *Xa1*, indukcji, w wyniku kontaktu z patogenem, podlega również pochodzący z papryki gen *Bs3* — odporności na *X. campestris* pv. *vesicatoria*. Gen ten koduje domeny nienależące do żadnej ze znanych klas. W odróżnieniu jednak od wymienionego wcześniej genu, mechanizm regulacji genu *Bs3* został poznany. Rozpoznawanie patogena odbywa się poprzez przyłączenie produktu genu *AvrBs3* patogena do określonego regionu promotora, co aktywuje transkrypcję i uruchamia reakcję obronną (Römer i in., 2007). Na podobnej zasadzie odbywa się także uruchomienie reakcji odpornościowej, w której uczestniczy gen *Xa27* (niesklasyfikowany dotychczas po względem kodowanych domen) warunkujący odporność na zarazę bakteryjną ryżu wywoływaną przez *X. oryzae* pv. *oryzae*. Uważa się, że pod wpływem produktu genu awirulencji patogena (*AvrXa27*) następuje aktywacja promotora tego genu i w efekcie wzbudzenie jego ekspresji, gdyż inokulacja roślin izolatami nieposiadającym czynnika *AvrXa27* nie powodowała indukcji genu odporności, co przejawiało się wystąpieniem objawów towarzyszących infekcji (Gu i in., 2005).

PODSUMOWANIE

Z przedstawionego przeglądu badań nad odpornością roślin można wnioskować, że mimo podobieństw w strukturze genów głównych odporności często występują znaczne różnice w sposobie inicjacji reakcji odpornościowej, w której pośredniczą. Wiele genów zdaje się potwierdzać hipotezę o receptorowej roli białek R, szczególnie te, które ulegają konstytutywnej ekspresji niezależnie od narażenia roślin na kontakt z patogenem. Znanе są także przykłady genów, których ekspresja ujawnia się dopiero pod wpływem czynników kodowanych przez patogeny. Przypadki takie wydają się być bardzo uzasadnionym mechanizmem w walce z patogenem, gdyż nie ulega wątpliwości, że utrzymywanie białek biorących udział w reakcjach odpornościowych, gdy nie jest to konieczne, stanowi dla rośliny dodatkowe obciążenie, a w zamian za odporność roślina ponosi koszty energetyczne przejawiające się między innymi niższym plonem. Zostało to udowodnione w przypadku genu *RPM1* z *Arabidopsis*. W przeprowadzonym doświadczeniu zaobserwowano, że rośliny odporne, posiadające gen *RPM1* charakteryzowały się mniejszą produkcją biomasy, posiadały mniej łąszczyń, a liczba nasion w porównaniu z roślinami bez genu *RPM1* była mniejsza średnio o 9% (Tian i in., 2003). Szybko ewoluujące patogeny, jak na przykład *P. infestans*, który zagraża uprawom ziemniaka i przynosi ogromne straty na całym świecie, zmuszają badaczy do poszukiwań w dzikich gatunkach roślin nowych genów R, które mogłyby zapewnić roślinom uprawnym trwałą odporność. W ostatnich latach zidentyfikowano wiele genów R, jednak badaniami ekspresji objęto jak dotąd niewiele z nich. W układzie ziemniak — *P. infestans* spośród ponad 25 zmapowanych i siedmiu sklonowanych genów R (Hein i in., 2009 b), profil ekspresji określono jedynie w dwóch przypadkach — dla genu *R3a* (Huang i in., 2005) i *RB/Rpi-blb1* (Song i in., 2003, van der Vossen i in., 2003). Badania profilu ekspresji genów odporności mogą przyczynić się nie tylko do poznania samego mechanizmu ich działania i lepszego zrozumienia interakcji rośliny z patogenem, ale także mogą okazać się przydatne w optymalizacji procesu selekcji roślin poprzez wykorzystanie w programach hodowlanych roślin o najwyższej liczbie transkryptów danego genu R. O słuszności tego podejścia mogą świadczyć wyniki uzyskane z przeprowadzonych doświadczeń dotyczących genu *RB* (Kramer i in., 2009, Bradeen i in., 2009, Millet i in., 2009). Zarówno dotychczasowe opracowania, jak i obecnie prowadzone eksperymenty dotyczące regulacji ekspresji genów R u roślin, mogą dostarczyć w niedalekiej przyszłości cennych wskazówek mających zastosowanie aplikacyjne w walce z najbardziej zagrażającymi patogenami roślin uprawnych. W efekcie przełoży się to bezpośrednio na korzyści ekonomiczne dla hodowców i rolników poprzez zredukowanie do minimum lub nawet wyeliminowanie stosowanych dotychczas środków ochrony chemicznej. Umożliwi to otrzymywanie zdrowej żywności cieszącej się coraz większym zainteresowaniem konsumentów. Będzie miało także swój pozytywny wpływ na środowisko naturalne.

Skróty występujące w pracy

PTI — PAMP-trigger immunity
PAMP — pathogen associated molecular pattern
ETI — effector triggered immunity
Pep-13 — element ściany komórkowej patogena soji — *P. sojae*
CBEL — cellulose binding elicitor lectin — proteina w ścianie komórkowej *P. parasitica* var. *nicotianae*
PR1/PR5 — pathogenesis related protein 1/5
PCD — programmed cell death
HR — hypersensitive response
RIN4 — RPM1-interacting protein 4
NBS-LRR — nucleotide binding site-leucine rich repeats
eLRR — extracellular LRR
RLKs — Receptor-Like Kinases
RLPs — Receptor-Like Proteins
CC — coiled coil
TIR — Toll interleukin-1 like receptor
LZ — leucine zipper
EDS1 — enhanced disease susceptibility 1
PAD4 — phytoalexin deficient 4
NDR1 — non-race specific disease resistance-1
PBS2/RAR1 — PPHB susceptible 2
PBS3 — avrPPHB susceptible 3

LITERATURA

- Ayliffe M. A., Frost D. V., Finnegan E. J., Lawrence G. J., Anderson P. A., Ellis J. G. 1999. Analysis of alternative transcripts of the flax L6 rust resistance gene. *Plant J.* 17 (3): 287 — 292.
- Belkhadir Y., Subramaniam R., Dangel J. L. 2004. Plant disease resistance protein signaling: NBS — LRR proteins and their partners. *Curr. Opin. Plant Biol.* 7 (4): 391 — 399.
- Black W., Mastenbroek C., Mills W. R., Peterson L. C. 1953. A proposal for an international nomenclature of races of *Phytophthora infestans* and of genes controlling immunity in *Solanum demissum* derivatives. *Euphytica* 2 (3): 173 — 240.
- Bradeen J. M., Iorizzo M., Molloy D. S., Raasch J., Kramer L. C., Millett B. P., Austin-Phillips S., Jiang J., Carputo D. 2009. Higher copy numbers of the potato *RB* transgene correspond to enhanced transcript and late blight resistance levels. *Mol. Plant Microbe Interact.* 22 (4): 437 — 446.
- Cao Y., Ding X., Cai M., Zhao J., Lin Y., Li X., Xu C., Wang S. 2007. The expression pattern of a rice disease resistance gene *Xa3/Xa26* is differentially regulated by the genetic backgrounds and developmental stages that influence its function. *Genetics* 177 (1): 523 — 533.
- Catanzariti A., Dodds P. N., Lawrence G. J., Ayliffe M. A., Ellis J. G. 2006. Haustorially expressed secreted proteins from flax rust are highly enriched for avirulence elicitors. *Plant Cell* 18 (1): 243 — 256.

- Chin D. B., Arroyo-Garcia R., Ochoa O. E., Kesseli R. V., Lavelle D. O., Michelmore R. W. 2001. Recombination and spontaneous mutation at the major cluster of resistance genes in lettuce (*Lactuca sativa*). *Genetics* 157 (2): 831 — 849.
- Collier S. M., Moffett P. 2009. NB-LRRs work a “bait and switch” on pathogens. *Trends Plant Sci.* 14 (10): 521 — 529.
- Dangl J. L., Jones J. D. G. 2001. Plant pathogens and integrated defence responses to infection. *Nature* 411: 826 — 833.
- Dodds P. N., Rathjen J. P. 2010. Plant immunity: towards an integrated view of plant-pathogen interactions. *Nat. Rev. Genet.* 11 (8): 539 — 548.
- Glazebrook J., Rogers E. E., Ausubel F. M. 1997. Use of *Arabidopsis* for genetic dissection of plant defense responses. *Annu. Rev. Genet.* 31: 547 — 69.
- Gómez-Gómez L., Boller T. 2002. Flagellin perception: a paradigm for innate immunity. *Trends Plant Sci.* 7 (6): 251 — 256.
- Gu K., Yang B., Tian D., Wu L., Wang D., Sreekala C., Yang F., Chu Z., Wang G., White F. F., Yin Z. 2005. *R* gene expression induced by a type-III effector triggers disease resistance in rice. *Nature* 435 (7045): 1122 — 1125.
- Halterman D. A., Wei F., Wise R. P. 2003. Powdery mildew-induced *Mla* mRNAs are alternatively spliced and contain multiple upstream open reading frames. *Plant Physiol.* 131(2): 558 — 567.
- Hein I., Gilroy E. M., Armstrong M. R., Birch P. R. J. 2009 a. The zig-zag-zig in oomycete — plant interactions. *Mol. Plant Path.* 10 (4): 547 — 562.
- Hein I., Birch P. R. J., Danan S., Lefebvre V., Achieng Odeny D., Gebhardt C., Trognitz F., Bryan G. J. 2009 b. Progress in mapping and cloning qualitative and quantitative resistance against *Phytophthora infestans* in potato and its wild relatives. *Potato Research* 52: 215 — 227.
- Heath M. C. 2000. Hypersensitive response-related death. *Plant Mol. Biol.* 44 (3): 321 — 334.
- Huang S., van der Vossen E. A. G., Kuang H., Vleeshouwers V. G. A. A., Zhang N., Borm T. J.A., van Eck H. J., Baker B., Jacobsen E., Visser R. G.F. 2005. Comparative genomics enabled the isolation of the *R3a* late blight resistance gene in potato. *Plant J.* 42 (2): 251 — 261.
- Jia Y., McAdams S. A., Bryan G. T., Hershey H. P., Valent B. 2000. Direct interaction of resistance gene and avirulence gene products confers rice blast resistance. *EMBO J.* 19 (15): 4004 — 4014.
- Jones J. D. 2001. Putting knowledge of plant disease resistance genes to work. *Curr. Opin. Plant Biol.* 4 (4): 281 — 287.
- Jones J. D., Dangl J. L. 2006. The plant immune system. *Nature* 444 (7117): 323 — 329.
- Kaku H., Nishizawa Y., Ishii-Minami N., Akimoto-Tomiya C., Dohmae N., Takio K., Minami E., Shibuya N. 2006. Plant cells recognize chitin fragments for defense signaling through a plasma membrane receptor. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103 (29): 11086 — 11091.
- Kramer L. C., Choudoir M. J., Wielgus S. M., Bhaskar P. B., Jiang J. 2009. Correlation between transcript abundance of the *RB* gene and the level of the *RB*-mediated late blight resistance in potato. *Mol. Plant Microbe Interact.* 22 (4): 447 — 455.
- Levy M., Edelbaum O., Sela I. 2004. Tobacco Mosaic virus regulates the expression of its own resistance gene *NI*. *Plant Physiol.* 135 (4): 2392 — 2397.
- Li Y., Tessaro M. J., Li X., Zhang Y. 2010. Regulation of the expression of plant resistance gene *SNCI* by a protein with a conserved BAT2 domain. *Plant Physiol.* 153 (3): 1425 — 1434.
- Lokossou A. A., Park T., van Arkel G., Arens M., Ruyter-Spira C., Morales J., Whisson S. C., Birch P. R. J., Visser R. G. F., Jacobsen E., van der Vossen E. A. G. 2009. Exploiting knowledge of R/Avr genes to rapidly clone a new LZ-NBS-LRR family of late blight resistance genes from potato linkage group IV. *Mol. Plant Microbe Interact.* 22 (6): 630 — 641.

- Malcolmson J. F., Black W. 1966. New *R* genes in *Solanum demissum* Lindl. and their complementary races of *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary. *Euphytica* 15: 199 — 203.
- Mackey D., Holt III B. F., Wiig A., Dangl J. L. 2002. RIN4 interacts with *Pseudomonas syringae* type III effector molecules and is required for RPM1-mediated resistance in *Arabidopsis*. *Cell* 108 (6): 743 — 754.
- Martin G. B., Bogdanove A. J., Sessa G. 2003. Understanding the functions of plant disease resistance proteins. *Annu. Rev. Plant Biol.* 54: 23 — 61.
- Millett B. P., Molloy D. S., Iorizzo M., Carputo D., Bradeen J. M. 2009. Changes in disease resistance phenotypes associated with plant physiological age are not caused by variation in *R* gene transcript abundance. *Mol. Plant Microbe Interact.* 22 (3): 362 — 368.
- Milligan S. B., Bodeau J., Yaghoobi J., Kaloshian I., Zabel P., Williamson V. M. 1998. The root knot nematode resistance gene *Mi* from tomato is a member of the leucine zipper, nucleotide binding, leucine-rich repeat family of plant genes. *Plant Cell* 10 (8): 1307 — 1319.
- Nurnberger T., Brunner F., Kemmerling B., Piater L. 2004. Innate immunity in plants and animals: striking similarities and obvious differences. *Immunol. Rev.* 198: 249 — 266.
- Radwan O., Mouzeyar S., Nicolas P., Bouzidi M. F. 2005. Induction of a sunflower CC-NBS-LRR resistance gene analogue during incompatible interaction with *Plasmopara halstedii*. *J. Exp. Bot.* 56 (412): 567 — 575.
- Römer P., Hahn S., Jordan T., Strauß T., Bonas U., Lahaye T. 2007. Plant pathogen recognition mediated by promoter activation of the pepper *Bs3* resistance gene. *Science* 318 (5850): 645 — 648.
- Salmeron J. M., Oldroyd G. E. D., Rommens C. M. T., Scofield S. R., Kim H., Lavelle D. T., Dahlbeck D., Staskawicz B. J. 1996. Tomato *Prf* is a member of the leucine-rich repeat class of plant disease resistance genes and lies embedded within the *Pto* kinase gene cluster. *Cell* 86 (1): 123 — 133.
- Sanseverino W., Roma G., De Simone M., Faino L., Melito S., Stupka E., Frusciante L., Ercolano M. R. 2010. PRGdb: a bioinformatics platform for plant resistance gene analysis. *Nucleic Acids Res. Database issue* 38: 814 — 821.
- Shen K. A., Chin D. B., Arroyo-Garcia R., Ochoa O. E., Lavelle D. O., Wroblewski T., Meyers B. C., Michelmore R. W. 2002. *Dm3* is one member of a large constitutively expressed family of nucleotide binding site-leucine-rich repeat encoding genes. *Mol. Plant Microbe Interact.* 15 (3): 251 — 261.
- Song J., Bradeen J. M., Naess S. K., Raasch J. A., Wielgus S. M., Haberlach G. T., Liu J., Kuang H., Austin-Phillips S., Buell C. R., Helgeson J. P., Jiang J. 2003. Gene *RB* cloned from *Solanum bulbocastanum* confers broad spectrum resistance to potato late blight. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 100(16): 9128 — 9133.
- Śliwka J. 2004. Genetic factors encoding resistance to late blight caused by *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary on the potato genetic map. *Cell. Mol. Biol. Lett.* 9 (4B): 855 — 867.
- Tan X., Meyers B. C., Kozik A., West M. A., Morgante M., St Clair D. A., Bent A. F., Michelmore R. W. 2007. Global expression analysis of nucleotide binding site-leucine rich repeat-encoding and related genes in *Arabidopsis*. *BMC Plant Biol.* 7: 56.
- Tian D., Traw M. B., Chen J. Q., Kreitman M., Bergelson J. 2003. Fitness costs of *R*-gene-mediated resistance in *Arabidopsis thaliana*. *Nature* 423 (6935): 74 — 77.
- Thurau T., Kifle S., Jung C., Cai D. 2003. The promoter of the nematode resistance gene *Hs1pro-1* activates a nematode-responsive and feeding site-specific gene expression in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and *Arabidopsis thaliana*. *Plant Mol. Biol.* 52(3): 643 — 660.
- Tör M. 2008. Tapping into molecular conversation between oomycete plant pathogens and their hosts. *Eur. J. Plant Pathol.* 122: 57 — 69.

- van der Hoorn R. A. L., Kamoun S. 2008. From guard to decoy: A new model for perception of plant pathogen effectors. *Plant Cell* 20 (8): 2009 — 2017.
- van Ooijen G., van den Burg H. A., Cornelissen B. J. C., Takken F. L. W. 2007. Structure and function of resistance proteins in *Solanaceous* plants. *Annu. Rev. Phytopathol.* 45: 43 — 72.
- van der Vossen E., Sikkema A., te Lintel Hekkert B., Gros J., Stevens P., Muskens M., Wouters D., Pereira A., Stiekema W., Allefs S. 2003. An ancient *R* gene from the wild potato species *Solanum bulbocastanum* confers broad-spectrum resistance to *Phytophthora infestans* in cultivated potato and tomato. *Plant J.* 36 (6): 867 — 882.
- Wang Z., Yano M., Yamanouchi U., Iwamoto M., Monna L., Hayasaka H., Katayose Y., Sasaki T. 1999. The *Pib* gene for rice blast resistance belongs to the nucleotide binding and leucine-rich repeat class of plant disease resistance genes. *Plant J.* 19(1): 55 — 64.
- Wang Z., Yamanouchi U., Y. Katayose, Sasaki T., Yano M. 2001. Expression of the *Pib* rice-blast-resistance gene family is up-regulated by environmental conditions favouring infection and by chemical signals that trigger secondary plant defences. *Plant Mol. Biol.* 47 (5): 653 — 661.
- Yoshimura S., Yamanouchi U., Uchikata Y., Toki S., Wang Z., Kono I., Kurata N., Yano M., Iwata N., Sasaki T. 1998. Expression of *Xa1*, a bacterial blight-resistance gene in rice, is induced by bacterial inoculation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95 (4): 1663 — 1668.

PODZIĘKOWANIE

Autorzy dziękują Pani prof. Ewie Zimnoch-Guzowskiej za cenne uwagi podczas opracowywania manuskryptu

MAREK GUGAŁA**KRYSTYNA ZARZECKA**

Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin,

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach

Skuteczność i selektywność herbicydów w regulacji zachwaszczenia na plantacji ziemniaka

The effectiveness and the selectivity of herbicides in weed control on the potato plantation

Wyniki badań pochodzą z doświadczenia polowego przeprowadzonego w latach 2002–2004 w Rolniczej Stacji Doświadczalnej Zawady. W doświadczeniu obiekty badawcze stanowiły: I czynnik — dwa sposoby uprawy roli (tradycyjna i uproszczona), II czynnik — siedem sposobów odchwaszczania. Celem badań było określenie wpływu dwóch sposobów uprawy roli i siedmiu sposobów odchwaszczania na skuteczność zniszczenia powietrznie suchej masy chwastów oraz oddziaływania fitotoksycznego herbicydów stosowanych w uprawie ziemniaka. Stopień zniszczenia powietrznie suchej masy chwastów oznaczony zarówno na początku wegetacji jak i przed zbiorem bulw ziemniaka był różnicowany przez czynniki doświadczalne. Przed zwarciem rzędów ziemniaka większą skuteczność w ograniczaniu powietrznie suchej masy chwastów uzyskano w obiektach, na których stosowano uprawę uproszczoną średnio — 66,1%. Największą skuteczność zniszczenia powietrznie suchej masy chwastów przed zwarciem rzędów ziemniaka, jak i przed zbiorem bulw otrzymano w obiektach, na których zastosowano mieszaninę herbicydów Plateen 41,5 WG i Fusilade Forte 150 EC oraz Plateen 41,5 WG i Fusilade Forte 150 EC z dodatkiem adiuwantu Atpolan 80 EC. Zmniejszenie zachwaszczenia wynosiło odpowiednio 80,3% i 61,9%. Sposoby odchwaszczania wpływały istotnie na uszkodzenia roślin ziemniaka. Sposoby odchwaszczania wpłynęły istotnie na uszkodzenia roślin ziemniaka (tab. 4). Największe uszkodzenia zaobserwowano w obiekcie, na którym zastosowano mieszaninę herbicydów Barox 460 SL + Fusilade Forte 150 EC, średnia wartość uszkodzeń wg 9. stopniowej skali EWRC wyniosła 4,2. Jednakże były one przemijające, co świadczy o selektywności stosowanych herbicydów w stosunku do rośliny uprawnej

Słowa kluczowe: skuteczność, selektywność, sposoby uprawy roli, sposoby odchwaszczania, ziemniak

The presented results were obtained from field experiment conducted in years 2002–2004 in Agricultural Experimental Station in Zawady. We tested: I factor — two tillage systems (traditional and simplified), II factor — seven weed control methods. The aim of the study was to assess the effects of these two factors on effectiveness of destruction of the weed air-dry mass as well as on the phytotoxic activity of herbicides applied in the potato cultivation. Degree of destruction of the weed air-dry mass evaluated both in the beginning of vegetation and before the harvest of potato tubers was

significantly influenced by experimental factors. Before potato row closing, the air reduction of weed dry mass was on average 66.1% more effective in plots with simplified tillage. The herbicide mixtures: Plateen 41.5 WG with Fusilade Forte 150 EC as well as Plateen 41.5 WG with Fusilade Forte 150 EC and an addition of the adjuvant Atpolan 80 EC were most effective in air destruction of the weed dry mass, both before row closing and before harvest of the potato tubers. Weed reduction reached 80.3 % and 61.9%, respectively. The weed control methods caused significant damage of potato plants (tab. 4). The largest damages were observed in object where the Barox 460 SL + Fusilade Forte 150 EC mixture of herbicides was applied. The average damages were scored as 4.2 according to 1–9 EWRC scale. Yet, the damages were transient, which indicates the selectivity of applied herbicides in regard to cultivated plant.

Key words: effectiveness, selectivity, tillage systems, weed control methods, potato

WSTĘP

Jednym z ważniejszych elementów wpływających na plony roślin uprawnych jest zachwaszczenie, dlatego istotnym elementem agrotechniki, różniącym systemy produkcji, jest sposób ograniczania zachwaszczenia roślin uprawnych (Wesołowski, 2007).

Wprowadzenie uproszczeń w uprawie roli z reguły wpływa na zwiększenie zachwaszczenia roślin, jednakże obecnie zastąpienie zabiegów mechanicznych odpowiednimi herbicydami i ich mieszankami znacznie upraszcza pielęgnację, ponadto odpowiednio dobrane herbicydy zapewniają prawie całkowite zniszczenie większości gatunków chwastów występujących na plantacji ziemniaka i są w pełni selektywne dla rośliny chronionej (Giebel i in., 1992; Sawicka i Skalski, 1996; Kraska i Pałys, 2002; Zarzecka, 2002).

W pracy przyjęto hipotezę badawczą, że zabiegi pielęgnacyjne z zastosowaniem herbicydów będą skuteczniejsze w ograniczeniu zachwaszczenia w porównaniu z zabiegami mechanicznymi a fitotoksyczne działanie herbicydu na rośliny ziemniaka jest okresowe. Prowadzone dotychczas badania nie dają jeszcze jednoznacznej odpowiedzi jak różne herbicydy stosowane w uprawie ziemniaka wpływają na skuteczność ograniczania zachwaszczenia i selektywność w stosunku do rośliny uprawnej.

Celem badań było określenie wpływu dwóch sposobów uprawy roli i siedmiu sposobów odchwaszczania na skuteczność zniszczenia powietrznie suchej masy chwastów oraz oddziaływania fitotoksycznego herbicydów stosowanych w uprawie ziemniaka.

MATERIAŁ I METODY

Wyniki badań pochodzą z doświadczenia polowego przeprowadzonego w latach 2002–2004 w Rolniczej Stacji Doświadczalnej Zawady należącej do Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Eksperyment był przeprowadzony metodą losowanych bloków, split-plot, w trzech powtórzeniach. W doświadczeniu obiekty badawcze stanowiły:

I czynnik — dwa sposoby uprawy roli:

- uprawa tradycyjna (orka odwrotka + orka przedzimowa + bronowanie + kultywatorowanie + bronowanie),
- uprawa uproszczona (orka odwrotka + kultywatorowanie)

II czynnik — siedem sposobów odchwaszczania:

- obiekt kontrolny — pielęgnacja mechaniczna do i po wschodach roślin ziemniaka,
- pielęgnacja mechaniczno-chemiczna, tj. do wschodów 3. krotne obredlanie połączone z bronowaniem, a tuż przed wschodami herbicyd Plateen 41,5 WG 2,0 kg·ha⁻¹,
- pielęgnacja mechaniczno-chemiczna, tj. do wschodów 3. krotne obredlanie połączone z bronowaniem, a tuż przed wschodami opryskiwanie mieszanką herbicydów Plateen 41,5 WG 2,0 kg·ha⁻¹ + Fusilade Forte 150 EC 2,5 l·ha⁻¹,
- pielęgnacja mechaniczno-chemiczna, tj. do wschodów 3. krotne obredlanie połączone z bronowaniem, a tuż przed wschodami opryskiwanie mieszanką herbicydów Plateen 41,5 WG 1,6 kg·ha⁻¹ + Fusilade Forte 150 EC 2,0 l·ha⁻¹ + Atpolan 80 EC 1,5 l·ha⁻¹,
- pielęgnacja mechaniczno-chemiczna, tj. do wschodów 3. krotne obredlanie połączone z bronowaniem, a po wschodach, przy 10–15 cm wysokości roślin ziemniaka opryskiwanie herbicydem Barox 460 SL 3,0 l·ha⁻¹,
- pielęgnacja mechaniczno-chemiczna, tj. do wschodów 3. krotne obredlanie połączone z bronowaniem, a po wschodach przy 10–15 cm wysokości roślin ziemniaka opryskiwanie mieszanką herbicydów Barox 460 SL 3,0 l·ha⁻¹ + Fusilade Forte 150 EC 2,5 l·ha⁻¹,
- pielęgnacja mechaniczno-chemiczna, tj. do wschodów 3. krotne obredlanie połączone z bronowaniem, a po wschodach, przy 10–15 cm wysokości roślin ziemniaka opryskiwanie mieszanką herbicydów Barox 460 SL 2,4 l·ha⁻¹ + Fusilade Forte 150 EC 2,0 l·ha⁻¹ + Atpolan 80 EC 1,5 l·ha⁻¹.

Tabela 1

Charakterystyka warunków pogodowych w latach 2002–2004
Characteristic of weather conditions in years 2002–2004

Lata Years	Miesiąc — Month						Wartość Value
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
	Opady mm — Rainfall mm						Suma — Sum
2002	12,9	51,3	61,1	99,6	66,5	18,7	310,1
2003	13,6	37,2	26,6	26,1	4,7	24,3	132,5
2004	35,9	97,0	52,8	49,0	66,7	19,5	320,9
Średnia z wielolecia Multi-year mean 1981–1995	52,3	50,0	68,2	45,7	66,8	60,7	343,7
	Temperatura — Temperature °C]						Średnia — Mean
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
2002	9,0	17,0	17,2	21,0	20,2	12,9	16,2
2003	7,1	15,6	18,4	20,0	18,5	13,5	15,5
2004	8,0	11,6	15,4	17,5	18,9	13,0	14,1
Średnia z wielolecia Multi-year mean 1981–1995	7,7	10,0	16,1	19,3	18,0	13,0	14,0

Analizę zachwaszczenia poletek wykonano metodą ilościowo wagową w dwóch terminach: przed zwarciem rzędów i pod koniec wegetacji ziemniaka (1–2 tygodnie przed zbiorem bulw). Obserwacje przeprowadzono na powierzchni 0,5 m² określonej przez ramkę o wymiarach 33,4 × 150 cm. W doświadczeniu uprawiano średnio wczesną odmianę Wiking.

Wyniki badań opracowano statystycznie za pomocą analizy wariancji. Istotność źródeł zmienności testowano testem „F” Fischera-Snedecora, a ocenę istotności różnic przy poziomie istotności $p = 0,05$ pomiędzy porównywanymi średnimi, za pomocą wielokrotnych przedziałów Tukeya (Trętowski i Wójcik, 1988).

W poszczególnych okresach wegetacji badań panowały zróżnicowane warunki pogodowe (tab. 1). Największą ilość opadów zanotowano w sezonie wegetacyjnym 2004 — 320,9 mm natomiast najmniejszą w 2003 — 132,5 mm. Również rozkład temperatur był zróżnicowany w poszczególnych latach badań. Najcieplejszym sezonem był 2002 średnia temperatura wyniosła 16,2°C, zaś najchłodniejszym 2004 ze średnią temperaturą 14,1°C.

WYNIKI I DYSKUSJA

Stopień zniszczenia powietrznie suchej masy chwastów oznaczonej zarówno na początku wegetacji, jak i przed zbiorem bulw ziemniaka, w był różnicowany przez sposoby uprawy roli, sposoby odchwaszczania oraz warunki pogodowe (tab. 2).

Tabela 2

Redukcja zachwaszczenia (%) w stosunku do obiektu kontrolnego (średnio dla lat) Weed reduction (%) in relation to control object (mean for years)

Sposoby odchwaszczania Weed control methods	Procent zniszczonej powietrznie suchej masy chwastów Weed air-dry mass %					
	przed zwarcie rzędów before row closing			przed zbiorem bulw before tubers harvest		
	sposoby uprawy roli tillage systems		średnia mean	sposoby uprawy roli tillage systems		średnio mean
	tradycyjna traditional	uproszczona simplified		tradycyjna traditional	uproszczona simplified	
1. Obiekt kontrolny — Control object	0	0	0	0	0	0
2. Plateen 41,5 WG	49,8	61,6	55,7	37,6	36,1	36,9
3. Plateen 41,5 WG + Fusilade Forte 150 EC	71,9	79,9	75,9	49,3	48,0	48,7
4. Plateen 41,5 WG + Fusilade Forte 150 EC + Atpolan 80EC	76,1	84,4	80,3	62,1	61,7	61,9
5. Barox 460 SL	35,1	45,1	40,1	35,8	30,4	33,2
6. Barox 460 SL + Fusilade Forte 150 EC	49,7	61,8	55,8	42,1	41,9	42,1
7. Barox 460 SL + Fusilade Forte 150 EC + Atpolan 80 EC	55,5	63,5	59,5	51,3	78,6	50,0
Średnio dla 2–7 Mean for 2–7	56,3	66,1	61,2	46,4	44,5	45,5

Przed zwarcie rzędów ziemniaka większą skuteczność w ograniczaniu powietrznie suchej masy chwastów uzyskano w obiektach, na których stosowano uprawę uproszczoną. Wartość ta wyniosła średnio — 66,1%, zaś w obiektach gdzie, stosowano uprawę tradycyjną skuteczność była mniejsza o 9,8%. Przed zbiorem bulw wyższą skuteczność wyrażoną w procentach zanotowano natomiast w obiektach, na których prowadzono tradycyjną uprawę roli, skuteczność ta wynosiła średnio 46,4%, co znalazło potwierdzenie w badaniach Deryły i Szymankiewicza (2003). Zdaniem tych autorów zastosowanie wyższego poziomu agrotechniki, uwzględniającego zespół uprawek poźniowych i przedsiewnych, przyczynił się do ponad 9-krotnego obniżenia powietrznie suchej masy

chwastów w łanie ziemniaka. W opinii Bujaka i Franta (2006), uproszczenia zastosowane w zespole zabiegów poźniowych nie miały większego wpływu na kształtowanie się powietrznie suchej masy chwastów. Obserwowano jedynie niewielką tendencję do zmniejszania tego wskaźnika zachwaszczenia po zastąpieniu podorywki kultywatorowaniem oraz jego wzrost, gdy zabiegi poźniowe ograniczono do jedno-razowego talerzowania roli. Gawęda i Szymankiewicz (2007) wykazali także, że systemy uprawy roli nie różnicowały istotnie powietrznie suchej masy chwastów, zaobserwowali jedynie tendencję do jej wzrostu w warunkach uprawy bezpłużnej.

Analizując sposoby odchwaszczania (tab. 2) największą skuteczność zniszczenia powietrznie suchej masy chwastów przed zwraciem rzędów ziemniaka, jak i przed zbiorem bulw otrzymano w obiekcie, gdzie zastosowano pielęgnację mechaniczno-chemiczną, tj. do wschodów 3-krotne obredlanie połączone z bronowaniem, a tuż przed wschodami opryskiwanie mieszanką herbicydów Plateen 41,5 WG w dawce $1,6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ + Fusilade Forte 150 EC w dawce $2,0 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ i adjuwant Atpolan 80 EC w dawce $1,5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$. Stopień zniszczenia powietrznie suchej masy chwastów wynosił odpowiednio 80,3% i 61,9%. Uzyskane wyniki są zgodne z doniesieniami Eberlaina i wsp. (1997), Gruczka (2004) oraz Gugąły i Zarzeckiej (2009). Autorzy ci największy procent zniszczenia chwastów uzyskali stosując kombinację, co najmniej dwóch herbicydów stosowanych w różnych terminach lub ich mieszanin. Ponadto efekt zwalczania chwastów mieszaninami herbicydów okazał się mniej zależny od warunków meteorologicznych panujących w czasie wegetacji, niż przy zastosowaniu jednego preparatu. Zdaniem Woźnicy i in. (1996) stosowanie herbicydów połączone z uproszczeniami w uprawie roli wpływa na uodpornienie się chwastów na dany preparat.

Z badań Bujaka i Franta (2006), Gawędy i Szymankiewicza (2007), Gugąły i Zarzeckiej (2009) oraz Sekutowskiego i Badowskiego (2010) wynika, że znaczący wpływ na skuteczność zniszczenia chwastów ma przebieg warunków pogodowych panujących w latach badań, co znalazło potwierdzenie w badaniach własnych (tab. 3).

Tabela 3

Redukcja zachwaszczenia (%) w latach badań
Weed reduction (%) in tested years

Lata Years	Procent zniszczonej powietrznie suchej masy chwastów Weed air-dry mass %					
	przed zwraciem rzędów — before row closing			przed zbiorem bulw — before tubers harvest		
	sposoby uprawy roli — tillage systems			sposoby uprawy roli — tillage systems		
	tradycyjna traditional	uproszczona simplified	Średnio Mean	tradycyjna traditional	uproszczona simplified	Średnio Mean
2002	44,1	56,8	50,5	27,0	31,6	29,3
2003	71,9	84,8	78,4	74,4	65,8	70,1
2004	53,0	56,6	54,8	37,7	36,0	36,9
Średnio dla lat Mean for years	56,3	66,1	61,2	46,4	44,5	45,5

Najlepszy efekt zniszczenia powietrznie suchej masy chwastów uzyskano w roku 2003, który charakteryzował się niskimi opadami i temperaturą wyższą o $1,5^{\circ}\text{C}$ w porównaniu do średniej z wielolecia. Średnia skuteczność zniszczenia powietrznie suchej masy chwastów

oznaczonej przed zwarciem rzędów i przed zbiorem bulw ziemniaka wynosiła odpowiednio 78,4 i 70,1%.

Obliczenia statystyczne nie wykazały istotnego wpływu sposobów uprawy roli na uszkodzenia roślin zarówno w tradycyjnym jak i uproszczonym sposobie uprawy były jednakowe i wynosiły 2,9° według skali EWRC (tab. 4).

Tabela 4

Uszkodzenia roślin ziemniaka powodowane przez herbicydy według skali EWRC 1–9
Damages to potato plants caused by herbicides according to EWRC 1–9 scale

Sposoby uprawy roli Tillage systems	Sposoby odchwaszczania Weed control methods	Lata — Years			Średnio Mean
		2002	2003	2004	
tradycyjna traditional	1. Obiekt kontrolny — Control object	1,0	1,0	1,0	1,0
	2. Plateen 41,5 WG	2,4	2,7	2,4	2,5
	3. Plateen 41,5 WG + Fusilade Forte 150 EC	3,0	3,2	2,8	3,0
	4. Plateen 41,5 WG + Fusilade Forte 150 EC + Atpolan 80EC	2,7	2,7	2,4	2,6
	5. Barox 460 SL	3,1	4,2	3,9	3,7
	6. Barox 460 SL + Fusilade Forte 150 EC	4,1	4,5	3,9	4,2
	7. Barox 460 SL + Fusilade Forte 150 EC + Atpolan 80 EC	2,9	3,2	3,1	3,1
	Średnio — Mean	2,7	3,1	2,8	2,9
uproszczona simplified	1. Obiekt kontrolny — Control object	1,0	1,0	1,0	1,0
	2. Plateen 41,5 WG	2,4	2,7	2,4	2,5
	3. Plateen 41,5 WG + Fusilade Forte 150 EC	3,0	3,2	2,8	3,0
	4. Plateen 41,5 WG + Fusilade Forte 150 EC + Atpolan 80EC	2,7	2,7	2,4	2,6
	5. Barox 460 SL	3,1	4,2	3,9	3,7
	6. Barox 460 SL + Fusilade Forte 150 EC	4,1	4,5	3,9	4,2
	7. Barox 460 SL + Fusilade Forte 150 EC + Atpolan 80 EC	2,9	3,2	3,1	3,1
	Średnio — Mean	2,7	3,1	2,8	2,9
średnio mean	1. Obiekt kontrolny — Control object	1,0	1,0	1,0	1,0
	2. Plateen 41,5 WG	2,4	2,7	2,4	2,5
	3. Plateen 41,5 WG + Fusilade Forte 150 EC	3,0	3,2	2,8	3,0
	4. Plateen 41,5 WG + Fusilade Forte 150 EC + Atpolan 80EC	2,7	2,7	2,4	2,6
	5. Barox 460 SL	3,1	4,2	3,9	3,7
	6. Barox 460 SL + Fusilade Forte 150 EC	4,1	4,5	3,9	4,2
	7. Barox 460 SL + Fusilade Forte 150 EC + Atpolan 80 EC	2,9	3,2	3,1	3,1
	Średnio dla lat — Mean for years	2,7	3,1	2,8	-

NIR_{0,05} — LSD_{0,05} pomiędzy — between: sposobami odchwaszczania — weed control methods — 2,65; sposobami uprawy — tillage systems — r.n.; n.s., interakcja — interaction - r.n.; n.s.

* r.n. — Różnice nieistotne; n.s. — Not significant

Sposoby odchwaszczania wpłynęły istotnie na uszkodzenia roślin ziemniaka (tab. 4). Największe uszkodzenia zaobserwowano w obiekcie, na którym zastosowano mieszaninę herbicydów Barox 460 SL + Fusilade Forte 150 EC, średnia wartość uszkodzeń wg 9-stopniowej skali EWRC wyniosła 4,2. W obiekcie 5., na którym zastosowano pojedynczy preparat Barox 460 SL uszkodzenia były wysokie i wynosiły średnio — 3,7° w skali EWRC. Wyniki te znalazły potwierdzenie w badaniach Urbanowicza (2006 i 2007), Gugęły i in. (2010). Zdaniem tych autorów herbicydy powodowały uszkodzenia roślin ziemniaka, które po upływie pewnego okresu zanikały nie powodując obniżki plonu.

W opinii Dvořáka i Remešowej (2002) oraz Urbanowicza (2010) uszkodzenia roślin ziemniaka przez herbicydy są natomiast przyczyną obniżenia plonów i zdrobnienia bulw.

Zdaniem Urbanowicza (2007) reakcja roślin ziemniaka na uszkodzenia herbicydowe może być spowodowana warunkami pogodowymi. W przeprowadzonych badaniach fitotoksyczne działanie herbicydów było widoczne z różnym nasileniem objawów w poszczególnych latach badań, jednakże różnice te nie były istotne. Najsilniejsze uszkodzenia liści ziemniaka (średnio 3,1) zanotowano w 2003 roku, który charakteryzował się niskimi opadami atmosferycznymi oraz wysokimi temperaturami powietrza. Natomiast w sezonach 2002 i 2004 uszkodzenia były mniejsze i wynosiły odpowiednio 2,7 i 2,8 wg 9-stopniowej skali European Weed Research Council.

WNIOSKI

1. Na skuteczność w ograniczeniu powietrznie suchej masy chwastów oznaczonej przed zwarciem rzędów, jak i zbiorem bulw ziemniaka miały wpływ, zarówno stosowane sposoby uprawy roli jak i odchwaszczania plantacji ziemniaka.
2. Skuteczność zniszczenia powietrznie suchej masy chwastów była zróżnicowana w poszczególnych latach badań.
3. Reakcja na uszkodzenia poherbicydowe roślin ziemniaka istotnie zależała od stosowanych sposobów odchwaszczania plantacji powodując niewielkie uszkodzenia, jednakże w miarę upływu czasu stopniowo następowało ich zanikanie, co świadczy o selektywności stosowanych herbicydów w stosunku do rośliny uprawnej.

LITERATURA

- Bujak K., Frant M. 2006. Wpływ uproszczonej uprawy roli i nawożenia mineralnego na zachwaszczenie ziemniaka uprawianego na glebie lessowej. *Acta Agrobot.* 59 (2): 345 — 352.
- Deryło S., Szymankiewicz K. 2003. Plonowanie i zachwaszczenie ziemniaka w warunkach zróżnicowanego poziomu agrotechniki na glebie lekkiej. *Annales UMCS, Sec. E*, 58: 247 — 255.
- Dvořák J., Remešová I. 2002. Assessment of metribuzin effects on potatoes using a method of very rapid fluorescence induction. *Rast. Výr.* 48 (3): 107 — 117.
- Eberlaina C. V., Petersom P. E., Guttieri M. J., Stark J. C. 1997. Efficacy and economics of cultivation weed control in potato. *Weed Technology* 11 (2): 257 — 264.
- Gawęda D., Szymankiewicz K. 2007. Zachwaszczenie ziemniaka w warunkach zróżnicowanej uprawy roli. *Annales UMCS, Sec. E*, 62: 85 — 91.
- Giebel J., Wnękowski S., Słomińska R., Dziedzic M. 1992. Effect of Sencor (metribuzin) on the inoculums activity of potato gangrene (*Phoma exiguva* var. *foreata*). *Mat. 32. Sesji Nauk. Inst. Ochr. Roślin, Cz. II*: 28 — 32.
- Gruczek T. 2004. Chemiczne i mechaniczne zwalczanie chwastów w ziemniakach oraz wpływ na jakość. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin* 44 (2): 715 — 717.
- Gugła M., Zarzecka K. 2009. Ocena skuteczności herbicydów w uprawie ziemniaka. *Biul. IHAR* 251: 225 — 234.
- Gugła M., Zarzecka K., Zadrozniak B. 2010. Wpływ adiuwantów na plonowanie i ograniczenie zachwaszczenia na plantacji ziemniaka. *Biul. IHAR* 255: 47 — 57.
- Kraska P., Pałys E. 2002. Wpływ systemu uprawy roli oraz nawożenia i ochrony roślin na zachwaszczenie ziemniaka uprawianego na glebie lekkiej. *Annales UMCS, Sec. E*, 57: 27 — 39.
- Sawicka B., Skalski J. 1996. Zachwaszczenie ziemniaka w warunkach stosowania herbicydu Sencor 70 WP. *Cz. I. Skuteczność chwastobójcza herbicydu. Roczn. Nauk Rol.* 112-A-1-2: 169 — 182.

- Sekutowski T., Badowski M. 2010. Wpływ zachwaszczenia, warunków meteorologicznych i ochrony herbicydowej na plon i poszczególne frakcje bulw ziemniaka. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin*, 50 (3): 1390 — 1394.
- Trętowski J., Wójcik R. 1988. *Metodyka doświadczeń rolniczych*. Wyd. WSRP Siedlce: 1 — 500.
- Urbanowicz J. 2006. Reakcja nowych odmian ziemniaka na powschodowe stosowanie metrybuzyny. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin* 46 (2): 305 — 308.
- Urbanowicz J. 2007. Biologiczna ocena formy użytkowej SC i WG herbicydu Sencor w ziemniaku. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin* 47 (3): 285 — 288.
- Urbanowicz J. 2010. Wpływ powschodowego stosowania metrybuzyny na plon wybranych odmian ziemniaka. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin* 50 (2): 837 — 841.
- Wesołowski M. 2007. Stan i perspektywy badań nad systemami produkcji roślinnej w warunkach Lubelszczyzny. *Acta Agroph.* 10 (3): 739 — 749.
- Woźnica Z., Adamczewski K., Frank A., Manthey. 1996. Biotypy chwastów odpornych na herbicydy. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin* 36 (1): 96 — 101.
- Zarzecka K. 2002. Ocena różnych sposobów odchwaszczania ziemniaka. Cz. I. Zachwaszczenie i plonowanie. *Rocz. Nauk Rol.* 116-A-1-4: 177 — 191.

KRYSTYNA ZARZECKA**MAREK GUGAŁA**

Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny, Siedlce

Porównanie efektywności różnych sposobów regulacji zachwaszczenia w łanie ziemniaka

Effectiveness comparison of different weed control methods in cultivation of potato

Porównanie efektywności różnych sposobów odchwaszczania ziemniaka wykonano na podstawie doświadczeń polowych przeprowadzonych w latach 2005–2007 w Rolniczej Stacji Doświadczalnej Zawady. Warianty doświadczenia obejmowały cztery sposoby regulacji zachwaszczenia: pielęgnacja mechaniczna oraz trzy obiekty pielęgnacji mechaniczno-chemicznej z użyciem herbicydów Plateen 41,5 WG, Racer 250 EC i Sencor 70 WG. Do oceny ekonomicznej sposobów odchwaszczania wykorzystano metodę opartą na standardowej nadwyżce bezpośredniej (SGM — Standard Gross Margin). Celem badań było porównanie efektywności różnych sposobów regulacji zachwaszczenia w ziemniaku. Wartość uzyskanego plonu bulw ziemniaka była zróżnicowana i kształtowała się od 5657,5 do 11593,5 PLN·ha⁻¹, a standardowa nadwyżka bezpośrednia wynosiła od 100,1 do 5709,0 PLN. Największy plon bulw ziemniaka i największą nadwyżkę bezpośrednią uzyskano z obiektu, na którym zastosowano herbicyd Sencor 70 WG.

Słowa kluczowe: opłacalność, sposoby regulacji zachwaszczenia, standardowa nadwyżka bezpośrednia, ziemniak

The evaluation of profitability of weeding methods was performed on the basis of field experiment carried out in 2005–2007 at the Zawady Experimental Station. Experimental variants included four weed control methods: one mechanical and three combinations of mechanical and chemical treatments with the use of herbicides Plateen 41,5 WG, Racer 250 EC and Sencor 70 WG. The method based on the standard gross margin (SGM) was used for the economic evaluation of the weed control methods. The aim of the research was to compare the profitability of various methods of weeding of potato. The value of the obtained potato yield varied from 5657.5 to 11593.5 PLN·ha⁻¹ and the standard gross margin ranged from 100.1 to 5709.0 PLN. The highest yield of potato tubers and the highest level of gross margin were recorded from treatment in which weeds were controlled with a herbicide Sencor 70 WG.

Key words: potato, profitability, standard gross margin, weed control methods

WSTĘP

Opłacalność produkcji ziemniaka, jak i innych roślin rolniczych, zależy od wielkości plonu, poziomu cen środków produkcji oraz wartości zebranego i sprzedanego plonu

(Nowacki, 2010; Zarzecka i Gugąła, 2007). Jednym z ważniejszych czynników decydujących o wielkości produkcji i opłacalności uprawy jest ochrona plantacji ziemniaka przed zachwaszczeniem (Pytlarz-Kozicka, 2002; Zarzecka i Gugąła, 2010). Odpowiednio dobrane do stanu i stopnia zachwaszczenia herbicydy umożliwiają skuteczne odchwaszczanie plantacji, zapewniając zwiększenie plonu w wyniku usunięcia konkurencji chwastów (Gugąła i Zarzecka, 2010). Zdaniem Nowackiego (2009) najbardziej perspektywicznym systemem uprawy ziemniaka jest integrowana produkcja, w której łączy się zabiegi mechaniczne i chemiczne, uzyskuje dość wysokie plony, a jednocześnie optymalizuje się koszty.

Celem pracy było porównanie efektywności ekonomicznej produkcji ziemniaka, z uwzględnieniem roli ochrony przed chwastami jako czynnika stabilizującego wielkość plonu i jego jakość.

MATERIAŁ I METODY

W opracowaniu wykorzystano wyniki badań pochodzące z doświadczenia polowego przeprowadzonego w latach 2005–2007 w Rolniczej Stacji Doświadczalnej Zawady. Eksperyment założono metodą losowanych podbloków na glebie kompleksu żytniego bardzo dobrego, klasy IVa, o odczynie kwaśnym (pH w KCl = 4,99–5,40). Analizą objęto cztery sposoby regulacji zachwaszczenia z zastosowaniem zabiegów mechanicznych i chemicznych:

- pielęgnacja mechaniczna (obiekt kontrolny) — zabiegi mechaniczne do wschodów i po wschodach roślin ziemniaka (do wschodów 2-krotne obredlanie i 2-krotne obredlanie połączone z bronowaniem, a po wschodach 2-krotne obredlanie),
- pielęgnacja mechaniczno-chemiczna — do wschodów 2-krotne obredlanie i 2-krotne obredlanie połączone z bronowaniem, a tuż przed wschodami opryskiwanie herbicydem Plateen 41,5 WG (metrybuzyna + flufenacet) w dawce $2,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$,
- pielęgnacja mechaniczno-chemiczna — do wschodów tylko 1-krotne obredlanie i 10 dni po posadzeniu bulw opryskiwanie herbicydem Racer 250 EC (flurochloridon) w dawce $3,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$,
- pielęgnacja mechaniczno-chemiczna — do wschodów 2-krotne obredlanie i 2-krotne obredlanie połączone z bronowaniem, a tuż przed wschodami opryskiwanie herbicydem Sencor 70 WG (metrybuzyna) w dawce $1,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

W doświadczeniu uprawiano średnio wczesną odmianę ziemniaka jadalnego Irga, która jest powszechnie uprawianą kreacją na terenie środkowo-wschodniej Polski. Ziemniak uprawiano po pszenżycie ozimym, na stałym nawożeniu organicznym (obornik $25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) i mineralnym (N = 90, P = 39,6, K = 112,1 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Podczas zbioru z każdego obiektu zważono wszystkie bulwy i pobrano 10 kg próby, na podstawie których dokonano oceny struktury plonu. W kosztach bezpośrednich uwzględniono koszty materiałowe (sadzeniaki, nawozy mineralne, obornik 50%, środki ochrony roślin) oraz koszty specjalistyczne (sortowanie, przygotowanie do sprzedaży). W analizie opłacalności uwzględniono kategorię plonu handlowego (bulwy o średnicy powyżej 40 mm, bez wad zewnętrznych i wewnętrznych) i ubocznego. Do obliczeń przyjęto średnią z lat 2005–2007, a ceny

materiałów i plonu z 2009 roku według cen zakupu i sprzedaży. Opłacalność różnych sposobów odchwaszczania ziemniaka określono kategorią nadwyżki bezpośredniej stanowiącej różnicę pomiędzy wartością rynkową plonu (handlowego + ubocznego) i kosztami bezpośrednimi obejmującymi zużycie materiałów oraz koszty specjalistyczne (Augustyńska-Grzymek i in., 2009; Skarżyńska i in., 2005).

Warunki meteorologiczne w latach prowadzenia badań polowych były zróżnicowane. W roku 2005 opady były mniejsze, a temperatury większe w porównaniu ze średnimi z wielolecia. W 2006 roku opady były większe jak w okresie wieloletnim, ale były nierównomiernie rozłożone. W miesiącach decydujących o gromadzeniu plonu (czerwiec, lipiec) wystąpił znaczny niedobór, natomiast temperatury powietrza w okresie wegetacji były większe w odniesieniu do wielolecia. Najbardziej sprzyjającym plonowaniu ziemniaka sezonem był rok 2007, w którym opady podczas wegetacji były dobrze rozłożone, a temperatury większe niż w wieloleciu.

WYNIKI I DYSKUSJA

Chwasty konkurując z rośliną uprawną ograniczają plonowanie ziemniaka. Plon handlowy bulw ziemniaka odmiany Irga był istotnie zróżnicowany w zależności od sposobów regulacji zachwaszczenia i wynosił średnio od 10,38 do 22,29 t·ha⁻¹ (tab. 1).

Tabela 1

Plony bulw ziemniaka odmiany Irga (t·ha ⁻¹) Yields of potato tubers cultivar Irga (t·ha ⁻¹)						
Sposoby regulacji zachwaszczenia Weed control methods	Plony bulw Yields of potato				Wzrost plonu handlowego Increase of market yield	
	2005	2006	2007	średnio mean	t·ha ⁻¹	%
handlowy market						
1. Obiekt kontrolny — Control object	7,75	10,21	13,18	10,38	—	—
2. Plateen 41,5 WG 2,0 kg·ha ⁻¹	11,52	14,48	29,93	18,64	8,26	79,6
3. Racer 250 EC 3,0 dm ³ ·ha ⁻¹	9,03	12,86	20,50	14,13	3,75	36,1
4. Sencor 70 WG 1,0 kg·ha ⁻¹	16,10	17,01	33,75	22,29	11,91	114,7
Średnio — Mean	11,10	13,64	24,34	16,36	7,97	76,9
NIR _{0,05} — LDS _{0,05}	1,38	4,11	3,49	1,70		
uboczny side						
1. Obiekt kontrolny — Control object	10,05	7,59	10,40	9,35		
2. Plateen 41,5 WG 2,0 kg·ha ⁻¹	9,38	6,22	11,79	9,13		
3. Racer 250 EC 3,0 dm ³ ·ha ⁻¹	9,37	6,74	11,18	9,10		
4. Sencor 70 WG 1,0 kg·ha ⁻¹	10,08	5,89	10,95	8,97		
Średnio — Mean	9,72	6,61	11,08	9,14		
NIR _{0,05} — LDS _{0,05}	r.n.	1,21	r.n.	r.n.		

Duże różnice w plonie wynikały z poziomu plonowania w poszczególnych latach badań. Na duże różnice w plonowaniu ziemniaka w latach wynoszące od 3,7 do 16,1 t·ha⁻¹ wskazuje Nowacki (2009), który podkreśla, że susze często występujące w naszym klimacie powodują duże wahania w plonach tej rośliny. Również inni autorzy (Płaza, 2010;

Pytlarz-Kozicka, 2002) stwierdzili, że lata suche najbardziej limitują poziom plonowania ziemniaka, a różnice mogą wynosić nawet 300%. W prowadzonych badaniach najmniejszy średni plon handlowy zebrano na obiekcie kontrolnym pielęgnowanym przed wschodami i po wschodach roślin ziemniaka z zastosowaniem zabiegów mechanicznych (bronowanie, obredlanie), natomiast na obiektach odchwaszczanych mechaniczno-chemicznie z użyciem herbicydów plon był większy o 36,1–114,7%. Zbliżone efekty oddziaływania herbicydów na plon uzyskali Gugala i Zarzecka (2011), Pytlarz-Kozicka (2002), Zarzecka i Gąsiorowska (2001). Według Pruszyńskiego i Skrzypczaka (2007) ochrona roślin nie jest czynnikiem plonotwórczym, ale ogranicza lub całkowicie eliminuje straty, jakie powstają w wyniku występowania szkodników, chorób czy chwastów, a Golinowska (2009) dodaje, że chroni plon i zapewnia efektywność innych nakładów. Nowacki (2009) wskazuje, że duże zróżnicowanie w poziomie plonowania ziemniaka ma wpływ także na wynik ekonomiczny produkcji, a jednocześnie podkreśla, że najbardziej perspektywnym systemem uprawy jest integrowana produkcja łącząca zabiegi mechaniczne i chemiczne.

W prowadzonych badaniach koszty poniesione na zakup herbicydów wynosiły od 181 do 285 PLN na 1 ha i były niskie w porównaniu do kosztów bezpośrednich ogółem, a w przeliczeniu procentowym koszty środków ochrony roślin (herbicydy, fungicydy, insektycydy) stanowiły tylko od 5,4 do 10,0% kosztów bezpośrednich (tab. 2 i 3).

Tabela 2

Oplacalność uprawy ziemniaka odmiany Irga (PLN·ha⁻¹)
Profitability of potato cultivar Irga (PLN·ha⁻¹)

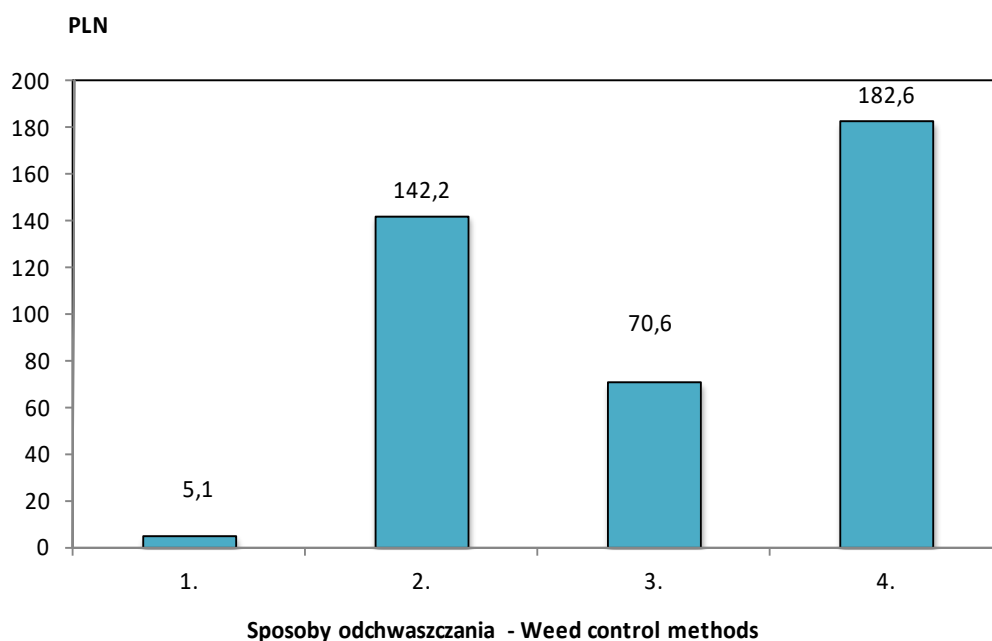
Wyszczególnienie Specification	Sposoby regulacji zachwaszczenia Weed control methods			
	obiekt kontrolny control object	Plateen 41,5 WG	Racer 250 EC	Sencor 70 WG
Sadzeniaki — Seed potato	2625,0	2625,0	2625,0	2625,0
Obornik — Manure (50%)	1215,5	1215,5	1215,5	1215,5
Nawozy mineralne — Mineral fertilizers				
azotowe — nitrogen	295,5	295,5	295,5	295,5
fosforowe — phosphorus	610,0	610,0	610,0	610,0
potasowe — potassium	325,0	325,0	325,0	325,0
Środki ochrony roślin — Plant protection agents				
herbicydy — herbicides	-	181,0	285,0	190,0
fungicydy — fungicides	234,5	234,5	234,5	234,5
insektycydy — insecticides	65,0	65,0	65,0	65,0
Inne koszty bezpośrednie — Other direct costs				
koszty specjalistyczne specialist costs	186,9	274,1	224,3	324,0
ogółem koszty bezpośrednie na 1 ha total direct costs per 1 ha	5557,4	5825,6	5879,8	5884,5
wartość plonu handlowego value of market yield	5190,0	9320,0	7065,0	11145,0
wartość plonu ubocznego value of side yield	467,5	456,5	455,0	448,5
wartość całkowita plonu value of total yield	5657,5	9776,5	7520,0	11593,5
nadwyżka bezpośrednia (pln·ha ⁻¹) gross margin (pln·ha ⁻¹)	100,1	3949,9	1640,2	5709,0

Tabela 3

Struktura kosztów bezpośrednich (%)
The direct costs structure (%)

Wyszczególnienie Specification	Sposoby regulacji zachwaszczenia Weed control methods			
	obiekt kontrolny control object	Plateen 41,5 WG	Racer 250 EC	Sencor 70 WG
Sadzeniaki Seed potato	47,2	45,1	44,6	44,6
Obornik i nawozy mineralne Manure and mineral fertilizers	44,0	42,0	41,6	41,6
Środki ochrony roślin Plant protection agents	5,4	8,2	10,0	8,3
Koszty specjalistyczne Specialist costs	3,4	4,7	3,8	5,5

Największe koszty bezpośrednie były na obiekcie opryskiwanym herbicydem Sencor 70 WG. Również we wcześniejszych badaniach Zarzeckiej i Gąsiorowskiej (2001) oraz Zarzeckiej i Gugały (2007) koszty bezpośrednie na obiektach odchwaszczanych herbicydami były większe niż po zastosowaniu tylko pielęgnacji mechanicznej. Natomiast Nowacki (2009) wykazał większe koszty bezpośrednie w ekologicznym systemie produkcji niż w integrowanym, w którym wykorzystano chemiczne środki ochrony roślin.



Rys. 1. Nadwyżka bezpośrednia na 1 tonę plonu (PLN)
Fig. 1. Gross margin per ton of yield (PLN)

O wartości całkowitej produkcji ziemniaka decydowały plony – głównie handlowy i w niewielkim stopniu plon uboczny. Na obiektach pielęgnowanych mechaniczno-chemicznie z zastosowaniem herbicydów Plateen 41,5 WG i Sencor 70 WG wartość całkowita plonu była 1,7–2,0 krotnie większa niż po zastosowaniu zabiegów odchwaszczających wyłącznie mechanicznych. Następstwem niskiej wartości produkcji otrzymanej w wyniku zabiegów pielęgnacyjnych mechanicznych była mała nadwyżka bezpośrednia (tab. 2, rys. 1). Chemiczne środki chwastobójcze powinny być starannie dobrane do stanu i stopnia zachwaszczenia, wówczas można uzyskać wysoką skuteczność i optymalne plony (Golinowska i Pytlarz-Kozicka, 2008).

Najbardziej opłacalnymi wariantami w pielęgnacji ziemniaka były obiekty odchwaszczane herbicydami Plateen 41,5 WG i Sencor 70 WG, w których nadwyżka bezpośrednia wynosiła 3949,9 i 5709,0 PLN·ha⁻¹. Również badania Bombika i Wolskiej (2004) oraz Nowackiego (2009, 2010) wykazały, że w miarę intensyfikacji uprawy zwiększały się plony i wzrastała nadwyżka bezpośrednia.

WNIOSKI

1. Porównanie efektywności różnych sposobów odchwaszczania ziemniaka powinno stanowić podstawę decyzji w produkcji tej rośliny.
2. Miernikiem efektywności sposobów regulacji zachwaszczenia plantacji ziemniaka były wartości zebranych plonów, zwłaszcza handlowego i koszty bezpośrednie.
3. Największe plony bulw ziemniaka i największą nadwyżkę bezpośrednią, w porównaniu do pielęgnacji mechanicznej, uzyskano z obiektów, na których zastosowano herbicydy Sencor 70 WG i Plateen 41,5 WG.

LITERATURA

- Augustyńska-Grzymek I., Cholewa M., Dziewulski M., Orłowski A., Skarżyńska A., Ziętek I., Zmarzłowski K. 2009. Produkcja, koszty i nadwyżka bezpośrednia wybranych produktów rolniczych w 2008 roku. Raport PW 140. Wyd. IERiGŻ — PIB Warszawa: 1 — 163.
- Bombik A., Wolska A. 2004. Wybrane czynniki kształtujące efekt ekonomiczny produkcji ziemniaka. *Acta Sci. Polonorum, Oeconomia* 3 (2): 17 — 26.
- Golinowska M., 2009. Nakłady na chemiczną ochronę roślin w gospodarstwach wielkoobszarowych na początku XXI wieku. *J. Agribus. Rural Dev.* 2 (12): 53 — 60.
- Golinowska M., Pytlarz-Kozicka M. 2008. Efektywność ekonomiczna ochrony ziemniaków w różnych systemach uprawy. *Prog. Plant Protection/Post. w Ochr. Roślin* 48 (1): 11 — 19.
- Gugała M., Zarzecka K. 2010. Zachwaszczenie i plonowanie ziemniaka w zależności od sposobów pielęgnacji. *Biul. IHAR* 255: 59 — 65.
- Gugała M., Zarzecka K. 2011. Efekt ekonomiczny odchwaszczania plantacji ziemniaka. *Mat. 51. Sesji Nauk. IOR — PIB. Streszczenia. Poznań*, 17–18 lutego: 340 — 341.
- Nowacki W. 2009. Czynniki wpływające na opłacalność produkcji ziemniaka w Polsce. *Rocz. Nauk. Seria XI*, 1: 320 — 323.
- Nowacki W. 2010. Rynek ziemniaków w Polsce. *Rocz. Nauk. Seria XII*, 4: 230 — 234.
- Płaza A. 2010. Międzyplony ścierniskowe alternatywną formą nawożenia w integrowanej uprawie ziemniaka. *Biul. IHAR* 257/258: 129 — 136.
- Pruszyński S., Skrzypczak G. 2007. Ochrona roślin w zrównoważonym rolnictwie. *Fragm. Agronom.* 4 (96): 127 — 138.

- Pytlarz-Kozicka M. 2002. Wpływ sposobów pielęgnowania na wielkość i jakość plonów ziemniaka. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 489: 147 — 155.
- Skarżyńska A., Goraj L., Ziętek I. 2005. Metodologia SGM „2002” dla typologii gospodarstw rolnych w Polsce. Raport PW 4. Wyd. IERiGŻ PIB Warszawa: 1 — 108.
- Zarzecka K., Gąsiorowska B. 2001. Opłacalność zwalczania chwastów w ziemniakach w zależności od doboru herbicydów. Biul. IHAR 217: 233 — 241.
- Zarzecka K., Gugała M. 2007. Efekty ekonomiczne chemicznego zwalczania chwastów w uprawie ziemniaka. Prog. Plant Protection/Post. w Ochr. Roślin 47 (3): 321 — 324.
- Zarzecka K., Gugała M. 2010. Koszty i ekonomiczne efekty różnych metod odchwaszczania plantacji ziemniaka. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 557: 77 — 83.

CEZARY TRAWCZYŃSKI**ANNA WIERZBICKA**Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Agronomii Ziemiaka, Oddział w Jadwisinie

Odmianowe i środowiskowe zróżnicowanie zawartości glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka

The cultivar and environmental difference of glycoalkaloids content in potato tubers

Celem badań polowych przeprowadzonych w latach 2006–2009 było określenie zawartości glikoalkaloidów w bulwach nowych odmian ziemniaka (bardzo wczesne — Impala, Miłek, Velox, wczesne — Augusta, Ewelina, Nora, Oman, średnio wczesne — Elanda, Marlen, Meridian, średnio późna — Roko, późne — Medea, Kuras, Pokusa) z uwzględnieniem warunków klimatycznych w okresie wegetacji. Badania przeprowadzono na glebie lekkiej, nawożonej organicznie słomą i międzyplonem gorczycy białej. Nawożenie mineralne stosowano w dawce: 100 kg N·ha⁻¹, 39,2 kg P·ha⁻¹, 99,6 kg K·ha⁻¹. Sumaryczną zawartość glikoalkaloidów (cTGA) oznaczono kolorymetryczną metodą Bergersa. Stwierdzono, że zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka w większym stopniu różnicowana była przez czynnik genetyczny-odmiany (50%) niż czynnik środowiskowy — warunki klimatyczne w latach (27%). Zawartość glikoalkaloidów wahała się od 29 mg·kg⁻¹ w odmianie Impala do 134 mg·kg⁻¹ w bulwach odmiany Kuras. W roku 2007 o dużej ilości opadów i niskiej temperaturze powietrza w okresie wegetacji stwierdzono największą zawartość glikoalkaloidów w bulwach.

Słowa kluczowe: glikoalkaloidy, lata uprawy, odmiany, ziemniak

The aim of field experiment conducted in the years 2006–2009 was to assess glycoalkaloids content in tubers of new potato cultivars (very early — Impala, Miłek, Velox, early — Augusta, Ewelina, Nora, Oman, mid-early — Elanda, Marlen, Meridian, mid-late — Roko, late — Medea, Kuras, Pokusa) taking into consideration climate conditions in vegetation season. The investigations were carried out on the light soil fertilized organically with straw and aftercrop of white mustard. Mineral fertilization was applied in the doses of 100 kg N·ha⁻¹; 39,2 kg P·ha⁻¹; 99,6 kg K·ha⁻¹. The glycoalkaloids (cTGA) content was determined according to Bergers colorimetric method. It was found that the glycoalkaloids content in potato tubers was diversified stronger by genetic factor-cultivars (50%) than by environment factor-climate conditions in the years (27%). The content of glycoalkaloids varied from 29 mg·kg⁻¹ for cultivar Impala to 134 mg·kg⁻¹ for cultivar Kuras. The highest glycoalkaloids content in tubers was detected in year 2007 with high quantity of rainfall and low air temperature.

Key words: cultivars, glycoalkaloids, growing season, potato

WSTĘP

Jednym z głównych składników mających wpływ na wartość żywieniową bulw ziemniaka są glikoalkaloidy (cTGA; content of total glycoalkaloids), głównie solanina i czakonina (Bushway, 1983). Glikoalkaloidy są substancjami naturalnie występującymi w całej rodzinie *Solanaceae* i stanowią jeden z elementów wieloskładnikowego mechanizmu odpornościowego roślin ziemniaka. W liściach, łodygach, kwiatach i kielkach zawartość tego związku jest kilkakrotnie większa niż w bulwach (Gregory, 1984). Wysoka kumulacja tego związku w bulwach ziemniaka obniża ich wartość pokarmową, stąd glikoalkaloidy określane są jako substancje antyżywniowe i mogą działać niekorzystnie na zdrowie ludzkie (Friedman, Dao, 1992; Friedman, Mc Donald, 1997). Dopuszczalna zawartość glikoalkaloidów niezależnie od odmiany wynosi do 200 mg·kg⁻¹ w świeżej masie, chociaż zawartość TGA powyżej 100 mg·kg⁻¹ w świeżej masie bulw może już pogarszać smak bulw (Mazurczyk, Lis 2000). Spożycie ziemniaków z nadmierną zawartością tych związków powoduje uszkodzenia przewodu pokarmowego i układu nerwowego (Percival i in., 1996). Symptomami zatrucia są: podrażnienie gardła i błon śluzowych, bóle brzucha, nudności, wymioty, biegunka. Ze względu na toksyczność glikoalkaloidów, zalecane jest więc dokładne analizowanie zawartości tych związków w bulwach ziemniaka, co dotyczy powinno wszystkich nowych odmian, wpisanych przez COBORU do Krajowego Rejestru Odmian. Na podstawie wieloletnich badań 1988–2005, obejmujących szerokie spektrum genotypów (145) wykazano, że wahania w zawartości glikoalkaloidów stanowiły od 3 do 350 mg·kg⁻¹ św. masy bulw (Wroniak, Mazurczyk, 2006). Między innymi w okresie wegetacji roślin bulwy narażone są na oddziaływanie czynników pogody, które w określonych przypadkach mogą stanowić czynnik stresu, a reakcją rośliny jest wzrost zawartości glikoalkaloidów (Sinden i in., 1984; Mazurczyk, 1988; Griffiths i in., 1994; Frydecka-Mazurczyk, Zgórska, 1995; Papathanasiou i in., 1998; Nitihamyong i in., 1999; Lachman i in., 2001). Stąd bardzo ważne jest, żeby wszystkie zarejestrowane odmiany charakteryzowały się genetycznie uwarunkowaną niską kumulacją tych związków w bulwach. Wtedy istnieje małe prawdopodobieństwo przekroczenia niebezpiecznego poziomu TGA (powyżej 200 mg·kg⁻¹ św. masy bulw).

Mając na uwadze powyższe aspekty przeprowadzono badania, których celem było określenie zawartości glikoalkaloidów w bulwach nowych odmian ziemniaka należących do różnych grup wczesności zarejestrowanych w latach 2005–2008 z uwzględnieniem przebiegu warunków pogodowych w okresie ich wegetacji.

MATERIAŁ I METODY

W latach 2006–2009 w Zakładzie Agronomii Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Oddział w Jadwisinie w ścisłych doświadczeniach polowych i laboratoryjnych określono zawartość glikoalkaloidów w bulwach czternastu nowych jadalnych i skrobiowych odmian ziemniaka należących do różnych grup wczesności (bardzo wczesne — Impala, Miłek, Velox, wczesne — Augusta, Ewelina, Nora, Oman, średnio wczesne — Elanda, Marlen, Meridian, średnio późna — Roko, późne — Medea, Kuras, Pokusa).

Doświadczenia zakładano metodą losowanych bloków w trzech powtórzeniach. Wielkość pojedynczego poletka stanowiła powierzchnię 7,425 m² (30 roślin).

Badania przeprowadzono na glebie lekkiej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego. Gleba w analizowanych latach badań charakteryzowała się kwaśnym odczynem, bardzo wysoką zasobnością w przyswajalny fosfor oraz średnią do wysokiej w potas i magnez. Warunki klimatyczne okresu wegetacji oceniono na podstawie ilości opadów i temperatury powietrza (tab. 1).

Tabela 1

Rozkład opadów oraz średnie temperatury powietrza w okresie wegetacji
Rainfall distribution and average air temperatures during vegetation period

Lata Years	Miesiąc Month	Opady atmosferyczne (mm) Rainfalls			Temperatura powietrza (°C) Air temperature		
		suma m-ca sum of month	średnia sumy z wielolecia* multiyear mean sum	odchylenie deviation	średnia m-ca mean of month	średnia z wielolecia* multiyear mean	odchylenie deviation
2006	IV	38,0	39	-1,0	7,7	7,7	0,0
	V	50,4	51	-0,6	12,8	13,6	-0,8
	VI	50,9	77	-26,1	15,2	16,5	-1,3
	VII	9,2	73	-63,8	22,0	18,4	3,6
	VIII	156,1	62	94,1	17,0	17,7	-0,7
	IX	11,5	49	-37,5	14,8	13,1	1,7
	IV - IX	316,1	351	-34,9	14,9	14,5	0,4
2007	IV	16,3	39	-22,7	7,8	7,7	0,1
	V	78,4	51	27,4	13,1	13,6	-0,5
	VI	109,6	77	32,6	15,7	16,5	-0,8
	VII	54,1	73	-18,9	17,6	18,4	-0,8
	VIII	74,3	62	12,3	17,8	17,7	0,1
	IX	103,7	49	54,7	10,8	13,1	-2,3
	IV - IX	436,4	351	85,4	13,8	14,5	-0,7
2008	IV	29,3	39	-9,7	7,4	7,7	-0,3
	V	62,9	51	11,9	13,6	13,6	0,0
	VI	43,5	77	-33,5	17,1	16,5	0,6
	VII	68,8	73	-4,2	18,1	18,4	-0,3
	VIII	80,9	62	18,9	17,6	17,7	-0,1
	IX	48,8	49	-0,2	11,6	13,1	-1,5
	IV - IX	334,2	351	-16,8	14,2	14,5	-0,3
2009	IV	0,0	39	-39,0	9,7	7,7	2,0
	V	80,8	51	29,8	12,3	13,6	-1,3
	VI	72,4	77	-4,6	17,3	16,5	0,9
	VII	85,6	73	12,6	21,3	18,4	2,9
	VIII	83,1	62	21,1	17,3	17,7	-0,4
	IX	18,8	49	-30,2	14,2	13,1	1,1
	IV - IX	340,7	351	-10,3	15,4	14,5	0,9

*Lata 1967–2009; Years of 1967–2009

Nawożenie organiczne pod ziemniak stanowiła słoma z dodatkiem azotu mineralnego (około 1 kg N na 100 kg słomy) oraz poplon ścierniskowy z gorczycy białej przyorywany jesienią orką przedzimową. Nawożenie mineralne N : P : K stosowano odpowiednio w dawce 100 : 39,2 : 99,6 kg·ha⁻¹. Ziemniaki sadzono ręcznie w III dekadzie kwietnia w

rozstawie 75×33 cm, a zbierano w okresie od III dekady sierpnia (odmiany wczesne) do I dekady października (odmiany późniejsze). Podczas zbioru z każdego poletka pobierano 5-kilogramowe próby w celu oznaczenia zawartości glikoalkaloidów w bulwach. Przed analizą chemiczną bulwy umyto oraz usunięto z nich ziemniaki uszkodzone, zazielenione i o masie mniejszej od 20–25 g. Oznaczenia wykonano w ciągu 2–3 tygodni po zbiorach. Sumaryczną zawartość glikoalkaloidów (cTGA) oznaczono przy pomocy kolorymetrycznej metody Bergersa (1980). TGA ekstrahowano gorącym etanolem, wytrącano stężonym amoniakiem oraz przeprowadzano reakcję barwną z użyciem odczynnika Clarka (stężony kwas fosforowy z dodatkiem formaldehydu). Reakcja barwna zachodzi dzięki istnieniu podwójnego wiązania między atomami węgla układu sterydowego solanidyny. Solanidyna jest aglikonem we wszystkich formach solaniny i czakoniny (Beukema, Van Der Zaag, 1990).

Wyniki doświadczeń opracowano posługując się programem statystycznym SAS Enterprise Guide. Analizę porównania średnich przeprowadzono z wykorzystaniem testu zakresu studentyzowanego Tukeya.

WYNIKI I DYSKUSJA

Zawartość glikoalkaloidów w bulwach związana była w większym stopniu z czynnikiem genetycznym (odmianowym) niż środowiskowym (warunki pogodowe w okresie wegetacji roślin). Analiza komponentów wariancyjnych wykazała, że czynnikowi odmiany przypisać można 50% udziału w zmienności całkowitej, natomiast lata badań stanowiły 27% udziału. Ocenę wpływu czynników na zawartość glikoalkaloidów w bulwach przedstawiono w tabeli nr 2.

Tabela 2

Wyniki analizy wariancji dla zawartości glikoalkaloidów w bulwach
Results of variance analysis for content of glycoalkaloids in tubers

Istotność wpływu Significance of the influence			Udział w wariancji całkowitej (%) Share in total variability (%)		
1	2	1x2	1	2	1x2
x	x	x	50	27	23

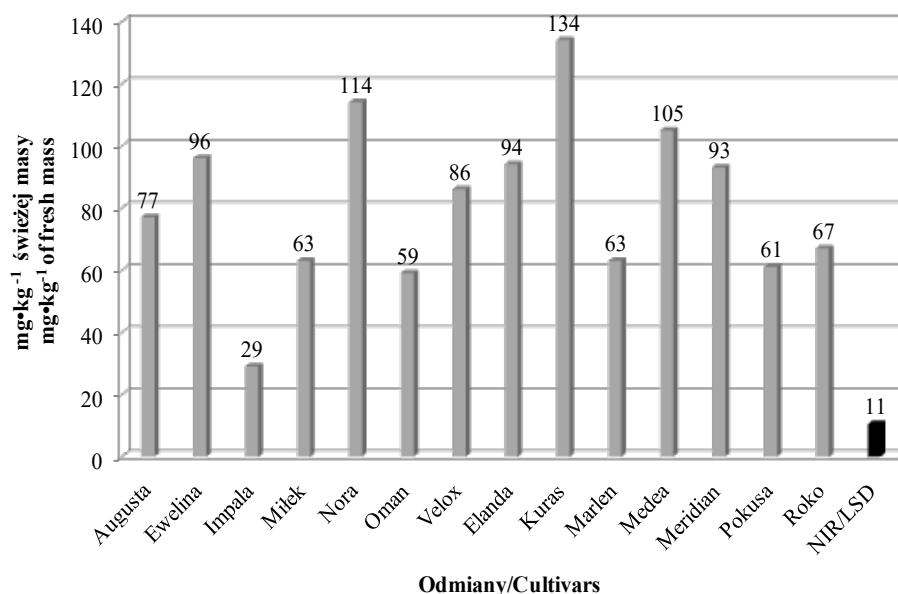
1 — Odmiana; Cultivar

2 — Lata; Years;

X — Istotność przy $p = 0,05$; Significant at $p = 0.05$

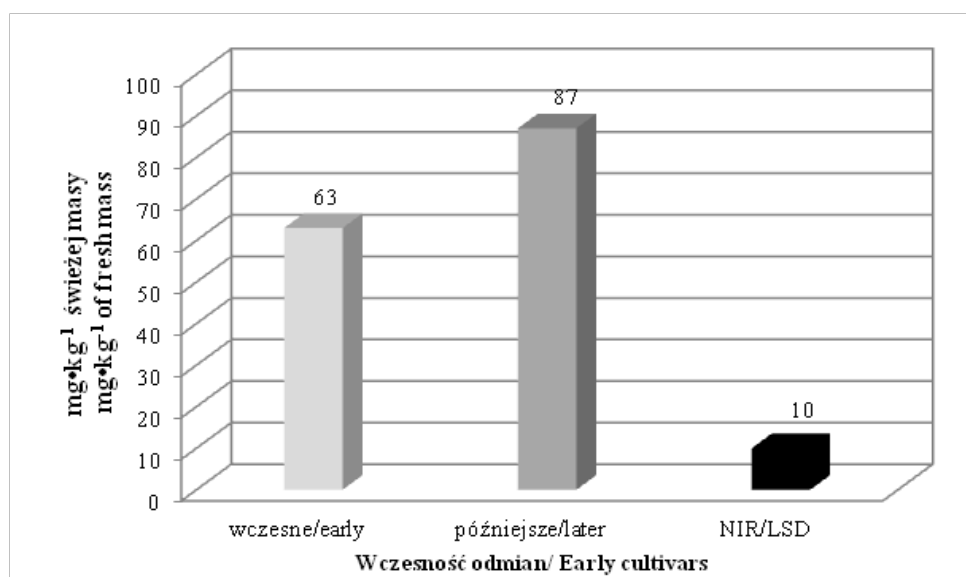
Analizowane odmiany różniły się istotnie zawartością glikoalkaloidów (TGA) w bulwach (rys. 1) i u odmian wczesnych poziom tego związku w bulwach był o 38% niższy niż w bulwach odmian późniejszych (rys. 2).

Niezależnie od lat badań zawartość glikoalkaloidów wahała się od 29 mg·kg⁻¹ w bulwach odmiany Impala do 134 mg·kg⁻¹ świeżej masy u odmiany Kuras (rys. 1). Większość odmian charakteryzowała się genetycznie uwarunkowaną niską skłonnością do kumulowania glikoalkaloidów w bulwach (poniżej 100 mg·kg⁻¹ św. masy). Jedynie odmiany Kuras, Nora i Medea zakwalifikowano do grupy o podwyższonej skłonności do kumulowania TGA w bulwach (powyżej 100 mg·kg⁻¹ świeżej masy).



Rys. 1. Zróżnicowanie odmianowe zawartości glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka (mg·kg⁻¹ świeżej masy)

Fig. 1. Glycoalkaloids content in potato tubers (mg·kg⁻¹ of fresh weight) of the tested cultivars

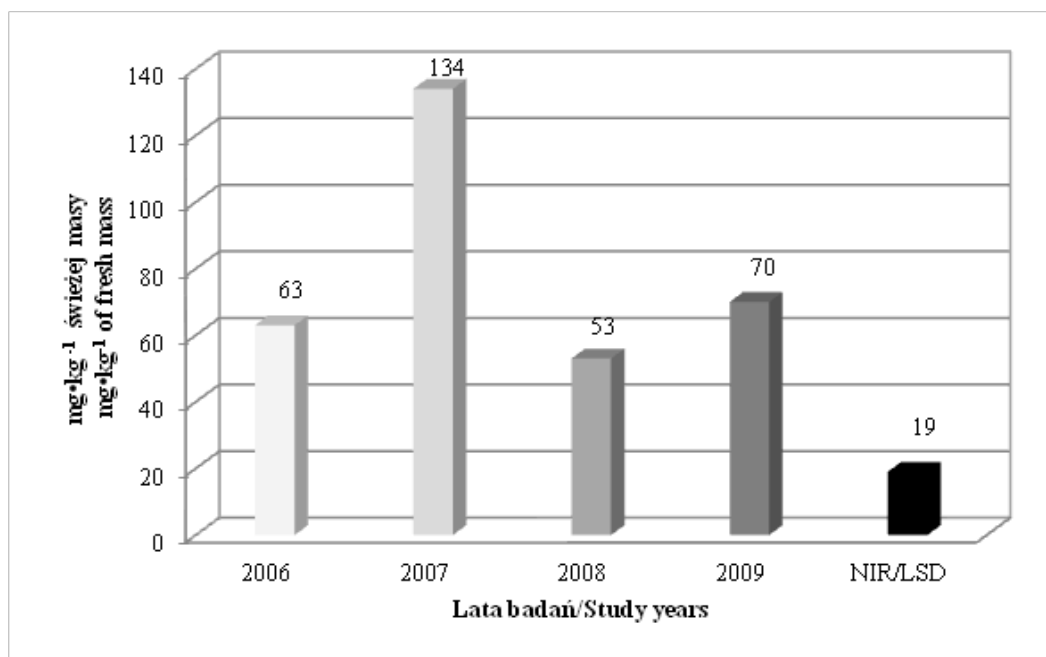


Rys. 2. Zawartość glikoalkaloidów w bulwach w zależności od wczesności odmian (mg·kg⁻¹ świeżej masy)

Fig. 2. The content of glycoalkaloids in tubers (mg·kg⁻¹ of fresh weight) in relation to potato cultivars' maturity type

Niepokojąca jest podwyższona skłonność do kumulowania glikoalkaloidów w bulwach u odmian jadalnych Nora i Medea, gdyż w warunkach wystąpienia stresu środowiskowego w okresie wegetacji czy podczas zbioru lub po zbiorze bulw może nastąpić znaczny wzrost zawartości TGA w bulwach. W przypadku odmian jadalnych przekroczenie dopuszczalnego poziomu glikoalkaloidów (powyżej $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), dyskwalifikować powinno bulwy do wykorzystania w żywieniu, natomiast bulwy odmian skrobiowych można wykorzystać do celów przemysłowych, np. do produkcji skrobi czy alkoholu.

Istotny wpływ na zawartość glikoalkaloidów w bulwach badanych odmian miały opady i temperatura powietrza w okresie wegetacji roślin. Lata 2006, 2008 i 2009 charakteryzowały się podobną ilością opadów (od 316 do 340 mm) w okresie wegetacji roślin (kwiecień-wrzesień), natomiast zdecydowanie większe opady zanotowano w roku 2007 (436 mm). Suma opadów z wielolecia w okresie kwiecień-wrzesień stanowiła 351 mm (tab. 1). Należy również zwrócić uwagę, że w roku 2007 w okresie kumulacji plonu bulw, od czerwca do sierpnia włącznie wystąpiły znaczne różnice w uwilgotnieniu gleby, wynikające z nadmiaru opadów na przemian z okresami ich niedoboru. Ponadto rok 2007 w okresie od czerwca do sierpnia włącznie był chłodniejszy w porównaniu do pozostałych trzech lat (tab. 1). Zróżnicowane uwilgotnienie gleby oraz niska temperatura powietrza wpłynęły istotnie na większy poziom glikoalkaloidów w bulwach w roku 2007 w stosunku do pozostałych lat (rys. 3).



Rys. 3. Wpływ lat badań na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ świeżej masy)
 Fig. 3. The influence of years on glycoalkaloids content in potato tubers ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ of fresh weight)

Frydecka-Mazurczyk i Zgórska (2002) wysoką zawartość glikoalkaloidów w bulwach tłumaczyły brakiem dostatecznej ilości opadów i wysoką temperaturą powietrza występującą w lipcu i sierpniu. Wiele danych literaturowych potwierdza, że bulwy ziemniaka podczas wegetacji pod wpływem zbyt niskiej lub wysokiej temperatury powietrza, a także nadmiaru lub niedoboru opadów oraz po zbiorze w reakcji na uszkodzenia mechaniczne i światło zwiększają syntezę glikoalkaloidów (Olsson, 1986; Dale i in., 1993; Griffiths i in. 1994; Percival i in. 1994; Zrust 1997; Frydecka-Mazurczyk, Zgórska 2000, 2001). Frydecka-Mazurczyk i Zgórska (2002) wykazały, że uszkodzenia mechaniczne i światło, na które narażone są bulwy ziemniaka podczas zbioru, transportu czy sortowania podwajają poziom glikoalkaloidów w bulwach w chwili zbioru. Dlatego bardzo ważne jest, aby wszystkie zarejestrowane odmiany miały genetycznie uwarunkowaną niską zawartość tych związków, najlepiej poniżej $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ świeżej masy (Mazurczyk, 1991; Frydecka-Mazurczyk, Zgórska, 2002), co wykazano w bulwach odmiany Impala.

WNIOSKI

1. Zawartość glikoalkaloidów w bulwach w większym stopniu kształtował czynnik genetyczny (odmiany) niż środowiskowy (warunki klimatyczne w okresie wegetacji).
2. Zawartość glikoalkaloidów w bulwach badanych odmian wahała się od 29 do $134 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ świeżej masy, a u odmian Kuras, Nora i Medea stwierdzono podwyższoną skłonność do kumulowania tego związku (powyżej $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$).
3. W roku 2007, najbardziej wilgotnym i chłodnym, stwierdzono największą zawartość glikoalkaloidów w bulwach badanych odmian w porównaniu do pozostałych sezonów wegetacyjnych.

LITERATURA

- Bergers W. W. A. 1980. A rapid quantitative assay for solanidine glycoalkaloids in potatoes and industrial potato protein. *Potato Res.* 23: 105 — 110.
- Beukema H. P., Van Der Zaag D. E. 1990. Introduction to potato production. Pudoc Wageningen: 121 — 123.
- Bushway R. J. 1983. Alpha-chaconine and alpha-solanine content of potato peels and potato peel products. *J. Food Sci.* 48: 84 — 86.
- Dale M. F. B., Griffiths D. W., Bain H., Tood D. 1993. Glycoalkaloid increase in *Solanum tuberosum* on exposure to light. *Ann. Appl. Biol.* 121: 411 — 418.
- Friedman M., Dao L. 1992. Distribution of glycoalkaloids in potato plants and commercial potato products. *J. Agric. Food. Chem.* 40: 419 — 423.
- Friedman M., McDonald G. M. 1997. Potato glycoalkaloids: chemistry, analysis, safety and plant physiology. *Crit. Rev. Plant Sci.* 16: 103.
- Frydecka-Mazurczyk A., Zgórska K. 1995. Nitrate and glycoalkaloid concentration and potato tubers during the vegetation and storage period. Joint Meeting Agronomy and Utilization Sections of EAPR. Abstract of papers, Vila Real, Portugal, 24-30 VII 1995: 50 — 51.
- Frydecka-Mazurczyk A., Zgórska K. 2000. Wpływ stresu wywołanego działaniem światła i uszkodzeń mechanicznych na akumulację glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 469: 285 — 292.
- Frydecka-Mazurczyk A., Zgórska K. 2001. Wpływ genotypu na akumulację glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka wywołaną działaniem uszkodzeń mechanicznych i światła. *Roczn. PZH* 52 (2): 139 — 144.

- Frydecka-Mazurczyk A., Zgórska K. 2002. Czynniki wpływające na akumulację glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 489: 283 — 290.
- Gregory P. 1984. Glycoalkaloid composition of potatoes: diversity and biological implications. Amer. Potato J. 61 (3): 115 — 122.
- Griffiths D. W., Dale M. F. B., Bain H. 1994. The effect of cultivar, maturity and storage on photo-induced changes in the total glycoalkaloids and chlorophyll contents of potatoes. Plant Sci. 98: 103.
- Lachman J., Hamouz K., Orsak M., Pivec V. 2001. Potato glycoalkaloids and their significance in plant protection and human nutrition-review. Rostlinna Vyroba 47 (4): 181 — 191.
- Mazurczyk W. 1988. Zmiany zawartości glikoalkaloidów w dojrzałych bulwach ziemniaka, zależnie od odmiany oraz wybranych czynników agrotechnicznych. Ziemniak: 29-43.
- Mazurczyk W., Lis B. 2000. Zawartość azotanów i glikoalkaloidów w dojrzałych bulwach ziemniaka jadalnego. Roczn. PZH 51(1): 37 — 41.
- Nitthammyong A., Venable J. H., Wheeler R.M., Tibbitts T. W. 1999. Glycoalkaloids in potato tubers grown under controlled environments. Am. J. Potato Res. 76: 337 — 343.
- Olsson K. 1986. The influence of genotype on the effects of impact damage on the accumulation of glycoalkaloids in potato tubers. Potato Res. 29: 1 — 12.
- Papathanasiou F., Mitchell S. H., Harvey B. M. R. 1998. Glycoalkaloid accumulation during tuber development of early potato cultivars. Potato Res. 41: 117 — 125.
- Percival G., Dixon G. R. 1994. Glycoalkaloid concentration of potato tubers following continuous illumination. J. Sci. Food Agric. 66: 139 — 144.
- Percival G., Dixon G. R., Sword A. 1996. Glycoalkaloid concentration of potato tubers following exposure to daylight. J. Sci. Food Agric. 71: 5.
- Sinden S. L., Sanford I.L., Webb R. E. 1984. Genetic and environmental control of potato glycoalkaloids. Am. Potato J. 61: 141 — 156.
- Wroniak J., Mazurczyk W. 2006. Odmianowe zróżnicowanie zawartości glikoalkaloidów w zależności od przeciętnej masy bulw ziemniaka. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 511: 189 — 195.
- Zrust J. 1997. The glycoalkaloid content in potato tubers as affected by cultivation technology and mechanical damage. Rostlinna Vyroba 43: 509 — 515.

ZBIGNIEW CZERKO

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB

Zakład Przechowalnictwa i Przetwórstwa Ziemniaka, Oddział w Jadwisinie

Przechowywalność sześciu odmian ziemniaka uprawianych w latach 2007–2009

Influence of cultivar, temperature of storage and weather conditions during vegetation period on storage losses of six potato varieties tested in years 2007–2009

Celem doświadczenia była ocena wielkości strat nowych odmian (Benek, Bellarosa, Ewelina, Meridian, Miłek, Owacja), określenie terminów rozpoczęcia kiełkowania ziemniaków przechowywanych w temperaturach 3°C, 5°C i 8°C oraz poszukiwanie wpływu czynników pogodowych w okresie wegetacji na termin rozpoczęcia kiełkowania, ubytków naturalnych i chorób przechowalnictwowych podczas przechowywania. Po przechowywaniu w temperaturach 3°C, 5°C, 8°C określono ubytki naturalne, straty wywołane rozwojem chorób oraz kiełkowaniem. Średnio, ubytki naturalne ziemniaków przechowywanych w temperaturze 3°C i 5°C były na tym samym poziomie (6,1% i 6,4%). Ziemniaki przechowywane w wyższej temperaturze 8°C miały istotnie wyższe ubytki naturalne (7,2%) niż przechowywane w temperaturze 3°C i 5°C. Średnie straty spowodowane rozwojem chorób przechowalnictwowych wynosiły dla poszczególnych odmian od 0,20% do 1,23% i tylko odmiana Benek miała straty przekraczające 1,0%. Początek kiełkowania zależał od odmiany, temperatury przechowywania i warunków wegetacji. Rozpoczęcie kiełkowania ziemniaków przechowywanych w 8°C zależało od odmiany i nastąpiło w 1 dekadzie grudnia (Meridian) a najpóźniej w 1 dekadzie lutego (Bellarosa). Kiełkowanie ziemniaków przechowywanych w 3°C powodowało opóźnienie rozpoczęcia kiełkowania o 7 dekad w porównaniu do przechowywania w 8°C. Warunki wegetacji miały wpływ na termin rozpoczęcia kiełkowania, ubytki naturalne i choroby podczas przechowywania.

Słowa kluczowe: choroby, kiełki, przechowywanie, straty, ubytki naturalne, ziemniak

The aim of the study was to assess the storage losses and dates of first sprouting of new potato cultivars (Benek, Bellarosa, Ewelina, Meridian, Miłek, Owacja) in different storage temperatures: 3°C, 5°C, 8°C. Influence of weather factors in vegetation period on date of first sprouting and on storage losses was also evaluated. After six months of storage, natural losses, losses caused by diseases, date of first sprouting and the weight of sprouts were estimated. The average natural losses for cultivars kept in temperature 3°C, and 5°C were on the same level (6.1% and 6.4%). In higher temperature (8°C), natural storage losses (7.2%) were significantly higher than in temperatures of 3°C and 5°C. The average potato losses caused by diseases amounted from 0.2% to 1.23%, only cultivar Benek had more losses than 1.0%. The date of first sprouting depended on cultivar, storage temperature and vegetation conditions. The sprouting of potatoes stored in temperature 8°C depended on cultivars and began from 1st decade of December (Meridian) till 1st decade of February (Bellarosa). Potato storage in 3°C caused delay of the sprouting of about 7 decades in relation to storage in 8°C. Vegetation conditions had an influence on term of sprouting, natural losses and diseases during storage.

Key words: diseases, losses, potato, sprouting, storage

WSTĘP

Przydatność ziemniaków do długotrwałego przechowywania związana jest z właściwościami genetycznymi odmiany, które mogą ulegać modyfikacjom pod wpływem warunków uprawy, zbioru i przechowywania (Sowa-Niedziałkowska, 2000 i 2004 a). W przechowalnictwie bardzo cenione są odmiany, które charakteryzują się jak najdłuższym okresem uśpiania bulw, niskim poziomem ubytków naturalnych i chorób przechowalniczych.

Ubytki naturalne powstają w wyniku transpiracji i oddychania ziemniaków. Intensywność transpiracji zależy od takich czynników jak odmiana, stopień skorkowacenia skórki, stopień zablźnienia uszkodzeń oraz od warunków przechowywania (temperatura, wilgotność).

Oddychanie ziemniaków zależy głównie od odmiany i temperatury przechowywania. Najniższe oddychanie odnotowuje się u ziemniaków przechowywanych w temperaturze 5°C. Ziemniaki przechowywane w wyższej jak i niższej temperaturze oddychają intensywniej (Frydecka-Mazurczyk, 1979; Kubicki, 1988). Dlatego zalecana temperatura przechowywania ziemniaków jadalnych wynosi 5°C. Dla przetwórstwa, ze względu na ograniczenie kumulacji cukrów dla większości odmian temperatura powinna być podniesiona do 8°C (Rastovski i in., 1981; Copp i in., 2000; Burton i in., 1992; Zgórska, Frydecka-Mazurczyk, 2000).

Straty w wyniku chorób przechowalniczych takich jak mokra zgnilizna, sucha zgnilizna oraz mieszana zgnilizna zależą głównie od odmiany, warunków przechowywania oraz warunków w jakich wyrastają ziemniaki (Kuźniewicz, 1982; Pringle i in., 1999; Sowa-Niedziałkowska, 2000; Czerko, 2009). W wyższej temperaturze przechowywania zwykle powstają wyższe straty przechowalnicze. Wysoka temperatura przechowywania (6°C–10°C), wilgotność względna powyżej 95% oraz słabe przewietrzenie przyzmy sprzyja gniciu ziemniaków w wyniku rozwoju mokrej zgnilizny a także mieszanej zgnilizny w przypadku, gdy dochodzi do wtórnego zakażenia bakteriami wywołującego mokrą zgniliznę bulw porażonych zarazą ziemniaka (Perombelon, 1970 b; Pett, 1978). Sucha zgnilizna bulw intensywniej rozwija się w przyzmy ziemniaków o wyższej temperaturze intensywnie wietrzonej (Langerfeld, 1979; Desjardinis i in., 1992), chociaż zdarzają się przypadki, iż w niskiej temperaturze wzrasta porażenie bulw tą chorobą (Kuźniewicz, 1982).

Straty w wyniku kiełkowania zależą głównie od odmiany i temperatury przechowywania. W wyższej temperaturze przechowywania kiełkowanie następuje szybciej i jest intensywniejsze. Natomiast przechowywanie w niskich temperaturach wydłuża okres uśpiania oraz ogranicza intensywność wzrostu kiełków (Sowa-Niedziałkowska, 2004 b; Czerko, 2008). Na wielkość strat w wyniku kiełkowania mają wpływ także warunki wegetacji, tj. przebieg temperatury powietrza i rozkład opadów (Sowa-Niedziałkowska, 2002 a; Czerko, 2009). Ponadto niskie temperatury przechowywania obniżają ubytki naturalne oraz ograniczają rozwój większości chorób przechowalniczych. Z tego względu sadzeniaki powinny być przechowywane w niskiej temperaturze. Zdaniem wielu autorów,

wybór optymalnej temperatury przechowywania sadzeniaków uzależniony jest od: tempa fizjologicznego starzenia się bulw, długości okresu spoczynku bulw oraz od plonowania roślin po przechowywaniu sadzeniaków w odpowiedniej temperaturze (Rykaczewska, 1993; Reust i in., 2001). Dla większości odmian zalecana temperatura do przechowywania sadzeniaków wynosi 3°C. Jednak występują odmiany, które ze względu na długi okres spoczynku mogą być przechowywane w 5°C (Sowa-Niedziałkowska, 2002 b).

W przechowalnictwie ziemniaków zauważa się dużą zmienność strat przechowalniczych w zależności od przebiegu pogody w okresie wegetacji. W pracy Sowa-Niedziałkowskiej, (2000) przedstawiono duży wpływ lat uprawy na straty przechowalnicze. Można sądzić że istnieje związek z intensywnym występowaniem zarazy ziemniaka w „mokrych” latach (mimo że doświadczenia są dobrze chronione przed tą chorobą), i sprzyjającymi warunkami również do rozwoju chorób bakteryjnych. Prezentowane doświadczenie przeprowadzone było w latach o dużych różnicach w ilości opadów oraz tempie szerzenia zarazy ziemniaka (tab. 6).

Celem doświadczenia było określenie terminów rozpoczęcia kiełkowania ziemniaków, określenie wielkości strat nowych odmian przechowywanych w temperaturach 3°C, 5°C i 8°C oraz poszukiwanie wpływu czynników pogodowych w okresie wegetacji na wymienione wyżej parametry.

MATERIAŁ I METODY

Badaniami objęto 6 odmian ziemniaka które rozmnażano na polu doświadczalnym w IHAR — PIB Oddział Jadwisin w latach 2007–2010. Do sadzenia wykorzystano materiał kwalifikowany w stopniu CA lub CB. Przedplonem pod ziemniaki była pszenica ozima. Pod ziemniaki stosowano nawożenie organiczne w postaci przyoranej gorczycy w ilości około 30 ton świeżej masy na 1 ha. Stosowano następujące nawożenie mineralne: N-80 kg·ha⁻¹, P-66,4 kg·ha⁻¹, K-52,4 kg·ha⁻¹. W okresie od sadzenia do wschodów prowadzono 2–3-krotne mechaniczne zwalczanie chwastów. Stonka ziemniaczana zwalczana była w stadium L₂ oraz pokolenie jesienne. W zależności od warunków pogodowych w okresie wegetacji wykonywano 3–5 zabiegów przeciwko zarazy ziemniaka, wykorzystując do dwóch pierwszych zbiegów preparaty systemiczne. Dodatkowo przeprowadzono selekcję negatywną usuwając rośliny i bulwy porażone chorobami (czarna nóżka, silne objawy porażeniem wirusami i rizoktoniozą), pierwszy raz w fazie kiedy rośliny osiągnęły 20 cm wysokości i powtórzono po 3 tygodniach. W końcowym okresie wegetacji nać zniszczono rozbijaczem łęcin, a po upływie 2–3 tygodni przeprowadzono zbiór kombajnem w terminie 20–25 września.

Warunki pogodowe w okresie wegetacji w badanych latach różniły się przebiegiem temperatury, ilości opadów oraz tempem szerzenia zarazy ziemniaka (tab. 1).

Badania przechowalnicze prowadzono przez 3 sezony przechowalnicze w następujących warunkach:

— w okresie przygotowawczym przez pierwsze dwa tygodnie po zbiorze utrzymywano temperaturę na poziomie 15°C, przy wilgotności względnej powietrza około 90%,

- w ciągu następnych dwóch tygodni temperaturę stopniowo obniżano, zachowując taką samą wilgotność,
- w długotrwałym okresie składowania, trwającym 5 miesięcy, próby (2×10 kg) umieszczano w komorach przechowalni w których utrzymywano temperaturę 3°C, 5°C i 8°C, przy wilgotności względnej powietrza 90–95%,
- po 6 miesiącach przechowywania oceniono straty przechowalnicze (ubytki naturalne, choroby, kielki),
- początek kiełkowania i intensywność wzrostu kielków oceniano na bulwach przechowywanych w skrzynkach umieszczonych w komorach z temperaturą 3°C, 5°C i 8°C. Ocenę wykonywano co 10 dni, a za początek kiełkowania przyjęto termin, w którym 75% bulw miało rozbudzone kielki (>3 mm).

Terminy pojawienia się zarazy ziemniaka i tempo jej szerzenia przyjęto według oceny prowadzonej w IHAR Jadwisin dla odmian średnio wczesnych.

Oceniając wpływ warunków wegetacji na poszczególne rodzaje strat przechowalniczych w 3 sezonach 2007–2010 obliczono współczynniki korelacji między badanymi rodzajami strat przechowalniczych a przebiegiem temperatury i opadami. Wyniki badań opracowano statystycznie z wykorzystaniem analizy wariancji i współczynnika korelacji Pearsona.

WYNIKI I DYSKUSJA

Początek kiełkowania i długość kielków

Termin rozpoczęcia kiełkowania ziemniaków zmieniał się zależnie od temperatury przechowywania. Badane odmiany przechowywane w temperaturze 8°C (zalecanej dla przetwórstwa) rozpoczynały kiełkowanie średnio w 1 dekadzie stycznia a średnia długość kielków po okresie przechowywania (6 miesięcy) wyniosła 58,5 mm (tab. 1).

W temperaturze przechowywania 5°C (zalecanej dla ziemniaków jadalnych) kiełkowanie rozpoczęło się w 2 dekadzie lutego i było opóźnione średnio o 4 dekady w stosunku do bulw przechowywanych w temperaturze 8°C. Średnia długość kielków wyniosła 14,5 mm.

W temperaturze przechowywania 3°C (zalecanej dla sadzeniaków) kiełkowanie ziemniaków rozpoczęło się bardzo późno, w 3 dekadzie marca a długość kielków była nieznaczna i wynosiła 5,5 mm.

Odmiany różniły się między sobą terminem rozpoczęcia kiełkowania jak również intensywnością kiełkowania. Najkrótszy okres uśpienia miała odmiana Meridian, która w 3°C rozpoczęła kiełkowanie w 3 dekadzie lutego i po przechowaniu długość kielków wyniosła 14,0 mm.

Najdłuższy okres uśpienia miała odmiana Miłek, której kiełkowanie w 3°C rozpoczęło się w 1 dekadzie kwietnia. Dla przechowywania sadzeniaków najkorzystniejsza jest taka temperatura, w której okres uśpienia trwa do połowy marca. Jest to ważne dla zabiegu podkiełkowania sadzeniaków, który powinien trwać 3–5 tygodni. Sadzeniaki odmian Bellarosa i Miłek mogą być przechowywane w wyższej temperaturze 5°C, natomiast

pozostałe odmiany w 3°C. Odmiana intensywnie kiełkująca taka jak Meridan powinna być przechowywana w najniższej dopuszczalnej temperaturze 2°C.

Tabela 1

Początek kiełkowania i długość kiełków po przechowywaniu w temperaturach 3°C, 5°C, 8°C
Beginning of sprouting and length of sprouts after storage in temperatures 3°C, 5°C and 8°C

Odmiana Cultivar-	Temperatura przechowywania — Storage temperature					
	3°C		5°C		8°C	
	sezon — season					
	początek kiełkowania beginning of sprouting	długość kiełków length of sprouts	początek kiełkowania beginning of sprouting	długość kiełków length of sprouts	początek kiełkowania beginning of sprouting	długość kiełków length of sprouts
Bellarosa	2 d IV	3	3 d III	5	1 d II	28
Benek	3 d III	4	1 d II	11	2 d I	33
Mitek	1 d IV	6	1 d III	10	1 d I	40
Owacja	2 d III	8	2 d I	23	2 d XII	67
Ewelina	3 d III	4	2 d II	13	1 d I	70
Meridian	3 d II	14	3 d I	25	1 d XII	113
2007/08	2 d IV	3,8	1 d III	9,5	1 d I	50,2
2008/09	3 d II	10,7	2 d I	22,7	2 d XII	77,3
2009/10	1 d IV	4,4	2 d II	11,3	1 d I	48,0
Średnio Average	3 d III	6,4	2 d II	14,5	1 d I	58,5

Kiełkowanie jako straty przechowalnicze

Straty w wyniku kiełkowania zależały od temperatury przechowywania i odmiany (tab. 2). W niskiej temperaturze przechowywania 3°C średnie straty dla 6 odmian były nieznaczne i wynosiły 0,02%. Przechowywanie ziemniaków w temperaturze 8°C spowodowało intensywne kiełkowanie i średnie straty w postaci masy kiełków dla 6 odmian wyniosły 1,40%. Najwyższe straty w tej temperaturze miała odmiana Meridian. Ziemniaki przechowywane w temperaturze 5°C (zalecanej dla ziemniaków jadalnych) miały niski poziom strat — 0,12%.

Mimo utrzymywania stałej temperatury w przechowalni zauważa się duże wahania w terminie rozpoczęcia kiełkowania w badanych sezonach przechowalniczych. Najwcześniej w 3°C badane odmiany rozpoczęły kiełkowanie w sezonie 2008/2009 bo już w 3. dekadzie lutego ale w sezonie 2007/08 ziemniaki rozpoczęły kiełkowanie dopiero w 2. dekadzie kwietnia (tab. 1 i 6). Analiza korelacji terminu rozpoczęcia kiełkowania z przebiegiem pogody w poszczególnych latach wegetacji pokazała że w roku o największych opadach w okresie wegetacji (maj — wrzesień) nastąpiło późniejsze kiełkowanie badanych odmian (współczynnik korelacji $r = 0,85$). Przebieg średniej temperatury w okresie wegetacji miał mniejszy wpływ na termin kiełkowania ($r = 0,42$). Czerko (2010) przedstawił dane wskazujące że termin rozpoczęcia kiełkowania ziemniaków przechowywanych w tych samych warunkach bardziej zależał od ilości opadów niż przebiegu temperatury w okresie wegetacji.

Tabela 2

Straty ziemniaków (%) po przechowywaniu w różnych temperaturach (2007–2010)
The losses of potatoes (%) after storage in different temperature (2007–2010)

Temperatura przechowywania Temperature of storage	Odmiana Cultivar	Ubytki naturalne Natural losses	Choroby Diseases	Kielki Sprouts	Suma strat Sum of losses
3°C	Benek	7,8	1,1	0,0	8,9
	Bellarosa	5,5	1,1	0,0	6,6
	Ewelina	5,2	0,0	0,01	5,21
	Meridian	6,8	0,0	0,04	6,84
	Milek	5,9	0,7	0,03	6,63
	Owacja	5,4	0,5	0,03	5,93
5°C	Benek	6,8	0,0	0,04	6,84
	Bellarosa	6,3	0,6	0,0	6,90
	Ewelina	6,1	0,3	0,10	6,50
	Meridian	6,7	0,0	0,23	6,93
	Milek	5,7	0,6	0,03	6,33
	Owacja	7,1	1,3	0,31	8,71
8°C	Benek	7,9	2,5	0,93	11,33
	Bellarosa	8,3	2,3	0,86	11,46
	Ewelina	5,9	1,0	2,00	8,90
	Meridian	7,8	0,6	2,20	10,60
	Milek	6,5	0,8	0,90	8,20
	Owacja	6,8	0,4	1,51	8,71
Średnio dla odmian Average for cultivars	Benek	7,5	1,23	0,33	9,1
	Bellarosa	6,7	1,30	0,29	8,3
	Ewelina	5,7	0,44	0,71	6,9
	Meridian	7,1	0,20	0,83	8,1
	Milek	6,0	0,67	0,32	7,0
	Owacja	6,4	0,73	0,62	7,8
	Średnio Average	6,6	0,76	0,51	7,9
	NIR _{0,05} LSD _{0,05}	0,87	1,19	0,46	1,56
Średnio dla temperatur Average for temperatures	3°C	6,1	0,57	0,02	6,70
	5°C	6,4	0,47	0,12	7,00
	8°C	7,2	1,26	1,40	9,86
	Średnio Average	6,6	0,76	0,51	7,9
	NIR _{0,05} LSD _{0,05}	0,62	0,84	0,32	1,11

Wprawdzie istnieją badania wskazujące, że wysoka temperatura skraca okres spoczynku, jednak w pracy Ittersuma (1993) w której były symulowane ścisłe warunki wzrostu ziemniaków przedstawiono wyniki które wskazują, że zróżnicowanie okresu spoczynku bulw bardziej zależało od układu temperatury (maksymalna-minimalna) w okresie wegetacji niż od przebiegu średniej temperatury.

Ubytki naturalne

Badane odmiany charakteryzowały się średnim poziomem strat w wyniku ubytków naturalnych oraz małym zróżnicowaniem między odmianami. Najwyższe ubytki naturalne miała odmiana Benek (średnio z 3 badanych temperatur — 7,5%), a najniższe Ewelina

(5,7%) (tab. 2). Najwyższe ubytki naturalne wystąpiły w ziemniakach przechowywanych w temperaturze 8°C (7,2%) i istotnie różniły się od ubytków powstałych u odmian przechowywanych w 3°C (6,1%) jak i w 5°C (6,4%). Poziom ubytków naturalnych ziemniaków przechowywanych w 3°C jak i w 5°C nie był istotnie zróżnicowany. Odmiana Benek miała ubytki naturalne wyższe po przechowywaniu w 3°C niż w temperaturze 5°C. Duży wpływ na taki obraz mogły mieć wyższe porażenie tej odmiany chorobami przechowalniczymi w temperaturze 3°C (tab. 3).

Tabela 3

Straty ziemniaków (%) po przechowywaniu w różnych temperaturach i latach (2007–2010)
The losses of potatoes (%) after storage in different temperatures and years (2007–2010)

Temperatura przechowywania Temperature of storage	Lata Years	Ubytki naturalne Natural losses	Choroby Disases	Kiełki Sprouts	Suma strat Sum of losses
3°C	2007/08	5,4	0,88	0,0	6,3
	2008/09	6,3	0,17	0,05	6,5
	2009/10	6,5	0,65	0,01	7,2
5°C	2007/08	6,1	0,40	0,17	6,6
	2008/09	6,6	0,15	0,12	6,9
	2009/10	6,5	0,83	0,06	7,4
8°C	2007/08	6,1	2,38	1,15	9,6
	2008/09	7,8	0,38	1,97	10,2
	2009/10	7,6	0,98	1,08	9,7
Średnio dla lat Average for years	2007/08	5,9	1,22	0,44	7,5
	2008/09	7,0	0,24	0,71	7,9
	2009/10	6,9	0,82	0,38	8,1
	Średnio Average	6,6	0,76	0,51	7,9
	NIR _{0,05} LSD _{0,05}	0,62	0,84	0,32	1,11

Na ubytki naturalne w sezonie przechowalniczym składają się ubytki w okresie przygotowawczym i w długotrwałym okresie przechowywania. Ubytki naturalne w okresie przygotowawczym trwającym około 1 miesiąca są stosunkowo duże. W tym okresie transpiracja jest wzmożona, gdyż zachodzą jeszcze procesy korkowacenia skórki i zabiżniania uszkodzeń. W tabeli 4 przedstawiono ubytki naturalne z podziałem na powstałe w okresie przygotowawczym i w okresie długotrwałego przechowywania. Ubytki naturalne w okresie przygotowawczym stanowią około 30% całkowitych ubytków (32,8% w temperaturze 3°C, 31,3% w temperaturze 5°C i 27,8% w temperaturze 8°C). Największy poziom ubytków w okresie przygotowawczym miały odmiany Bellarosa i Ewelina. Jednocześnie odmiany te miały szczególnie niskie ubytki w długotrwałym okresie przechowywania. Taka charakterystyka odmian jest szczególnie cenna nie tylko pod względem utrzymania wysokiej jakości produktu, ale także ze względu na niższe koszty przechowywania (możliwość rezygnacji z nawilżania). Rozpatrując zmienność poziomu ubytków naturalnych w 3 sezonach przechowalniczych można zauważyć, że najniższe ubytki były w sezonie 2007/2008. Okres wegetacji w roku 2007 charakteryzował się największymi opadami, średnia miesięczna za maj — wrzesień wynosiła 84 mm przy

średnich wieloletnich w tych miesiącach 60,6 mm, oraz niższą temperaturą 15,7°C przy wieloletniej wynoszącej za badany okres 16,0°C. Przedstawiony w tabeli 6 współczynnik korelacji między opadami a ubytkami naturalnymi wyniósł $r = -0,98$, co wskazuje na duży ujemny związek między opadami w okresie wegetacji a poziomem ubytków naturalnych podczas przechowywania. Ubytki naturalne zwiększyły się w roku o mniejszych opadach w okresie wegetacji. Takie zależności były zauważane przez wielu praktyków zajmujących się przechowywaniem ziemniaków, a także przez osoby zajmujące się doświadczeniem rolniczym (Sowa-Niedziałkowska, 2000).

Tabela 4

Ubytki naturalne ziemniaków (%) po 1 i po 6 miesiącach przechowywania w różnych temperaturach i latach (2007–2010)
The natural losses of potatoes (%) after 1 and 6 months of storage in different temperature and years (2007–2010)

Temperatura przechowywania Temperature of storage	Odmiana Cultivars	Po 1 miesiącu After 1 month	Po 5 miesiącach After 5 months	Po 6 miesiącach After 6 months	Udział (1/6) Share (1/6) (%)
3°C	Benek	2,6	5,2	7,8	33,3
	Bellarosa	2,3	3,2	5,5	41,8
	Ewelina	1,9	3,3	5,2	36,5
	Meridian	1,9	4,9	6,8	27,9
	Milek	1,8	4,1	5,9	30,5
	Owacja	1,8	3,6	5,4	33,3
5°C	Benek	2,6	4,2	6,8	38,2
	Bellarosa	2,3	4,0	6,3	36,5
	Ewelina	1,9	4,2	6,1	31,1
	Meridian	1,9	4,8	6,7	28,3
	Milek	1,8	3,9	5,7	31,6
	Owacja	1,8	5,3	7,1	25,3
8°C	Benek	2,6	5,3	7,9	32,9
	Bellarosa	2,3	6,0	8,3	27,7
	Ewelina	1,9	4,0	5,9	32,2
	Meridian	1,9	5,9	7,8	24,3
	Milek	1,8	4,7	6,5	27,7
	Owacja	1,8	5,0	6,8	26,4
Średnia dla temperatur Average for temperatures	3°C	2,0	4,1	6,1	32,8
	5°C	2,0	4,4	6,4	31,3
	8°C	2,0	5,2	7,2	27,8

Choroby przechowalnicze

Wpływ temperatury przechowywania (3°C, 5°C, i 8°C) na straty spowodowane rozwojem chorób przechowalniczych badanych odmian przedstawiono w tabeli 2. Średnie straty były niskie i wyniosły 0,76% , najniższe miała odmiana Meridian 0,20%, a najwyższe Bellarosa i Benek, odpowiednio 1,30% i 1,23%. Temperatura przechowywania miała wpływ na rozwój chorób przechowalniczych. W wyższej temperaturze przechowywania (8°C) rozwój chorób przechowalniczych był najwyższy, chociaż nie różnił się istotnie od pozostałych warunków przechowywania. W tabeli 5 przedstawiono choroby przechowalnicze z podziałem na choroby grzybowe i bakteryjne.

Tabela 5

Porażenie chorobami przechowalniczymi ziemniaków (%) po przechowywaniu w różnych temperaturach (2007-2010)

The storage diseases of potatoes (%) after storage in different temperatures (2007-2010)

Temperatura przechowywania Temperature of storage	Odmiana Cultivars	Sucha zgnilizna Dry rot	Mokra zgnilizna Soft rot	Mieszana zgnilizna Mixed rot
3°C	Benek	0,13	0,66	0,34
	Bellarosa	0,39	0	0,66
	Ewelina	0	0	0
	Meridian	0	0	0
	Milek	0,20	0,17	0,30
	Owacja	0	0,50	0
5°C	Benek	0	0	0
	Bellarosa	0,34	0,18	0,05
	Ewelina	0	0,32	0
	Meridian	0	0	0
	Milek	0	0	0,57
	Owacja	0,30	0,64	0,38
8°C	Benek	0,23	2,31	0
	Bellarosa	0,18	1,63	0,51
	Ewelina	0,33	0,66	0
	Meridian	0	0,60	0
	Milek	0	0,23	0,52
	Owacja	0,08	0,16	0,09
Średnia dla odmian Average for cultivars	Benek	0,12	0,99	0,11
	Bellarosa	0,30	0,60	0,41
	Ewelina	0,11	0,33	0
	Meridian	0	0,22	0
	Milek	0,07	0,13	0,46
	Owacja	0,13	0,43	0,16
Średnia dla temperatur Average for temperatures	3°C	0,12	0,22	0,22
	5°C	0,11	0,19	0,17
	8°C	0,14	0,93	0,19
	Średnio Average	0,12	0,45	0,19
	NIR _{0,05}	0,11	0,41	0,15
	LSD _{0,05}			

W wyższej temperaturze przechowywania (8°C) zauważa się wzrost porażenia mokrą zgnilizną. W niższych temperaturach przechowywania (3°C i 5°C) średnie porażenie suchą, mieszaną i mokrą zgnilizną było na zbliżonym niskim poziomie. Rozpatrując porażenie chorobami przechowalniczymi w poszczególnych latach badań zauważa się że niskie porażenie wystąpiło w sezonie 2008/2009. Okres wegetacji w 2008 roku charakteryzował się najmniejszymi opadami (średnia miesięczna za maj — wrzesień 61,0 mm) oraz najniższym współczynnikiem tempa szerzenia zarazy ziemniaka (tab. 7).

Odnotowano wysoki współczynnik korelacji między chorobami przechowalniczymi a tempem szerzenia zarazy ziemniaka ($r = 0,96$). Natomiast termin pojawienia się zarazy ziemniaka charakteryzował się mniejszą korelacją z rozwojem chorób przechowalniczych. Także w pracy Naerstad i in. (2007) przedstawiono doświadczenie w którym większe

opady podczas wegetacji miały istotny wpływ na rozwój zarazy ziemniaka podczas zbioru, a później na wzrost porażenia mokrą zgnilizną w przechowalni.

Tabela 6

Wpływ warunków pogodowych w okresie wegetacji (średnia za maj — wrzesień) na początek kiełkowania bulw, na ubytki naturalne i choroby po przechowywaniu — współczynnik korelacji
Influence of weather conditions in vegetation period (average May — September) on date of sprouting, natural losses and diseases after storage — correlation coefficient

Lata Years	Temperatura Temperature (°C)	Opady Precipitation (mm)	Współczynnik Sielianinowa Coefficient of Sielianinow	Początek kiełkowania- numer dekady * Beginning of sprouting-number of decade *	Ubytki naturalne Natural losses (%)	Choroby Diseases (%)
2007	15,7	84,0	1,96	15,5	5,9	1,22
2008	15,6	61,0	1,32	11,5	7,0	0,24
2009	16,3	68,1	1,35	14,7	6,9	0,82
Współczynnik korelacji — temperatura Correlation coefficient — temperature				0,42	0,33	0,21
Współczynnik korelacji — opady Correlation coefficient — precipitation				0,85	-0,98	0,95

*1=1 dekada października, 18=3 dekada marca

*1=1st decade of October, 18=3rd decade of March

Tabela 7

Współczynnik korelacji między terminem i tempem szerzenia zarazy ziemniaka w okresie wegetacji a chorobami przechowalniczymi
Correlation coefficient between term and rate of late blight development during vegetation period and storage diseases

Lata Years	Współczynnik tempa szerzenia zarazy Coefficient rate of late blight development	Termin pojawienia się zarazy Beginning of late blight		Choroby (średnio z 3°C–8°C) Diseases (average 3–8°C)
		data — data	dekada* — decade	
2007	0,250	9.07	4	1,22
2008	0,098	22.07	6	0,24
2009	0,228	25.06	3	0,82
Współczynnik korelacji — tempo szerzenia zarazy Correlation coefficient- rate of late blight development				0,96
Współ. korelacji — termin pojawienia zarazy Correlation coefficient — beginning of late blight				-0,73

*1=1 dekada czerwca, 12=3 dekada września

*1=1st decade of June, 12=3rd decade of September

Suma strat

Suma strat, na którą składają się ubytki naturalne, bulwy zgniłe porażone chorobami oraz masa kiełków zależała od odmiany i temperatury przechowywania. Na podstawie sumy strat we wszystkich temperaturach przechowywania badane odmiany uzyskały wysoką ocenę wynoszącą 8° lub 9° w skali 9°. Poziom sumy strat poszczególnych odmian był bardzo wyrównany, jedynie odmiana Benek miała straty istotnie wyższe. Najmniejszymi stratami charakteryzowała się odmiana Ewelina i Miłek (tab. 2). Istotnie

wyższe straty (9,9%) wystąpiły w temperaturze przechowywania 8°C. Straty ziemniaków przechowywanych w temperaturze 3°C i w 5°C były niższe, odpowiednio 6,7% i 7,0% i nie różniły się istotnie między sobą. Zbiorną charakterystykę badanych odmian pod względem głównych cech przechowalniczych przedstawiono w tabeli 8.

Tabela 8

Zbiorną charakterystyka badanych odmian w okresie przechowywania
Characteristics of tested potato cultivars during storage time

Odmiana Cultivar	Hodowca (kraj) Breeder (country)	Wczesność Earliness	Początek kielekowania w 3°C Beginning of sprouting in 3°C	Temperatura przechow. sadzeniaków (°C) Storage temperature of seeds (°C)	Ubytki naturalne (%) średnia 3°C–8°C Natural losses (%) average 3°C–8°C	Choroby (%) średnia 3°C–8°C Diseases (%) average 3°C–8°C	Trwałość przechow. 1–9° Storage stability 1–9°
Bellarosa	Europlant Niemcy	wczesna early	2 dek IV	do 5 up 5	6,7	1,30*	9
Benek	HZ Zamarte Polska	średnio wczesna mid-early	3 dek III	3	7,5*	1,23*	8
Ewelina	Europlant Niemcy	wczesna early	3 dek III	3	5,7	0,44	9
Milek	HZ Zamarte Polska	bardzo wczesna first early	1 dek IV	do 5 up 5	6,0	0,67	9
Meridian	Norika Niemcy	średnio wczesna mid-early	3 dek II	3	7,1*	0,20	8
Owacja	PMHZ Strzeżęcín Polska	wczesna early	2 dek III	3	6,4	0,73	9

*Istotnie większe; Significantly higher

Warunki wegetacji w badanych latach nie miały istotnego wpływu na sumę strat. Związane jest to z przeciwnym wpływem warunków pogodowych na poszczególne rodzaje strat. Większe opady w okresie wegetacji wpłynęły na obniżenie ubytków naturalnych i późniejsze rozpoczęcie kiełkowania (mniejsza masa kiełków), ale jednocześnie większe opady spowodowały wzrost porażenia chorobami przechowalniczymi.

WNIOSKI

1. Stwierdzono wysoki współczynnik korelacji między rozwojem chorób przechowalniczych a tempem szerzenia zarazy ziemniaka. Termin pojawienia się zarazy ziemniaka miał mniejszy wpływ na rozwój chorób przechowalniczych.
2. Większy rozwój chorób przechowalniczych wystąpił w wyższej temperaturze przechowywania 8°C. Średnio największe porażenie chorobami przechowalniczymi wystąpiło u odmian Benek i Bellarosa.
3. Sadzeniaki odmian Bellarosa i Milek mogą być przechowywane w wyższej temperaturze — 5°C, pozostałe odmiany Benek, Owacja, Ewelina, Meridian w 3°C.

4. Odmiany Benek i Bellarosa charakteryzowały się dużym udziałem ubytków naturalnych w okresie przygotowawczym (ok. 35%).

LITERATURA

- Burton W. G., Es van A., Hartmans K. J. 1992. The physics and physiology of storage. In: The Potato Crop, The scientific basis for improvement, Second edition, ed. by Paul Harris (Chapman and Hall), London: 608 — 727.
- Copp L. J., Blenkisop R. W., Yada R. Y., Marangoni A. G. 2000. The relationship between respiration and chip colour during long term storage of potato tubers. Amer. J. of Potato Res. 279 — 287.
- Czerko Z. 2008. Trwałość przechowalnicza wybranych odmian ziemniaka. Ziem. Pol. 3: 24 — 28.
- Czerko Z. 2009. Wpływ odmiany i temperatury przechowywania ziemniaków na wielkość strat masy bulw. Biul. IHAR 254: 159 — 168.
- Czerko Z. 2010. Wpływ wybranych czynników na intensywność kiełkowania ziemniaków podczas przechowywania. Biul. IHAR 257/258: 215 — 223.
- Desjardinis A., Christ E., Mc Cornick S., Secor G. A. 1992. Heritability and other characteristics of thiabendazole-resistance in *Fusarium sambucinum* from dry rotted potato tubers. Phytopatology 83: 164 — 170.
- Ittersum van M. K. 1992. Dormancy and growth vigour of seed potatoes. Doctoral thesis. Wageningen Agricultural Univesity: 187 ss.
- Kuźniewicz M. 1982. Czynniki warunkujące występowanie chorób w czasie przechowywania ziemniaków oraz możliwości ograniczania ich rozwoju. Praca doktorska. Inst. Ziem. Bonin.
- Langerfeld E. 1979. Prüfung des Resistenzverhaltens von Kartoffelsorten Gegenüber *Fusarium coeruleum* (Lib.) Sacc. Potato Res. 22: 107 — 122.
- Naerstad R. H., Hermanson A., Bjor T. 2007. Effect of cultivar resistance and haulm killing method on tuber infection by *Phytophthora infestans*. Pot. Res. vol. 50 (2): 157 — 173.
- Perombelon M. C. M. 1970 b. The biology of contamination of the potato tuber by soft rotting *Erwinia* spp. Proc. Fourth Trien. Conf. EAPR Brest 1969. S: 196 — 197.
- Pett B. 1978. Einfluss der Wundheilung an Kartoffelsorten auf Faulnisinfektion. Nachrichtenbl. F. Pflanzenschutz. DDR 6: 114 — 116.
- Pringle R. T., Robinson K., Wale S., Burnett G. 1991. Comparison of the effect of storage environment on tuber contamination with *Erwinia carotovora*. Potato Research, 34: 17 — 28.
- Rastovski A., Buitelaar N., Van Es A., De Haan P. H., Hartmans K. J., Meijers C. P., Van der Schild J. H. W., Sijbring P. H., Sparenberg H., Van Zwol B. H., Van der Zaag D. E. 1981. Storage of potatoes. Centre for Agricultural Publishing and Documentation. Wageningen: 262 ss.
- Reust W., Winiger F. A., Hebeisen T., Dutoit J. P. 2001. Assessment of the physiological vigour of new potato cultivars in Switzerland. Potato Res., 44: 11 — 17.
- Rykaczewska K. 1993. Znaczenie wieku fizjologicznego sadzeniaków w rozwoju i plonowaniu ziemniaka. W: Znaczenie jakości materiału siewnego w produkcji roślinnej. Mat. Konf. Nauk. SGGW. Warszawa: 260 — 266.
- Sowa-Niedziałkowska G. 2000. Wpływ warunków wzrostu roślin i magazynowania bulw odmian jadalnych ziemniaka na ich trwałość przechowalniczą. Biul. IHAR. 213: 225 — 232.
- Sowa-Niedziałkowska G. 2002 a. Wpływ naturalnych sposobów ograniczających intensywność przemian ilościowych w bulwach ziemniaka w czasie przechowywania. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 489: 355 — 363.
- Sowa-Niedziałkowska G. 2002 b. Określenie optymalnej temperatury przechowywania sadzeniaków różnych odmian ziemniaka w skali 9-stopniowej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 223/224: 361 — 368.
- Sowa-Niedziałkowska G. 2004 a. Wpływ odmiany ziemniaka i warunków przechowywania bulw na długość okresu uśpienia i intensywność kiełkowania. Biul. IHAR 232: 23 — 36.

- Sowa-Niedziałkowska G. 2004 b. Wskaźniki procesów życiowych zachodzących w sadzeniakach ziemniaka podczas długotrwałego przechowywania. Część I. Okres uśpienia i intensywność wzrostu kiełków. Biul. IHAR 233: 219 — 236.
- Zarzyńska K. 2004. Długość okresu spoczynku bulw odmian ziemniaka. Biul. IHAR 232: 5 — 14.
- Zgórska K., Frydecka-Mazurczyk A. 2000. Wpływ warunków w czasie wegetacji oraz temperatury przechowywania na cechy jakości ziemniaków przeznaczonych do przetwórstwa. Biul. IHAR 213: 239 — 251.

BEATA TATAROWSKA

BOGDAN FLIS

JAROSŁAW PLICH

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB w Młochowie

Zastosowanie modelu mieszanego Scheffégo - Calińskiego do analizy stabilności odporności odmian ziemniaka na *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary

Application of Scheffé - Caliński mixed model in analysis of the stability of resistance to *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary in potato cultivars

W pracy oceniano stabilność ekspresji odporności 22 odmian ziemniaka na *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. Wykorzystując mieszany model analizy wariancji oceniano interakcję genotypowo-środowiskową ($G \times E$). Odmiany ziemniaka oceniano w doświadczeniach polowych prowadzonych w południowo wschodniej części Polski przez okres czterech lat. Oceniane odmiany były zróżnicowane pod względem poziomu odporności na zarazę ziemniaka i pochodziły z różnych krajów: Polski, Rosji, Niemiec, Holandii i Węgier. Siedem z ocenianych odmian (Alpha, Bintje, Gloria, Escort, Eersteling, Robijn, Sarpo Mira) należy do grupy wzorców europejskich wybranych w ramach projektu Eucablight (www.eucablight.org). Analiza wariancji przeprowadzona na wartościach rAUDPC dla 22 odmian ziemniaka ocenianych w czterech środowiskach wykazała istotny (przy $P < 0.01$) wpływ na wartości tego wskaźnika: efektów głównych odmian, środowisk oraz interakcji $G \times E$. Pierwsze dwie zmienne kanoniczne (V_1 i V_2) wyliczone z mieszanego modelu Scheffégo - Calińskiego tłumaczą aż 96,8% obserwowanej zmienności. Szczegółowa analiza wariancji pozwoliła wyróżnić odmiany ze stabilną i niestabilną ekspresją poziomu odporności na zarazę ziemniaka. Dla odmian stabilnych interakcja $G \times E$ była statystycznie nieistotna, natomiast odmiany niestabilne posiadały istotną wartość tego parametru. Istotny efekt interakcji $G \times E$ nie był tłumaczony przez regresję efektów interakcyjnych względem efektów środowiskowych, natomiast odchylenia od regresji były istotne dla 11 odmian. Istotne odchylenia od regresji są miarą charakteryzującą niestabilną i nieprzewidywalną odpowiedź odmian na porażenie zarazą ziemniaka. Ocena stabilności odporności odmian ziemniaka na zarazę ziemniaka jest ważnym źródłem informacji dla hodowców i producentów ziemniaków o trwałości odporności odmian. Informacje o stabilności są także wykorzystywane w systemach wspomagania decyzji (DSS) w ochronie ziemniaka przed zarazą ziemniaka. Wiedza na temat stabilności odporności odmian pozwala w dużym stopniu minimalizować stosowanie fungicydów w walce z tym patogenem.

Słowa kluczowe: interakcja genotypowo-środowiskowa, *P. infestans*, Sergen 3, stabilność biologiczna

In this study, stability of resistance to *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary was tested for 22 potato cultivars. The genotype by environment interaction ($G \times E$) was analysed using mixed model of analysis of variance. The potato cultivars were tested in Southeastern part of Poland over four years. Tested cultivars differed in level of resistance and came from various countries: Poland, Russia, Germany, Netherlands and Hungary. Seven of them (Alpha, Bintje, Gloria, Escort, Eersteling, Robijn, Sarpo Mira) form a group of Eucablight standard cultivars (www.eucablight.org). The analysis of variance of rAUDPC values for 22 cultivars in four environments indicated significant (at $P < 0.01$) influence of cultivar, environment, and $G \times E$ interaction. The first two canonical variables (V1 and V2) of the Scheffé - Caliński mixed model together explained 96.8% of observed variability. Detailed analysis of variance identified cultivars with stable and unstable expression of resistance to late blight. For the stable cultivars $G \times E$ interaction was insignificant, while for the unstable ones this parameter was significant. Significant effect of $G \times E$ interaction was not explained by the regression of interaction effects on environmental effects, but deviations from regression were significant for 11 cultivars. Significant deviations from regression characterize unstable and unpredictable response of tested cultivars to the late blight infection. Evaluation of the potato cultivars' stability of resistance to late blight is an important source of information for breeders and potato producers about variability and durability of cultivar resistance. Information about stability is helpful also in decision support systems (DSS) for late blight control. The knowledge about stability of the cultivars allows to minimize the use of fungicides against late blight.

Key words: genotype $\times$ environment interaction, *P. infestans*, Sergen 3, biological stability

WSTĘP

Sprawca zarazy ziemniaka *Phytophthora infestans* wciąż pozostaje jednym z najważniejszych w skali globalnej patogenów ziemniaka. We wszystkich rejonach świata, gdzie uprawiane są ziemniaki, choroba ta w mniejszym lub większym stopniu powoduje straty ilościowe i jakościowe plonów. W ciągu ostatnich dwudziestu lat obserwowano na świecie zwiększenie potencjału infekcyjnego *P. infestans* (Sujkowski i in., 1994; Elansky i in., 2001; Perez i in., 2001; Śliwka i in., 2006; Fry, 2008) związanego ze zmianami w populacji patogena. Wynikiem tych zmian są między innymi: 1) wcześniejsze pojawianie się epifitozy i jej gwałtowniejszy przebieg, 2) wzrost patogeniczności patogena, 3) przełamywanie odporności genetycznej wielu uprawianych odmian ziemniaka, 4) występowanie i rozwój pierwotnych infekcji *P. infestans* nie tylko na liściach, ale i na łodygach roślin ziemniaka, 5) spadek skuteczności ochrony plantacji przed epifitozą (Kapsa, 2003), 6) pojawienie się w wielu krajach nowego źródła infekcji pierwotnej — oospor zimujących w glebie (Zimnoch-Guzowska i Tatarowska, 2004).

Monitorowanie stabilności ekspresji odporności na zarazę ziemniaka odmian uprawianych na terenie całego kraju dostarcza hodowcom i fitopatologom informacji o interakcji pomiędzy genetycznie warunkowaną odpornością gospodarza a patogenem. Hodowcy szukają źródeł stabilnej i trwałej odporności na zarazę ziemniaka. Przełamanie stabilności odporności odmiany przez patogena jest sygnałem dla producentów ziemniaka o konieczności dostosowania programu ochrony chemicznej do zaistniałej sytuacji. Uzyskanie informacji na temat stabilności odporności danej odmiany może chronić rolników przed dużymi stratami finansowymi.

Ocena odmian pod względem stabilnej ekspresji odporności na *P. infestans* opiera się zazwyczaj na prowadzeniu wieloletnich doświadczeń w warunkach naturalnej presji

infekcyjnej. W analizie wyników tych doświadczeń najbardziej interesującą jest interakcja genotypowo-środowiskowa ($G \times E$), która charakteryzuje wartość adaptacyjną odmian do różnych warunków glebowo-klimatycznych. Analiza interakcji $G \times E$ umożliwia wyodrębnienie odmian stabilnych, czyli takich, dla których poziom porażenia *P. infestans* jest niezależny od środowiska.

Do analizy stabilności genotypów stosuje się różne modele mieszane dla danych w dwukierunkowej klasyfikacji krzyżowej genotypy $\times$ środowiska, w której środowiskami są miejscowości (w serii jednorocznej) lub kombinacje miejscowości $\times$ lata z pominięciem ich klasyfikacji, albo też miejscowości w danym roku (Becker i Leon, 1988; Piepho, 1998; Kang, 1998; Mądry i Rajfura, 2003; Mądry, 2003; Mekbib, 2003; Mądry i Kang, 2005) dla serii wielokrotnej i wieloletniej. Dla takich danych stosuje się prostszy model Shukli (Caliński, 1967; Shukla, 1972; Piepho, 1999) lub uwzględniający najogólniejsze założenia, ale trudniejszy, model Scheffégo - Calińskiego (Caliński i in. 1998). Każdy z tych modeli może być stosowany zarówno w postaci podstawowej jak i rozwiniętej, nazywanej modelem regresji łącznej (Freeman, 1973). Niektóre parametry oparte na modelach podstawowych nazywane są miarami stabilności. Z kolei do głębszego wyjaśnienia niestabilności genotypów stosuje się miary stabilności oparte na modelach regresji łącznej (Mądry i Rajfura, 2003; Mądry 2003; Mądry i Kang, 2005). Są to najczęściej współczynnik regresji interakcyjnej, wariancja odchyleń od regresji i współczynnik determinacji (Mądry i Rajfura, 2003).

Celem niniejszej pracy jest ocena interakcji $G \times E$ grupy 22 odmian ziemniaka oraz wyłonienie wśród nich odmian charakteryzujących się stabilnością w sensie biologicznym. Odmiany stabilne w sensie biologicznym to te, które nie wykazują interakcji $G \times E$. Ekspresja ich odporności w niewielkim stopniu zależy od warunków środowiskowych oraz od wirulencji i agresywności samego patogena.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły 22 odmiany ziemniaka. Odmiany były zróżnicowane pod względem poziomu odporności od 2 do 9 (w skali 1–9, gdzie 9 = odporny). Oceniano odmiany ziemniaka z Polski (9), Holandii (6), Rosji (5), Niemiec (1) i Węgier (1).

Siedem z badanych odmian (Alpha, Bintje, Gloria, Eskort, Eersteling, Robijn, Sarpo Mira) to grupa wzorców europejskich wybranych w ramach europejskiego projektu EUCABLIGHT (Potato Late Blight Network For Europe) (www.eucablight.org).

Ocena ekspresji odporności na *P. infestans* prowadzona była w warunkach naturalnej silnej presji infekcyjnej w Boguchwale w południowo-wschodniej Polsce. Doświadczenia polowe zakładano tam w latach 2007–2010 metodą losowanych bloków, w dwóch powtórzeniach. Odmiany wysadzano na poletkach 6 krzakowych w obsadzie podatnych na zarazę ziemniaka odmian Alicja (lata 2007–2008) i Adam (2009–2010), traktowanych w doświadczeniu jako infekторы. W każdym roku wysadzano komplety testerów Blacka w celu identyfikacji czynników wirulencji obecnych w lokalnych populacjach *P. infestans*. W poszczególnych latach zidentyfikowano następujące czynniki wirulencji:

— Rok 2007 — 1.2.3.4.5.6.7.10.11.

— Rok 2008 - 1.2.3.4.5.6.7.(8)*.10.11.

— Rok 2009 - 1.2.3.4.5.6.7.(8)*.10.11.

— Rok 2010 - 1.2.3.4.5.6.7.(8)*.(9)*.10.11.

— ()* - niepełna ekspresja czynnika wirulencji.

Ocenę porażenia przez *P. infestans* przeprowadzano w odstępach tygodniowych poczynając od momentu pojawienia się pierwszych objawów choroby w oparciu o skalę 9-stopniową (Cruickshank i in., 1982), gdzie 9 oznacza brak porażenia.

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji polowych w każdym sezonie obliczano relatywny wskaźnik postępu choroby (rAUDPC — relative area under disease progress curve) dla danego obiektu doświadczalnego (tj. odmiany) (Fry, 1978).

Dla wartości rAUDPC otrzymanych w prezentowanych badaniach, przeprowadzono analizy wykorzystując program SerGen 3 (Caliński i in., 1998). Program ten wykorzystuje do obliczeń model mieszany Scheffégo - Calińskiego. Został on wprowadzony do analizy doświadczeń wielokrotnych przez Calińskiego (1967), a następnie był szeroko rozwijany między innymi przez Kaczmarka (1986) oraz Calińskiego i współpracowników (1997).

W pracy zgodnie z przyjętymi kryteriami, badano zależność ekspresji poziomu odporności odmian ziemniaka od środowisk, w których przeprowadzano obserwacje. Z reguły środowisko w doświadczeniu jest reprezentowane przez kombinacje czynników rok $\times$ miejsce uprawy. W prezentowanym materiale było tylko jedno miejsce uprawy (Boguchwała). W związku z tym za zmienne środowisko uznano lata (każdy rok reprezentuje inne, odrębne warunki środowiskowe dla uprawianych roślin).

WYNIKI I DYSKUSJA

W tabeli 1 przedstawiono średnie wartości rAUDPC dla 22 ocenianych odmian uzyskane w 4 latach. W tabeli podano średnie wartości dla poszczególnych lat (średnia z 22 odmian) oraz średnie wartości z całego okresu obserwacji dla każdej odmiany (średnia z 4 lat). Średnia generalna całego doświadczenia wyniosła 0,231. Najsłabsze średnie porażenie odmian odnotowano w roku 2010 (rAUDPC = 0,143), natomiast w pozostałych trzech latach uzyskano zbliżone średnie wartości rAUDPC (tab. 1).

We wstępnej analizie wariancji potwierdzono istotne zróżnicowanie w poziomie porażenia badanych odmian w 4 latach na poziomie istotności $P = 0,01$ (tab. 2). Największe różnice w poziomie porażenia pomiędzy ocenianymi 22 odmianami ziemniaka wystąpiły w roku 2007 i 2009, o czym informują wysokie i istotne wartości statystyk F (odpowiednio 43,56** oraz 56,99**) (tab. 2).

Na podstawie ogólnej analizy wariancji stwierdzono, że na wartość rAUDPC mają istotny wpływ efekty główne środowisk ($F = 58,53^{**}$), odmian ($F = 10,43^{**}$) oraz interakcja $G \times E$ ($F = 10,78^{**}$) (tab. 3). W ogólnej analizie wariancji wyodrębniono ponadto dodatkowe źródła zmienności związane z regresją pomiędzy efektem interakcji $G \times E$, a efektem środowiska. Sumy kwadratów odchyłeń dla interakcji $G \times E$ rozdzielono, na dwa składniki: regresję efektów interakcyjnych odmian względem środowiska i odchylenia od tej regresji. Testowano hipotezę o braku istotnych odchyłeń od regresji efektów interakcyjnych względem środowiska. Ta hipoteza została odrzucona, o czym

świadczy wartość statystyki F dla odchylenia od regresji ($F = 10,52^{**}$), która jest wyższa od wartości krytycznej na poziomie istotności $P = 0,01$ ($F = 1,82$) (tab. 3).

Tabela 1

Średnie wartości rAUDPC dla 22 odmian ziemniaka badanych przez 4 lata w ocenie porażenia *P. infestans*
Mean rAUDPC values for 22 potato cultivars tested for resistance to *P. infestans* in field experiments for four years

Odmiana, pochodzenie i ocena jej odporności ^{a)} Cultivar, origin and its resistance level		Średnia wartość rAUDPC w poszczególnych latach Mean rAUDPC value in individual years				Średnia rAUDPC z 4 lat Mean rAUDPC value from 4 years
		2007	2008	2009	2010	
Sonda (PL)	7	0,067	0,062	0,013	0,040	0,045
Inwestor (PL)	7	0,052	0,097	0,021	0,030	0,050
Ślęza (PL)	8	0,047	0,103	0,028	0,029	0,052
Wawrzyn (PL)	6	0,052	0,076	0,071	0,014	0,053
Batja (RUS)	8	0,138	0,058	0,029	0,028	0,063
Zeus (PL)	6	0,086	0,103	0,061	0,022	0,068
Neptun (PL)	7	0,019	0,175	0,043	0,047	0,071
Bzura (PL)	8	0,083	0,105	0,065	0,061	0,079
Hinga (PL)	7	0,090	0,113	0,056	0,088	0,087
Jasia (PL)	6	0,235	0,224	0,112	0,055	0,157
Belosnezhka (RUS)	8	0,133	0,119	0,260	0,128	0,160
Nikulinski (RUS)	—	0,180	0,299	0,482	0,131	0,273
Veteran (RUS)	7	0,210	0,276	0,448	0,187	0,280
Steffi (D)	7	0,090	0,355	0,516	0,216	0,294
Russian Souvenir (RUS)	8	0,185	0,404	0,729	0,219	0,384
Sarpo Mira b) (HUN)	9	0,100	0,029	0,000	0,004	0,033
Robijn b) (NL)	8	0,36	0,307	0,272	0,261	0,300
Escort b) (NL)	2	0,361	0,371	0,426	0,353	0,378
Alpha b) (NL)	5	0,755	0,425	0,312	0,218	0,428
Eersteling b) (NL)	2	0,917	0,446	0,590	0,300	0,563
Gloria b) (NL)	3	0,866	0,512	0,772	0,270	0,605
Bintje b) (NL)	3	0,840	0,532	0,791	0,439	0,651
Średnia Mean		0,267	0,236	0,277	0,143	0,231

^{a)} W skali 1–9, 9 = najodporniejszy; In 9 – grade scale, where 9 = the most resistant

^{b)} Wzorzec europejski; Eucablight standard cultivars

Tabela 2

Wstępna analiza wariancji 22 odmian ziemniaka ocenianych przez 4 lata pod kątem reakcji odporności na *P. infestans*
Preliminary analysis of variance for 22 potato cultivars tested for resistance to *P. infestans* in field experiments for four years

Lata Years	Odmiana — Cultivar		Błąd — Error		Wartość statystyki F ^{a)} F statistic ^{a)}
	stopnie swobody degrees of freedom	średnie kwadraty mean squares	stopnie swobody degrees of freedom	średnie kwadraty mean squares	
2007	21	1732,35	21	39,77	43,56**
2008	21	524,07	21	21,95	23,88**
2009	21	1489,46	21	26,14	56,99**
2010	21	317,00	21	24,38	13,00**

^{a)} Poziom istotności: ** – $P < 0,01$

^{a)} Significant ** at $P < 0,01$

Tabela 3

Analiza wariancji dla wartości rAUDPC 22 odmian ziemniaka badanych przez 4 lata pod kątem reakcji odporności na *P. infestans*
Analysis of variance for rAUDPC values for 22 potato cultivars tested for resistance to *P. infestans* in field experiments for four years

Źródło zmienności Source of variation	Liczba stopni swobody Degrees of freedom	Suma kwadratów Sum of squares	Średni kwadrat Mean squares	Wartości statystyki F ^{a)} F statistic ^{a)}
Rok (Środ.) — Year (Environ.)	3	2463,06	821,02	58,53**
Odmiana — Cultivar	21	33132,88	1577,76	10,43** ^{b)}
Odmiana × Rok (Środowisko) Cultivar × Year (Environment)	63	9527,45	151,23	10,78**
Regresja względem środowiska Regression on environment	21	3328,15	158,48	
Odchylenie od regresji Deviation from regression	42	6199,30	147,60	10,52**
Błąd doświadczenia Experimental error	84		14,03	

^{a)} Poziom istotności: ** – P<0,01; Significant ** at P<0.01

^{b)} Zastosowany model nie pozwala testować istotności zróżnicowania odmian. Przedstawiono wartość F = średni kwadrat dla odmian/średni kwadrat odmiana × środowisko, która pozwala oszacować tę istotność (w przybliżeniu).
The applied statistical model does not allow testing the effect of cultivar. In the table, estimated F value is presented, calculated by dividing mean square for cultivar by mean square for cultivar × environment (approximately)

Tabela 4

Wyniki analizy stabilności 22 odmian ziemniaka pod kątem reakcji odporności na *P. infestans*
Results of stability analysis of 22 potato cultivars tested for resistance to *P. infestans*

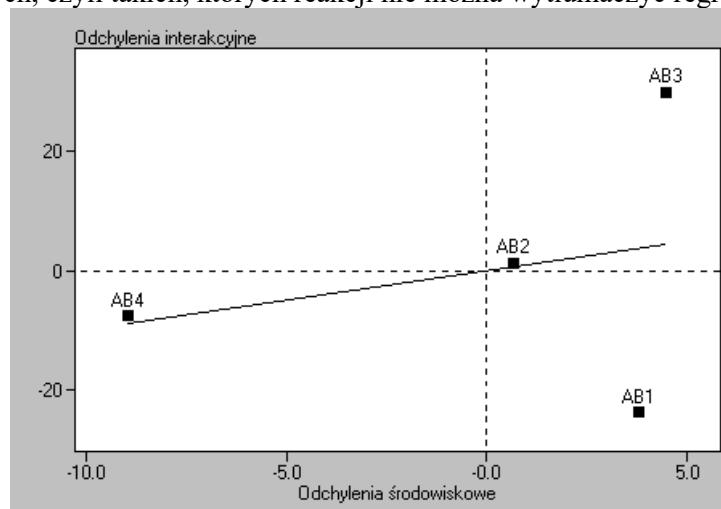
Odmiana Cultivar	Ocena efektu głównego Estimate of main effect	Wartości statystyki F dla efektu głównego ^{a)} F statistic for main effect	Statystyka F dla interakcji G × E ^{a)} F statistic for interaction G × E	Statystyka F dla regresji ^{a)} F statistic for regression	Statystyka F dla odchyżeń od regresji ^{a)} F statistic for deviations of regression
Neptun (PL)	-0,159	11,25*	6,75**	1,65	5,55**
Sonda (PL)	-0,185	30,91*	3,32*	12,68	0,68
Ślęza (PL)	-0,179	29,64*	3,23*	5,16	1,35
Inwestor (PL)	-0,181	29,62*	3,29*	5,80	1,27
Wawrzyn (PL)	-0,177	76,89**	1,22	-	-
Jasia (PL)	-0,074	4,64	3,52*	0,02	5,23**
Bzura (PL)	-0,152	28,05*	2,47	-	-
Zeus (PL)	-0,163	54,79**	1,45	-	-
Hinga (PL)	-0,144	16,02*	3,85*	18,30	0,57
Batja (RUS)	-0,167	30,97*	2,70	-	-
Russian Souvenir (RUS)	-0,071	4,96	3,00*	0,43	3,70*
Belosnezhka (RUS)	0,154	1,89	37,40**	0,20	51,11**
Nikulinski (RUS)	0,043	0,47	11,56**	0,26	15,32**
Veteran (RUS)	0,049	1,11	6,58**	0,03	9,72**
Steffi (D)	0,064	0,53	22,75**	0,00	34,09**
Alpha (NL)	0,197	3,70	31,38**	0,30	40,88**
Bintje (NL)	0,420	33,63*	15,66**	2,68	10,05**
Gloria (NL)	0,374	12,34*	33,89**	7,98	10,19**
Escort (NL)	0,147	37,69**	1,72	-	-
Eersteling (NL)	0,333	9,04	36,61**	1,26	33,67**
Robijn (NL)	0,070	6,83	2,12	-	-
Sarpo Mira (HUN)	-0,198	43,34**	2,69	-	-

^{a)} Poziom istotności: * – P<0,05 oraz ** – P<0,01; Significant: * at P<0.05 and ** at P<0.01

Odmiany zaznaczone tłustą czcionką to odmiany stabilne w testach polowych; Cultivars stable in field tests are bolded

Po wykonaniu szczegółowej analizy stwierdzono, że porażenie 13 spośród 22 odmian ziemniaka istotnie odbiegało od średniego porażenia odmian w całym doświadczeniu na poziomie istotności $P = 0,05$ lub $P = 0,01$ (tab. 4). Po estymacji i statystycznej analizie efektów głównych można stwierdzić, że w badanym okresie najodporniejszymi odmianami były: węgierska odmiana Sarpo Mira ($rAUDPC = 0,033$), polskie odmiany: Sonda ($rAUDPC = 0,045$), Inwestor ($rAUDPC = 0,050$), Ślęza ($rAUDPC = 0,052$), Wawrzyn ($rAUDPC = 0,053$), Zeus ($rAUDPC = 0,068$), Hinga ($rAUDPC = 0,087$), Bzura ($rAUDPC = 0,079$) oraz rosyjska odmiana Batja ($rAUDPC = 0,063$). Dla odmian tych odnotowano istotnie wysokie i ujemne efekty główne (tab. 4.). Odmianami najpodatniejszymi były holenderskie odmiany należące do grupy wzorców europejskich: Bintje ($rAUDPC = 0,651$), Gloria ($rAUDPC = 0,605$) oraz Eersteling ($rAUDPC = 0,563$). Dla pierwszych dwóch odmian uzyskano istotnie wysokie i dodatnie efekty główne, natomiast trzecia odmiana uzyskiwała efekt główny wysoki i dodatni. Pozostałe odmiany, uległy porażeniu zarzą ziemniaka na podobnym poziomie (średnia z 4 lat) zbliżonym do średniej generalnej doświadczenia, na co wskazują nieistotne efekty główne (tab. 1).

Na podstawie statystyki F dla interakcji $G \times E$ można stwierdzić, że interakcję ze środowiskiem wykazuje 15 odmian (tab. 4). W grupie tych odmian znalazły się cztery polskie odmiany (Sonda, Ślęza, Inwestor, Hinga), dla których interakcja ze środowiskiem była istotna na poziomie $P = 0,05$. Ponadto charakteryzowały się one brakiem istotnych odchyleń od regresji. Interakcja tych odmian ze środowiskiem jest na tyle niewielka, że można je zaliczyć do grupy odmian ze stabilnym poziomem odporności na zarząd ziemniaka. Pozostałych 11 odmian należy zaklasyfikować do odmian niestabilnych nieprzewidywalnych, czyli takich, których reakcji nie można wytłumaczyć regresją (tab. 4).



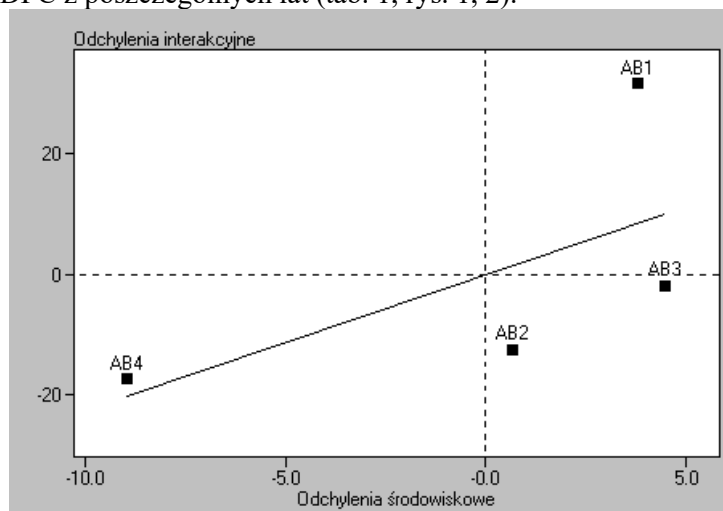
AB1 – Rok (year) 2007; AB2 – Rok (year) 2008; AB3 – Rok (year) 2009; AB4 – Rok (year) 2010

Odchylenie interakcyjne – Interaction deviation; Odchylenie środowiskowe – Environmental deviation

Rys. 1. Regresja efektów interakcyjnych odmiany Belosnezhka (RUS) względem średniej środowiskowej (odmiana niestabilna i nieprzewidywalna)

Fig. 1. Regression of interaction effects of cultivar Belosnezhka (RUS) in relation to environmental mean (unstable and unpredictable cultivar)

Poziom porażenia odmian niestabilnych nieprzewidywalnych nie da się przewidzieć w zmieniających się warunkach środowiskowych na podstawie jakości tych środowisk. Dla odmian zaliczonych do tej grupy można zaobserwować duży rozrzut uzyskanych średnich wartości rAUDPC z poszczególnych lat (tab. 1, rys. 1, 2).



AB1 – Rok (year) 2007; AB2 – Rok (year) 2008; AB3 – Rok (year) 2009; AB4 – Rok (year) 2010

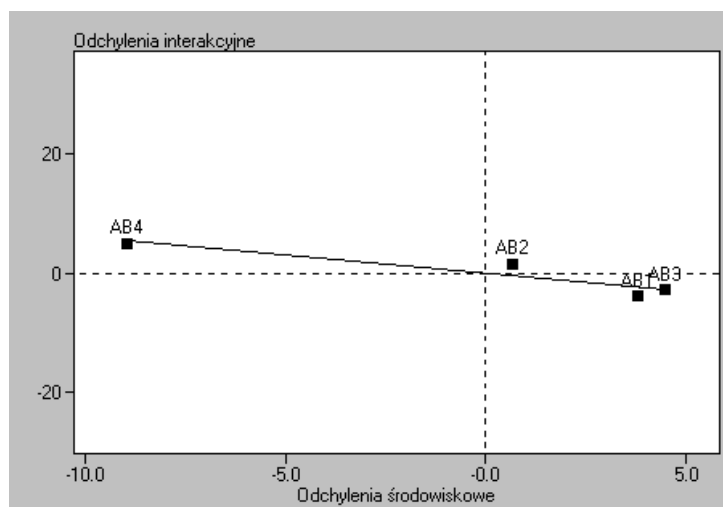
Odchylenie interakcyjne – Interaction deviation; Odchylenie środowiskowe – Environmental deviation

Rys. 2. Regresja efektów interakcyjnych odmiany Eersteling (NL) względem średniej środowiskowej (odmiana niestabilna i nieprzewidywalna)

Fig. 2. Regression of interaction effects of cultivar Eersteling (NL) in relation to environmental mean (unstable and unpredictable cultivar)

Dla odmian niestabilnych nieprzewidywalnych obok istotnej interakcji $G \times E$ uzyskano również istotne statystycznie wartości odchylenia od regresji (tab. 4). W grupie odmian niestabilnych nieprzewidywalnych na uwagę zasługuje rosyjska odmiana Russian Souvenir, dla której uzyskano istotną wartość interakcji $G \times E$ oraz istotne wartości odchylenia od regresji. Odmiana ta w latach 2007, 2008 i 2010 uzyskała niskie wartości współczynników rAUDPC, natomiast w roku 2009 uległa znacznie silniejszemu porażeniu (rAUDPC = 0,729). Pomimo niskiej wartości interakcji genotypowo-środowiskowej istotnej na poziomie $P = 0,05$, odmiana ta musiała zostać zaklasyfikowana do grupy odmian niestabilnych. Jej odporność na zarazę ziemniaka w roku 2009 uległa przełamaniu.

Pozostałych 7 odmian ziemniaka, tj. Wawrzyn (PL), Bzura (PL), Zeus (PL), Batja (RUS), Escort (NL), Robijn (NL) oraz Sarpo Mira (HUN) nie wykazało istotnych interakcji ze środowiskiem, można je więc uznać za odmiany o stabilnym poziomie odporności w testach polowych (tab. 4, rys. 3, 4). Odmiany Bzura, Batja, Robijn oraz Sarpo Mira to odmiany odporne wg danych katalogowych (tab. 1). W prezentowanych doświadczeniach wszystkie wyżej wymienione odmiany potwierdziły swój wysoki i stabilny poziom odporności, jedynie odmiana Robijn uzyskała nieco wyższe wartości rAUDPC (zakres od 0,261 do 0,360) przez co należy ją zaliczyć do odmian stabilnych średnio odpornych.

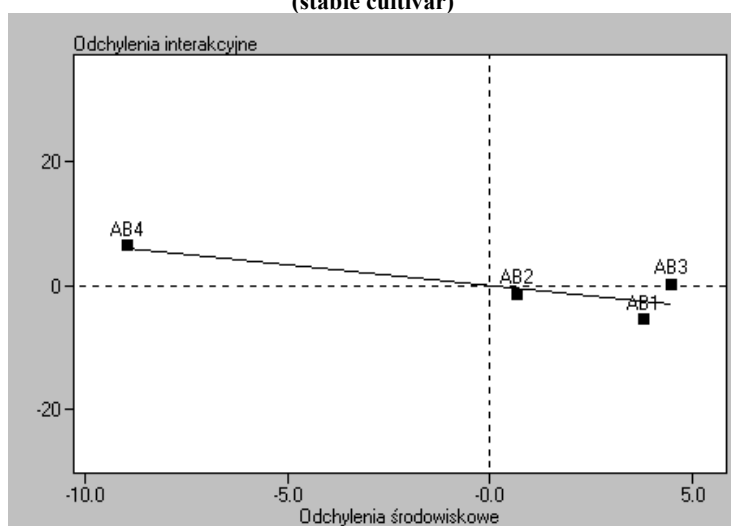


AB1 – Rok (year) 2007; AB2 – Rok (year) 2008; AB3 – Rok (year) 2009; AB4 – Rok (year) 2010

Odchylenie interakcyjne – Interaction deviation; Odchylenie środowiskowe – Environmental deviation

Rys. 3. Regresja efektów interakcyjnych odmiany Wawrzyn (PL) względem średniej środowiskowej (odmiana stabilna)

Fig. 3. Regression of interaction effects of cultivar Wawrzyn (PL) in relation to environmental means (stable cultivar)



AB1 – Rok (year) 2007; AB2 – Rok (year) 2008; AB3 – Rok (year) 2009; AB4 – Rok (year) 2010

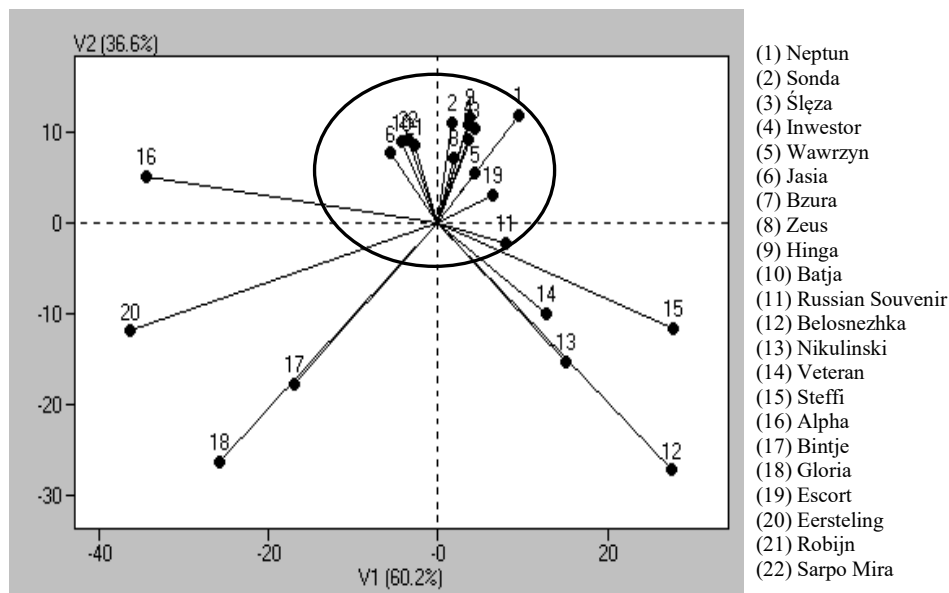
Odchylenie interakcyjne – Interaction deviation; Odchylenie środowiskowe – Environmental deviation

Rys. 4. Regresja efektów interakcji $G \times E$ odmiany Escort (NL) względem średniej środowiskowej (odmiana stabilna)

Fig. 4. Regression of $G \times E$ interaction effects of cultivar Escort (NL) in relation to environmental means (stable cultivar)

Dwie polskie odmiany Wawrzyn i Zeus w ocenach katalogowych zaliczane są do odmian średnio odpornych, natomiast w omawianych doświadczeniach zostały przeklasyfikowane

do grypy odmian stabilnych i odpornych. We wszystkich ocenianych środowiskach (latach) odmiany te uzyskały bardzo niskie wartości współczynników rAUDPC (zakres od 0,014 do 0,086) (tab. 1). Podatna odmiana Escort należąca do grupy wzorców europejskich uzyskała niższe wartości współczynników rAUDPC (zakres od 0,353 do 0,426) niż wskazywałaby na to jej ocena katalogowa. Na podstawie uzyskanych wyników odmiana ta została przeklasyfikowana z grypy odmian podatnych do grupy odmian stabilnych średnio odpornych.



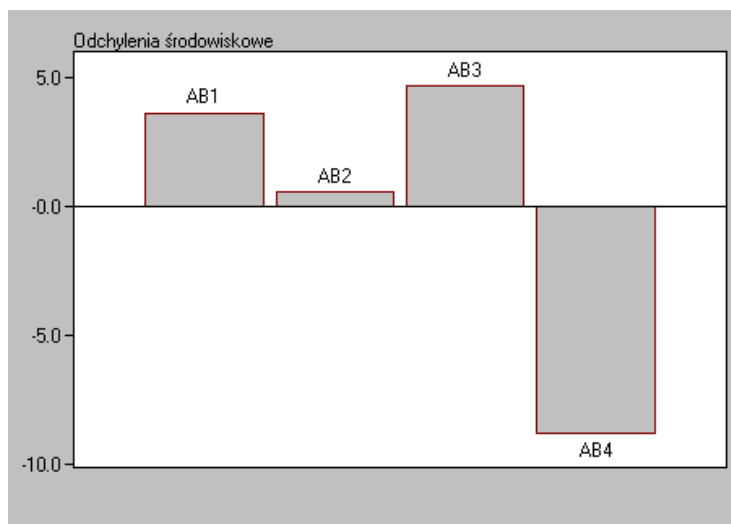
Rys. 5. Wektorowe przedstawienie 22 odmian ziemniaka w układzie zmiennych kanonicznych
Fig. 5. Vector representation of 22 potato cultivars in the system of canonical variables

Na rysunku 5 przedstawione zostały 22 odmiany ziemniaka w układzie zmiennych kanonicznych. Wielkość interakcji $G \times E$ obrazują wektory wyprowadzone od każdego punktu charakterystycznego dla odmiany do początku układu współrzędnych. Wielkość wektora stanowi wartość statystyki F dla interakcji $G \times E$. Największy udział odmiany w sumie kwadratów odchyleń dla interakcji $G \times E$ wykazują odmiany: Belosnezhka ($F = 37,40^{**}$), Eersteling ($F = 36,61^{**}$), Gloria ($F = 33,89^{**}$), Alpha ($F = 31,38^{**}$), Steffi ($F = 22,75^{**}$), Bintje ($F = 15,66^{**}$) oraz Nikuliński ($F = 11,56^{**}$). Odmiany te odznaczają się bardziej zmiennym poziomem porażenia zarazą ziemniaka w badanych środowiskach niż pozostałe odmiany i zaliczane są do grupy odmian niestabilnych i nieprzewidywalnych.

Odmiany najbardziej stabilnie zachowujące się w poszczególnych latach na wykresie położone są blisko środka układu współrzędnych. Najmniejszy udział odmiany w sumie kwadratów odchyleń dla interakcji $G \times E$ wykazują odmiany: Wawrzyn ($F = 1,22$), Zeus ($F = 1,45$), Escort ($F = 1,72$), Robijn ($F = 2,12$), Sarpo Mira ($F = 2,69$) oraz Batja ($F = 2,70$). Na rysunku 5 zaznaczone okręgiem odmiany leżące obok siebie, wykazują

stosunkowo małą interakcję względem siebie tzn. są bardzo zbliżone pod względem poziomu porażenia zarzą ziemniaka (tab. 1).

Analizując wpływ poszczególnych lat na interakcję (rys. 6) możemy stwierdzić, że najwyższymi dodatnimi odchyleniami środowiskowymi charakteryzowały się lata 2007 (3,77) i 2009 (4,49). Można uznać, że warunki środowiskowe panujące w tych latach były bardziej korzystne do rozwoju i przebiegu epifitozy zarazy ziemniaka, w stosunku do roku 2010, dla którego odnotowano ujemne odchylenie środowiskowe (-8,94). W roku 2010 odnotowano niższe średnie porażenie zarzą ziemniaka niż w latach poprzednich, oraz uzyskano niższe wartości rAUDPC dla grupy wzorców europejskich (tab. 1).

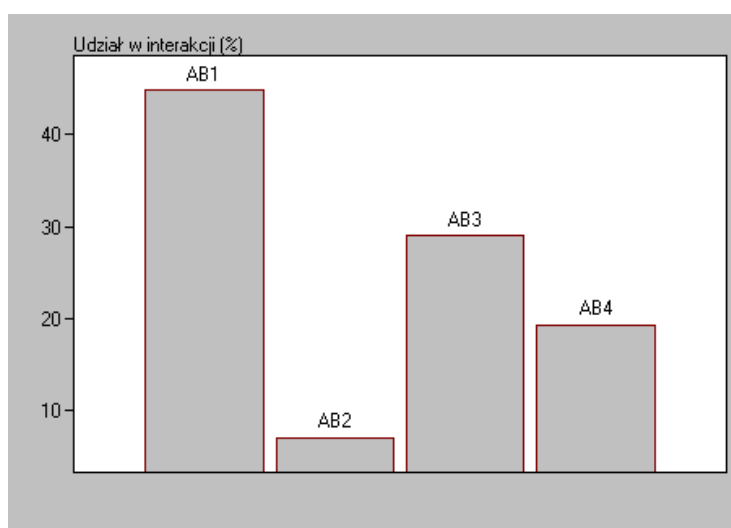


Odchylenie środowiskowe – Environmental deviation

Rys. 6. Odchylenia środowiskowe dla lat w analizie stabilności odporności na zarazę ziemniaka 22 odmian ziemniaka

Fig. 6. Environmental deviations for the years in analysis for stability of resistance to late blight of 22 potato cultivars

Szacując udział poszczególnych lat w interakcji $G \times E$ (rys. 7) można stwierdzić, że największy wpływ na obserwowaną interakcję $G \times E$ miał rok 2007 (udział w interakcji 44,6%). W tym roku warunki środowiskowe były na tyle charakterystyczne (silna presja infekcyjna), że różnice w reakcjach poszczególnych odmian na warunki środowiskowe panujące w tym okresie były o wiele wyraźniejsze niż w pozostałych latach. Najmniejszy udział w interakcji $G \times E$ odnotowano dla 2008 roku (udział w interakcji 7,1%).



AB1 – Rok (year) 2007; AB2 – Rok (year) 2008; AB3 – Rok (year) 2009; AB4 – Rok (year) 2010

Udział w interakcji (%) – Contribution to interaction (%)

Rys. 7. Udział lat w interakcji $G \times E$

Fig. 7. Years contribution to $G \times E$ interaction

WNIOSKI

1. Na podstawie analizy interakcji genotypowo-środowiskowej ($G \times E$), odmiany podzielono na stabilne (11 odmian) oraz niestabilne nieprzewidywalne (11 odmian) w reakcji odpornościowej na zarzę ziemniaka.
2. Stwierdzono, że środowisko w dużym stopniu modyfikuje ekspresję poziomu odporności ocenianych odmian.
3. W grupie wzorców europejskich tylko trzy odmiany: Escort, Robijn i Sarpo Mira wykazały stabilny poziom ekspresji odporności na zarzę ziemniaka w testach polowych.
4. Przy wyborze odmian stabilnych w testach polowych należy zwracać uwagę nie tylko na istotność interakcji $G \times E$, ale również na wysokość tej miary. Odmiany z niewielką interakcją $G \times E$ mogą być również bardzo wartościowym materiałem hodowlanym.
5. W grupie odmian o stabilnym poziomie odporności na zarzę ziemniaka znalazły się głównie odmiany wysoko odporne.
6. Warunki środowiskowe panujące w latach 2007 i 2009 były najbardziej korzystne do rozwoju i przebiegu epifitozy zarazy ziemniaka.
7. Największy wpływ na obserwowaną interakcję $G \times E$ miał rok 2007.
8. Odchylenie od regresji jest dobrą miarą ułatwiającą ocenę reakcji badanej cechy na środowiska, dla odmian, które w doświadczeniach okazały się niestabilne biologicznie.

9. Istotny statystycznie wpływ lat (środowisk) na poziom odporności na zarazę ziemniaka ocenianych odmian wskazuje na konieczność oceny tych odmian w doświadczeniach wieloletnich.

10. Określenie reakcji odmian na różne warunki środowiskowe może być bardzo pomocne przy poszukiwaniu nowych źródeł odporności na zarazę ziemniaka potrzebnych do tworzenia nowych odmian, jak również w przypadku prób określenia optymalnych warunków uprawy i rejonizacji odmian już znajdujących się w uprawie polowej.

LITERATURA

- Becker H. C., Leon J. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding* 101: 1 — 23.
- Caliński T. 1967. Model analizy wariancji dla doświadczeń wielokrotnych. *Rocz. Nauk Roln., seria A*, 93 (3): 549 — 579.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z. 1997. A multivariate approach to analyzing genotype-environment interactions. W: Krajewski P., Kaczmarek Z. (ed.). *Advances in Biometrical Genetics*, 3 — 14, Poznań.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P., Siatkowski I. 1998. Podręcznik użytkownika programu *Sergen 3*. Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu.
- Cruickshank G., Stewart H. E., Wastie R. L. 1982. An illustrated assessment key for foliage blight of potatoes. *Potato Res.* 25: 213 — 214.
- Elansky S., Smirnov A., Dyakov Y., Dolgova A., Filippov A., Kozlovsky B., Kozlovskaya I., Russo P., Smart C., Fry W. E. 2001. Genotypic analysis of Russian isolates of *Phytophthora infestans* from Moscow region, Siberia and Far East. *J. Phytopathology* 149: 605 — 611.
- Freeman G.H. 1973. Statistical methods for the analysis of genotype-environment interactions. *Heredity* 31: 339 — 354.
- Fry W.E. 1978. Quantification of general resistance of potato cultivars and fungicide effects for integrated control of potato late blight. *Phytopathology* 68: 1650 — 1655.
- Fry W.E. 2008. *Phytophthora infestans*: the plant (and R gene) destroyer. *Mol. Plant Path.* 9 (3): 1 — 18.
- Kaczmarek Z. 1986. Analiza doświadczeń wielokrotnych zakładanych w blokach niekompletnych. *Roczn. Akad. Rol. w Poznaniu, Rozprawy Naukowe, Zeszyt* 155.
- Kang M. S. 1998. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Adv. in Agron.* 62: 200 — 252.
- Kapsa J. 2003. Ochrona ziemniaka przed najważniejszymi chorobami występującymi na plantacjach. Bonin, IHAR.
- Mądry W. 2003. Analiza statystyczna miar stabilności na podstawie danych w klasyfikacji genotypy × środowiska. Cz. II. Model mieszany Shukli i model regresji łącznej. *Colloquium Biometryczne*, 33: 207 — 220.
- Mądry W., Rajfura A. 2003. Analiza statystyczna miar stabilności na podstawie danych w klasyfikacji genotypy × środowiska. Cz. I. Model mieszany Scheffégo - Calińskiego i model regresji łącznej. *Colloquium Biometryczne* 33: 181 — 205.
- Mądry W., Kang M. S. 2005. Scheffé — Caliński and Shukla Models: Their Interpretation and usefulness in stability and adaptation analyses. *Journal of Crop Improvement* 14 (1/2): 325 — 369.
- Mekbib F. 2003. Yield stability in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Euphytica* 130: 147 — 153.
- Perez W. G., Gamboa J. S., Falcon Y. V., Coca M., Raymundo R. M., Nelson R. J. 2001. Genetic structure of Peruvian populations of *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 91: 956 — 965.
- Piepho H. P. 1998. Methods of comparing yield stability of cropping systems — a review. *J. Agron. Crop Sci.* 180: 193 — 213.
- Piepho H.P. 1999. Stability analysis using the SAS system. *Agron. J.* 91: 154 — 160.
- Shukla G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity* 29: 237 — 245.

- Sujkowski L. S., Goodwin S. B., Dyer A. T., Fry W. E. 1994. Increased genotypic diversity via migration and possible occurrence of sexual reproduction of *Phytophthora infestans* in Poland. *Phytopathology* 84: 201 — 207.
- Śliwka J., Sobkowiak S., Lebecka R., Avendaño-Córcoles J., Zimnoch-Guzowska E. 2006. Mating type, virulence, aggressiveness and metalaxyl resistance of isolates of *Phytophthora infestans* in Poland. *Potato Res.* 49 (3): 155 — 166.
- Zimnoch-Guzowska E., Tatarowska B. 2004. Bottle necks in breeding late blight resistant potato. *Plant Breeding and Seed Science* 50: 71 — 79.

DARIUSZ R. MAŃKOWSKI¹**ZBIGNIEW LAUDAŃSKI**²**MONIKA JANASZEK**³¹ Pracownia Ekonomiki Nasiennictwa i Hodowli Roślin

Zakład Nasiennictwa i Nasionoznawstwa

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy w Radzikowie

² Katedra Ekonometrii i Statystyki

Wydział Zastosowań Informatyki i Matematyki

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

³ Katedra Podstaw Inżynierii

Wydział Inżynierii Produkcji

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Przydatność wybranych miar podobieństwa dla danych binarnych do analiz wielocechowych w badaniach molekularnych

The application of chosen similarity measures for binary data in multivariate analysis in molecular experiments

W pracy przedstawiono możliwości wykorzystania ośmiu miar podobieństwa genetycznego w analizie danych binarnych, będących matematycznym obrazem żeli elektroforetycznych uzyskiwanych w badaniach molekularnych. Scharakteryzowano miary zgodności (Gowera), Jaccarda, Nei'a i Li (Dice'a), Hamanna, Ochiai, współczynnik Y Yule'a, współczynnik Q Yule'a oraz zero-jedynkowy odpowiednik współczynnika korelacji Pearsona (ϕ 4-point correlation). Na przykładzie analizy porównawczej 14 odmian marchwi jadalnej (*Daucus carota* L.) przedstawiono wykorzystanie tych miar w analizach wielocechowych — analizie skupień metodą UPGMA oraz analizie głównych współrzędnych PCoA. Przedstawiono i omówiono wyniki przeprowadzonych analiz oraz opisano różnice pomiędzy nimi. Porównano istniejące w literaturze miary podobieństwa dla danych molekularnych pod względem zgodności wyników uzyskiwanych z analiz statystycznych.

Słowa kluczowe: dane binarne, analizy molekularne, miary podobieństwa, PCoA, analiza skupień, marchew jadalna

The article presents the possibility of using eight measures of genetic similarity in analysis of binary data which are a mathematical image of the electrophoresis gels obtained in molecular studies. We characterized similarity measures: simple matching (Gower), Jaccard, Nei and Li (Dice), Hamann, Ochiai, Yule Y coefficient, Yule Q coefficient and zero-one equivalent of the Pearson correlation coefficient (ϕ 4-point correlation). Then, the example of a comparative analysis of 14 varieties of carrots (*Daucus carota* L.) presents the use of these measures in a multivariate analysis — UPGMA cluster analysis and principal coordinates analysis PCoA. The results of the analysis and the differences

between them were presented and discussed. The similarity measures for the molecular data existing in the literature were compared in terms of results compliance obtained from statistical analyses.

Key words: binary data, molecular analysis, similarity measures, PCoA, cluster analysis, carrot

WSTĘP

Ocena zróżnicowania genetycznego obiektów, odmian, populacji czy też gatunków jest bardzo często przedmiotem badań z zakresu biologii molekularnej, genetyki, hodowli roślin i bioinformatyki. Do lat 70. XX wieku ocena zróżnicowania pomiędzy obiektami opierała się w głównej mierze na markerach morfologicznych, fizjologicznych i cytologicznych, izoenzymach oraz na analizach porównawczych z doświadczeń ścisłych, ocenie heterozji i analizie zmienności w krzyżowaniach (Rief i in., 2005).

Obecnie najpowszechniej stosowane i uznane za najbardziej dokładne są metody oparte na markerach molekularnych. Wykorzystuje się je w badaniu genetycznych relacji pomiędzy różnymi genotypami w bankach genów oraz w procesach hodowlanych. W tych badaniach bardzo ważny staje się dobór właściwej miary podobieństwa (p) lub zróżnicowania ($z = 1 - p$) genotypów. Miary spotykane w literaturze posiadają różne właściwości matematyczne i cechują się różną przydatnością do prowadzonych badań i analiz (Rief i in., 2005). Odnaleźć można szereg prac charakteryzujących matematyczne własności miar podobieństwa/zróżnicowania, np. Goodman (1972), Gower (1985), Gower i Legendre (1986), Takezaki i Nei (1996), Rief i wsp. (2005), Siatkowski i wsp. (2010).

Dane pochodzące z analiz molekularnych są najczęściej matematycznym zapisem obrazów żeli elektroforetycznych, a ściślej binarnym (zero-jedynkowym) zapisem pasm uzyskiwanych w wykonywanych analizach molekularnych. Fakt wystąpienia prążka o danej masie na elektroforogramie jest zapisywany jako 1, brak prążka o tej masie jako 0. W ten sposób matematyczny obraz wszystkich pasm dla analizowanej puli genotypów ma postać zero-jedynkowej macierzy. Dane te mają charakter skategoryzowany, to znaczy, że rzeczywista różnica pomiędzy wystąpieniem i brakiem danego prążka nie może być zapisana matematycznie jako różnica (1–0). Z tego powodu do analizy takich danych nie powinno się wykorzystywać klasycznych miar odległości pomiędzy obiektami, takich jak odległość Euklidesa, Czebyszewa, itp.

Celem pracy było porównanie istniejących w literaturze miar podobieństwa dla danych molekularnych pod względem zgodności wyników uzyskiwanych ze statystycznych analiz wielocechowych, takich jak analiza skupień i analiza głównych współrzędnych.

MATERIAŁ I METODY

Material badawczy

Materiał do badań stanowiło 14 odmian marchwi jadalnej (*Daucus carota* L.). Odmiany te były powszechnie uprawiane w Polsce na cele przemysłowe (przetwórstwo spożywcze). Badane obiekty pochodziły z kolekcji odmian uprawianych na polu pokazowym w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym SGGW w Żelaznej. Listę badanych odmian oraz informacje o nich zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1

Wykaz odmian marchwi wykorzystanych w badaniach
List of carrot cultivars used in experiment

Odmiana Cultivar	Kraj pochodzenia Country of origin	Hodowca Breeder
Canada (F1)	NL	Bejo Zaden B.V.
Finezja	PL	SPÓJNIA Hodowla i Nasiennictwo Ogrodnicze Sp. z o.o.
Florida (F1)	NL	Bejo Zaden B.V.
Kathmandu (F1)	NL	Bejo Zaden B.V.
Kazan (F1)	NL	Bejo Zaden B.V.
Laguna (F1)	NL	Nunhems B.V.
Macon (F1)	NL	Rijk Zwaan Zaadteelt en Zaadhandel B.V.
Maxima (F1)	DE	Agri-Saaten GmbH
Mazurska	PL	—
Prodigy (F1)	US	Seminis Vegetable Seeds, Inc.
Recoleta (F1)	US	Seminis Vegetable Seeds, Inc.
Sirkana (F1)	FR	Nunza B.V.
Sugarsnax (F1)	NL	Nunhems B.V.
Trafford (F1)	NL	Rijk Zwaan Zaadteelt en Zaadhandel B.V.

Analizy molekularne

Analizę zmienności genetycznej badanych odmian marchwi przeprowadzono z zastosowaniem semispecyficznego PCR (Rafalski, 2004). Technika z zastosowaniem łańcuchowej reakcji polimeryzacji jest wykorzystywana do amplifikacji sekwencji DNA z użyciem pary oligonukleotydowych starterów, z których każdy jest komplementarny do jednego końca docelowej sekwencji DNA. Startery są wydłużane ku sobie za pomocą termostabilnej polimerazy DNA, którą wyizolowuje się z bakterii termofilnych. Cykl, następujących po sobie reakcji, obejmuje denaturację, przyłączenie startera i polimeryzację. Mieszanina reakcyjna zawiera matrycę, startery, bufony, enzymy oraz dNTP i Mg^{2+} . W pierwszym cyklu cząsteczka DNA rozdziela się na 2 nici (ulega denaturacji) w wyniku ogrzewania do 95°C. Przyłączenie starterów jest możliwe po obniżeniu temperatury do około 55°C. Po ich przyłączeniu podnosi się temperaturę mieszaniny reakcyjnej do 72°C, aby umożliwić optymalną polimeryzację.

W pierwszym etapie polimeryzacji każda nić docelowa DNA jest kopiowana od miejsca przyłączenia startera na różną długość, co trwa aż do rozpoczęcia drugiego cyklu, w którym mieszanina reakcyjna jest ponownie ogrzewana do 95°C, aby zdenaturować nowo powstałe cząsteczki DNA. W kolejnym etapie drugi starter może wiązać się do powstałej nowej nici DNA i podczas polimeryzacji kopiować tę nić aż do miejsca, w którym znajdował się początek pierwszego startera. W ten sposób w końcowym etapie drugiego cyklu występują już nowo syntetyzowane cząsteczki o właściwej długości. W następnych cyklach liczba takich cząsteczek wzrasta. Jeżeli reakcja PCR zachodzi z wydajnością 100%, jedna docelowa cząsteczka po n cyklach ulega amplifikacji z krotnością równą 2^n .

Preparatykę DNA przeprowadzono zgodnie z metodyką opisaną przez Davisa i wsp. (1986). DNA otrzymano z próbek naci badanych odmian marchwi jadalnej, a jego stężenie oznaczono fluorymetrycznie, zgodnie z instrukcją fluorymetru TKO 100 (Hoefer Scientific Instruments, San Francisco, USA). Powielanie fragmentów DNA przeprowadzono w termocyklerze UNO II (Biometra, Göttingen, Niemcy), w mieszaninie zawierającej w

objętości 20 µl: 10 lub 15,2 ng DNA roślinnego, 1×bufor, 2,5 mM MgCl₂, 1,2 µM startera, 200 µM dNTP i jedną jednostkę termostabilnej polimerazy. Produkty amplifikacji rozdzielono elektroforetycznie w 1,5% żelu agarozowym w buforze TBE i wizualizowano w świetle ultrafioletowym przy użyciu bromku etydyny. Fotografie rozdzielów elektroforetycznych analizowano w programie „Fragment NT” (Molecular Dynamics, Sunnyvale, CA, USA), przy użyciu którego utworzono macierz wyników, zapisaną w systemie binarnym. Obecność fragmentu DNA o określonej masie (wyrażonej w parach zasad) oznaczano jako 1, a brak tego fragmentu jako 0. Kolumny macierzy odpowiadały fragmentom DNA, a wiersze macierzy stanowiły odmiany marchwi. Do dalszych analiz wykorzystano tylko pasma polimorficzne (Janaszek, 2008).

Miary podobieństwa i różnicowania

W literaturze można odnaleźć wiele miar podobieństwa lub różnicowania (nazwanych tak dla odróżnienia od miar bliskości lub odległości, wykorzystywanych w analizach polegających na grupowaniu wielocechowym obiektów opisanych za pomocą zmiennych ilościowych) używanych do analizy danych o częstości występowania genów bądź fragmentów DNA (Nei, 1978; Reif i in., 2005). W dalszej części pracy zaprezentowano pewną grupę miar podobieństwa, które mogą być stosowane w analizach danych zero-jedynkowych pochodzących z badań molekularnych.

Miary podobieństwa dla danych binarnych wyznacza się w oparciu o tabelę krzyżową rozkładu częstości występowania zer i jedynek w obrębie dwóch porównywanych genotypów (tab. 2).

Tabela 2

Tabela krzyżowa rozkładu częstości występowania zer i jedynek w obrębie porównywanych genotypów X oraz Y

Cross-table of zeros and ones frequencies within compared genotypes X and Y

Częstotliwość Frequency		Genotyp X Genotype X	
		1	0
Genotyp Y	1	<i>a</i>	<i>b</i>
Genotype Y	0	<i>c</i>	<i>d</i>

W oparciu o wyznaczone z tabeli krzyżowej (tab. 2) częstości występowania par: 1–1 (*a*); 1–0 (*b*); 0–1 (*c*); 0–0 (*d*), u porównywanych genotypów, opracowano wiele miar ich podobieństwa (Reif i in., 2005; Laudański i Mańkowski, 2007; Siatkowski i in., 2010). Poniżej opisano wybrane miary podobieństwa, omawiane w niniejszej pracy:

— Miara zgodności — Gowera (Gower, 1971; Sneath i Sokal, 1973; Backhaus i in., 2000)

$$p(X; Y) = \frac{a + d}{a + b + c + d} \quad (1)$$

— Miara Jaccarda (Jaccard, 1908)

$$p(X; Y) = \frac{a}{a + b + c} \quad (2)$$

— Miara Neia i Li — Dice (Dice, 1945; Nei i Li, 1979)

$$p(X; Y) = \frac{2a}{2a + b + c} = \frac{2a}{(a + b) + (a + c)} \quad (3)$$

— Miara Hamanna (Hamann, 1961)

$$p(X; Y) = \frac{(a + d) - (b + c)}{a + b + c + d} \quad (4)$$

— Współczynnik Y Yule’a (Lienert i von Eye, 1986)

$$p(X; Y) = \frac{\sqrt{ad} - \sqrt{bc}}{\sqrt{ad} + \sqrt{bc}} \quad (5)$$

— Współczynnik Q Yule’a (Lienert i von Eye, 1986)

$$p(X; Y) = \frac{ad - bc}{ad + bc} \quad (6)$$

— Miara Ochiai (Ochiai, 1957)

$$p(X; Y) = \sqrt{\frac{a}{a + b} \cdot \frac{a}{a + c}} \quad (7)$$

— Phi 4-point correlation — zerojedynkowy odpowiednik współczynnika korelacji Pearsona (Guilford, 1936)

$$p(X; Y) = \frac{ad - bc}{\sqrt{(a + b)(a + c)(b + d)(c + d)}} \quad (8)$$

Analiza skupień (CA)

Analiza skupień obejmuje metody ilościowe, które umożliwiają porównanie i uporządkowanie obiektów tworzących pewien zbiór. Celem analizy skupień jest przede wszystkim podział badanych obiektów na grupy reprezentujące zbiorowości obiektów nie różniących się znacząco między sobą. Uzyskany w ten sposób podział, oprócz odkrycia nieznannej struktury zjawiska, pozwala na wyodrębnienie zasadniczych właściwości uzyskanych skupień (Laudański i Mańkowski, 2007). W praktyce, w badaniach taksonomicznych i molekularnych stosuje się techniki hierarchicznej analizy skupień. W przypadku tej techniki skupienia tworzą drzewa binarne. Najczęściej stosuje się tu metody aglomeracyjne tworzenia skupień. Polegają one na sukcesywnym łączeniu skupień (początkowo zakłada się, że każdy badany obiekt stanowi oddzielne skupienie) będących w jak najmniejszej odległości od siebie.

W przypadku klasycznej analizy skupień do oceny bliskości obiektów wykorzystuje się miary odległości pomiędzy tymi obiektami. Dla danych binarnych, pochodzących z badań molekularnych, wykorzystuje się natomiast miary zróżnicowania obiektów, czyli przeciwieństwo miar podobieństwa. Zróżnicowanie wyznacza się wg wzoru:

$$z(X; Y) = 1 - p(X; Y). \quad (9)$$

W przypadku badań molekularnych najczęściej stosowanym w hierarchicznej analizie skupień sposobem obliczania odległości pomiędzy skupieniami jest metoda UPGMA — średniej odległości między skupieniami (Liu i in., 2000; Guthridge i in., 2001; Díaz-Perales i in., 2002; Manimekalai i Nagarajan, 2006; Huang i in., 2007; Moncada i in., 2007). Odległość pomiędzy dwoma skupieniami, A oraz B, traktowana jest tu jako średnia arytmetyczna odległości między wszystkimi parami obiektów należących do skupień A oraz B, tzn.:

$$d(A; B) = \frac{\sum_{i=1}^{n_A} \sum_{j=1}^{n_B} z(O_{Ai}; O_{Bj})}{n_A \cdot n_B}. \quad (10)$$

Wadą metody UPGMA jest jej skłonność do łączenia skupień o niskich wariancjach i tworzenia klas o wariancjach podobnych (Sokal and Michener, 1958; Sneath i Sokal, 1973).

W wyniku hierarchicznej analizy skupień uzyskuje się wykres przypominający drzewo, zwany dendrogramem. Z takiego dendrogramu można odczytać kolejność tworzenia się skupień. Im połączenie pomiędzy obiektami lub skupieniami jest bliższe początkowi wykresu tym obiekty tworzące dane skupienie są mniej zróżnicowane między sobą.

W praktyce liczbę powstałych skupień, na które dzieli się badaną zbiorowość, określa się uznaniowo na podstawie obserwacji struktury dendrogramu. Taka ocena, z racji subiektywności, budzi znaczne kontrowersje. W przypadku analiz jednocechowych, znane są i powszechnie stosowane metody grupowania obiektów na znacząco różniące się od siebie i te nie wykazujące takiego zróżnicowania (np. procedury porównań wielokrotnych w analizie wariancji). Propozycje metod wskazywania właściwej liczby skupień w analizach wielocechowych (Mc Queen, 1966; Lance i Williams, 1967; Karoński, 1971; Caliński i Harabasz, 1974; Harabasz i Karoński, 1977; Chudzik i Karoński, 1979; Sarle, 1983; Sieczko, 2003; Kaczmarek i in., 2008) nie znalazły powszechnego zastosowania, a ocena nadal ma charakter uznaniowy.

W niniejszej pracy zwyczajową ocenę dendrogramu oraz subiektywną metodę określenia liczby skupień uzupełniono o metodę doboru optymalnej liczby skupień dokonywaną na podstawie takich kryteriów, jak współczynnik R^2 i semi-cząstkowy R^2 (Timm, 2002).

W analizie funkcji regresji współczynnik determinacji — R^2 jest miarą całkowitej wariancji zmiennej zależnej opisanej przez zmienne niezależne. W analizie wariancji, uwzględniającej analizę trendów, R^2 jest definiowane jako stosunek sumy kwadratów odchyłeń dla analizowanego modelu do łącznej sumy kwadratów odchyłeń i jest miarą całkowitej wariacji zmiennej zależnej opisanej przez analizowany model liniowy. W analizie skupień współczynnik R^2 jest miarą całkowitej wariancji cech wszystkich analizowanych obiektów, wynikającą z podziału zbiorowości na określoną liczbę skupień. Dla n skupień całkowita suma kwadratów odchyłeń wynosi:

$$T = \sum_{i=1}^n \|y_i - \bar{y}\|^2, \quad (11)$$

a suma kwadratów odchyłeń wewnątrz k -tego skupienia wynosi:

$$SSE_k = \sum_i \|y_i - \bar{y}_k\|^2. \quad (12)$$

Wówczas, współczynnik R^2 dla k skupień jest definiowany jako:

$$R_k^2 = \frac{T - \sum_k SSE_k}{T}. \quad (13)$$

Dla liczby skupień $k = n$ każda $SSE_k = 0$, więc $R^2 = 1$. Wraz ze zmniejszaniem się liczby skupień od n do 1 łączna wartość sum kwadratów odchyłeń wewnątrz skupień rośnie, co z kolei powoduje zmniejszenie się wartości R^2 , aż do $R^2 = 0$ przy jednym skupieniu zawierającym wszystkie badane obiekty.

Alternatywnie dla połączenia skupień A i B w skupienie Z można wyznaczyć semicząstkowy współczynnik R^2 (semipartial R^2) jako:

$$SR^2 = R_k^2 - R_{k-1}^2. \quad (14)$$

Statystyka SR^2 wyraża stosunek $SSE_Z - (SSE_A + SSE_B)$ gdzie skupienia A oraz B zostały połączone w skupienie Z, do łącznej sumy kwadratów odchyłeń T , wyrażonej wzorem (11). Większe wartości SR^2 odpowiadają łączeniu bardziej odległych skupień.

Analiza głównych współrzędnych (PCoA)

Punktem wyjścia do analizy głównych współrzędnych jest analiza składowych głównych (PCA — Principal Component Analysis). Jest to wielocechowa analiza danych, zaproponowana przez Carla Pearsona na początku XX-ego wieku (Timm, 2002). Znaną i używaną do dziś formę tej analizy zaproponowali Hotelling (1933) i Rao (1964). Jest to metoda rzutowania danych, w przestrzeni zredukowanej, poprzez kombinacje liniowe oryginalnych zmiennych (wzajemnie nieskorelowanych składowych głównych), które zachowują maksimum oryginalnej wariancji danych. Celem jest wyrażenie wielowymiarowych obserwacji przy użyciu małej liczby współrzędnych. Celem PCA jest taki obrót układu współrzędnych, aby maksymalizować w pierwszej kolejności wariancję pierwszej współrzędnej, następnie wariancję drugiej współrzędnej, itd. Tak przekształcone wartości współrzędnych nazywane są ładunkami składowych głównych. W ten sposób konstruowana jest nowa przestrzeń obserwacji, w której najwięcej zmienności wyjaśniają początkowe składowe główne. Źródłem danych do analizy PCA może być macierz kowariancji pomiędzy obiektami wyznaczana na podstawie informacji wielocechowych. Najczęściej jednak wykorzystuje się do obliczeń macierz korelacji, będącą standaryzowaną macierzą kowariancji.

Opisaną powyżej właściwość analizy PCA do redukcji wymiarów charakteryzujących analizowane obiekty wykorzystał Gower (1966). Zastępując macierz korelacji macierzą podobieństwa można przeprowadzić analizę składowych głównych, w wyniku której

uzyska się możliwość rzutowania obiektów w nowej dwu- (2D) lub trójwymiarowej (3D) przestrzeni współrzędnych, reprezentujących maksimum zmienności zawartej w źródłowym zbiorze danych (Kenkel, 2006). Składowe główne wyznaczone w wyniku tej analizy nazywane są współrzędnymi głównymi. A tak przeprowadzona analiza nazywana jest analizą głównych współrzędnych (PCoA — Principal Coordinate Analysis). Niektórzy badacze (Krzanowski, 2004; Kenkel, 2006) zaliczają PCoA do grupy analiz określonych mianem skalowania wielowymiarowego (multidimensional scaling). Celem skalowania wielowymiarowego jest bowiem wyrażenie wielowymiarowych obserwacji przy użyciu małej liczby współrzędnych tak, aby możliwie najlepiej zachować relacje między nimi.

Wynikiem analizy PCoA jest wykres przedstawiający rozmieszczenie badanych obiektów w przestrzeni dwóch lub trzech współrzędnych głównych. Na podstawie takiego przestrzennego rozmieszczenia obiektów można opisać strukturę populacji z jakiej pochodzą badane obiekty oraz określić stopień ich zróżnicowania (Sneath i Sokal, 1973; Kenkel, 2006).

Przetwarzanie danych oraz wyznaczenie wartości miar podobieństwa przeprowadzono w arkuszu kalkulacyjnym Ms Excel 2007. Analizy statystyczne wykonano w Systemie SAS® w wersji 9.2 (SAS Institute Inc., 2009).

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Analiza skupień metodą UPGMA

W publikowanych pracach badawczych, dotyczących oceny zróżnicowania genetycznego różnych populacji roślinnych, analiza skupień jest analizą wykorzystywaną stosunkowo najczęściej. W pracach tych stosowana jest aglomeracja metodą średniego wiązania, a ocena powstających skupień dokonywana jest uznaniowo, na podstawie analizy uzyskanych dendrogramów (Liu i in., 2000; Guthridge i in., 2001; Díaz-Perales i in., 2002; Manimekalai i Nagarajan, 2006; Huang i in., 2007; Moncada i in., 2007).

Aby ocenić przydatność omawianych miar podobieństwa, w pierwszym etapie badań przeprowadzono hierarchiczną analizę skupień metodą UPGMA. W jej wyniku sporządzono dendrogramy charakteryzujące badane odmiany (rys. 1). Analiza wizualna umożliwiła wskazanie, zależnie od zastosowanej miary podobieństwa, od trzech do sześciu skupień badanych odmian marchwi jadalnej:

- sześć grup, do których należały odmiany: 1) Maxima; 2) Finezja, Prodigy, Recoleta; 3) Kazan, Laguna; 4) Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon; 5) Mazurska; 6) Sugarsnax, uzyskano stosując miary Gowera (zgodności), Hamanna, zerojedynkowy odpowiednik współczynnika korelacji Pearsona oraz współczynnik Y Yule'a;
- pięć grup, do których należały odmiany: 1) Maxima; 2) Finezja, Prodigy, Recoleta; 3) Kazan, Laguna; 4) Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 5) Sugarsnax, uzyskano stosując miary Jaccarda, Nei'a i Li (Dice'a) oraz Ochiai;
- trzy wyraźne skupienia: 1) Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna; 2) Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 3) Sugarsnax, uzyskano natomiast stosując współczynnik Q Yule'a. Dodatkowo zastosowanie tego

współczynnika pozwoliło na wyraźniejsze zilustrowanie struktury zmienności pomiędzy badanymi odmianami marchwi.

Równocześnie wyznaczono wartości współczynników R^2 i SR^2 dla poszczególnych poziomów agregacji w analizie skupień (tab. 3).

Tabela 3

Wyniki aglomeracji badanych odmian marchwi jadalnej uzyskane w analizie skupień metodą średniego wiązania

The results of the agglomeration of the studied carrot cultivars obtained by UPGMA cluster analysis

Liczba skupień Number of clusters	Miara podobieństwa Similarity measure															
	zgodności (Gowera) simple matching (Gower)		Jaccarda Jaccard		Nei'a i Li (Dice'a) Nei and Li (Dice)		Hammana Hamman		współczynni k Y Yule'a Yule Y coefficient		współczynni k Q Yule'a Yule Q coefficient		Ochiai Ochiai		zero- jedynkowy odpowiednik współczynni k korelacji Pearsona Phi 4-point correlation	
	R^2	SR^2	R^2	SR^2	R^2	SR^2	R^2	SR^2	R^2	SR^2	R^2	SR^2	R^2	SR^2	R^2	SR^2
14	1,000	—	1,000	—	1,000	—	1,000	—	1,000	—	1,000	—	1,000	—	1,000	—
13	0,963	0,037	0,959	0,041	0,967	0,033	0,963	0,037	0,990	0,010	0,965	0,035	0,967	0,033	0,964	0,036
12	0,918	0,045	0,908	0,051	0,923	0,043	0,918	0,045	0,971	0,019	0,920	0,045	0,924	0,043	0,919	0,045
11	0,871	0,047	0,853	0,055	0,875	0,049	0,871	0,047	0,950	0,021	0,873	0,047	0,875	0,049	0,872	0,047
10	0,817	0,054	0,788	0,065	0,816	0,059	0,817	0,054	0,921	0,029	0,818	0,054	0,816	0,059	0,817	0,054
9	0,762	0,055	0,725	0,062	0,759	0,057	0,762	0,055	0,890	0,031	0,763	0,056	0,759	0,057	0,762	0,056
8	0,701	0,061	0,662	0,063	0,702	0,058	0,701	0,061	0,852	0,037	0,702	0,061	0,701	0,058	0,701	0,061
7	0,612	0,089	0,600	0,063	0,645	0,057	0,612	0,089	0,811	0,041	0,612	0,090	0,644	0,057	0,612	0,089
6	0,548	0,063	0,531	0,069	0,581	0,064	0,548	0,063	0,731	0,080	0,549	0,063	0,581	0,063	0,549	0,063
5	0,471	0,077	0,446	0,085	0,497	0,084	0,471	0,077	0,667	0,064	0,473	0,076	0,497	0,084	0,473	0,076
4	0,392	0,079	0,357	0,089	0,407	0,090	0,392	0,079	0,599	0,068	0,395	0,079	0,406	0,091	0,383	0,089
3	0,300	0,092	0,252	0,105	0,296	0,110	0,300	0,092	0,510	0,089	0,305	0,090	0,296	0,110	0,265	0,119
2	0,172	0,128	0,153	0,099	0,191	0,105	0,172	0,128	0,347	0,163	0,176	0,129	0,192	0,104	0,175	0,090
1	0,000	0,172	0,000	0,153	0,000	0,191	0,000	0,172	0,000	0,347	0,000	0,176	0,000	0,192	0,000	0,175

Niezależnie od stosowanej miary podobieństwa, w przypadku każdej analizy obserwowano dynamiczny, niemal jednostajny spadek poziomu wartości współczynnika R^2 . W praktyce, optymalnej liczbie skupień, odpowiada ten poziom aglomeracji, w którym następuje znaczące obniżenie wartości współczynnika R^2 , czyli znaczący wzrost współczynnika SR^2 . W tym wypadku taki skok obserwowano dość późno bo na etapie 2 skupień, gdy wartość współczynnika R^2 obniżała się do poziomu 0,2–0,3. W wyniku analizy stwierdzono, że badane odmiany marchwi jadalnej były silnie zróżnicowane, co znacznie utrudniało wskazanie optymalnej liczby skupień. Badane odmiany marchwi jadalnej podzielono na dwa skupienia niezależnie od użytej miary podobieństwa: 1) Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna, Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 2) Sugarsnax.

Porównanie podziałów, uzyskanych na podstawie oceny wizualnej — uznaniowej oraz statystycznych współczynników doboru optymalnej liczby skupień, pozwoliło na stwierdzenie, iż zdarza się, że oceny wykonywane wizualnie prowadzą do zbyt szczegółowych podziałów, które nie znajdują uzasadnienia w analizie zmienności

wewnątrz i pomiędzy uzyskanymi skupieniami. Innym możliwym wynikiem jest podział zbyt ogólny, który nie oddaje w całości zróżnicowania obiektów występującego w zbiorze danych. Prezentowana analiza jest przykładem tej pierwszej możliwości. Dodatkowo wskazuje, że dostępne kryteria statystyczne, służące do wskazywania optymalnej liczby skupień nie muszą dawać jednoznacznych wyników, a posługiwanie się nimi może okazać się skomplikowane.

Analiza głównych współrzędnych PCoA

Analizę głównych współrzędnych w literaturze, dotyczącą badań zróżnicowania genetycznego u roślin, spotyka się zdecydowanie rzadziej niż omawianą wcześniej analizę skupień. Dodatkowo zaobserwować można znaczne problemy z terminologią związaną z tą metodą, w szczególności w pracach publikowanych w czasopiśmie polskojęzycznych. Z racji pewnych podobieństw analiza ta jest często mylona z analizą składowych głównych lub analizą czynnikową.

Tabela 4

Wartości własne i stopień wyjaśnienia zmienności przez wyznaczone współrzędne główne w analizie PCoA

Eigenvalues and the degree of explanation of variation by the principal coordinates analysis PCoA												
Współrzędne główne Principal coordinates	Zgodności (Gowera) Simple matching (Gower)			Miara Jaccarda Jaccard coefficient			Nei'a i Li (Dice'a) Nei and Li (Dice)			Miara Hamanna Hamann measure		
	wartość własna eigen- value	% zmien- ności % of variance	skumulo wany % zmien- ności cumula- tive % of variation	wartość własna eigen- value	% zmien- ności % of variance	skumulo wany % zmien- ności cumula- tive % of variation	wartość własna eigenval- ue	% zmien- ności % of variance	skumulo wany % zmien- ności cumula- tive % of variation	wartość własna eigen- value	% zmien- ności % of variance	skumulo wany % zmien- ności cumula- tive % of variation
1	2,3497	67,62	67,62	1,7324	49,86	49,86	2,2708	65,35	65,35	1,2557	36,14	36,14
2	0,1419	4,08	71,70	0,1956	5,63	55,48	0,1561	4,49	69,84	0,2679	7,71	43,85
3	0,1184	3,41	75,11	0,1771	5,10	60,58	0,1336	3,84	73,69	0,2303	6,63	50,48
4	0,1086	3,13	78,24	0,1576	4,54	65,12	0,1127	3,24	76,93	0,2171	6,25	56,72
5	0,1054	3,03	81,27	0,1532	4,41	69,53	0,1091	3,14	80,07	0,2066	5,95	62,67
6	0,0886	2,55	83,82	0,1391	4,00	73,53	0,0960	2,76	82,83	0,1767	5,09	67,75
7	0,0860	2,48	86,30	0,1298	3,74	77,26	0,0876	2,52	85,35	0,1715	4,94	72,69
8	0,0807	2,32	88,32	0,1273	3,66	80,93	0,0855	2,46	87,81	0,1613	4,64	77,33
9	0,0763	2,20	90,81	0,1229	3,54	84,46	0,0814	2,34	90,15	0,1517	4,37	81,70
10	0,0717	2,06	92,88	0,1189	3,42	87,89	0,0781	2,25	92,40	0,1420	4,09	85,78
11	0,0701	2,02	94,90	0,1146	3,30	91,18	0,0738	2,12	94,53	0,1399	4,03	89,81
12	0,0658	1,89	96,79	0,1122	3,23	94,41	0,0718	2,07	96,59	0,1315	3,78	93,60
13	0,0570	1,64	98,43	0,0996	2,87	97,28	0,0611	1,76	98,35	0,1138	3,28	96,87
14	0,0545	1,57	100,00	0,0945	2,72	100,00	0,0573	1,65	100,00	0,1087	3,13	100,00

c. d. Tabela 4

Współrzędne główne Principal coordinates	Współczynnik Y Yuley'a Yuley's Y coefficient			Współczynnik Q Yuley'a Yuley's Q coefficient			Miara Ochiai Ochiai measure			Zero-jedynkowy odpowiednik współczynnika korelacji Pearsona Phi 4-point correlation		
	wartość własna eigen- value	% zmien- ności % of variance	skumulo wany % zmien- ności cumula- tive % of variation	wartość własna eigen- value	% zmien- ności % of variance	skumulo wany % zmien- ności cumula- tive % of variation	wartość własna eigen- value	% zmien- ności % of variance	skumulo wany % zmienno- ści cumula- tive % of variation	wartość własna eigen- value	% zmien- ności % of variance	skumulo wany % zmien- ności cumula- tive % of variation
1	1,2594	36,24	36,24	2,0490	58,97	58,97	2,2734	65,43	65,43	1,2526	36,05	36,05
2	0,2668	7,68	43,92	0,2694	7,75	66,72	0,1558	4,48	69,91	0,2664	7,67	43,71
3	0,2335	6,72	50,64	0,2050	5,90	72,62	0,1335	3,84	73,75	0,2338	6,73	50,44
4	0,2188	6,30	56,94	0,1720	4,95	77,57	0,1127	3,24	77,00	0,2183	6,28	56,72
5	0,2073	5,97	62,90	0,1598	4,60	82,17	0,1091	3,14	80,14	0,2075	5,97	62,69
6	0,1744	5,02	67,92	0,1111	3,20	85,36	0,0959	2,76	82,90	0,1751	5,04	67,73
7	0,1732	4,98	72,91	0,1080	3,11	88,47	0,0873	2,51	85,41	0,1737	5,00	72,73
8	0,1607	4,62	77,53	0,0918	2,64	91,11	0,0855	2,46	87,87	0,1612	4,64	77,37
9	0,1476	4,25	81,78	0,0735	2,12	93,23	0,0802	2,31	90,18	0,1491	4,29	81,66
10	0,1422	4,09	85,87	0,0664	1,91	95,14	0,0781	2,25	92,43	0,1428	4,11	85,77
11	0,1396	4,02	89,89	0,0609	1,75	96,89	0,0738	2,12	94,55	0,1404	4,04	89,81
12	0,1307	3,76	93,65	0,0513	1,48	98,36	0,0714	2,05	96,60	0,1317	3,79	93,60
13	0,1139	3,28	96,93	0,0309	0,89	99,25	0,0610	1,75	98,36	0,1143	3,29	96,89
14	0,1067	3,07	100,00	0,0260	0,75	100,00	0,0571	1,64	100,00	0,1082	3,11	100,00

Zastosowanie analizy PCoA, z racji jej matematycznej konstrukcji i zdolności do redukcji wymiarów przestrzeni danych, wiąże się z utratą części informacji dotyczących charakterystyki badanych obiektów (Sneath i Sokal, 1973; Kenkel, 2006). Teoretycznie wiązać się to może z pogorszeniem jakości klasyfikacji badanych genotypów. W praktyce jednak prowadzi najczęściej do 'odszumienia' (usunięcia zbędnych informacji zacierających rzeczywisty obraz danych) struktury wielocechowej zmienności badanych obiektów, co z kolei powinno owocować bardziej klarowną klasyfikacją przestrzenną.

Aby ocenić przydatność omawianych miar podobieństwa przeprowadzono analizę głównych współrzędnych. Wyniki analizy głównych współrzędnych dla wszystkich miar podobieństwa (tab. 4) wykazały, że największy udział w wytłumaczeniu obserwowanej zmienności — od 36% do 68% — ma pierwsza współrzędna główna, druga współrzędna główna tłumaczyła od 4% do 8% obserwowanej zmienności pomiędzy badanymi odmianami marchwi jadalnej.

Na podstawie wykresów rozmieszczenia analizowanych obiektów w układzie dwóch pierwszych współrzędnych głównych (rys. 2) stwierdzono, że badane odmiany marchwi jadalnej dzielą się na 2 do 3 wyraźnych grup. Dla miary podobieństwa Hamanna, współczynnika Y Yule'a oraz zero-jedynkowego współczynnika korelacji uzyskano wyraźny podział na trzy grupy odmian, dla miary Ochiai i współczynnika Q Yuleya podział na trzy grupy nie jest już tak wyraźny, natomiast dla miar Gowera (zgodności), Jaccarda, Nei'a i Li (Dice'a) uzyskano podział na dwie grupy odmian.

W tabeli 5 zestawiono wyniki klasyfikacji badanych odmian marchwi jadalnej przeprowadzonej za pomocą analizy skupień (wariant oceny wizualnej oraz z wykorzystaniem współczynników R^2 i SR^2) oraz analizy głównych współrzędnych PCoA.

Tabela 5

Podsumowanie wyników klasyfikacji badanych odmian marchwi jadalnej z zastosowaniem wybranych współczynników podobieństwa dla danych binarnych
Summary of results of the classification of the tested cultivars carrots using the selected coefficients of similarity for binary data

Miara podobieństwa Similarity measure	Analiza skupień — Cluster analysis		Analiza głównych współrzędnych Principal coordinate analysis
	wizualne określenie liczby skupień visual determination of the number of clusters	określenie liczby skupień w oparciu o współczynniki R^2 i SR^2 determination the number of clusters based on the R^2 and SR^2 coefficients	
1	2	3	4
Zgodności (Gowera) Simple matching (Gower)	1 — Maxima; 2 — Finezja, Prodigy, Recoleta; 3 — Kazan, Laguna; 4 — Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon; 5 — Mazurska; 6 — Sugarsnax	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna, Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 2 — Sugarsnax	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna, Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 2 — Sugarsnax
Jaccarda Jaccard	1 — Maxima; 2 — Finezja, Prodigy, Recoleta; 3 — Kazan, Laguna; 4 — Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 5 — Sugarsnax	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna, Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 2 — Sugarsnax	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna, Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 2 — Sugarsnax
Nei'a i Li (Dice'a) Nei and Li (Dice)	1 — Maxima; 2 — Finezja, Prodigy, Recoleta; 3 — Kazan, Laguna; 4 — Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 5 — Sugarsnax	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna, Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 2 — Sugarsnax	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna, Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 2 — Sugarsnax
Hammana Hamman	1 — Maxima; 2 — Finezja, Prodigy, Recoleta; 3 — Kazan, Laguna; 4 — Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon; 5 — Mazurska; 6 — Sugarsnax	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna, Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 2 — Sugarsnax	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna; 2 — Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 3 — Sugarsnax
Współczynnik Yule'a Yule Y coefficient	1 — Maxima; 2 — Finezja, Prodigy, Recoleta; 3 — Kazan, Laguna; 4 — Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon; 5 — Mazurska; 6 — Sugarsnax	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna, Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 2 — Sugarsnax	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna; 2 — Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 3 — Sugarsnax
Współczynnik Q Yule'a Yule Q coefficient	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna; 2 — Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 3 — Sugarsnax	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna, Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 2 — Sugarsnax	1a — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna; 1b — Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 2 — Sugarsnax

c.d. Tabela 5

1	2	3	4
Ochiai	1 — Maxima; 2 — Finezja, Prodigy, Recoleta; 3 — Kazan, Laguna; 4 — Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 5 — Sugarsnax	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna, Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 2 — Sugarsnax	1a — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna; 1b — Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 2 — Sugarsnax
Zerojedynkowy odpowiednik	1 — Maxima; 2 — Finezja, Prodigy, Recoleta; 3 — Kazan, Laguna; 4 — Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 5 — Sugarsnax	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna, Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 2 — Sugarsnax	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna; 2 — Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 3 — Sugarsnax
współczynnik korelacji	1 — Maxima; 2 — Finezja, Prodigy, Recoleta; 3 — Kazan, Laguna; 4 — Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 5 — Sugarsnax	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna, Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 2 — Sugarsnax	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna; 2 — Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 3 — Sugarsnax
Pearsona	1 — Maxima; 2 — Finezja, Prodigy, Recoleta; 3 — Kazan, Laguna; 4 — Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 5 — Sugarsnax	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna, Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 2 — Sugarsnax	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna; 2 — Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 3 — Sugarsnax
Phi 4-point correlation	1 — Maxima; 2 — Finezja, Prodigy, Recoleta; 3 — Kazan, Laguna; 4 — Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 5 — Sugarsnax	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna, Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 2 — Sugarsnax	1 — Maxima, Finezja, Prodigy, Recoleta, Kazan, Laguna; 2 — Florida, Canada, Kathmandu, Sirkana, Trafford, Macon, Mazurska; 3 — Sugarsnax

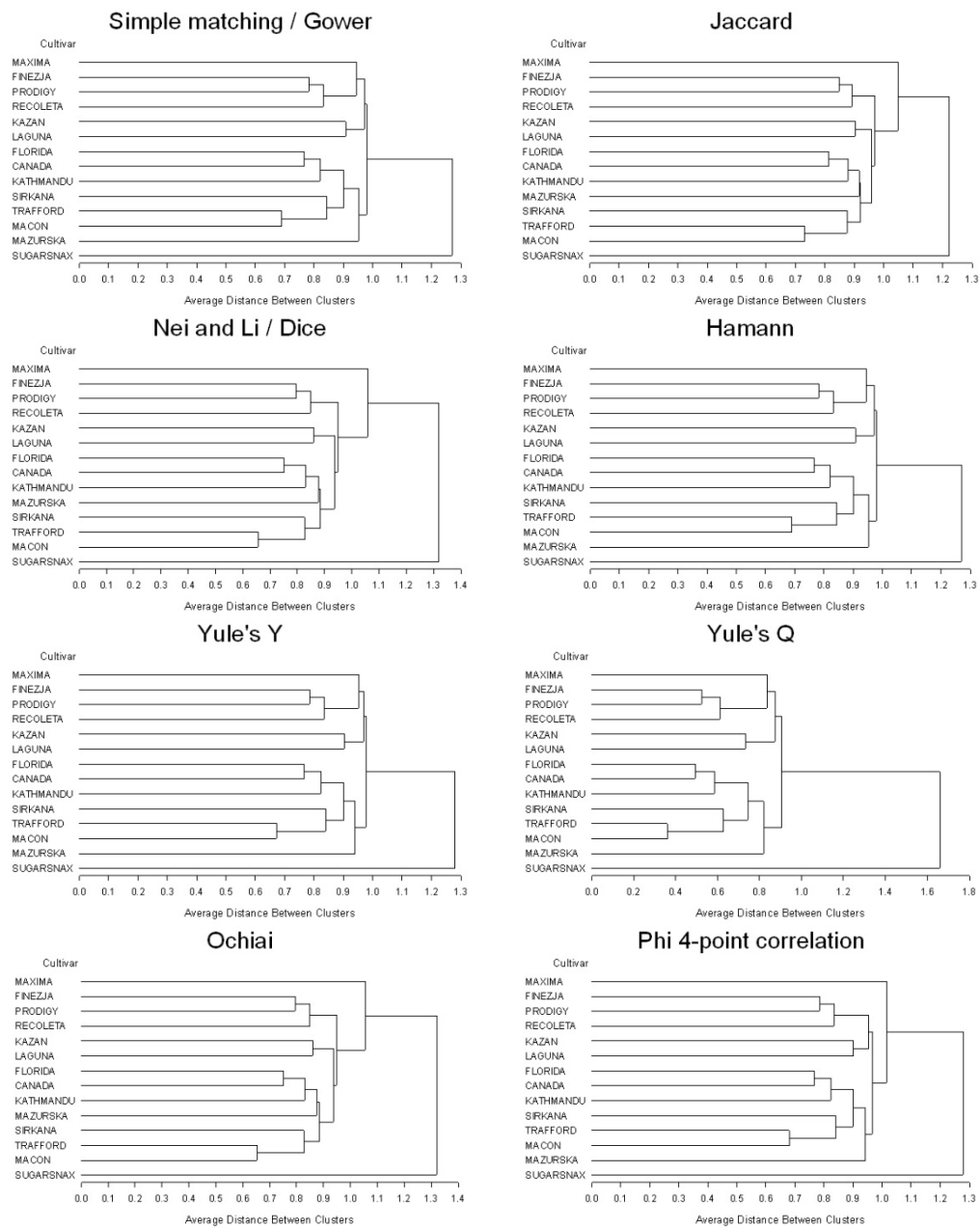
Na podstawie przedstawionego zestawienia stwierdzono, że zgodne klasyfikacje uzyskano w przypadku analizy skupień z wykorzystaniem współczynników R^2 i SR^2 do wskazania właściwej liczby skupień oraz analizy PCoA przy wykorzystaniu miar podobieństwa: Gowera (zgodności), Jaccarda, Nei'a i Li (Dice'a). Ponadto zbliżone wyniki uzyskano przy zastosowaniu współczynnika Q Yule'a oraz mierze podobieństwa Ochiai. Ocena wizualna w analizie skupień wskazywała na istnienie większej liczby skupień niż wymienione wcześniej metody. Wyjątek stanowiło wykorzystanie do oceny podobieństwa pomiędzy badanymi odmianami współczynnika Q Yule'a. W tym przypadku obydwa warianty grupowania z zastosowaniem analizy skupień oraz wyniki analizy głównych współrzędnych były bardzo podobne.

DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

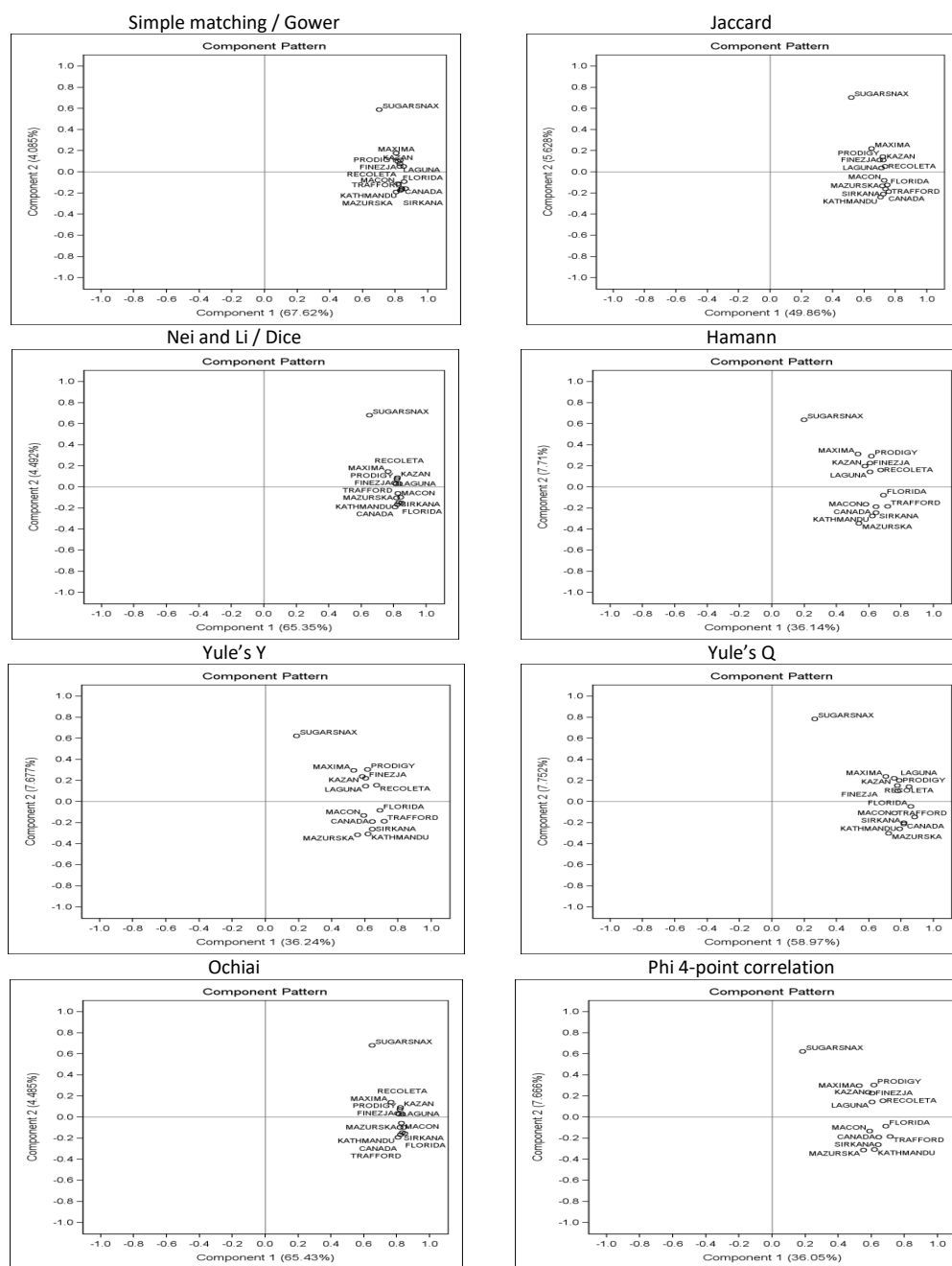
Omawiane miary podobieństwa były już w przeszłości opisywane i oceniane. Jednak w praktyce najczęściej spotyka się tylko trzy spośród nich (miarę Jaccarda, Nei'a i Li — Dice'a oraz miarę Gowera — zgodności).

W prezentowanym przykładzie badano 14 odmian przemysłowych marchwi jadalnej. Dane pochodziły z analizy semispecyficznego PCR i były zapisane w formie macierzy zero-jedynkowej. Następnie wyznaczono macierze podobieństwa badanych obiektów. Do tego celu wykorzystano 8 miar bliskości stworzonych dla danych binarnych (dychotomicznych). Następnie macierze te wykorzystano do dwóch analiz statystycznych. Po przekształceniu z macierzy podobieństwa do macierzy zróżnicowania wykonano analizę skupień metodą UPGMA. Natomiast na macierzach podobieństwa przeprowadzono analizę głównych współrzędnych bez rotacji.

Prezentowane w pracy osiem miar podobieństwa dla danych binarnych można podzielić, ze względu na sposób ich wyznaczania, na trzy grypy. Pierwszą stanowią miary, w obliczaniu których uwzględnia się jedynie pary prążków 1:1 (prążki występują w obydwu porównywanych genotypach) jako pary zgodne oraz 1:0 i 0:1 (prążek występuje tylko w jednym z porównywanych genotypów) jako pary niezgodne.



Rys. 1. Dendrogramy analizy skupień metodą UPGMA wykonane w oparciu o osiem analizowanych miar podobieństwa dla danych z analizy semispecyficznego PCR czternastu odmian marchwi jadalnej
Fig. 1. Dendrograms of cluster analysis performed by UPGMA method based on eight measures of similarity of the analysed data from semi-specific PCR analysis of fourteen varieties of carrot



Rys. 2. Wykresy obrazujące rozmieszczenie badanych odmian marchwi jadalnej w układzie dwóch pierwszych współrzędnych głównych dla ośmiu analizowanych miar podobieństwa
 Fig. 2. Charts showing the distribution of tested varieties of carrots in system of the first two principal coordinates for the eight analyzed measures of similarity

Do tych miar zaliczyć można miarę Jaccarda, miarę Neia i Li (Dice'a), oraz miarę Ochiai. Miary te nie uwzględniają faktu, że brak wystąpienia danego prążka w obydwu porównywanych genotypach może świadczyć o ich podobieństwie. Druga grupa miar uwzględnia fakt występowania par 0:0 (brak prążka u obydwu porównywanych genotypów). W przypadku tej grupy miar efekt wystąpienia obszarów zgodnych (1:1 oraz 0:0) jest jednak pomniejszany przez efekt występowania obszarów niezgodnych (1:0 oraz 0:1). Do tych miar zaliczyć można miarę Hammana, współczynniki Q oraz Y Yule'a oraz zero-jedynkowy odpowiednik współczynnika korelacji. Do trzeciej grupy miar podobieństwa zaliczyć można miarę zgodności (Gowera). Miara ta wyraża udział fragmentów zgodnych (1:1 oraz 0:0) w zbiorze porównywanych pasm.

Różny sposób wyznaczania wartości opisywanych miar podobieństwa wiąże się ściśle z rodzajem uzyskiwanego wyniku. Dobór właściwej miary powinien być więc uzasadniony celem badań i rodzajem prowadzonych analiz molekularnych.

Zastosowanie analizy skupień do porównywania badanych genotypów, w analizach danych pochodzących z badań molekularnych, analizy skupień pozwala na opisanie struktury podobieństwa tych genotypów. Ma to szczególne znaczenie w badaniach filogenetycznych czy też badaniach związanych z oceną tożsamości genotypów. Niestety znaną wadą analizy skupień jest brak wyraźnej odpowiedzi jak powinien wyglądać właściwy podział na grupy genotypów podobnych. Ta metoda eksploracji danych nie daje klarownej odpowiedzi. W większości przypadków badacze stosują różne kryteria uznaniowe. W związku z tą 'ułomnością' analizy skupień cały czas trwają prace nad opracowaniem jasnego i dokładnego kryterium pozwalającego na wyciągnięcie wniosków co do faktycznego podziału badanych genotypów na podobne i różne. Jedną z takich propozycji jest zastosowanie opisanych w niniejszej pracy współczynników R^2 i semi-cząstkowego R^2 . Niestety w przypadku znaczącego zróżnicowania pomiędzy badanymi genotypami (jak ma to miejsce w opisywanym w pracy przykładzie) współczynniki te wskazują na podziały bardzo ogólne i w bardzo niskim stopniu oddające rzeczywiste zróżnicowanie badanych genotypów (tab. 3).

Analiza głównych współrzędnych PCoA wydaje się być ciekawym sposobem przestrzennego opisu (2D i 3D) zróżnicowania genotypów w badaniach molekularnych. Niestety, podobnie jak inne analizy wielocechowe polegające na redukcji wymiarów, użycie jej wiąże się z utratą części informacji (obserwowanej zmienności). Wybierając tylko dwie lub trzy współrzędne główne decydujemy się na pewną redukcję informacji. Oczywiście stosowana w analizie PCoA metoda analizy składowych głównych Hotellinga wskazuje w pierwszej kolejności te składowe (współrzędne) główne, które niosą najwięcej informacji, jednak odcięcie dalszych, mniej istotnych składowych (współrzędnych) prowadzić może nie tylko do usunięcia szumu (zakłóceń losowych), lecz również pewnej części informacji. Bardzo wyraźnie widać to w omawianym w niniejszej pracy przykładzie. Niezależnie od stosowanej miary podobieństwa, wyznaczone dwie pierwsze główne współrzędne tłumaczyły jedynie od 42% do 72% obserwowanej zmienności. Pozostała część tej zmienności nie była brana pod uwagę przy rozmieszczaniu badanych obiektów w przestrzeni ograniczonej przez te dwie główne współrzędne.

Zastosowanie analizy skupień połączonej z uznaniowym podziałem badanych odmian na skupienia pozwoliło na wskazanie od 3 do 6 skupień odmian marchwi jadalnej zależnie od metody wyznaczania miary podobieństwa. Jednak już przy tym podejściu można było zaobserwować znaczące, ale i równomierne zróżnicowanie badanych odmian, które objawiało się stosunkowo dalekim położeniem połączeń pomiędzy skupieniami względem początku układu współrzędnych. Spośród badanych odmian jedynie odmiana Sugarsnax wyraźnie oddzielała się od pozostałych. W grupie porównywanych miar podobieństwa, przy opisywanym podejściu oraz przy tak zróżnicowanej puli porównywanych genotypów najciekawsze wyniki uzyskano stosując współczynnik Q Yule'a. Pozwolił on na uzyskanie wyraźnego i bardzo czytelnego obrazu (rys. 1) struktury podobieństwa badanych odmian marchwi jadalnej.

Wykorzystanie do identyfikacji skupień współczynnika R^2 i semi-cząstkowego R^2 pozwoliło na podział badanych odmian marchwi jadalnej na dwa skupienia niezależnie od zastosowanej miary podobieństwa. Jedynie 9–20% całkowitej wariancji cech wszystkich analizowanych odmian, wynikało z uzyskanego podziału badanej zbiorowości genotypów marchwi jadalnej na dwa skupienia. Uzyskane podziały wskazywały na to, że najbardziej różna od pozostałych była odmiana Sugarsnax, co skutkowało oddzieleniem jej od pozostałych badanych odmianami utworzeniem odrębnego skupienia (tab. 5).

Zastosowanie analizy głównych współrzędnych i rzutowanie przestrzeni wielowymiarowej w której opisane były badane odmiany marchwi, na przestrzeń dwuwymiarową ograniczoną przez pierwsze dwie główne współrzędne pozwoliło na pogrupowanie badanych odmian na dwie do trzech grup (skupień) zależnie od zastosowanej miary podobieństwa. W przypadku miary zgodności (Gowera), miary Jaccarda oraz miary Nei'a i Li (Dice'a) uzyskano wyraźny podział na dwa skupienia (rys. 2, tab. 5). Podział ten pokrywał się w pełni z podziałem uzyskanym z zastosowaniem analizy skupień z uwzględnieniem współczynnika R^2 do wyznaczania liczby skupień. W przypadku miary Ochiai oraz współczynnika Q Yule'a uzyskano podział na skupienia bardzo podobny do podziału uzyskanego z zastosowaniem analizy skupień z uwzględnieniem współczynnika R^2 do wyznaczania liczby skupień. W przypadku tych miar podobieństwa można było jednak zauważyć niezbyt wyraźny podział dużego skupienia zawierającego wszystkie badane odmiany za wyjątkiem odmiany Sugarsnax, na dwa mniejsze skupienia (oznaczone jako 1 a oraz 1 b w tab. 5). W przypadku miary Hammana, współczynnika Y Yule'a oraz zero-jedynkowego odpowiednika współczynnika korelacji stwierdzono, że badane odmiany podzieliły się na trzy wyraźne skupienia. We wszystkich przypadkach ostatnie, najbardziej oddalone od pozostałych odmian skupienie stanowiła odmiana Sugarsnax. Jak można zauważyć (tab. 4) podział na większe liczby skupień uzyskano dla tych miar podobieństwa, dla których dwie pierwsze główne współrzędne opisywały mniejszy zasób obserwowanej zmienności (ok. 43%) w stosunku do pozostałych badanych miar podobieństwa (55–72%).

Obserwowane rozbieżności w uzyskiwanych wynikach można wytłumaczyć całym szeregiem zjawisk. Jako pierwsze należy wymienić — różne metody wyznaczania miar podobieństwa, specyfikę analizy skupień oraz specyfikę analizy głównych współrzędnych. Ponadto znaczącym czynnikiem był różny stopień obserwowanej zmienności,

wykorzystanej do podziału na skupienia. Dodatkowym elementem znacznie utrudniającym ocenę była specyficzna pula badanych odmian, które cechowały się znacznym zróżnicowaniem, jednak na dość podobnym poziomie pomiędzy poszczególnymi parami porównywanych genotypów. W puli odmian marchwi jadalnej poddanej badaniom jedynie odmiana Sugarsnax cechowała się znaczącym oddaleniem od pozostałych odmian.

LITERATURA

- Backhaus K., Erichson B., Plinke W., Weiber R. 2000. Multivariaten Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. Springer, Berlin.
- Caliński T., Harabasz J. S. 1974. A dendrite method for cluster analysis. *Communications in Statistics*, vol. 3: 1 — 27.
- Chudzik H., Karoński M. 1979. Skupianie obserwacji metodą k-średnich. *Roczniki AR w Poznaniu, Algorytmy Biomedyczne i Statystyczne*, 78: 133 — 152.
- Davis L. G., Dibner M. D., Battey J. F. 1986. Basic methods in molecular biology. Elsevier Sci. Publ., New York: 42 — 43.
- Díaz-Perales A., Linacero R., Vázquez A. M. 2002. Analysis of genetic relationships among 22 European barley varieties based on two PCR markers. *Euphytica*, 129: 53 — 60.
- Dice L. R. 1945. Measures of the amount of ecologic association between species. *Ecology*, 26: 297 — 302.
- Duda R. O., Hart P. E. 1973. Pattern Classification and Scene Analysis. New York: John Wiley & Sons.
- Goodman M. M. 1972. Distance analysis in biology. *Syst. Zool.*: 174 — 186.
- Gower J. C. 1966. Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. *Biometrika*, 53: 325 — 338.
- Gower J. C. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics*, 27: 857 — 874.
- Gower J. C. 1985. Measures of similarity, dissimilarity and distances. In: Klotz S. *et al.* (ed.), *Encyclopedia of statistical sciences*. Vol. 5. Wiley & Sons, New York, USA.
- Gower J. C., Legendre P. 1986. Metric and Euclidean properties of dissimilarity coefficients. *J. Classification*, 3: 5 — 48.
- Guilford J. 1936. Psychometric Methods. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Guthridge K. M., Dupal M. P., Kölliker R., Jones E. S., Smith K. F., Forster J. W. 2001. AFLP analysis of genetic diversity within and between populations of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Euphytica*, 122: 191 — 201.
- Hamann U. 1961: Merkmalsbestand und Verwandtschaftsbeziehungen der farinosae. Ein Beitrag zum System der Monokotyledonen. *Willdenowia*, 2: 639 — 768.
- Harabasz J. S., Karoński M. 1977. Dendrytowa metoda analizy skupień. *Roczniki AR w Poznaniu, Algorytmy Biomedyczne i Statystyczne*, 57: 135 — 148.
- Hotelling H. 1933. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology*, 24: 417 — 441, 498 — 520.
- Huang X.-Q., Wolf M., Ganai M. W., Orford S., Koeberner R. M. D., Röder M. S. 2007. Did modern plant breeding lead to genetic erosion in European winter wheat varieties? *Crop Sci.*, 47: 343 — 349.
- Jaccard P. 1908. Nouvelles recherches sur la distribution florae. *Bull. Soc. Vaud. Sci. Nat.*, 44: 223 — 270.
- Janaszek M. 2008. Identyfikacja cech korzeni marchwi jadalnej z wykorzystaniem komputerowej analizy obrazów. SGGW, Warszawa, rozprawa doktorska.
- Kaczmarek Z., Czajka S., Adamska E. 2008. Propozycja metody grupowania obiektów jedno i wielocechowych z zastosowaniem odległości Mahalanobisa i analizy skupień. *Biuletyn IHAR*, Nr 249: 9 — 18.
- Karoński M. 1971. Algorytm grupowania populacji w rozkładach metodą krok po kroku. *Roczniki AR w Poznaniu, Algorytmy Biomedyczne i Statystyczne*, 4: 30 — 33.
- Kenkel N. C. 2006. On selecting an appropriate multivariate analysis. *Canadian Journal of Plant Science*, 86: 663 — 676.
- Krzanowski W. J. 2004. Biplots for multifactorial analysis of distance. *Biometrics*, 60: 517 — 524.

- Lance G. M., Williams W. T. 1967. A general theory of classificatory sorting strategies. Hierarchical Systems, Computer Journal, 9: 373 — 380.
- Laudański Z., Mańkowski D. R. 2007. Planowanie i wnioskowanie statystyczne w badaniach rolniczych. IHAR Radzików.
- Lienert G. A., von Eye A. 1986. Yule-Coefficients for Second- and Higher-Order Associations. Biometrical Journal, 28: 539 — 545.
- Liu F., von Bothmer R., Salomon B. 2000. Genetic diversity in European accessions of the barley core collection as detected by isozyme electrophoresis. Genetic Resources and Crop Evolution, 47: 571 — 581.
- Manimekalai R., Nagarajan P. 2006. Interrelationships among coconut (*Cocos nucifera* L.) accessions using RAPD technique. Genetic Resources and Crop Evolution, 53: 1137 — 1144.
- Mc Queen J. B. 1966. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. Proc. Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability Theory. Berkeley University of California Press, vol.1: 281 — 287.
- Moncada K. M., Ehlke N. J., Muehlbauer G. J., Sheaffer C. C., Wyse D. L., DeHaan L. R., 2007. Genetic variation in three native plant species across the State of Minnesota. Crop Sci., 47: 2379 — 2389.
- Nei M. 1978. The theory of genetic distance and evolution of human races. Jpn. J. Hum. Genet., 23: 341 — 369.
- Nei M., Li W. H. 1979. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 76: 5269 — 5273.
- Ochiai A. 1957. Zoographic studies on the soleoid fishes found in Japan and its neighboring regions. Bull. Japan Soc. Sci. Fish., 22: 526 — 530.
- Rafalski A. 2004. Semi-specyficzny PCR w badaniach genetyczno-hodowlanych roślin. Monografie i Rozprawy Naukowe IHAR, Nr 23.
- Rao C. R. 1964. The use and interpretation of principal component analysis in applied research. Sankhyā, A26: 329 — 358.
- Reif J. C., Melcinger A. E., Frisch M. 2005. Genetical and mathematical properties of similarity and dissimilarity coefficients applied in plant breeding and seed bank management. Crop Science, 45: 1 — 7.
- Sarle W. S. 1983. Cubic Clustering Criterion. SAS Technical Report A-108, Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SAS Institute Inc. 2009. SAS/STAT 9.2 user's guide. Second edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Siatkowski I., Goszczurna T., Szabelska A., Zypych J. 2010. Coefficients of dissimilarity and similarity with application. Colloquium Biometricum, 40: 13 — 23.
- Sieczko L. 2003. Kryteria wstępnego przecięcia dendrogramu w hierarchicznej analizie skupień. Colloquium Biometryczne, 33: 249 — 258.
- Sneath P. H. A., Sokal R. R. 1973. Numerical taxonomy. Freeman, San Francisco.
- Sokal R. R., Michener C. D. 1958. A statistical method for evaluating systemic relationships. University of Kansas Science Bulletin, 38: 1409 — 1438.
- Takezaki N., Nei M. 1996. Genetic distances and reconstruction of phylogenetic trees from microsatellite DNA. Genetics, 144: 389 — 399.
- Timm N. H. 2002. Applied multivariate analysis. New York, USA: Springer-Verlag Inc.

GRZEGORZ ŻUREK**KAMIL PROKOPIUK**

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy w Radzikowie

Zakład Traw, Roślin Motylkowatych i Energetycznych

Pracownia Traw Pozapaszowych i Roślin Energetycznych

Zawartości ołowiu, kadmu i chromu w glebach rolniczych przyległych do autostrady A2

Contents of lead, cadmium and chrome in agricultural areas near A2 highway

W roku 2009 przeprowadzono badania, mające na celu określenie zawartości niektórych metali ciężkich w glebach terenów użytkowanych rolniczo, leżących bezpośrednio przy autostradzie A2. Badaniami objęto 11 punktów położonych wzdłuż najstarszych odcinków autostrady, eksploatowanych od roku 2002 i 2004. W oparciu o wykonane analizy nie stwierdzono podwyższonej zawartości ołowiu, kadmu i chromu w warstwie gleby 0–20 cm w odległości do 75 m od pasa jezdni autostrady A2. Stwierdzone zawartości metali ciężkich były znacznie mniejsze od ilości dopuszczalnych i wynosiły: dla ołowiu od 5,5 do 15,2 mg·kg⁻¹ (wartość dopuszczalna dla tego typu gleb 100 mg·kg⁻¹), dla kadmu od 0,04 do 0,22 (dopuszczalne — 4,0 mg·kg⁻¹), a dla chromu od 4,10 do 18,2 (dopuszczalne — 150 mg·kg⁻¹). Badane stanowiska różniły się istotnie zawartością kadmu i chromu. Nie stwierdzono natomiast istotnego statystycznie wzrostu koncentracji metali ciężkich w miarę zbliżania się do jezdni.

Słowa kluczowe: ołów, kadm, chrom, transport drogowy

Analysis of potential heavy metal pollution of cultivated areas near A2 highway was undertaken in 2009. Eleven localities were selected and soil samples (depth 0–20 cm, distance from road 25, 50, 75 m) were taken close to oldest highway parts (opened 2002 and 2004). Estimated levels of lead, cadmium and chrome were not related to the distance from the road and were below legally accepted amounts. Amount of lead ranged from 5.5 to 15.2 mg·kg⁻¹ (accepted level - 100 mg·kg⁻¹), amount of cadmium ranged from 0.04 to 0.22 (accepted — 4.0 mg·kg⁻¹), and amount of chromium from 4.10 to 18.2 (accepted — 150.0 mg·kg⁻¹). Contents of cadmium and chrome were related to soil electro conductivity, and therefore these metals probably originated from fertilizers.

Key words: lead, cadmium, chrome, road transport

WSTĘP

Intensywne użytkowanie szlaków komunikacyjnych emituje duże ilości substancji szkodliwych do środowiska. Głównymi komponentami zanieczyszczeń komunikacyjnych są tlenki azotu, siarki, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne oraz metale ciężkie, takie jak np. ołów, chrom i kadm (Bezak-Mazur, 2001). Źródłem pochodzenia ołowiu może być benzyna, kadmu — komponenty konstrukcyjne pojazdów, opony, środki nawilżające.

Chrom z kolei może pochodzić z korodujących części metalowych pojazdów (Christoforidis i Stamatis, 2009).

Zanieczyszczenie gleby zależy od jej rodzaju, składu mechanicznego, odczynu, zasolenia, kwasowości, zawartości materii organicznej, oddalenia od źródła emisji itp. (Kyzioł, 1994; Kabata-Pendias i Pendias, 1999). Pomimo intensywnego rozwoju drogownictwa oraz motoryzacji w Polsce, badania dotyczące wpływu obciążenia komunikacyjnego na skażenie sąsiadujących terenów są fragmentaryczne. Specyfiką przebiegu autostrad, w tym również w Polsce, jest sąsiadowanie pasów ruchu z terenami użytkowanymi rolniczo. Uprawy bardzo często oddzielone są od jezdni jedynie ok. 20–40 metrowym pasem zieleni oraz ażurowym płotem lub siatką. Przykładem takich obszarów mogą być tereny sąsiadujące z autostradą A2, gdzie intensywnie uprawia się np. rośliny zbożowe (kukurydzę, pszenicę, pszenżyto), buraki cukrowe czy ziemniaki. Istnieje realne zagrożenie w postaci skażenia produkowanej tam żywności, w warunkach ciągłej ekspozycji na zanieczyszczenia pochodzenia komunikacyjnego (Olajire i Ayodele, 1997; Li i in., 2007).

Celem pracy było określenie zawartości ołowiu, kadmu i chromu w glebach terenów sąsiadujących z intensywnie eksploatowaną autostradą na przykładzie odcinków autostrady A2 czynnych od roku 2002 i 2004.

MATERIAŁ I METODA

Do badań w roku 2009 wytypowano 11 punktów położonych wzdłuż autostrady A2 (tab. 1, rys. 1). Na wytypowanych stanowiskach, z głębokości od 0 do 20 cm, pobierano próbki gleby z miejsc oddalonych o ok. 25, 50 i 75 m od pasa ruchu.

Tabela 1

Wykaz punktów pobrania prób glebowych
List of localities where soil samples were taken

Numer punktu Number of sample point	Nazwa najbliższej miejscowości Name of nearest city or village	Uruchomienie odcinka (rok) Highway section opened (year)	Ogólna charakterystyka użytkowania gruntów General description of sampled area usage
1	Babia	2002	zbiory łąkowe, głównie koszone grassland, mainly cut
2	Lądek		teren uprawny, pole po zbożu arable field after cereals
3	Wola Koszucka		
4	Kotunia		
5	Młodziejewice		
6	Nagradowice — 1	2004	teren uprawny, burak cukrowy arable field, sugar beet
7	Nagradowice — 2		teren uprawny, pole po zbożu arable field after cereals
8	Dopiewice		nieużytek, przychacie, zb. ruderalne wasteland, next to the old house
9	Wilkowo		teren uprawny, pole po zbożu arable field after cereals
10	Michorzewo		
11	Wąsówko — Kozie Laski		



Rys. 1. Rozmieszczenia punktów pobierania próbek gleby wzdłuż autostrady A2. Liczby odpowiadają kolejnym numerom stanowisk z tabeli 1

Fig. 1. Map of sample point distribution along A2 highway. Numbers refer to the number of sample point in table 1

Próbki pobierano za pomocą próbnika ze stali nierdzewnej, a glebę przechowywano i transportowano w workach polietylenowych. W miejscach pobierania próbek zmierzono również aktualną wilgotność gleby oraz przewodnictwo elektryczne roztworu glebowego (EC) metodą konduktometryczną (sonda WET, prod. Delta-T Devices Ltd. UK). Oznaczono również: skład granulometryczny oraz odczyn gleby, zawartość materii organicznej, jak również zawartości ołowiu, kadmu oraz chromu (formy ogólne metali, metoda ICP). Wyniki oznaczeń poddano analizie statystycznej za pomocą programu SAS (2004 a, b). O istotności różnic pomiędzy średnimi wnioskowano w oparciu o test najmniejszej różnicy Fishera, z prawdopodobieństwem 95%.

WYNIKI I DYSKUSJA

Analiza statystyczna większości parametrów fizykochemicznych w badanych próbkach gleby wykazała brak istotnego zróżnicowania pomiędzy próbkami pobieranymi najbliżej korony jezdni (ok. 25 m) a odległymi ok. 50 i 75 m. Według niektórych autorów (Jaradat i Momani, 1999; Grigalaviciene i in., 2005; Akbar i in., 2006) przy tego typu zależności nie ma podstaw do wiązania pochodzenia ołowiu, kadmu i chromu w glebie z ruchem komunikacyjnym. Jedynie pH gleby było istotnie wyższe w próbach pobieranych najbliżej korony jezdni (tab. 2).

Tabela 2

Wyniki analiz fizyko-chemicznych prób gleby pobranych ze terenów rolniczych w pobliżu autostrady A2
Results of physical and chemical analysis of soil samples collected from cultivated land near A2
highway

Numer punktu No. of sample point	Odległość od jezdni Distance from the road	Wilgotność gleby Soil moisture (%)	Przewodnictwo roztworu glebowego (EC) Pore water conduct. (ms·m ⁻¹)	pH	Zawartość próchnicy Organic matter (%)	Udział frakcji Fraction share [%]			Zawartość metali ciężkich: Heavy metals contents mg/kg s.m. [ppm]		
						piasku sand 2–0,05	pyłu silt 0,05–0,002	ilu clay <0,002			
						[mm]			Pb	Cd	Cr
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	25	27,9	104,6	7,3	2,9	74,7	23,4	1,9	7,6	0,11	14,5
	50	42,7	102,7	6,3	4,5	81,6	17,5	0,9	7,6	0,18	8,7
	75	46,8	97,6	6,6	4,7	78,4	20,4	1,2	10,9	0,22	13,2
	średnia/mean	39,1	101,6	6,7	4,0	78,2	20,4	1,3	8,7	0,17	12,1
2	25	23,1	114,4	7,6	1,4	73,2	24,6	2,2	9,3	0,05	17,0
	50	15,6	126,3	7,5	1,0	81,3	17,2	1,5	6,8	0,07	14,4
	75	17,3	98,8	4,3	1,3	71,8	26,0	2,2	12,1	0,10	11,8
	średnia/mean	18,7	113,2	6,5	1,2	75,4	20,4	2,0	9,4	0,07	14,4
3	25	3,9	46,0	5,2	1,6	93,2	6,8	0,0	11,0	0,04	4,1
	50	7,7	126,0	4,0	1,7	89,7	9,9	0,4	10,2	0,05	4,2
	75	6,5	42,0	3,7	1,7	89,3	10,3	0,4	7,9	0,04	4,1
	średnia/mean	6,0	71,3	4,3	1,7	90,7	20,4	0,3	9,7	0,04	4,2
4	25	27,6	111,6	7,0	4,5	73,2	25,0	1,8	15,2	0,16	17,1
	50	22,5	137,0	7,1	2,0	61,7	35,9	2,4	11,4	0,16	15,1
	75	12,3	83,5	6,3	1,4	82,2	16,6	1,2	10,4	0,13	9,6
	średnia/mean	20,8	110,7	6,8	2,6	72,4	20,4	1,8	12,3	0,15	13,9
5	25	9,1	154,4	6,9	2,7	72,0	25,8	2,3	11,1	0,15	16,1
	50	8,1	151,7	5,5	1,8	78,2	20,4	1,3	10,5	0,16	16,4
	75	7,7	162,7	6,2	2,0	62,0	34,7	3,3	9,1	0,18	16,6
	średnia/mean	8,3	156,3	6,2	2,2	70,7	20,4	2,3	10,2	0,16	16,4
6	25	18,7	111,4	7,2	1,2	67,2	29,8	3,0	12,1	0,08	12,0
	50	4,9	110,5	7,0	2,1	72,3	25,7	2,1	9,6	0,09	12,3
	75	4,5	100,7	6,1	2,4	72,1	25,7	2,2	8,0	0,14	10,3
	średnia/mean	9,4	107,5	6,8	1,9	70,5	20,4	2,4	9,9	0,10	11,5
7	25	12,3	60,1	5,9	0,9	74,6	23,1	2,4	10,2	0,11	8,0
	50	10,8	160,3	5,7	1,0	74,0	23,5	2,5	12,6	0,15	7,4
	75	11,7	104,1	5,1	1,0	80,3	18,1	1,6	7,8	0,13	6,3
	średnia/mean	11,6	108,2	5,6	0,9	76,3	20,4	2,1	10,2	0,13	7,2
8	25	7,6	102,9	7,0	1,3	78,1	20,0	1,9	11,0	0,05	8,0
	50	15,2	100,6	6,5	0,7	79,0	19,5	1,6	8,3	0,08	9,7
	75	11,5	95,3	6,0	1,1	76,4	21,6	2,0	7,9	0,10	7,6
	średnia/mean	11,4	99,6	6,5	1,0	77,8	20,4	1,8	9,1	0,08	8,4
9	25	14,7	97,2	7,1	1,5	65,0	31,7	3,3	14,1	0,12	12,9
	50	9,2	82,1	7,3	1,7	90,6	9,3	0,1	9,8	0,11	6,5
	75	10,1	87,7	7,4	1,0	92,7	7,1	0,1	7,5	0,12	6,1
	średnia/mean	11,3	89,0	7,3	1,4	82,8	20,4	1,2	10,5	0,12	8,5
10	25	10,1	166,9	7,4	0,7	71,4	25,8	2,9	12,3	0,11	11,8
	50	18,4	124,8	5,6	1,0	74,5	23,8	1,8	10,5	0,14	10,4
	75	22,7	159,8	7,1	1,3	63,5	33,3	3,2	10,7	0,15	14,0
	średnia/mean	17,1	150,5	6,7	1,0	69,8	20,4	2,6	11,2	0,13	12,1

c. d. Tabela 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11	25	17,9	89,8	7,2	0,7	79,1	18,7	2,2	5,5	0,05	6,9
	50	15,5	49,9	6,4	1,0	81,0	17,8	1,3	9,9	0,10	6,5
	75	12,0	64,6	7,0	1,0	74,4	23,3	2,3	11,7	0,10	7,0
	średnia/mean	15,1	68,1	6,9	0,9	78,2	20,4	1,9	9,0	0,08	6,8
Średnio dla odległości	25	14,4	92,8	6,3	1,6	68,5	21,2	2,0	10,0	0,09	10,7
	50	14,2	96,8	5,7	1,5	72,0	18,4	1,3	8,9	0,11	9,3
	75	13,6	87,9	5,4	1,6	70,3	19,8	1,6	8,7	0,12	8,9
Mean for distance	średnia/mean	14,1	92,5	5,9	1,6	70,2	19,8	1,6	9,2	0,1	9,6
NIR dla odległości		n.i.	n.i.	0,85	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
LSD for distance											
NIR dla punktów		9,11	59,4	1,36	1,12	11,6	10,6	1,3	n.i.	0,04	3,69
LSD for sample point											

Objaśnienie: n.i. – brak istotnej różnicy pomiędzy średnimi; Explanation: n.i. – no significant difference

Stwierdzono istotne różnice pomiędzy badanymi miejscami pod względem większości badanych parametrów, z wyjątkiem zawartości ołowiu (tab. 2). Oznaczone w badanych glebach zawartości ołowiu, kadmu oraz chromu nie przekraczały wartości dopuszczalnych dla tego rodzaju gleb, zgodnie z wartościami podanymi w Dzienniku Ustaw nr 165, poz. 1359, z roku 2002. Zawartość ołowiu wahała się od 5,5 do 15,2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (wartość dopuszczalna dla tego typu gleb 100 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Zawartość kadmu wahała się od 0,04 do 0,22 (wartość dopuszczalna — 4,0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), a chromu od 4,10 do 18,2 (wartość dopuszczalna — 150 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Badane gleby nie odbiegają zasadniczo pod względem zawartości ołowiu, kadmu i chromu od terenów użytkowanych rolniczo i położonych w tym regionie. Dla przykładu, średnia zawartość ołowiu w glebach użytków rolnych województwa wielkopolskiego wynosi 10,1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (zakres od 0,2 do 206,7), a kadmu — 0,14 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (od 0,01 do 4,17) (Woch, 2007).

Zawartości metali ciężkich były w zróżnicowany sposób związane z badanymi parametrami fizykochemicznymi gleb (tab. 3).

Tabela 3

Wartości współczynników korelacji pomiędzy badanymi parametrami fizykochemicznymi gleby a zawartością ołowiu, kadmu i chromu
Correlation coefficients between soil characteristics and lead, cadmium and chrome contents

Zawartość metali ciężkich Heavy metals contents	Wilgotność gleby Soil moisture	Przewodnictwo roztworu glebowego (EC) Pore water conduct.	pH	Zawartość próchnicy Organic matter	Udział frakcji Fraction share [%]			Zawartość metali ciężkich: Heavy metals contents:	
					piasku sand	pyłu silt	ilu clay	Pb	Cd
					2–0,05	0,05–0,002	<0,002		
Pb	-0,16	0,38	0,12	-0,02	-0,37	0,39	0,23	...	0,37
Cd	0,51	0,67 **	0,42	0,59	-0,57	0,59	0,37	0,37	...
Cr	0,34	0,75 **	0,46	0,41	-0,77 **	0,78 **	0,57	0,31	0,62 **

Objaśnienie: ** - istotność statyczna współczynnik korelacji na poziomie $\alpha < 0,05$, Explanation: ** - statistical significance at level of $\alpha < 0,05$

Dla zawartości kadmu i chromu stwierdzono istotne, dodatnie współczynniki korelacji z przewodnictwem roztworu glebowego (EC). Uwzględniając charakter użytkowania tych

terenów (pola uprawne) można z dużym prawdopodobieństwem założyć iż były na nich stosowane nawozy mineralne bądź organiczne. Z tym z kolei wiąże się wzrost stężenia jonów w roztworze glebowym oraz wzrost EC (Corwin i Lesch, 2005; Wei i in., 2006, Werben i in., 2008, Aimrun i in., 2009, Seifi i in., 2010). Stosowanie nawozów mineralnych oraz herbicydów i pestycydów, których użycia na danym terenie nie można wykluczyć, wiąże się z wprowadzaniem do gleby takich pierwiastków jak np. chrom i kadm (Lityński i Jurkowska, 1982; Rui i in., 2009). Na wspólne źródło pochodzenia kadmu oraz chromu może wskazywać dodatnia i istotna statystycznie wartość współczynnika korelacji zawartości tych dwu metali. Zawartości badanych metali ciężkich były również związane ze składem mechanicznym gleby. Mniejsze ilości metali ciężkich notowano w glebach o większym udziale frakcji piasku (2–0,05 mm).

W odniesieniu do zawartości metali ciężkich w środowisku często używany jest termin tzw. tła (Bezak-Mazur, 2001). Wartości wyższe od tła uważane są za dowód na zanieczyszczenie środowiska. Dla zawartości ołowiu w glebie wartości tła wahają się pomiędzy 20 a 40 mg·kg⁻¹, kadmu — 0,05–0,7 mg·kg⁻¹ a chromu — 15–60 mg·kg⁻¹ (Bezak-Mazur, 2001). W badanych próbach gleby poziom tła stwierdzono jedynie dla zawartości kadmu w 10 na 11 badanych prób oraz chromu w 1 próbie. Najwyższa stwierdzona w niniejszym doświadczeniu zawartość ołowiu była o 7,7 mg·kg⁻¹ niższa od minimalnej wartości poziomu tła. Zawartości m.in. ołowiu i kadmu przewyższające poziom tła stwierdzono natomiast w badaniach gleb terenów rolniczych powiatu Jeleniogórskiego (Kaszubkiewicz i Kawałko, 2009).

Wyniki podobne do opisanych, uzyskano w roku 2008 dla gleb pobranych w 2 punktach przy autostradzie A1 oraz w 38 punktach przy A2 (WIOŚ, 2009). Również przy drogach krajowych o znacznym natężeniu ruchu nie notowano znacznych przekroczeń dopuszczalnych stężeń metali ciężkich (Anonim, 2007). Jest to spowodowane wycofaniem z użycia tzw. paliw ołowiowych, których produkcja oraz obrót są w Polsce prawnie ograniczone (np. Dziennik Ustaw nr 11, poz.84, z dnia 11 stycznia 2001 oraz Dz. U. z dnia 18 lipca 2004).

PODSUMOWANIE

Na terenach położonych w bezpośrednim sąsiedztwie autostrad występuje wiele różnorodnych czynników szkodliwych, często w znacznych nasileniach (np. wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, hałas, pyły; Bezak-Mazur, 2001). Z uwagi na ograniczoną zakres podjętych badań prezentację stanu środowiska rolniczego wzdłuż autostrady A2, nie można jednoznacznie stwierdzić, iż bezpośrednie otoczenie autostrady jest całkowicie bezpieczne dla produkcji rolniczej oraz dla życia i pracy ludzi.

LITERATURA

Anonim 2007. Budowa autostrady na odcinku Rzeszów — Przeworsk — Korczowa (granica państwa). Raport o oddziaływaniu na środowisko. Transprojekt Gdański, http://www.rzeszow.uw.gov.pl/img/2511240_584-ros-tomiv.pdf.

- Akbar K. F., Hale W. H. G., Headley A., D., Athar M. 2006. Heavy metal contamination of roadside soils of Northern England. *Soil & Water Res.* 1: 158 — 163.
- Aimrun W., Amin M. S. M., Rusnam M., Desa A., Hanafi M. M., Anuar A. R. 2009. Bulk soil electrical conductivity as an estimator of nutrients in the maize cultivated land. *European Journal of Scientific Research*, 43 (1): 37 — 51.
- Bezak-Mazur E. 2001. Elementy toksykologii środowiskowej. Skrypt nr 32. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce: 1 — 172.
- Christoforidis A., Stamatis N. 2009. Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national Road in Kavala's region, Greece. *Geoderma*, 51: 257 — 263.
- Corwin D. L., Lesch S. M. 2004. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46: 11 — 43.
- Grigalaviene I., Rutkoviene V., Marozas V. 2005. The accumulation of heavy metals Pb, Cu and Cd at roadside forest soils. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 14, no. 1: 109 — 115.
- Jaradat Q. M., Momani K. A. 1999. Contamination of roadside soil, plants, and air with heavy metals in Jordan. A comparative study. *Turk J. Chem.* 23: 209 — 220.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN Warszawa.
- Kaszubkiewicz J., Kawalko D. 2009. Zawartość wybranych metali ciężkich w glebach i roślinach na terenie powiatu Jeleniogórskiego. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 40: 177 — 189.
- Kyzioł J. 1994. Minerale ilaste jako sorbenty metali ciężkich. Wyd. PAN, Wrocław-Warszawa-Kraków.
- Li F.-R., Kang L. F., Gao X. Q., Hua W., Yang F. W., Hei W. L. 2007. Traffic-related heavy metal accumulation in soils and plants in Northwest China. *Soils & Sediment Contamination* 16: 437 — 484.
- Lityński T., Jurkowska H. 1982. Żyzność gleby i odżywianie się roślin. PWN, Warszawa: 643 ss.
- Olajire A. A., Ayodele E. T. 1997. Contamination of roadside soil and grass with heavy metals. *Environment International*. Vo. 23, nr 1: 91 — 101.
- Rui Y., Zhang F., Shen J. 2009. Effects of nitrogen fertilization on heavy metal content of corn grains. *PHYTON, International Journal of Experimental Botany*, 78: 101 — 104.
- SAS Institute Inc. 2004 a. SAS 9.1 Companion for Windows. Cary, NC, USA, SAS Publishing, SAS Institute Inc.
- SAS Institute Inc. 2004 b. SAS/STAT 9.1 User's Guide. Cary, NC, USA, SAS Publishing, SAS Institute Inc.
- Seifi M.R., Alimardani R., Sharifi A. 2010. How can soil electrical conductivity measurements control soil pollution? *Research Journal of Environmental and Earth Science*, 2 (4): 235 — 238.
- Wei M., Li T.L., Xu H., Wang X.F., Yin Y.D. 2006. Electrical conductivity and pH of root zone in soil affected by continuous and combined application of chemical fertilizer to cucumber cultured in solar greenhouses. *ISHS Acta Horticulturae* 761: XXVII Int. Hort. Congress — IHC 2006: International Symposium on Advances in Environmental Control, Automation and Cultivation Systems for Sustainable, High-Quality Crop Production under Protected Cultivation. http://www.actahort.org/members/showpdf?booknr=761_63.
- Werben U., Kuka K., Merbach I. 2009. Correlation of electrical resistivity, electrical conductivity and soil parameters at a long-term fertilization experiment. *Near Surface Geophysics*, 7 (1): 5 — 14.
- WIOS, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska. 2009. Raport o stanie środowiska w województwie łódzkim w 2008 roku. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Łódź: 180 ss.
- Woch F. 2007. Wademekum klasyfikatora gleb. Praca zbiorowa. IUNG, Puławy: 480 ss.

KAMIL PROKOPIUK**GRZEGORZ ŻUREK**

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Radzików
Zakład Traw, Roślin Motylkowatych i Energetycznych,
Pracownia Traw Pozapaszowych i Roślin Energetycznych

Ocena wpływu odmian wiechliny łąkowej (*Poa pratensis* L.) na jakość mieszanek przeznaczonych do zadarniania terenów zacienionych

The effect of smooth-stalked meadow grass (*Poa pratensis* L.) varieties on the quality of turf mixtures in shade

W latach 2007–2010 określano wpływ odmian wiechliny łąkowej na walory trawnikowe 3-gatunkowych mieszanek wysianych w cieniu. Przedmiotem badań było 6 odmian wiechliny, które w oparciu o wcześniejsze obserwacje własne oraz dane literaturowe podzielono na 2 grupy: obiekty o dobrej lub bardzo dobrej jakości w cieniu oraz obiekty o jakości poniżej średniej. Jako pozostałe komponenty do mieszanek wykorzystano odmiany kostrzewy czerwonej Rapsodia oraz życicy trwałej Aut. Nie stwierdzono istotnego statystycznie wpływu jakości odmian wiechliny na jakość mieszanek z ich udziałem. Jakość odmiany wiechliny łąkowej odgrywała istotną rolę jedynie w początkowym okresie wegetacji trawnika w cieniu. W miarę upływu czasu zmiany zachodzące w runi a będące efektem m.in. współdziałania deficytu światła oraz chorób niwelowały różnice jakościowe pomiędzy odmianami i mieszkankami z ich udziałem.

Słowa kluczowe: cień, PAR, kostrzewa czerwona, życica trwała, trawniki

The effect of smooth stalked meadow grass (*Poa pratensis* L.) variety on the quality of turf mixtures sown in shade was evaluated in years 2007–2010. Six *P. pratensis* objects were used. They were divided into two groups on the basis of previously recognized different turf quality in shade: objects of above-mean quality (group I) and of below-mean quality (group II). Red fescue Rapsodia and perennial ryegrass Aut were used as the remaining components in mixtures. No significant effect of the quality of *P. pratensis* cultivars on the quality of mixture were found. Turf quality of *P. pratensis* cultivars was significant only at the initial stage of sward vegetation. Along with changes in turf quality over time, differences between tested objects (cultivars & mixtures) were reduced by the effects of light deficit, disease incidence etc.

Key words: shade, PAR, red fescue, perennial ryegrass, lawns

WSTĘP

Wśród wielu gatunków traw, przydatnych do zadarniania trawników jednym z najbardziej popularnych jest wiechlina łąkowa (*Poa pratensis* L.) z uwagi na połączenie delikatności liścia, zadarnienia oraz ciemno-zielonej barwy (Wedin i Huff, 1996; Huff, 2003, 2010). Równocześnie gatunek ten uważany jest za wrażliwy na deficyt światła (Prończuk i in., 2001; Fry i Huang, 2004; Prończuk i Żurek, 2008). Rezultaty prac badawczych i hodowlanych uzyskane w ostatnich latach wskazują jednak na możliwości wyselekcjonowania form wiechliny łąkowej o podwyższonej tolerancji na warunki cienia (Brede, 2000; Huff, 2010).

Jakość mieszanek trawnikowych nie zawsze jest wypadkową jakości poszczególnych komponentów. Najbardziej korzystne jest łączenie odmian, wnoszących do mieszanki dodatkowe cechy jakościowe (Brede, 2000). Dodawanie wiechliny łąkowej do mieszanki daje określone korzyści: sprężystość nawierzchni, tłumiącej i amortyzującej upadki, wyrównaną powierzchnię darni, odporność na warunki zimowe, szybką regenerację (Brede, 2000). Dlatego pomimo trudności związanych z przystosowaniem wiechliny łąkowej do tzw. warunków użytkowania ekstensywnego (np. niskie nawożenie, cień, brak podlewania) należy poszukiwać rozwiązań, umożliwiających zwiększenie udziału tego gatunku w nawierzchniach trawiastych, również na terenach częściowo zacienionych.

Celem podjętych badań było określenie wpływu jakości odmian wiechliny łąkowej na jakość mieszanek z ich udziałem, w warunkach naturalnego cienia.

MATERIAŁ I METODA

Badaniami objęto 5 odmian i 1 ekotyp wiechliny łąkowej, które w oparciu o wcześniejsze obserwacje własne oraz dane literaturowe (Prończuk i Prończuk, 2006, 2008) podzielono na 2 grupy pod względem jakości trawnikowej w warunkach cienia. Jako obiekty o dobrej lub bardzo dobrej jakości w cieniu (grupa I) zaklasyfikowano odmiany: Conni (DK) i Princeton – Tiger (USA) oraz ekotyp Chałupy (PL). Obiekty o jakości poniżej średniej (grupa II) to odmiany: Alicja (PL), Midnight (USA) oraz Balin (DK). Jako pozostałe komponenty do mieszanek wykorzystano kostrzewę czerwoną Rapsodia (PL) oraz życicę trwałą Aut (PL). Zastosowano następujące normy wysiewu (w gramach na 1 m²) dla obiektów w siewie czystym: wiechlina łąkowa 10, kostrzewa czerwona 15, życica trwała 20, dla mieszanek trójgatunkowych — 25.

Udział poszczególnych komponentów gatunkowych w mieszanekach był następujący: wiechlina łąkowa — 50%, kostrzewa czerwona — 30% oraz życica trwała — 20%. Doświadczenie wysiano w marcu 2007, na piasku gliniastym. Każdy z obiektów badawczych wysiano na poletka o powierzchni 1 m² w 3 powtórzeniach. Miejsce, w którym dokonano zasiewów położone jest w cieniu lipy drobnolistnej (*Tilia cordata* Mill.). Dodatkowo w odległości 5,8 m od strony północno-wschodniej znajduje się budynek o wysokości 3 m, a od strony południowej kolejne dwa egzemplarze lipy, które również obejmują zasięgiem koron fragmenty doświadczenia.

Po wysiewie, nasiona przykryto 1–2 cm warstwą torfu oraz agrowłókniną, którą usunięto po wschodach. Po ok. 2 miesiącach zastosowano nawożenie mineralne, podając w jednorazowej dawce 30 kg N, 30 kg P₂O₅ i 30 kg K₂O. Podobne nawożenie stosowano wiosną każdego roku badań. Poletka koszone średnio raz w miesiącu na wysokość ok. 7–10 cm, kosiarką rotacyjną ze zbieraczem pokosu. Obserwacje prowadzono w latach 2007–2010 zgodnie z metodyką doświadczeń trawnikowych przyjętą w IHAR (Prończuk, 1993) stosując ocenę w skali 1–9, gdzie 1 to brak roślin, a 9 to cecha najbardziej pożądana. Wartość 5 uznawana jest za najniższą, akceptowalną przez potencjalnego użytkownika. Instalacja pierwsza (I1), odzwierciedlała stan wschodów po ok. 1 miesiącu od wysiewu, instalacja 2 (I2) — stan zadarnienia poletek po ok. 2 miesiącach od wysiewu. Oceny zadarnienia oraz ogólnego aspektu prowadzono w maju (oceny wiosenne), sierpniu (letnie), październiku (jesienne) oraz w grudniu lub w styczniu (zimowe).

Frekwencję udziału poszczególnych gatunków w mieszankach oceniano szacując ich udział procentowy na poletku w 3 kwadratach o pow. 100 cm² każdy. Trzykrotnie w ciągu roku (wiosną, latem i jesienią) oceniano: procentowy udział roślin wiechliny łąkowej, życicy trwałej i kostrzewy czerwonej jak również roślin nie pożądanych (wiechlina roczna i chwasty dwuliścienne) oraz udział powierzchni wolnej od roślin.

W celu oszacowania ilości światła docierającego do roślin na powierzchni doświadczalnej, w okresie od 1 kwietnia 2009 do 31 marca 2010 mierzono parametry promieniowania słonecznego fotosyntetycznie czynnego (PAR, ang. *photosynthetically active radiation*), za pomocą fitofotometru. Pomiarów dokonywano w każdy poniedziałek oraz piątek o godzinie 12:00 UTC (uniwersalny czas koordynowany) w pięciu miejscach na obszarze objętym doświadczeniem oraz na sąsiadującej powierzchni trawnika znajdującej się w pełnym słońcu. Jako wartość minimalną natężenia PAR, niezbędnego dla podtrzymania wegetacji wiechliny łąkowej przyjęto PAR 128 μmol m⁻² s⁻¹ (Cockerham i in., 2002). Dla wymienionych powyżej dni badawczych określono długość dnia dla współrzędnych geograficznych Radzikowa (52°12'51,0"N i 020°38'41,0"E) według strony internetowej <http://www.calendar.k-ce.pl/index.php>. Długość dnia wyrażono w minutach.

Średnią temperaturę powietrza, opady oraz nasłonecznienie podano za odczytami z automatycznej stacji meteorologicznej zlokalizowanej na terenie IHAR-PIB w Radzikowie. Analizy statystyczne zrealizowano za pomocą pakietu statystycznego SAS® (SAS, 2004 a, b).

WYNIKI

Warunki termiczne, wilgotnościowe oraz świetlne

Średnia roczna temperatura powietrza w okresie badań wynosiła od 7,9° (2010) do 9,9°C (2008) i z wyjątkiem roku 2010, przewyższała średnią z wielolecia (1972–2000) (tab. 1). Miesiące: marzec, kwiecień, czerwiec oraz lipiec w okresie badawczym były cieplejsze od analogicznych miesięcy wielolecia. Z kolei styczeń, luty, maj, październik oraz grudzień w latach 2009–2010 były zimniejsze od średniej z wielolecia. Sezony wegetacyjne 2007–2010 były cieplejsze od analogicznych okresów wielolecia od 0,9°

(2008) do 1,7°C. Pod względem ilości opadów we wszystkich latach badań stwierdzono wartości wyższe od średniej z wielolecia dla całego roku oraz dla sezonu wegetacyjnego. Względnie najmniej opadów zanotowano w roku 2008, gdzie w sezonie wegetacyjnym spadło tylko 30,3 mm więcej od średniej z wielolecia. Stosunkowo najmniejsze nasłonecznienie stwierdzono w roku 2009 — 1474 godzin w roku, natomiast największe — w 2008 (149 godzin więcej niż w 2009).

Tabela 1

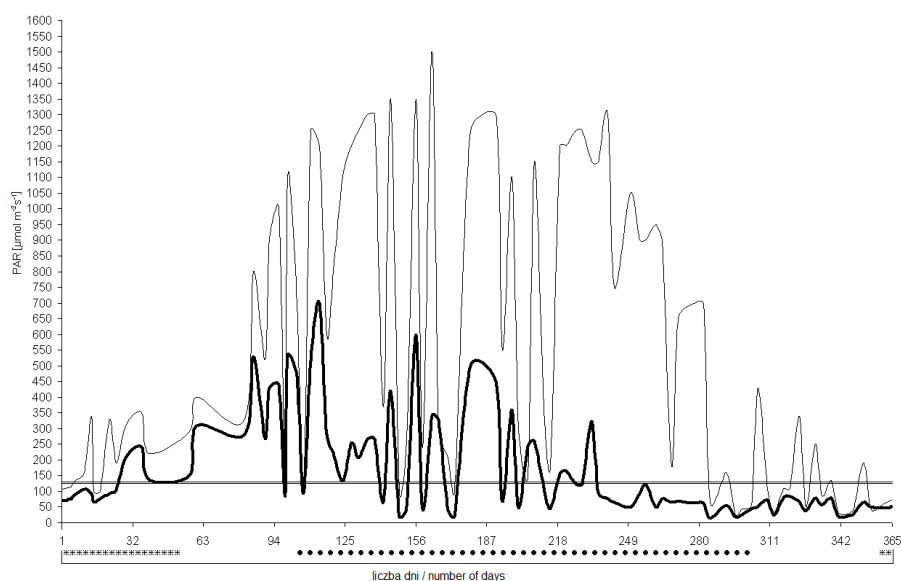
Zestawienie danych meteorologicznych dla okresu badań
Meteorological data for the period of experiment

Miesiąc Month	Lata Years												Wielolecie (1972–2000) Mean value (1972–2000)	
	2007			2008			2009			2010				
	T (°C)	P (mm)	S (h)	T (°C)	P (mm)	S (h)	T (°C)	P (mm)	S (h)	T (°C)	P (mm)	S (h)	T (°C)	P (mm)
1	3,6	81,6	x	1,2	78,0	71,5	-2,7	22,8	50,2	-8,4	0,4	39,2	-1,8	21,1
2	-1,0	53,6	x	3,2	35,0	54,0	-0,6	37,4	37,2	-1,8	37,2	40,1	-1,1	17,3
3	7,0	35,6	x	3,9	54,2	97,1	3,1	47,2	64,2	3,3	12,4	136,9	2,9	22,4
4	9,7	20,0	x	9,4	30,2	154,7	11,3	14,8	226,9	10,1	12,6	161,0	8,2	30,1
5	15,7	63,2	x	14,0	56,6	230,8	13,7	71,8	193,9	13,7	149,6	119,2	14,1	46,3
6	19,1	72,2	x	19,0	15,0	309,0	16,3	84,0	160,7	17,8	64,6	252,0	16,9	62,9
7	19,1	94,8	x	19,5	62,5	234,1	20,0	138,6	199,5	21,7	131,6	256,8	18,5	76,4
8	19,3	58,2	x	18,8	51,4	188,9	18,5	81,4	189,0	19,8	61,0	210,2	18,1	52,3
9	13,6	48,0	x	12,7	93,4	103,3	15,4	12,8	202,4	12,5	85,6	123,1	13,3	42,6
10	8,3	44,8	x	10,2	23,8	83,0	7,8	35,0	86,7	6,0	15,2	172,9	8,3	31,3
11	1,9	43,4	x	5,4	31,2	56,7	6,0	58,0	50,0	5,8	100,0	33,3	2,9	30,3
12	0,5	21,0	x	1,4	39,8	40,3	-1,1	46,2	13,9	-5,6	39,2	15,9	-0,2	28,3
Średnia Mean	9,7	—	x	9,9	—	—	9,0	—	—	7,9	—	—	8,3	—
Suma Total	—	636,4		—	571,1	1623,5	—	650,0	1474,4	—	709,4	1560,6	—	461,3

Objaśnienie: T — średnia temperatura powietrza, P — suma opadów, S — usłonecznienie (liczba godzin w miesiącu), x — brak danych

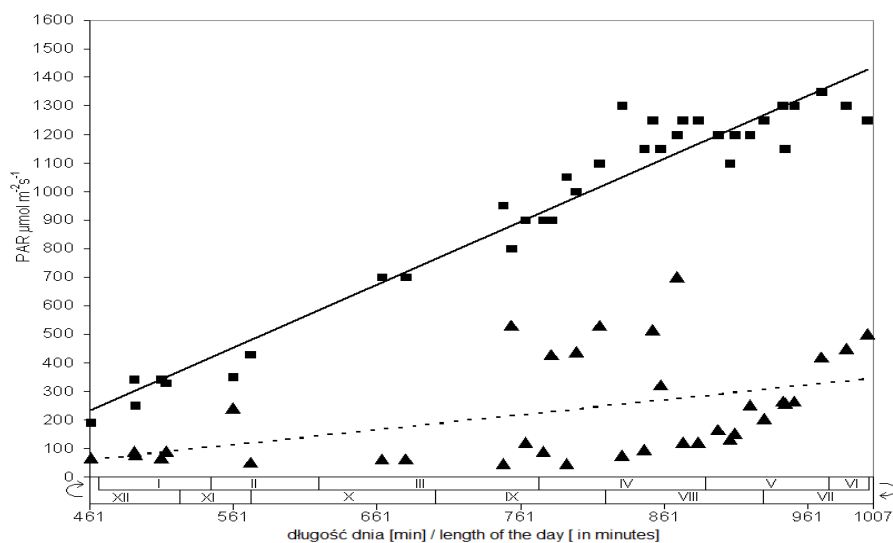
Explanation: T — mean air temperature, P — total precipitation, S — insolation (no. of hours per month), x — no data

Analiza natężenia promieniowania PAR docierającego o godzinie 12:00 UTC do roślin wykazała, iż natężenie PAR niezbędne dla wegetacji wiechlin ($PAR > 128 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) występowało w cieniu drzew już od połowy stycznia (rys. 1). Po około 90 dniach na drzewach lipy drobnolistnej zaczęły pojawiać się liście, które utrzymały się aż do 300 dnia roku. W tym okresie zanotowano również zmiany natężenia PAR docierającego do poszycia. W dni słoneczne natężenie PAR było wystarczające do około 230 dnia roku, natomiast w dni pochmurne było zbyt niskie dla zapewnienia prawidłowego przebiegu wegetacji wiechlin. Od około 230 dnia roku, bez względu na panujące warunki słoneczne oraz stopień ulistnienia drzew natężenie PAR była zbyt niskie dla prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin wiechliny łąkowej.



Rys. 1. Natężenie PAR (oś OY) docierającego do powierzchni doświadczenia w ciągu 365 dni o godzinie 12:00 UTC w otwartej przestrzeni (linia cienka) oraz w cieniu drzew (linia pogrubiona). Linia pozioma — natężenie PAR minimalne dla wiechliny łąkowej wg Cockerham i in. (2002)

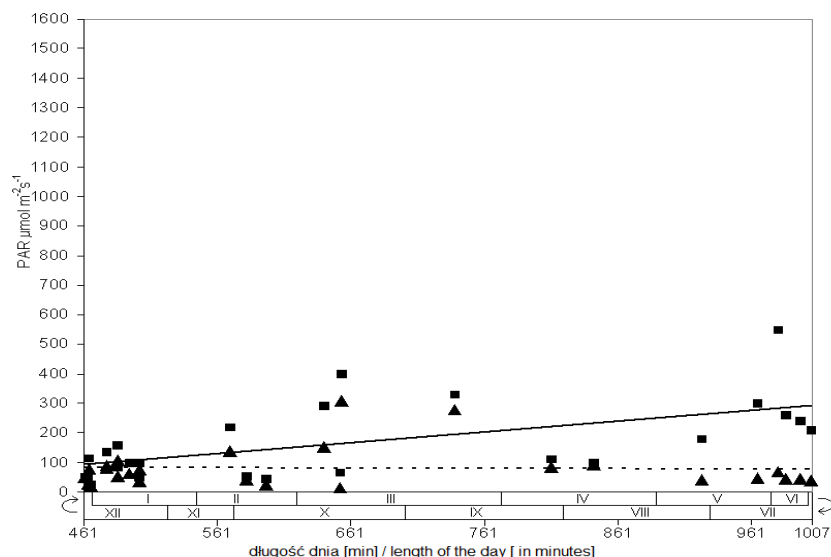
Fig. 1. PAR intensity (OY axis) reaching ground level during 365 days at 12:00 UTC in open space (thin line) and in shade (thick line). Horizontal line — level of PAR intensity minimal for smooth-stalked bluegrass vegetation after Crockerham et al. (2002)



Rys. 2. Natężenie PAR o godzinie 12:00 UTC w dni słoneczne w zależności od długości dnia [min.] w cieniu drzew (trójkąty oraz linia przerywana) i pełnym słońcu (kwadraty i linia ciągła)

Fig. 2. Intensity of PAR at 12:00 UTC in sunny days, with relation to the length of the day [in minutes] in tree shade (triangles and scattered line) and full sunshine (squares and solid line)

Stwierdzono również zależność pomiędzy długością dnia a natężeniem PAR docierającego do powierzchni doświadczalnej. Współczynnik korelacji przyjmował najwyższe wartości dla PAR mierzonego na słońcu ($r = 0,97$, $\alpha < 0,001$), i nieco mniejsze dla pomiarów wykonanych w dni pochmurne na otwartej przestrzeni ($r = 0,59$, $\alpha < 0,05$) oraz w dni słoneczne w cieniu drzew ($r = 0,46$, $\alpha < 0,05$). W cieniu, w dni pochmurne współczynnik korelacji wymienionych wyżej zmiennych był nieistotny statystycznie ($r = 0,02$) (rys. 2 i 3).



Rys. 3. Natężenie PAR o godzinie 12:00 UTC w dni pochmurne w zależności od długości dnia [min.] w cieniu drzew (trójkąty oraz linia przerywana) i pełnym słońcu (kwadraty oraz linia ciągła)
 Fig. 3. Intensity of PAR AT 12:00 UTC in cloudy days, with relation to the length of the day [in minutes] in tree shade (triangles and scattered line) and full sunshine (squares and solid line)

Ocena trawników

Spośród wszystkich badanych odmian wiechliny łąkowej najwyższą wartość instalacji po ok. 1 miesiącu od wysiewu stwierdzono dla odmiany Balin (3,0) co oznacza średnio ok. 50 siewek na 10 cm^2 (tab. 2). Podobne wartości tej cechy uzyskały pozostałe komponenty gatunkowe (życica trwała Aut oraz kostrzewa czerwona Rapsodia) jak również zdecydowana większość badanych mieszanek. Najniższą wartość tej cechy stwierdzono dla ekotypu Chałupy oraz odmiany Alicja wiechliny łąkowej. Analiza stanu zadarnienia po ok. 2 miesiącach od wysiewu wykazała ponad 90% (I2 od 8 do 8,3) pokrycie powierzchni większości badanych mieszanek (z wyjątkiem mieszanki z odmianą Midnight) oraz istotnie niższe wartości tej cechy dla pozostałych zasiewów jednogatunkowych. Wśród odmian wiechlin nadal utrzymywała się względnie wysoka wartość cechy dla odmiany Balin.

Tabela 2

Wyniki obserwacji trawników z lat 2007–2010
Results of lawn observations from years 2007–2010

Badane obiekty Objects in experiment:	2007					2007	2009	
	Instalacja:		Zadarnienie w sezonach:			Porażenie mączniakiem Powdery mildew infection		
	I	II	wiosna	lato	jesień			
	Instalation:		Sward density in seasons:					
	I	II	spring	summer	autumn			
Odmiany <i>P. pratensis</i> o jakości powyżej średniej w cieniu (grupa I) <i>P. pratensis</i> varieties with confirmed above-mean quality in shade (group I):								
Conni	2,3 abc	6,0 cd	6,3 ab	6,3 ab	4,7 b	7,0 de	4,3 e	
ekotyp Chałupy	1,7 c	3,7 de	5,3 bc	6,7 ab	4,7 b	6,7 e	8,0 b	
Princeton - Tiger	2,0 bc	6,0 cd	5,7 bc	6,7 ab	6,0 ab	7,7 cd	9,0 a	
Odmian <i>P. pratensis</i> o jakości poniżej średniej w cieniu (grupa II) <i>P. pratensis</i> varieties with confirmed below-mean quality in shade (group II):								
Alicja	1,7 c	5,0 de	4,0 d	1,7 d	2,7 c	2,0 g	6,3 c	
Balin	3,0 a	6,7 bc	5,3 bc	4,3 c	2,0 c	3,7 f	5,7 cd	
Midnight	2,0 bc	4,7 de	5,0 cd	2,0 d	2,3 c	2,3 g	5,3 d	
Komponenty uzupełniające mieszanki — Other varieties in mixtures:								
<i>Lolium perenne</i> Aut	3,0 a	7,3 abc	7,0 a	5,7 b	5,3 ab	9,0 a	9,0 a	
<i>Festuca rubra</i> Rapsodia	3,0 a	7,0 abc	6,3 ab	7,0 a	5,7 ab	9,0 a	9,0 a	
Mieszanki z odmianami <i>P. pratensis</i> z grupy I — Mixtures with <i>P. pratensis</i> varieties from group I								
Aut-Rapsodia-Conni	3,0 a	8,3 a	7,0 a	7,0 a	6,7 a	8,0 bc	9,0 a	
Aut-Rapsodia-Chałupy	3,0 a	8,3 a	7,0 a	6,7 ab	6,3 a	8,7 ab	9,0 a	
Aut-Rapsodia -Princeton	3,0 a	8,0 ab	7,0 a	7,0 a	6,7 a	8,3 abc	9,0 a	
Mieszanki z odmianami <i>P. pratensis</i> z grupy II — Mixtures with <i>P. pratensis</i> varieties from group II:								
Aut-Rapsodia-Alicja	2,7 ab	8,3 a	7,0 a	6,7 ab	6,3 a	8,0 bc	9,0 a	
Aut-Rapsodia-Balin	3,0 a	8,0 ab	7,0 a	7,0 a	6,3 a	8,0 bc	9,0 a	
Aut-Rapsodia-Midnight	3,0 a	7,7 ab	7,0 a	7,0 a	6,3 a	7,7 cd	9,0 a	
NIR — LSD	0,68	1,45	1,31	1,31	1,54	0,81	0,68	
Badane obiekty Objects in experiment	Ogólny aspekt — Visual merit średnie z lat — mean from years				Zadarnienie — sward density średnie z lat — mean from years			
	2008	2009	2010	2008– 2010	2008	2009	2010	2008– 2010
Odmiany <i>P. pratensis</i> o jakości powyżej średniej w cieniu (grupa I) <i>P. pratensis</i> varieties with confirmed above-mean quality in shade (group I):								
Conni	3,7 de	2,9 c	3,0 e	3,1 b	5,1 de	4,3 def	2,7 g	4,0 bcde
ekotyp Chałupy	4,3 cd	3,4 c	2,8 e	3,4 b	5,2 deg	3,8 f	2,3 g	3,7 de
Princeton - Tiger	6,0 a	4,6 b	3,8 abc	4,8 a	6,0 abcd	5,0 bc	3,2 bcd	4,7 abcd
Odmian <i>P. pratensis</i> o jakości poniżej średniej w cieniu (grupa II) <i>P. pratensis</i> varieties with confirmed below-mean quality in shade (group II):								
Alicja	3,1 e	3,2 c	3,2 de	3,1 b	3,3 f	4,4 cde	2,8 ef	3,5 e
Balin	3,3 e	2,9 c	3,1 de	3,1 b	4,7 e	4,2 ef	2,8 ef	3,8 cde
Midnight	3,6 de	3,1 c	3,2 de	3,2 b	4,6 e	4,9 cd	2,8 ef	4,0 bcde
Komponenty uzupełniające mieszanki — Other varieties in mixtures:								
<i>Lolium perenne</i> Aut	6,1 a	4,6 b	3,3 cde	4,6 a	5,7 bcd	5,7 a	2,9 def	4,7 abcd
<i>Festuca rubra</i> Rapsodia	4,8 bc	5,0 ab	4,1 ab	4,6 a	5,4 bcd	5,9 a	4,1 a	5,1 ab
Mieszanki z odmianami <i>P. pratensis</i> z grupy I — Mixtures with <i>P. pratensis</i> varieties from group I								
Aut-Rapsodia-Conni	6,3 a	5,2 ab	3,7 bcd	5,0 a	6,6 ab	5,9 a	3,1 cde	5,1 ab
Aut-Rapsodia-Chałupy	5,7 ab	5,0 ab	3,9 ab	4,8 a	6,0 abcd	5,6 ab	3,3 bc	4,9 abcd
Aut-Rapsodia -Princeton	6,5 a	5,4 a	4,3 a	5,4 a	6,7 a	6,1 a	3,6 b	5,4 a
Mieszanki z odmianami <i>P. pratensis</i> z grupy II — Mixtures with <i>P. pratensis</i> varieties from group II:								
Aut-Rapsodia-Alicja	5,7 ab	5,1 ab	4,1 ab	4,9 a	6,0 abcd	5,8 a	3,4 bc	5,0 abc
Aut-Rapsodia-Balin	6,0 a	5,3 ab	3,7 bcd	4,9 a	6,3 abc	6,0 a	3,2 bcd	5,1 ab
Aut-Rapsodia-Midnight	6,2 a	5,4 a	3,8 abc	5,1 a	6,2 abc	6,1 a	3,2 bcd	5,1 ab
NIR — LSD	0,9	0,8	0,6	0,8	1,0	0,6	0,4	0,8

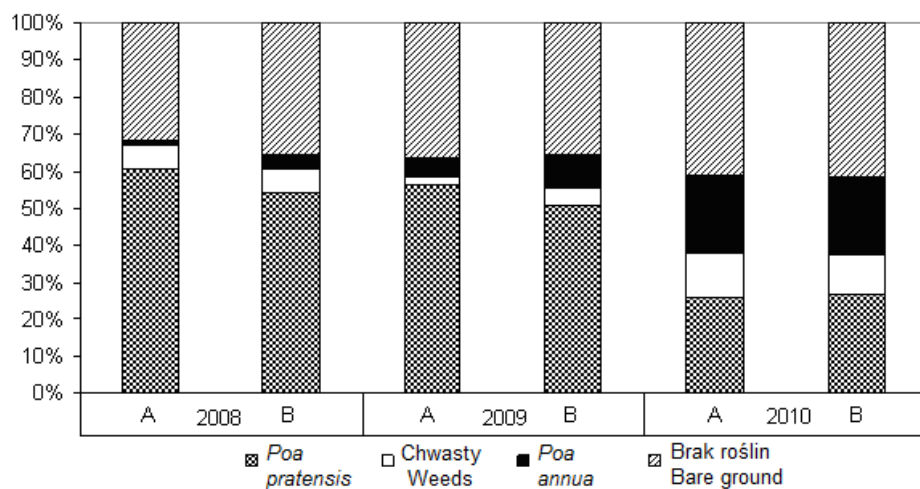
Ocena zadarnienia, wykonana w roku wysiewu częściowo wykazała iż najwyższe wartości tej cechy (od 6,7 do 7,0) stwierdzono na wiosnę i w lecie dla mieszanek, bez względu na jakość zastosowanej odmiany wiechliny. Grupa I odmian wiechliny charakteryzowała się istotnie wyższymi wartościami zadarnienia od grupy II i to przez cały ten okres. Różnice między średnimi wartościami zadarnienia odmian wiechliny łąkowej z grupy I i II wynosiły od 1,0 na wiosnę, 4,0 latem po 2,8 jesienią. Odmiany z grupy II okazały się również podatne na porażenie mączniakiem, które miało miejsce w lecie 2007 roku. Był to najprawdopodobniej jeden z powodów tak silnej redukcji zadarnienia w lecie. Na mieszanekach objawów tego porażenia nie stwierdzono.

W pierwszym pełnym roku badań stwierdzono różnice w jakości darni pomiędzy obiektami wiechliny z grupy I i II. Odmianą wiechliny łąkowej o najwyższych wartościach ogólnego aspektu była odmiana z grupy I — Princeton-Tiger. W ciągu całego roku 2008 oraz na wiosnę 2009 dla odmiany tej stwierdzono istotnie najwyższe wartości ogólnego aspektu w stosunku do pozostałych odmian wiechliny łąkowej, zbliżone do wartości zanotowanych dla życicy trwałej Aut oraz kostrzewy czerwonej Rapsodia. Istotne zróżnicowanie jakości darni odmian wiechliny w siewie czystym nie znalazło tak wyraźnego odzwierciedlenia w różnicach jakości mieszanek z udziałem tych odmian. Najwyższą wartość ogólnego aspektu zanotowano dla mieszanki z udziałem najlepszej odmiany (Princeton-Tiger) jednakże wartość ta nie różniła się istotnie statystycznie od wartości uzyskanych przez odmiany znacznie gorsze w siewie czystym (np. Alicja, Balin).

W kolejnych latach badań stwierdzono stopniowy spadek zadarnienia oraz ogólnego aspektu, zarówno w zasiewach jednogatunkowych jak i w mieszanekach. W roku 2009 ponownie zanotowano objawy porażenia mączniakiem prawdziwym. Najłagodniejsze objawy porażenia stwierdzono na roślinach wymienionej powyżej odmiany wiechliny Princeton-Tiger oraz ekotypu Chałupy, jak również odmian Aut oraz Rapsodia. Objawy porażenia na mieszanekach były niewielkie i nieco bardziej widoczne w wypadku mieszanek z udziałem odmian wiechliny łąkowej z grupy II.

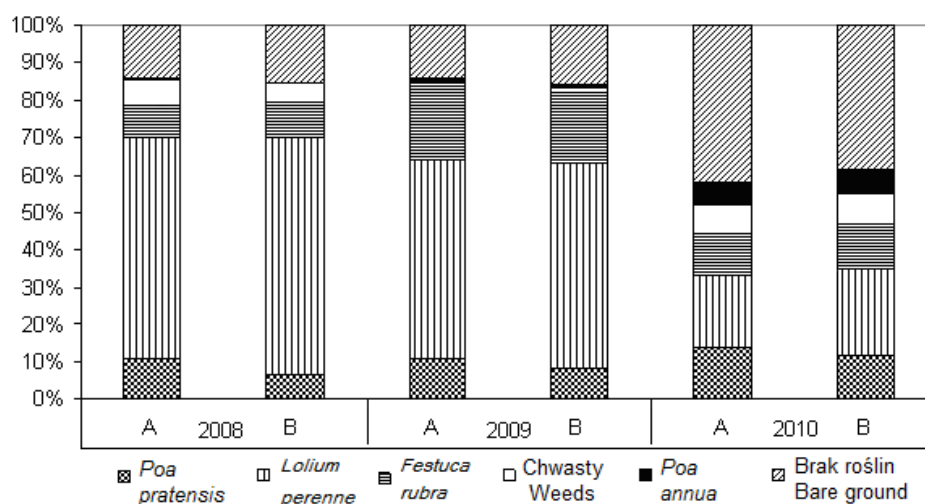
Analiza składu botanicznego runi mieszanek wykazała, że dominującym gatunkiem we wszystkich badanych mieszanekach była życica trwała przez 2 pierwsze lata badań, bez względu na zastosowaną odmianę wiechliny. Dopiero w jesieni trzeciego roku badań udział poszczególnych komponentów mieszanek traw był praktycznie sobie równy. Udział wiechliny w poroście trawnikowym był na poziomie około 10% i wykazywał stabilność w latach oraz lekką tendencję wzrostową w trzecim roku. Doświadczenie wykazało wyższy udział chwastów dwuliściennych w runi poletek z czystymi zasiewami odmian wiechliny łąkowej niż mieszanek (rys. 4 i 5). Spadek zadarnienia poletek związany był ze wzrostem udziału powierzchni nie porośniętej. Tempo naturalnej sukcesji w warunkach cienia było zbyt wolne dla ponownego zajęcia pustych miejsc.

Analiza wariancji wykonana w układzie dwuczynnikowym nie wykazała istotnego wpływu jakości odmian wiechliny łąkowej na wartość ogólnego aspektu oraz zadarnienia mieszanek (tab. 3). Czynnikiem najsilniej wpływającym zarówno na zadarnienie jak i na ogólny aspekt badanych mieszanek był kompleks warunków środowiskowych w kolejnych latach badań, ze szczególnym uwzględnieniem deficytu światła.



Rys. 4. Zmiany w składzie gatunkowym runi wiechliny łąkowej w siewie czystym. A — odmiany z grupy I, B — odmiany z grupy II

Fig. 4. Changes in the share of plant species in swards with *P. pratensis* sown in monoculture. A — *P. pratensis* cultivars from group I, B — *P. pratensis* cultivars from group II



Rys. 5. Zmiany w składzie gatunkowym runi mieszanek A - mieszanek z odmianami wiechliny z grupy I, B — mieszanek z odmianami wiechliny z grupy II

Fig. 5. Changes in the share of plant species of sward of plots with *P. pratensis* sown in mixtures. A — mixtures with *P. pratensis* cultivars from group I, B — mixtures with *P. pratensis* cultivars from group II

Tabela 3

Wyniki analizy wariancji w układzie 2-czynnikowym (w tabeli — średnie kwadraty dla efektów czynnika)
Results of two-way analysis of variance (in table — mean square effects)

Czynnik zmienności Component of variation	Średni — Average:	
	ogólny aspekt — visual merit	zadarnienie — sward density
Jakość odmian wiechliny łąkowej Quality of <i>P. pratensis</i> cultivars	0,02 ^{n.s.}	0,036 ^{n.s.}
Lata obserwacji Years of observation	15,72 ***	47,91 ***
Interakcja (jakość × lata) Interaction (quality × years)	0,09 ^{n.s.}	0,12 ^{n.s.}

Objaśnienie: *** - istotność efektu czynnika na poziomie $\alpha < 0,0001$, n.s. – nie istotne

DYSKUSJA

Wzrost i rozwój traw w warunkach naturalnego cienia drzew jest przede wszystkim uzależniony od natężenia i jakości światła docierającego do powierzchni ziemi (Dudeck i Peacock, 1992; Fry i Huang, 2004; Stier i Gradner, 2007). Wyniki badań Bell i in. (1999) wskazują na różnice pomiędzy natężeniem PAR docierającego do roślin na otwartej przestrzeni a w cieniu drzew w dni słoneczne, w zależności od długości dnia. Takiej zależności nie stwierdzono w niniejszych badaniach w dni pochmurne, gdzie w cieniu drzew długość dnia nie miała wpływu na natężenie PAR docierającego do trawnika. Zdaniem McBee (1969) oraz Wherley i in. (2005) w środowisku o ograniczonym natężeniu PAR, jakość światła może stać się najważniejszym czynnikiem warunkującym prawidłowe funkcjonowanie trawnika. Badania Cockerham i in. (2002) wykazały że do prawidłowego funkcjonowania wiechliny łąkowej wymagane jest oświetlenie roślin przez 360 minut dziennie o natężeniu PAR $515 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ lub przez 240 minut — PAR $770 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Trwałość nawierzchni trawiastych w cieniu można zwiększyć poprzez dobieranie odmian bardziej tolerancyjnych na deficyty światła (Funk, 1980; Reicher i Throssell, 1998; Newell i in., 1999; Fresenburg, 1999). Niniejsze badania potwierdziły trafność przyporządkowania odmian wiechliny do dwóch grup pod względem ich jakości. Jednak kolejne lata badań zacierały te różnice, co potwierdzają również badania Brede (2004). Można zauważyć, że przez wszystkie lata badań najlepszą odmianą wśród odmian wiechliny łąkowej była odmiana Princeton-Tiger, co potwierdziło wyniki Prończuk i Prończuk (2008). Odmiana ta w korzystny sposób oddziaływała również na jakość mieszanki z jej udziałem.

W miarę pogłębiania się cienia jakość powierzchni trawnikowej staje się coraz gorsza, co wiąże się ze zmianami anatomicznymi gatunków traw (Wilkinson i Beard, 1974). Według Fresenburga (1999) tolerancyjność na cień wybranych gatunków traw przedstawia się następująco: *Festuca rubra* > *Festuca arundinacea* > *Poa pratensis* > *Lolium perenne*. Z kolei według innych autorów zależność ta wygląda nieco inaczej: *Festuca arundinacea* > *Festuca rubra* > *Lolium perenne* > *Poa pratensis* (Stier i Gardner, 2007). Stwierdzono w niniejszym badaniu nieco wyższą tolerancyjność na warunki cienia życicy trwałej w porównaniu do wiechliny. Tą zależność potwierdziły również badania Prończuka i in.

(2001). Odmiana Aut życicy trwałej charakteryzowała się wyższymi wartościami badanych cech niż odmiany wiechliny oraz dominowała w mieszankach przez 2 lata badań. Dobre rezultaty osiągnęła także kostrzewa czerwona, co świadczy, że również ten gatunek jest predysponowany do zakładania trawników w cieniu drzew. Zjawisko początkowej dominacji życicy trwałej, którą z czasem (po 2–3 latach od wysiewu) zastąpiła kostrzewa czerwona zaobserwowano np. w obsiewach terenów marginalnych i użytkowanych ekstensywnie za pomocą mieszanek wielogatunkowych (Dembek i in., 2005).

Wiechlina łąkowa, pomimo stosunkowo słabej jakości runi trawnikowej w cieniu, jest gatunkiem będącym komponentem naturalnych muraw parkowych (Wysocki, 1994; Gutkowska i Pawluśkiewicz, 2006). Wskazuje to zatem na istnienie pewnych mechanizmów przystosowawczych u tego gatunku, choć różnica pomiędzy oczekiwaną jakością nawierzchni trawnika parkowego a porostem naturalnym jest znaczna.

Jednym z głównych czynników, determinujących jakość darni wiechliny łąkowej w cieniu jest jej podatność na choroby, a zwłaszcza na brunatną plamistość liści (*Drechslera poae*) oraz mączniak prawdziwy traw (*Erysiphe graminis*) (Beard, 1965, 1969; Vargas i Beard, 1981; Prończuk, 2000). Badania będące przedmiotem niniejszego opracowania wykazały, że zastosowane odmiany wiechliny łąkowej były w cieniu drzew porażane przez mączniaka prawdziwego traw w roku siewu i w drugim roku badań. Stwierdzono istotne zróżnicowanie odmianowe pod względem podatności na tą chorobę. Nasilenie objawów tej choroby dało w efekcie rozrzedzenie darni, podobnie jak np. w badaniach Bearda (1965, 1969). Niniejsze badania potwierdzają również spostrzeżenia innych autorów, dotyczące faktu stopniowego opanowywania muraw rosnących w cieniu np. drzew, trybun czy dachów stadionów przez wiechlinę roczną (*Poa annua* L.) (Baker 1995).

Według Brede (2004) efekt jakości odmiany wiechliny łąkowej na jakość mieszanki może nastąpić dopiero po przekroczeniu 50% udziału komponenta o określonej jakości w mieszance w momencie wysiewu. Pomimo zastosowania względnie dużego (50%) udziału nasion odmian wiechliny w mieszankach badanych w niniejszym doświadczeniu, późniejszy udział roślin wiechliny łąkowej w runi mieszanek (od 9 do 12%) był zbyt mały aby wpłynąć w istotny sposób na jakość całego poletka.

WNIOSKI

1. Jakość odmiany wiechliny łąkowej odgrywała istotną rolę w początkowym okresie wegetacji trawnika w cieniu. W miarę upływu czasu zmiany zachodzące w runi a będące efektem m.in. współdziałania deficytu światła oraz chorób niwelowały różnice jakościowe pomiędzy odmianami oraz mieszankami z ich udziałem.
2. Różnica w średniej wartości ogólnego aspektu za lata 2008–2010 odmian wiechliny łąkowej z grupy I i II wynosząca 0,7 stopnia, przełożyła się na zaledwie 0,13 stopnia różnicy tej cechy w wypadku mieszanek skomponowanych z użyciem tych odmian. Tego typu różnica jest praktycznie niezauważalna dla przeciętnego użytkownika.
3. Optymalne warunki oświetlenia dla wegetacji wiechliny łąkowej w cieniu drzew lipy drobnolistnej występują w dni słoneczne oraz przy długości dnia powyżej 700 minut.

W dni pochmurne nie jest możliwe osiągnięcie optymalnych warunków świetlnych dla rozwoju wiechliny łąkowej w cieniu.

LITERATURA

- Baker S. W. 1995. The effects of shade and changes in microclimate on the quality of turf at professional football club. I. Questionnaire survey. J. Sports Turf Res. Inst. Vol. 71: 66 — 73.
- Beard J. B. 1965. Factors in the adaptation of turf grasses to shade. Agronomy Journal 57: 457 — 459.
- Beard J. B. 1969. Turfgrass shade adaptation. In: Proceedings of The First International Turfgrass Conference, International Turfgrass Society and Sports Turf Research Institute, Bingley, Yorkshire, England, UK: 273 — 282.
- Bell G. E., Danneberger T. K., McMahon M. J. 2000. Spectral irradiance available for turfgrass growth in sun and shade, Crop Sci. vol. 40, no. 1: 189 — 195.
- Brede D. 2000. Turfgrass Maintenance Reduction Handbook: Sports, Lawns and Golf. Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan, USA: 374.
- Brede D. 2004. Blending Kentucky Bluegrass cultivars of different quality performance levels. Crop Sci. 44: 561 — 566.
- Cockerham S. T., Ries S. B., Riechers G. H., Gibeault V. A. 2002. Turfgrass growth under restricted light: growth chamber studies. California Turfgrass Culture. Vol. 52, Nr. 3–4.: 14 — 19.
- Dembek R., Łyszczarz R., Żurek G., Majtkowski W. 2004. Ocena przydatności gatunków traw i motylkowatych do mieszanek nasiennych na wały przeciwpowodziowe. Łąkarstwo w Polsce 8: 45 — 54.
- Dudeck A.E., Peacock C.H. 1992. Shade and turfgrass culture. In: Waddington D. V., Carrow R. N., Shearman R. C. (ed.). Turfgrass. No. 32 Series Agronomy. Am. Soc. of Agronomy, Crop Sci. Soc. of America, Soil Sci. Soc. of America, Madison, Wisconsin, USA: 271 — 284.
- Falkowski M. 1982. Trawy Polskie. Wyd. PWRiL. Warszawa: 563.
- Fresenburg B. S. 1999. Grasses in Shade: Establishing and Maintaining Lawns in Low Light. University of Missouri: 1 — 2.
- Funk C. R. 1980. Perspectives in Turfgrass Breeding and Evaluation. In: Sheard R. W. (ed.) Proceedings of the Fourth International Turfgrass Research Conference, International Turfgrass Society and Ontario Agricultural College, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada, 19–23 July 1980: 3 — 10.
- Fry J., Huang B. 2004. Applied turfgrass science and physiology. John Wiley & Sons. Inc. Hoboken, New Jersey: 310.
- Gutkowska A., Pawluśkiewicz B. 2006. Wpływ nasłonecznienia na występowanie traw w starych parkach na przykładzie zespołu pałacowo-ogrodowego w Falentach. Zesz. Nauk. Uniw. Przyrodniczego we Wrocławiu nr 545: 103 — 110.
- Huff D. R. 2003. Kentucky Bluegrass. In: Casler M. D., Duncan R. R. (ed.) Turfgrass Biology, Genetics, and Breeding. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey: 27 — 38.
- Huff D. R. 2010. Bluegrasses. In: Boller B., Posselt U., Veronesi F. (ed.) Fodder Crops and Amenity Grasses. Handbook of Plant Breeding vol 5. Springer Science + Business Media: 345 — 379.
- McBee, G. G. 1969: Association of certain variations in light quality with the performance of selected turfgrasses. Crop Sci. 9: 14–17.
- Newell A. J., Hart-Woods J. C., Woode A. D. 1999. Effects of four different levels of shade on performance of tree grass mixtures for use in lawn tennis courts. Journal of Turfgrass Science Vol. 75: 82 — 88.
- Prończuk S. 1993. System oceny traw gazonowych. Biul. IHAR 186: 127 — 131.
- Prończuk M. 2000. Choroby traw — występowanie i szkodliwość w uprawie na nasiona i użytkowaniu trawnikowym. Monografie i Rozprawy Naukowe IHAR, nr 4: 184.
- Prończuk S., Prończuk M., Żyłka D., Żebrowski J. 2001. Reakcja traw gazonowych na zacienienie. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. z. 474: 91 — 101.
- Prończuk M., Prończuk S. 2006. Cechy użytkowe odmian *Poa pratensis* przeznaczonych na trawniki zacienione. Zesz. Nauk. UP, Wrocław, Rolnictwo LXXXVIII, 545: 229 — 239.

- Prończuk M., Prończuk S. 2008. Ocena przydatności odmian i ekotypów wiechliny łąkowej (*Poa pratensis*) na trawniki niskonakładowe (ekstensywne). Biul. IHAR 248: 147 — 159.
- Prończuk S., Żurek G. 2008. The effect of different environmental conditions on visual merit of turf grasses. Plant Breed. and Seed Sci. 57: 35 — 44.
- Reicher Z., Throssell C. 1998. Improving Lawns In the Shade. Purdue University Indiana (7).
- SAS Institute Inc. 2004 a. SAS 9.1 Companion for Windows. Cary, NC, USA, SAS Publishing, SAS Institute Inc.
- SAS Institute Inc. 2004 b. SAS/STAT 9.1 User's Guide. Cary, NC, USA, SAS Publishing, SAS Institute Inc.
- Stier J. C., Gardner D. S. 2007. Shade stress and management. In: Pessaraki M. (ed.). Handbook of Turfgrass Management and Physiology. CRC Press, Taylor & Francis Group. Boca Raton, London, New York, 447 — 471.
- Vargas, J. M., Beard, J. B. 1981. Shade environment-disease relationships of Kentucky bluegrass cultivars. In: Sheard R. W. (ed.) Proceedings of the Fourth International Turfgrass Research Conference. International Turfgrass Society and Ontario Agricultural College, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada, 19–23 July 1980: 391 — 395.
- Wedin W. F., Huff D. R. 1996. Bluegrasses. W: Moser L. E., Buxton D. R., Casler M. D. (ed.) Cool-Season Forage Grasses. ASA, CSSA, SSSA, Madison, USA, Agronomy Monograph no.34: 665 — 690.
- Wherley B. G., Gardner D. S., Metzger, J. D. 2005. Tall fescue photo morphogenesis as influenced by changes in the spectral composition and light intensity, Crop Sci. 45: 562 — 568.
- Wilkinson J. F., . Beard J. B. 1974: Anatomical Responses of 'Merion' Kentucky Bluegrass and 'Pennlawn' Red Fescue at Reduced Light Intensities. Crop Sci. Vol. 15 No. 2: 189 — 194.
- Wysocki Cz. 1994. Studia nad funkcjonowaniem trawników na obszarach zurbanizowanych (na przykładzie Warszawy). Wyd. SGG W. Warszawa: 95.

REGINA JANAS

Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach

Wpływ środków biologicznych o różnych mechanizmach działania na metabolizm roślin i jakość nasion rakiety siewnej

The influence of biological compounds with different mechanisms of action on the metabolism of plants and seed quality of garden rocket

Problemem współczesnego rolnictwa jest stopniowe przestawianie dotychczasowego systemu produkcji roślin na ekologiczny, introdukcja nowych gatunków o walorach leczniczych i właściwościach antymikrobiologicznych oraz allelopatycznie dodatnio oddziałujących na środowisko i inne rośliny. Jest to niezbędny warunek ochrony środowiska i zdrowia człowieka. Wśród wielu introdukowanych gatunków roślin o walorach prozdrowotnych coraz większą popularność w naszym kraju zyskuje rakieta siewna (*Eruca sativa* Miller), w świecie znana i szeroko rozpowszechniona jako gatunek o wysokiej zawartości składników bioaktywnych i szerokich możliwościach wielokierunkowego wykorzystania. Celem badań było określenie wpływu środków biologicznych o różnych spektrach działania na metabolizm roślin oraz plon i jakość nasion rakiety siewnej (*Eruca sativa*). Badania prowadzono na polu doświadczalnym Instytutu Ogrodnictwa w Skierniewicach w latach 2009–2011. W uprawach rakiety siewnej na nasiona stosowano środki biologiczne o różnych mechanizmach działania aplikowanych donasiennie, dolistnie i/lub doglebowo. Oceniono ich skuteczność i wpływ na ontogenezę roślin, przebieg procesów fizjologicznych, zdrowotność oraz plon otrzymanych z nich nasion. Wykazano, że przedsiewne biokondycjonowanie nasion w preparacie Nano Gro oraz dolistna aplikacja preparatu Tytanit stosowanego z częstotliwością co 14 dni począwszy od fazy rozety liściowej do początku zawiązywania nasion powodowały wzrost odporności roślin na choroby i niekorzystne warunki klimatyczne, indukację procesów metabolicznych i poprawę wigoru roślin. Preparat EM stosowany doglebowo wpływał na wzrost plonu reprodukowanych nasion i ich jakość.

Słowa kluczowe: nasiona, rakieta siewna, środki biologiczne, metabolizm

The problem of modern agriculture is the gradual adjustment to ecological system of plant production, introduction of new species with medical, antimicrobial and allelopathic properties as well as positively affecting the environment and other plants. This is a necessary condition to protect the environment and human health. Among the many species of introduced plants with promedical properties, garden rocket (*Eruca sativa*) becomes more and more popular in our country. It is a world-known and widely distributed as a species with a high content of bioactive components and wide possibilities of usage. The aim of this study was to develop the ecological method of garden rocket production and to improve the quality of seeds. The study was conducted in the field in Research Institute of Horticulture in Skierniewice in 2009–2011. Seed, foliar and soil application were used with

various compounds of different mechanisms of action. Their effectiveness and impact on the ontogeny of plants, physiological processes, health status and yield of obtained seeds were evaluated. It was shown that presowing bioconditioning of seeds with Nano Gro and foliar application of Tytanit used every 14 days from the stage of leaf rosette to the beginning of seeds setting resulted in an increase of plant resistance to diseases and adverse climatic conditions, induction of metabolic processes and improvement of plant vigour.

Key words: biological compounds, garden rocket, seeds, metabolism

WSTĘP

Utrwalające się w skali światowej przekonanie o pozytywnym oddziaływaniu bioróżnorodności rolniczej na jakość żywności, a tym samym na zdrowie i bezpieczeństwo konsumentów obliguje do upowszechniania wiedzy o wartości żywieniowej nowych lub mało rozpowszechnionych gatunków roślin o cennych właściwościach prozdrowotnych oraz wprowadzania ich do upraw. Wykorzystanie potencjału biochemicznego i analiza nowych gatunków roślin pod względem zawartości składników bioaktywnych pozwoli na poszerzenie zaplecza surowców do produkcji prozdrowotnej żywności, probiotyków, naturalnych preparatów zastępujących syntetyczne dodatki do żywności oraz biofarmaceutyków.

Biorąc pod uwagę problemy współczesnego rolnictwa w aspekcie m.in. ochrony środowiska i stopniowej zmiany dotychczasowego systemu produkcji roślin na ekologiczny, introdukcja nowych gatunków o walorach leczniczych i właściwościach antymikrobiologicznych oraz allelopatycznie dodatnio oddziałujących na środowisko i inne rośliny jest bardzo korzystna.

Takie kryteria spełnia gatunek — rakieta siewna (*Eruca sativa* Miller) znana w Polsce dotychczas głównie jako roślina sałatkowa. Jest to roślina jednoroczna z rodziny *Brassicaceae*. Z doniesień literatury światowej wynika, że roślina ta należy do perspektywicznych gatunków o znaczącym potencjale biochemicznym i ma szereg właściwości prozdrowotnych. (Jirovetz i in., 2002; Magrath i Mithen, 1997; Miyazawa i in., 2002; Morales i Janick, 2002; Lazzeri i in., 2004). Cenną jej właściwością jest produkcja nasion o wysokich walorach użytkowych i leczniczych (Zhang i in., 1992; Fernald, 1993; Philips i Rix, 1995; Hanafi i in., 2010). Ze względu na skład biochemiczny mogą one być wykorzystywane w przemyśle farmaceutycznym, kosmetycznym, spożywczym i maszynowym. Roślina w uprawach polowych oddziałuje allelopatycznie dodatnio na wiele gatunków roślin uprawnych, jest rośliną fitosanitarną, a wyciągi sporządzane z roślin i nasion oddziałują przeciwbakteryjnie i grzybobójczo (Gulfranz i in., 2011).

Celem badań jest określenie wpływu środków biologicznych o różnych spektrach działania na metabolizm roślin oraz plon i jakość nasion rakiety siewnej (*Eruca sativa*).

MATERIAŁ I METODY

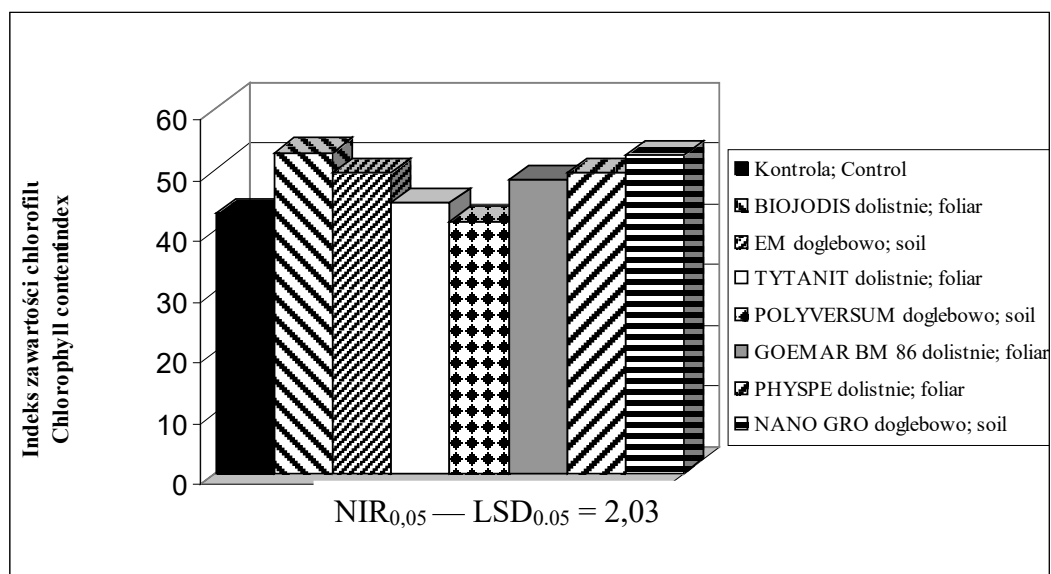
Badania prowadzono w latach 2009–2011 na polu doświadczalnym Instytutu Ogrodnictwa w Skierniewicach. Materiałem do badań były rośliny i nasiona rakiety

siewnej. Doświadczenie prowadzono w układzie bloków losowanych, w 3 powtórzeniach. Powierzchnia poletek wynosiła 9,2 m². W uprawach nasiennych rakiety siewnej testowano środki biologiczne o różnych mechanizmach działania oraz różne sposoby aplikacji: biostymulator wzrostu — Tytanit (ekologiczny kompleksom tytanu) — stosowany dolistnie, ulepszasz glebowy EM (na bazie mikroorganizmów z różnych grup systematycznych) — aplikowany doglebowo, Biojodis — ulepszasz glebowy i stymulator (na bazie aktywnego jodu) — stosowany dolistnie, Polyversum — środek mikrobiologiczny doglebowy i donasienny (na bazie grzyba antagonistycznego *Pytium oligandrum*), Goemar BM 86 nawóz (na bazie alg morskich) — stosowany dolistnie, Physpe biologiczny środek ochrony roślin (na bazie laminarny) — aplikowany dolistnie, Nano Gro organiczny stymulator wzrostu roślin — preparat donasienny i doglebowy (na bazie oligosacharydów). Preparaty stosowano zgodnie z zaleceniami producenta. Oceniono ich skuteczność i wpływ na ontogenezę roślin, przebieg procesów fizjologicznych, oraz plon i jakość otrzymanych z nich nasion. (zmieniono zgodnie z sugestią recenzenta) Zawartość chlorofilu w roślinach rakiety siewnej mierzono za pomocą aparatu do pomiaru indeksu chlorofilu Chlorophyll Meter SPAD-502, współczynniki wymiany gazowej w liściach roślin, takie jak : intensywność fotosyntezy w liściach, przewodność szparkową, intensywność transpiracji, stężenie CO₂, mierzono za pomocą aparatu do pomiaru fotosyntezy TPS-2 firmy PP System (USA). Parametry jakości nasion : energię i zdolność kiełkowania oceniano na kiełkownikach Jacobsena zgodnie z wymogami ISTA. Wyniki opracowano statystycznie metodą analizy wariancji na poziomie istotności 5%.

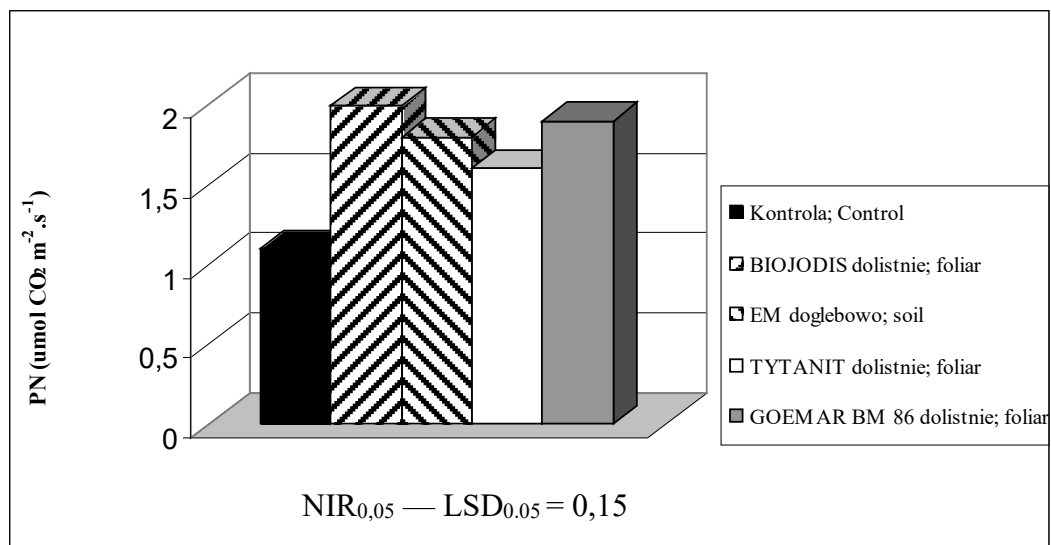
WYNIKI I DYSKUSJA

Zastosowane w ekologicznych uprawach nasiennych rakiety siewnej środki biologiczne istotnie wpływały na wzrost i rozwój roślin nasiennych, metabolizm roślin oraz plon i jakość reprodukowanych nasion. Skuteczność preparatów była różna w zależności od rodzaju środka i sposobu aplikacji, jak również fazy wegetacji roślin. Pomiaru wymiany gazowej roślin wykonano na początku i pod koniec wegetacji roślin (przed zbiorem) wskazując, iż w zależności od stopnia zaawansowania wzrostu roślin oraz rodzaju preparatu i sposobu jego aplikacji odnotowano różne wartości i zależności między poszczególnymi współczynnikami: intensywnością fotosyntezy (Pn) i transpiracji (E), przewodnictwem szparkowym (Gs) oraz stężeniem międzykomórkowego dwutlenku węgla (Ci). Po zastosowaniu wyżej wymienionych środków biologicznych wzrastała zawartość chlorofilu w roślinach w porównaniu z obiektami nie traktowanymi (kontrola) (rys. 1). Preparat Biojodis i Goemar BM 86 stymulowały proces fotosyntezy w roślinach, w wyniku tego intensywność fotosyntezy w liściach w obiektach traktowanych wymienionymi środkami była wyższa w porównaniu do kontroli (nie traktowanej) oraz obiektów, w których stosowano pozostałe środki (rys. 2). Aplikacja doglebowa preparatu EM i dolistna Tytanitu powodowała wzrost przewodności szparkowej w liściach roślin rakiety siewnej, natomiast dolistne dokarmianie preparatem Goemar BM 86 wzmacniało intensywność transpiracji w liściach (rys. 3). Stężenie CO₂ w liściach było najwyższe po dolistnej aplikacji preparatu

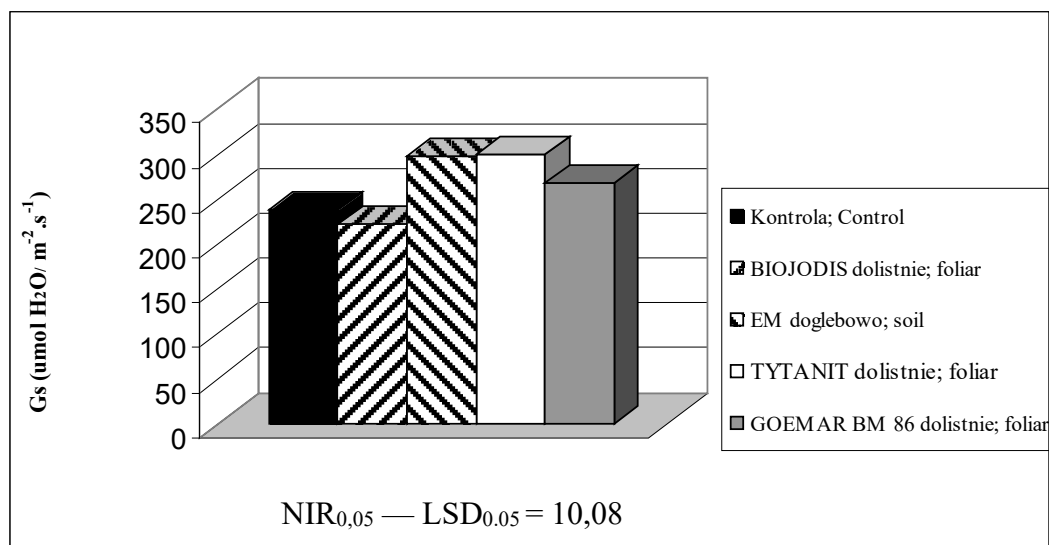
Biojodis i doglebowej EM (rys. 4). Wymienione preparaty wpływały również najkorzystniej na plon nasion z rośliny i jednostki powierzchni.



Rys. 1. Wpływ aplikacji środków biologicznych na zawartość chlorofilu w roślinach rakiety siewnej
Fig. 1. Effect of biological compounds application on chlorophyll content in plants of garden rocket

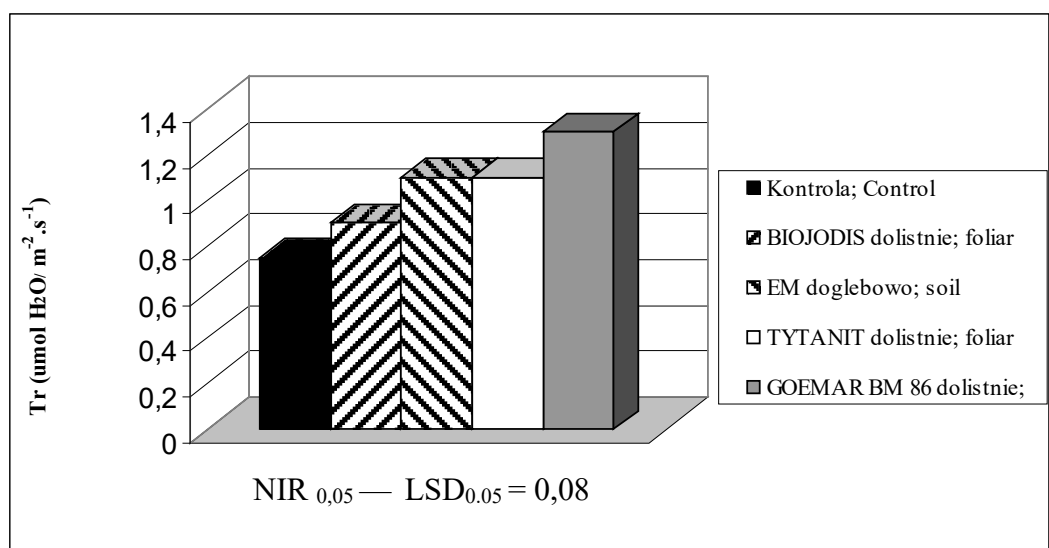


Rys. 2. Wpływ aplikacji środków biologicznych na intensywność fotosyntezy w liściach roślin rakiety siewnej
Fig. 2. Effect of biological compounds application on photosynthesis activity in leaves of garden rocket



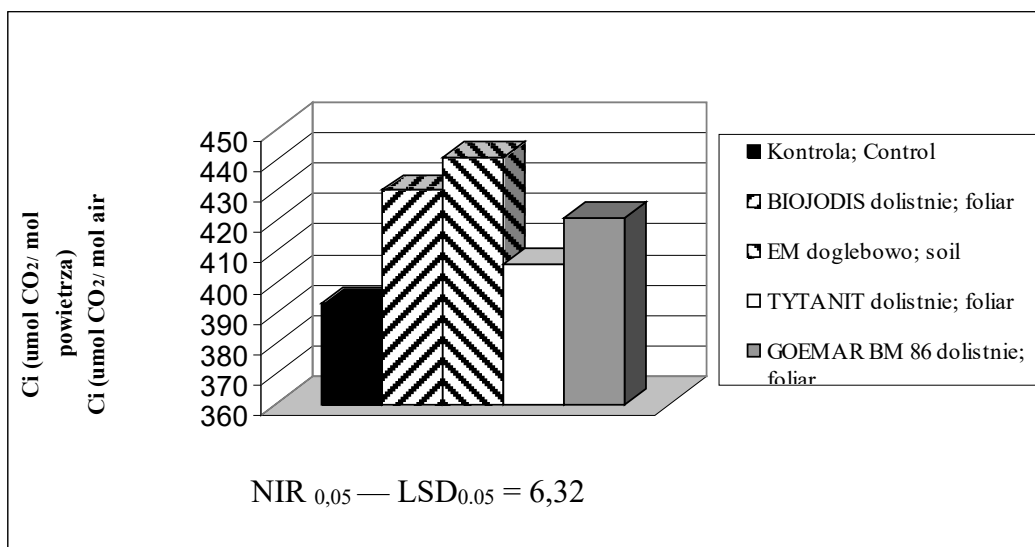
Rys. 3. Wpływ aplikacji środków biologicznych na przewodność szparkową w liściach roślin rakiety siewnej

Fig. 3. Effect of biological compounds application on stomatal conductance in leaves of garden rocket



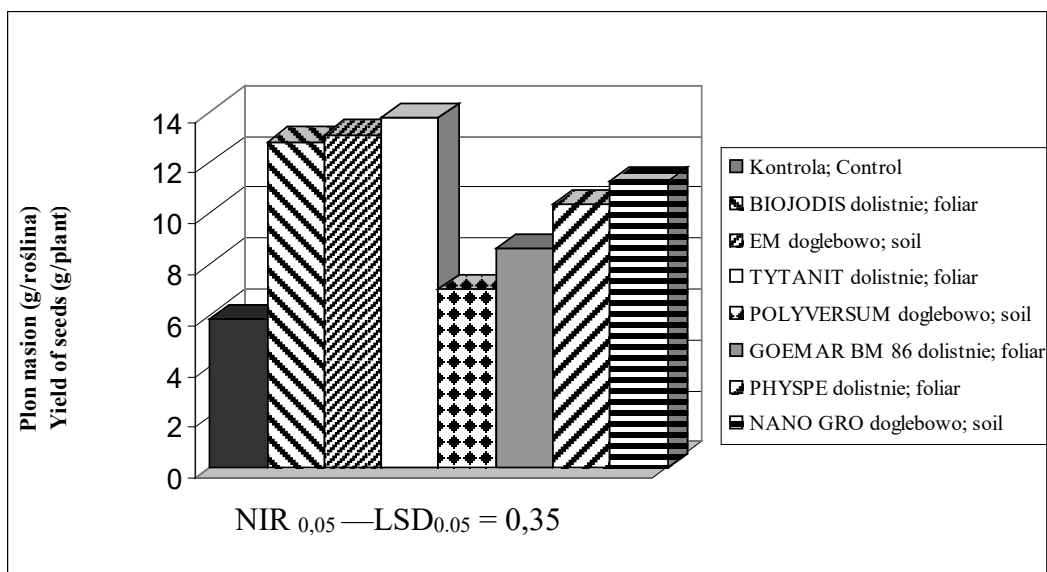
Rys. 4. Wpływ aplikacji środków biologicznych na intensywność transpiracji w liściach roślin rakiety siewnej

Fig. 4. Effect of biological compounds application on transpiration intensity in leaves of garden rocket

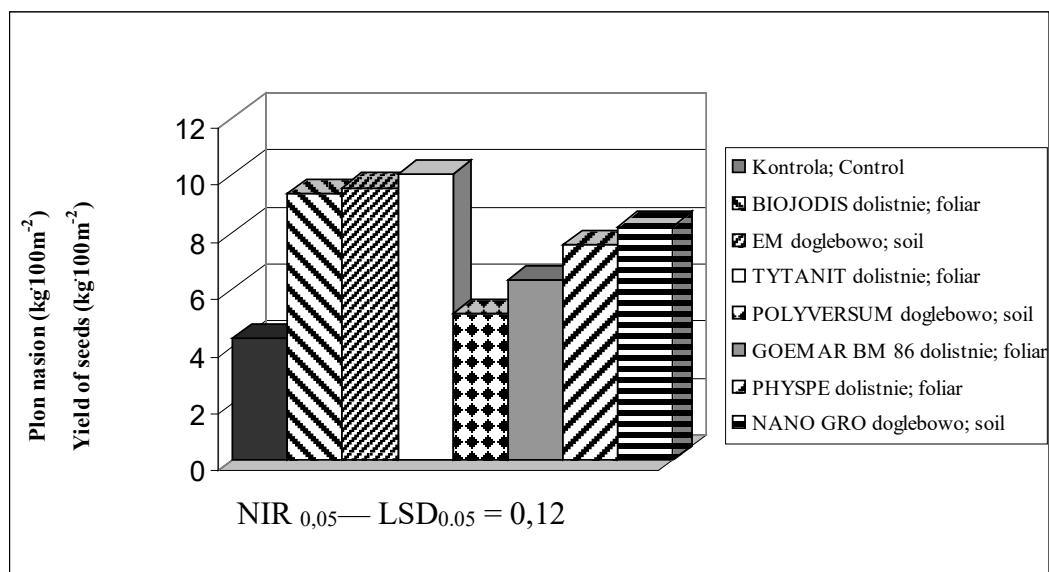


Rys. 5. Wpływ aplikacji środków biologicznych na stężenie CO₂ w liściach roślin rakiety siewnej
 Fig. 5. Effect of biological compounds application on CO₂ concentration in leaves of garden rocket

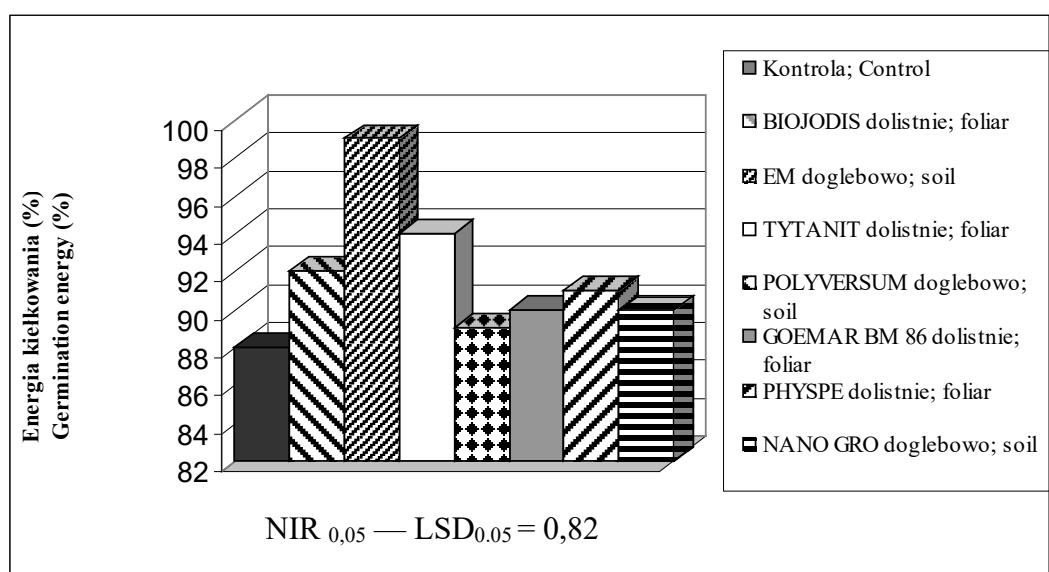
Najwyższy plon nasion z rośliny i z jednostki powierzchni uzyskano po dolistnej aplikacji preparatu Tytanit i doglebowej aplikacji preparatu EM (rys. 6 i 7).



Rys. 6. Wpływ aplikacji środków biologicznych na plon nasion z rośliny
 Fig. 6. Effect of biological compounds application on seed yield per plant

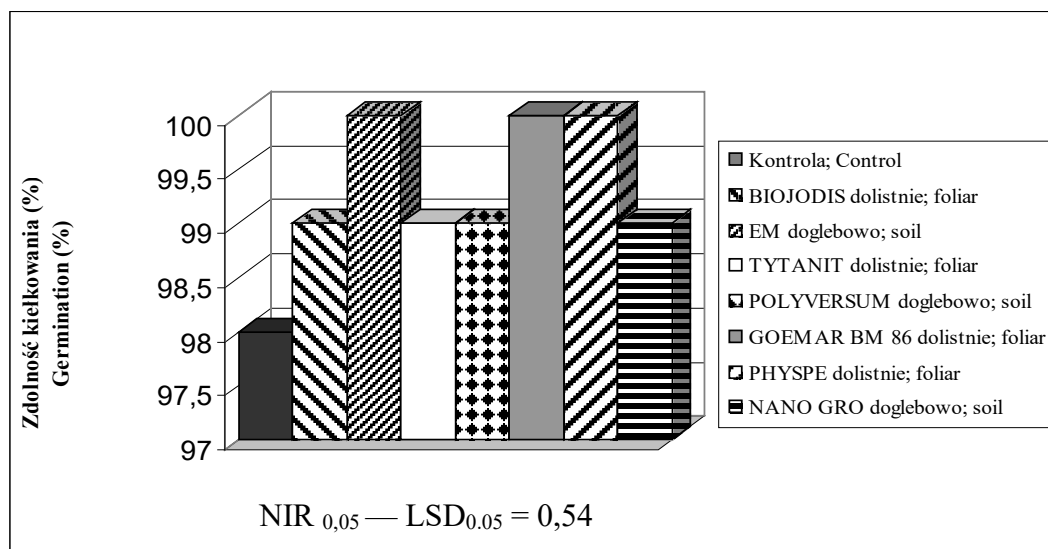


Rys. 7. Wpływ aplikacji środków biologicznych na plon nasion rakiety siewnej
Fig. 7. Effect of biological compounds application on seed yield of garden rocket



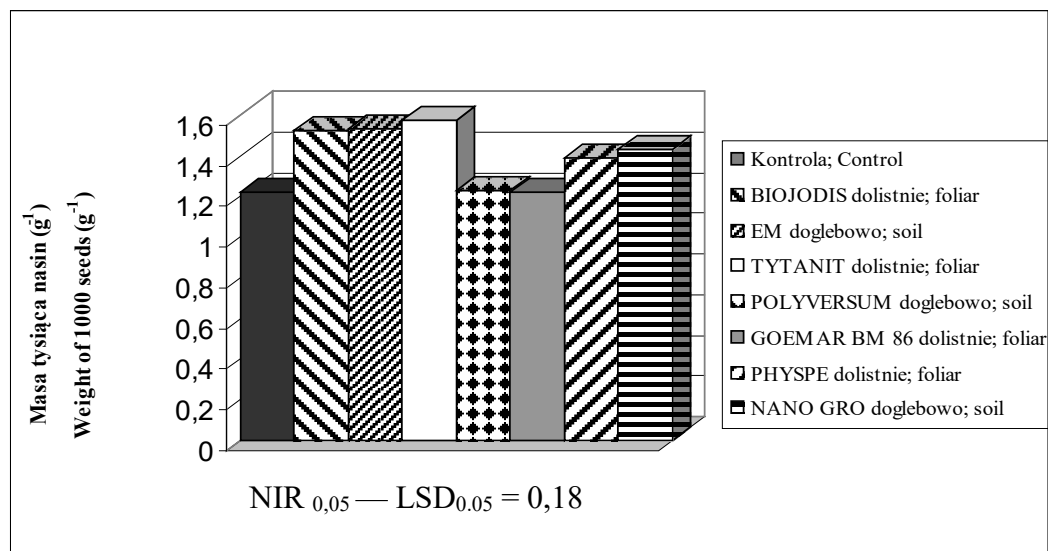
Rys. 8. Następczy wpływ aplikacji środków biologicznych na energię kielkowania nasion rakiety siewnej
Fig. 8. Effect of biological compounds application on germination energy of garden rocket seeds

Zastosowane w uprawach nasiennych rakiety siewnej środki biologiczne odznaczały się wysoką skutecznością w aspekcie poprawy parametrów jakości reprodukowanych nasion (energii i zdolności kiełkowania, masy tysiąca nasion) (rys. 8, 9 i 10).



Rys. 9. Następczy wpływ aplikacji środków biologicznych na zdolność kiełkowania nasion rakiety siewnej

Fig. 9. Effect of biological compounds application on germination percentage of garden rocket seeds



Rys. 10. Następczy wpływ aplikacji środków biologicznych na masę tysiąca nasion rakiety siewnej

Fig. 10. Effect of biological compounds application on weight of 1000 seeds of garden rocket

Brak jest odnośnych wyników w dostępnej literaturze. Nieliczne prace w zakresie produkcji nasion rakiety siewnej dotyczą niskiej zdolności kiełkowania nasion związanej prawdopodobnie z terminem zbioru, wrażliwością na stres wodny, słabym przechowywaniem (Pignone, 1997; Sakcali i Serin, 2009). Przeprowadzone badania potwierdzają wyniki uzyskane przez Janas i Grzesika (2011) oraz Janas i współpracowników (2011) dotyczące prozdrowotnych i warzywnych gatunków roślin. Autorzy ci wskazują również na istotny wpływ środków biologicznych na ontogenezę roślin nasiennych, plon i jakość nasion.

WNIOSKI

1. Stosowane w pracy środki biologiczne o różnych mechanizmach działania w uprawach rakiety siewnej na nasiona charakteryzują się wysoką skutecznością i stymulują odporność roślin na choroby i niekorzystne warunki uprawy.
2. Preparaty Tytanit, Biojodis i Goemar BM 86 aplikowane dolistnie w uprawach rakiety siewnej na nasiona indukują procesy fizjologiczne roślin i poprawiają ich wigor
3. Najlepszym plonotwórczym oddziaływaniem odznaczają się preparaty Tytanit (aplikacja dolistna) i EM (aplikacja dogłębowa).
4. W wyniku traktowania roślin nasiennych wymienionymi preparatami uzyskuje się wysokiej jakości materiał siewny.

LITERATURA

- Fernald M. L. 1993. Gry's manual of botany. 1st Edn. 2 Dioscorides Press. Portland Oregon. 709.
- Gulfraz M., Sadiq A., Tariq H., Imran M., Qureshi R., Zeenat A. 2011. Phytochemical analysis and antibacterial activity of *Eruca sativa* seed. Pak. J. Bot., 43,2: 1351 — 1359.
- Hanafi E. M., Hegazy E. M., Riad R. M., Amer H. A. 2010. Bio-protective effect of *Eruca sativa* seed oil against the hazardous effect of aflatoxin B1 in male-rabbits. Int. J. of Acad. Research. Vol. 2, 2: 67 — 74.
- Janas R., Grzesik M. 2011. Skuteczność wybranych preparatów biologicznych w uprawach ekologicznych roślin prozdrowotnych na nasiona. J. Research and Applic. in Agric. Engineering. Poznań, 56 (3): 152 — 157.
- Janas R., Sobolewski J., Robak J. 2011. Skuteczność wybranych środków biologicznych i chemicznych stosowanych w uprawach pietruszki na nasiona. Mat. Syp. Nauk. „Zdrowe rośliny — zdrowi ludzie”. 20-22.IX. 2011 Bydgoszcz: 246 — 248.
- Jirovetz L., Smith D., Buchbauer G. 2002. Aroma Compounds analysis of *Eruca sativa* (Brassicaceae) SPME headspace leaf samples using GC, GC-MS, and olfactometry. J. Agric. Food Chem. 50: 4643 — 4646.
- Magrath R., Mithen R. 1997. How do we use *Eruca* to improve *Brassica* crops. In: Padulosi S and Pignone D (eds.). Rocket a Mediterranean crop for the world. Report of Workshop 13-14.12.1996. Legnaro (Padova). Italy. 23 — 24.
- Miyazawa M., Maehara T., Kurose K. 2002. Composition of the essential oil from the leaves of *Eruca sativa*. Flavour and Fragrance Journal 17: 187 — 190.
- Morales M., Janick J. 2002. Arugula: A promising specialty leaf vegetable,. In: J. Janick and A. Whipkey (eds.), Trends in new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria,VA. 418 — 423.
- Lazzeri L., Errani M., Leoni O., Venturi G. 2004. *Eruca sativa* spp. Oleifera: a new non-food crop. Ind. Crops and Prod. 20: 67 — 73.
- Philips R., Rix M. 1995. Vegetables. Macmillan Reference Books. London ISBN 0-333-62640-0.

- Pignone D. 1997. Present status of rocket genetic resources and conservation activities. In: S. Padulosi and D. Pignone (eds.), Rocket: A Mediterranean crop for the world. Report of a workshop 13–14 Dec. 1996, Legnaro (Padova), Italy. Int. Plant Genetic Resources Inst., Rome, Italy.: 2 — 12.
- Sakcali M. S., Serin M. 2009. Seed germination behaviour of *Diplotaxis tenuifolia*. EurAsia J. BioSci. 3: 107 — 112.
- Zhang Y., Talalay P., Cho C., Postner G. 1992. A major inducer for anticarcinogenic protective enzyme from broccoli: Isolation and elucidation of structure. Proc. Natl. Academy Sci. USA 89: 2399 — 2403.

MARIAN FLISKatedra Zoologii, Ekologii Zwierząt i Łowiectwa
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Profilaktyka w zakresie szkód wyrządzanych przez zwierzęta dzikie w uprawach rolniczych

Prophylaxis against damages made by wild animals in crops

Celem pracy było przedstawienie zagadnień związanych z metodami profilaktyki w zakresie ograniczania szkód łowieckich, wyrządzanych przez zwierzynę w uprawach rolniczych. Profilaktykę tą stosować winni dzierżawcy lub zarządcy obwodów łowieckich w porozumieniu i współpracy z potencjalnie poszkodowanymi posiadaczami upraw. W zakresie technicznych aspektów działań profilaktycznych, wyodrębnia się trzy grupy metod: ekologiczne, mechaniczne i chemiczne. Grupa metod ekologicznych prowadzi do właściwego dostosowania liczebności i struktur populacyjnych zwierząt do możliwości troficznych siedlisk, w których one przebywają, jak również obejmuje wszelkie działania zmierzające do poprawy warunków żerowych. W dwóch pozostałych grupach metod, główna zasada działań profilaktycznych polega na ograniczaniu dostępu zwierzyny do potencjalnie zagrożonych upraw. W metodach tych wykorzystywane są różnego rodzaju grodzienia i pastuchy lub tzw. repelenty, które mają skutecznie odstraszać, a przez to uniemożliwić żerowanie zwierząt w uprawach rolniczych. Wszystkie wymienione działania profilaktyczne przynoszą efekty pod warunkiem terminowego, a w niektórych przypadkach (głównie metody mechaniczne) również solidnego ich wykonania i monitorowania.

Słowa kluczowe: dzik, ochrona upraw, szkoda łowiecka, uprawy rolnicze

The aim of the research was to present the issues associated with prophylaxis methods for reducing the damages made by wild animals in crops. The prophylaxis should be applied by tenants or managers of hunting circles in cooperation with potential victims of crop damages. Considering the technical aspects of the prophylaxis procedures, three method groups can be distinguished: ecological, mechanical, and chemical. The group of ecological methods leads to a proper adaptation of the number and population structure of animals to the trophic capabilities of their habitats, as well as it includes all activities improving the feeding conditions. Within two other groups of methods, the main principle of the prophylaxis depends on limiting the animals' access to potentially endangered crops. These methods involve different types of fences or so-called "repellents" that are supposed to efficiently repel, hence making impossible for animals to feed in crops. All above prophylaxis activities are effective if they are carried out on time and in some cases (mainly for mechanical methods) scrupulously and under monitoring.

Key words: damages, agricultural cultivations, cultivations protected, wild boar

WSTĘP

Interakcje zwierząt dzikich i środowiska, nieodłącznie związane są z różnokierunkowym, najczęściej negatywnym oddziaływaniem zwierząt na biotopy, w których one żyją. Na przełomie ostatnich lat obserwowane jest zjawisko gwałtownego wzrostu uszkodzeń zróżnicowanych upraw polowych, których sprawcą są dzikie zwierzęta. Fakt ten tłumaczony jest głównie wzrostem liczebności dużych ssaków roślinożernych, jak również dzików będących podstawowym gatunkiem wyrządzającym szkody w uprawach rolniczych (Szukiel, 2001; Flis, 2009; Flis, 2010 a). Jednocześnie interakcje te potęgowane są dość intensywnymi, w niektórych rejonach kraju, zmianami biotopów zwłaszcza agrocenoz, zarówno pod względem struktury krajobrazu, struktury zasiewów, jak również intensyfikacji rolnictwa (Flis, 2009 a; Sporek, 2009; Flis, 2011).

Zwierzęta dzikie należące do grupy zwierząt łownych, w świetle ustawy stanowią dobro ogólnonarodowe, którego prawnym właścicielem jest działający w imieniu społeczeństwa — Skarb Państwa. W przypadku szkód wyrządzanych przez wymienione w ustawie gatunki zwierząt łownych, podmiotem odpowiedzialnym za ich wynagradzanie są dzierżawcy lub zarządcy obwodów łowieckich, na których one wystąpiły. Uwarunkowane jest to faktem scedowania zadań w zakresie łowiectwa na te podmioty, które swe ustawowe zadania realizują w administracyjnie wydzielonych terenach, będących przedmiotem dzierżawy lub ewentualnego zarządzania. W przypadku szkód wyrządzanych przez inne gatunki lub szkód powstałych w terenach niewchodzących w skład obwodów łowieckich, odpowiedzialność za nie ponosi prawny właściciel zwierzyny tj. Skarb Państwa, reprezentowany przez odpowiednie podmioty prawne (Flis, 2008 a; Flis, 2008 b; Flis, 2010 b; Ustawa — Prawo łowieckie).

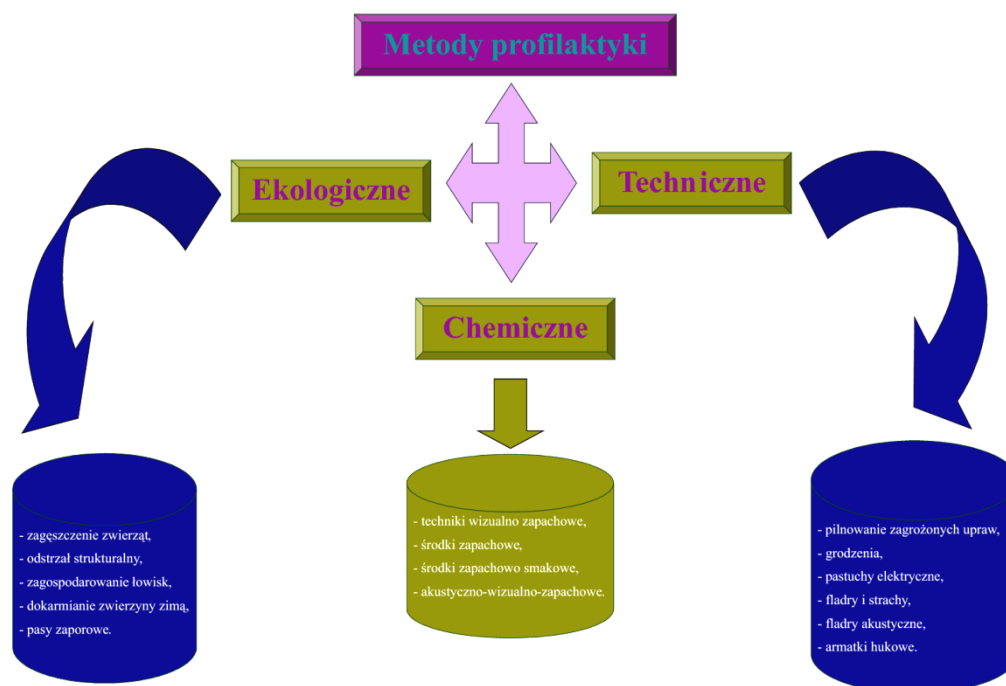
Dzierżawcy lub zarządcy obwodów łowieckich, będąc organem odpowiedzialnym za wynagradzanie szkód powstałych w uprawach i płodach rolnych, a wyrządzonych przez jelenie, łosie, daniela, sarny i dziki oraz powstałych podczas wykonywania polowania, podejmują szereg inicjatyw zapobiegawczych związanych z zabiegami mającymi na celu ograniczenie lub wyeliminowanie tego typu szkód. Jednocześnie w zakresie działań profilaktycznych, ustawodawca obciążył potencjalnie poszkodowanych rolników, obowiązkiem współpracy z myśliwymi w zakresie ochrony gruntów przed szkodami, pod rygorem niemożności otrzymania ewentualnego odszkodowania (Kościelniak, 2009; Flis i Nowacki, 2011).

METODY PROFILAKTYKI

Wszystkie działania profilaktyczne w tym zakresie, opierają się na stosowaniu metod mających na celu ograniczanie liczebności zwierząt oraz dostępności dla zwierzyny najbardziej narażonych upraw tj. tych położonych w bezpośrednim sąsiedztwie lasu lub zlokalizowanych na trasach migracji zwierząt. Ograniczenia te odbywają się z zastosowaniem najróżniejszych metod i technik. Najogólniej metody przeciwdziałania powstawaniu szkód dzieli się na 3 grupy (rys. 1):

— metody biologiczne (ekologiczne),

- metody techniczne (mechaniczne),
- metody chemiczne.



Rys. 1. Grupy metod profilaktycznych w zakresie ograniczania szkód od zwierzyny w uprawach rolniczych

Fig. 1. Groups of prophylaxis methods for reduction of damages made by wild animals in crops

METODY EKOLOGICZNE

Pierwsza grupa metod opiera się na sterowaniu liczebnością oraz strukturami populacyjnymi zwierząt dzikich, w celu dostosowania lokalnych zagęszczeń do możliwości troficznych siedlisk. W ostatnich latach obserwowane jest zjawisko gwałtownego niemal wzrostu liczebności populacji dzików. O ile wiosną 2005 roku liczebność populacji tego gatunku, w obwodach dzierżawionych przez PZŁ szacowana była na 152,4 tys. osobników, to wiosną 2010 roku stan ten szacowany był na 227 tys. zwierząt (Budny i in., 2010). Ograniczanie nadmiernie rozwijających się populacji dzików, będących głównym sprawcą szkód, oparte winno być na corocznej inwentaryzacji liczebności tego gatunku, jak również ustaleniem przyrostu zrealizowanego. W ostatnich latach potencjał rozrodczy populacji tego gatunku znacznie wzrósł, co ściśle powiązane jest z intensyfikacją rolnictwa, jak również coraz powszechniejszym występowaniem upraw kukurydzy, będących źródłem wysokoenergetycznego żeru dla dzików (Kozdrowski

i Dubiel, 2004; Flis, 2009 a). W związku z tym ustalenie wielkości łowieckiej eksploatacji tego gatunku, wydaje się być podstawowym elementem profilaktyki w zakresie szkód przez niego wyrządzanych. Na podstawie danych łowieckiej eksploatacji populacji tego gatunku wnioskować można, że obecnie, pozyskanie dzików na poziomie 150–200% wiosennego stanu liczebnego nie powinno wpływać ujemnie na funkcjonowanie populacji. Tym samym w przypadku nadmiernego zagęszczenia populacji, należy podejmować działania zmierzające do jej redukcji poprzez intensywny odstrzał wynikający z planu łowiecko hodowlanego, a w uzasadnionych przypadkach, po wcześniejszych uzgodnieniach dokonać ewentualnego zwiększenia planu pozyskania dzików, w aspekcie poziomu wyrządzanych przez nie szkód w danym terenie. Nadrzędnym celem w zakresie ograniczania wielkości szkód jest stosowanie odstrzału strukturalnego dzików, dążącego do pozyskiwania przynajmniej 80% osobników młodych tj. warchlaków i przelatków, będących głównym sprawcą szkód w uprawach rolniczych (Kamieniarz, 2010).

Dodatkowo grupa metod ekologicznych uwzględniać winna stosowanie odpowiedniego zagospodarowania obwodów łowieckich w zakresie właściwego ich urządzania. Działania te opierają się w głównej mierze zakładaniu i utrzymywaniu poletek łowieckich, zlokalizowanych wewnątrz kompleksów leśnych, odpowiednio zagospodarowanych w zakresie doboru roślin stanowiących atrakcyjną bazę żerową dla zwierzyny, a zwłaszcza dzików. Dość istotne w zakresie profilaktyki jest stosowanie pasów zaporowych zlokalizowanych wewnątrz kompleksów leśnych. Pasy takie sukcesywnie uzupełniane atrakcyjną dla dzików karmą zarówno soczystą jak i treściwą, a zwłaszcza ziarnem kukurydzy, skutecznie ograniczają szkody wyrządzane przez ten gatunek w przyleśnych uprawach rolniczych. Oprócz pasów zaporowych, dość wymierne efekty przynosi dokarmianie dzików wewnątrz kompleksów leśnych, na karmiskach i nęciskach łowieckich. Sukcesywne wykładanie nawet niewielkiej ilości karmy sprawia, że dziki większą część doby przebywają w kompleksie leśnym, a tym samym penetracja pól w poszukiwaniu pożywienia ulega ograniczeniu, a czasami zostaje na pewien okres wyeliminowana w ogóle (Szukiel, 2001; Okarma i Tomek, 2008).

METODY TECHNICZNE

Celem ograniczenia szkód wyrządzanych przez zwierzynę na polach, stosowane są równokierunkowe zabiegi techniczne zmierzające do ograniczenia penetracji pól. Jednym z takich zabiegów jest stała kontrola łowiska, celem zbierania informacji związanych z lokalizacją upraw najbardziej narażonych na szkody i wyznaczanie dyżurów myśliwych lub wynajętych stróżów, celem odstraszenia zwierzyny.

Innymi zabiegami w zakresie profilaktyki są często radykalne zabiegi w postaci ograniczania dostępu zwierzynie do pól uprawnych, poprzez zakładanie przeróżnych konstrukcji płotów. Z reguły ogrodzenia te budowane są z drewnianych żerdzi lub metalowych siatek. Przy stosowaniu tego typu działań profilaktycznych wielkość i sposób wykonania grodzenia należy dostosować do specyfiki gatunkowej zwierzyny wyrządzającej szkody. W niektórych rejonach kraju powszechnym zabiegiem profilaktycznym stają się grodzenia upraw fladrami lub tzw. pastuchami elektrycznymi, a

czasami zastosowanie znajdują obydwa te elementy równocześnie. W tej grupie profilaktyki stosowane są również specjalne urządzenia na sprężone powietrze, powszechnie nazywane armatkami hukowymi.

Fladry to z kolei niewielkiej wielkości fragmenty tkaniny, rozwieszone na sznurkach wokół zagrożonej uprawy. Elementy te swobodnie poruszają się na wietrze, przez co przyczyniają się do płoszenia podążających w kierunku uprawy zwierząt. Często w metodzie tej stosowane są również urządzenia akustyczne pod postacią puszek, butelek lub niewielkich fragmentów blachy. Wszystkie te elementy rozwieszone podobnie jak fladry na sznurkach wokół uprawy, wydając zróżnicowane odgłosy, przyczyniają się do odstraszania zwierząt. Pastuchy elektryczne, wykorzystywane w ochronie pól przed zwierzyną, to nic innego jak zaadoptowane do tego celu pastuchy wykorzystywane w gospodarstwach rolniczych do wypasu kwaterowego zwierząt domowych. Urządzenia te składające się z elektryzatora i sznurka z opłotem stalowego przewodu rozciągniętego na słupkach wokół zagrożonej uprawy, odstraszają zwierzynę w przypadku jej bezpośredniego kontaktu ze stalową linką, poprzez impuls przepływającego prądu o wysokim napięciu a niskim natężeniu. Armatki hukowe to specjalistyczne urządzenia oferowane na rynku, które wydają w określonych odstępach czasu, głos w postaci huku wydobywający się z metalowej rury. Czynnikiem powodującym wydawanie huku jest sprężone powietrze, zaś natężenie huku oraz częstotliwość jego wydawania podlegają regulacji przez użytkownika. Wszystkie opisane metody, za wyjątkiem ogrodzeń, z reguły skuteczne są tylko w początkowym okresie od montażu, gdyż zwierzyna przyzwyczaja się do rozwieszonych elementów lub cyklicznych huków emitowanych z jednego miejsca. W przypadku elektryzatorów ich skuteczność jest znacznie lepsza, lecz warunkiem ich stosowania jest bliskość gospodarstwa, z którego można uzyskać prąd. Ewentualne stosowanie przenośnych źródeł energii (akumulatorów) podraża koszty urządzenia, jak również niejednokrotnie urządzenia te stają się łupem złodziei, dlatego też są mało rozpowszechnione.

METODY CHEMICZNE

Najbardziej rozpowszechnioną grupą metod są te, w których zastosowanie znajdują różnorakie środki chemiczne, ogólnie nazywane repelentami, które w obrocie handlowym występują pod postacią cieczy, past lub granulatów. Preparaty te ze względu na specyfikę działania podzielić można na: wizualno-zapachowe, zapachowe, zapachowo-smakowe oraz akustyczno-wizualno-zapachowe. Środki wizualno-zapachowe to wszelkiego rodzaju znicze i latarnie, które wydają poblask oraz specyficzny zapach w porze nocnej. Woń tego typu środków z reguły zbliżona jest do zapachów rozkładających się tkanek zwierzęcych lub roślinnych. Woń ta musi być obcą (nieznaną) w danym środowisku, jak również posiadać charakterystyczne cechy zapachu człowieka. W ostatnich latach również testowane są urządzenia laserowe, które mogą być wykorzystywane jako odstraszacze zwierzyny. Urządzenia te wydające w określonych odstępach czasu promienie świetlne o zróżnicowanej kolorystyce i natężeniu światła skutecznie odstraszają zwierzynę.

Niewątpliwie najpowszechniejsze w ochronie upraw rolnych są środki zapachowe i zapachowo-smakowe. Zasada działania tego typu preparatów również polega na imitowaniu obcego dla środowiska zapachu, przed którym zwierzęta czują swoisty respekt i woli unikać miejsc gdzie taka woń występuje. Dodatkowo w przypadku preparatów smakowych, zjedzone przez zwierzęta nawet niewielkie ilości środka, powodują podrażnienia błony śluzowej układu pokarmowego oraz reakcje wymiotne, a tym samym skutecznie zniechęcają zwierzęta do żerowania w miejscach wcześniejszego spożycia repelentu. Preparaty zapachowe, z reguły pod postacią płynów lub zawiesin, wykładane są na niewielkiej wielkości kawałki tkaniny (najlepiej flaneli) lub gąbki i rozwieszane na sznurkach wokół narażonych upraw. Zwierzęta wyczuwając zapachową substancję czynną preparatów unikają takich miejsc. Obecnie na rynku środki te występują pod nazwami handlowymi: Anti-Bissan, Wild Repent AL, Dziki Stop, Kieferle Hukinol 75 AL, Quinolen 73AL, czy BioTec. Skuteczność wymienionych preparatów uwarunkowana jest poprawnym ich rozmieszczeniem oraz warunkami pogodowymi. Dlatego w zależności od rodzaju preparatu, aby profilaktyka przynosiła zamierzony efekt, należy przestrzegać terminu wyłożenia, jak również bieżącego uzupełniania. Obecnie na rynku dostępny jest również gotowy zestaw do odstraszenia zwierzęcy, o nazwie handlowej Porocol. Odstraszacz ten składa się z tuby osłoniętej daszkiem, z umieszczonym w spodniej części zbiornikiem wraz z parownikiem, gdzie umieszczany jest środek chemiczny. Tuby te w postaci tyczek umieszczane są w 50–60 metrowych odstępach wokół uprawy, a jedna dawka środka chemicznego wystarcza na okres od 4 do 6 miesięcy. Dość ciekawym repelentem z grupy zapachowych jest środek o nazwie handlowej Wildgranix. Preparat ten w postaci zgranulowanego wapna nawozowego wraz z gruntowymi substancjami pomocniczymi, rozrzucający jest z reguły w postaci pasa zaporowego o szerokości 1–2 m, na granicy pola i lasu, bądź na szlakach migracyjnych zwierzęcy. W zależności od warunków atmosferycznych granule uwalniają przez okres 3–5 tygodni, zróżnicowane zapachy, co jednocześnie sprawia, że zwierzęta nie przyzwyczajają się do preparatu. Niewątpliwie zaletą tego preparatu jest fakt, iż ulega on całkowitej biodegradacji i nie niszczy mikroorganizmów glebowych, przez co również może być wykorzystywany w rolnictwie ekologicznym. Repelenty smakowe, z reguły występują pod postacią granulek rozrzucających wokół narażonych upraw rolniczych. Do niedawna w obrocie handlowym występował preparat Stop Dzik, lecz obecnie nie uzyskał on atestu i czasowo jest wycofany z rynku.

Ostatnią grupą repelentów są środki akustyczno-wizualno-zapachowe. Środki te wykonane są z reguły w postaci aluminiowych taśm zazwyczaj lekko pofałdowanych, na których umieszczony jest preparat chemiczny. Taśmy te rozwieszane wokół upraw, dają charakterystyczny poblask i odgłos, który zależy od siły wiatru, a dodatkowo również zapach. Kompleksowe oddziaływanie tych trzech elementów ma za zadanie skutecznie odstraszać zwierzęcy od upraw polowych, na których zastosowano ten rodzaj profilaktyki.

PODSUMOWANIE

Działania profilaktyczne w zakresie ograniczania lub wyeliminowania szkód wyrządzanych przez zwierzę w uprawach rolniczych, polegają przede wszystkim na założeniach ograniczania dostępu zwierząt do najbardziej narażonych upraw, ze względu na ich położenie bądź preferencje żerowe zwierzę. W działaniach tych stosowane są trzy grupy metod: ekologiczne, mechaniczne i chemiczne. Metody ekologiczne polegające na dostosowaniu liczebności zwierząt oraz struktur populacyjnych do możliwości troficznych siedlisk w których te zwierzęta żyją są dość powszechne a zarazem tanie, lecz nie zawsze przynoszą zamierzony efekt. W przypadku metod mechanicznego lub elektrycznego ograniczania dostępu zwierząt do zagrożonych upraw, należy zauważyć, że są one skuteczne pod warunkiem terminowego i solidnego ich wykonania, lecz koszt ich budowy jest z reguły wysoki. Profilaktyka z wykorzystaniem środków chemicznych (repelentów) z reguły przynosi najlepsze efekty, lecz preparaty w niej stosowane są drogie i w zależności od warunków pogodowych działania te są krótkotrwałe, co sprawia że wymagają kolejnych powtórek. Na podkreślenie zasługuje również fakt, że ustawodawca obciążył potencjalnie poszkodowanych rolników, obowiązkiem współpracy z myśliwymi w zakresie ochrony gruntów przed szkodami, pod rygorem niemożności otrzymania ewentualnego odszkodowania, w przypadku braku takiej współpracy.

LITERATURA

- Budny M., Kamieniarz R., Kolano B., Mąka H., Panek M. 2010. Sytuacja zwierząt łownych w Polsce w latach 2008-2009. Biuletyn Stacji Badawczej w Czempiniu, Nr 6: 23 — 25.
- Flis M. 2008 a. Procedura szacowania szkód wyrządzonych przez zwierzęta w uprawach rolniczych. Biul. IHAR 248: 117 — 123.
- Flis M. 2008 b. Odpowiedzialność za szkody wyrządzane przez dzikie zwierzęta w uprawach ziemniaków. Ziemiak Polski, Nr 3: 8 — 12.
- Flis M. 2009a. Szkody w uprawach rolniczych w świetle szkodliwego oddziaływania rolnictwa na ekosystemy. Biotop. Zagrożenia biotopów leśnych. Uniwersytet Opolski Opole: 123 — 132.
- Flis M. 2009b. Wielkość szkód wyrządzanych przez dziki w uprawach rolniczych w obwodzie łowieckim polnym w latach 1999-2000 i 2008-2009. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Nr 254: 179 — 187.
- Flis M. 2010a. Zmienność wielkości szkód wyrządzanych przez dziki w zróżnicowanych strukturach agrocenoz. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Nr 256: 193 — 204.
- Flis M. 2010b. Szkody łowieckie w świetle uwarunkowań ekonomicznych i prawnych. Wieś i Rolnictwo. Nr 4 (149): 95 — 103.
- Flis M., Nowacki W. 2011. Wyłączenie odpowiedzialności za szkody w uprawach rolniczych ze szczególnym uwzględnieniem ziemniaków. Ziemiak Polski, Nr 1: 9 — 13.
- Flis M. 2011. Szkody w uprawach rolnych. [w:] Łowiectwo (red. naukowa) R. Dzieciolowski, M. Flis. Wyd. Łowiec Polski, Warszawa: 74 — 78.
- Kamieniarz R. 2010. Czas na redukcje. Łowiec Polski, Nr 11: 18 — 22.
- Kościelniak-Marszał M. 2009. Problemy prawne regulacji współdziałania myśliwych i rolników w celu ograniczania szkód łowieckich. Biotop. Zagrożenia biotopów leśnych. Uniwersytet Opolski. Opole: 133 — 140.
- Kozdrowski R., Dubiel A. 2004. Biologia rozrodu dzika. Medycyna Weterynaryjna. Vol. 60: 1251 — 1253.
- Okarma H., Tomek A. 2008. Łowiectwo. Wydawnictwo Edukacyjno-Naukowe H₂O. Kraków: 359 — 377.

- Sporek M. 2009. Znaczenie stref ekotonowych jako biotopów przejściowych. Biotop. Zagrożenia biotopów leśnych. Uniwersytet Opolski Opole: 37 — 51.
- Szukiel E. 2001. Ochrona drzew przed roślinożernymi ssakami. Wyd. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych. Warszawa: 7 — 141.
- Ustawa z dnia 13 października 1995 roku – Prawo Łowieckie (Dz. U. 05.175.1462).

MARIAN FLISKatedra Zoologii, Ekologii Zwierząt i Łowiectwa
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Zróżnicowanie szkód wyrządzanych przez dzikie zwierzęta w warunkach obwodu łowieckiego leśnego — nr 123

Diversity of damages caused by wild animals within forest hunting district — number 123

Celem badań była ocena zróżnicowania uszkodzeń upraw rolniczych w warunkach obwodu łowieckiego leśnego położonego w północno-zachodniej części Wyżyny Lubelskiej, w okresie ostatnich ośmiu sezonów łowieckich. W ocenie uwzględniono również dynamikę liczebności dzików, będących podstawowym sprawcą szkód oraz poziom łowieckiej eksploatacji tego gatunku. W ocenianym okresie wystąpił wzrost szkód w uprawach i płodach rolnych zarówno w ujęciu ilościowym, jak i powierzchniowym. Jedynym sprawcą szkód w ocenianym okresie były dziki. Zróżnicowanie występowania szkód w ciągu sezonu wegetacyjnego wskazuje na ścisłe ich powiązanie z terminami agrotechnicznymi związanymi z siewem lub sadzeniem roślin, a więc pojawianiem się poszczególnych roślin na polach, jak również okresem ich dojrzewania i zbioru. Określony wskaźnik preferencji żerowych dzików w rejonie badań wskazuje, iż najbardziej preferowanymi uprawami były użytki zielone oraz kukurydza, zaś najmniej preferowanymi były uprawy ziemniaków. W okresie oceny pomimo wzmożonej presji łowieckiej wystąpił dynamiczny wzrost liczebności populacji dzików. Wyniki te sugerują, że w ostatnich latach znacznie wzrósł potencjał rozrodczy tego gatunku, zaś przyrost populacji kształtuje się na poziomie 150–200% wiosennego jej stanu. Taki wskaźnik przyrostu w połączeniu z poziomem uszkodzeń upraw, winien być uwzględniany przy planowaniu łowieckiego pozyskania tego gatunku.

Słowa kluczowe: dzik, preferencje żerowe, szkoda łowiecka, uprawy rolnicze

The study aimed at evaluating the damages in crops of forest hunting zone localized in north-western part of Lublin Upland during past 8 hunting seasons. The evaluation also included the population dynamics of wild boars that are the main doers of damages as well as the level of hunting exploitation of the animal species. An increase of damages in crops — in respect both to quantities and surface — occurred during the evaluated period. Wild boars were the only perpetrators of damages. Differentiation of damages within vegetation season indicates their close association with agrotechnical dates related to plant sowing or planting, thus appearance of particular crops on fields, as well as their ripening and harvest times. Specific index of the wild boar's feeding preferences within studied area points out that green lands and maize were the most, while potatoes were the least preferable crops. Despite of the intensified hunting pressure, a dynamic increase of wild boar population occurred during the investigated period. These results indicate that the reproduction potential of the animal species

considerably increased, whereas the population gain was at the level of 150-200% of its spring status. Such gain index in combination with the crop damages should be taken into considerations at planning the hunting intensity for the species.

Key words: hunting damages, agricultural cultivations, food preference, wild boar

WSTĘP

Postępująca w ostatnich latach intensyfikacja rolnictwa, połączona z intensywną urbanizacją terenów rolniczych, przyczynia się do ograniczania arealów bytowania zwierząt dziko żyjących. Swoistym odreagowaniem zwierząt na tego typu stan rzeczy są zmiany behawioralne związane głównie z cyklami i lokalizacją miejsc żerowania. Elementy te w połączeniu ze wzrostem liczebności dzikich ssaków kopytnych, prowadzą do zmian ekologicznych układów przyrodniczych dotyczących interakcji zwierząt i środowisk ich bytowania. Dodatkowo stan ten pogłębiany jest przez wzrost antropopresji, zarówno środowisk leśnych jak i rozległych agrocenoz. Wszystkie wymienione elementy oddziałując w sposób bezpośredni lub pośredni a zarazem kompleksowy, przyczyniają się do dość gwałtownego wzrostu w ostatnich latach ilości i wielkości szkód w uprawach i płodach rolnych wyrządzanych przez dzikie zwierzęta, jak również przestrzennego rozmieszczenia uszkodzeń upraw rolniczych (Flis, 2008; Flis, 2009 a; Flis, 2009 b; Flis, 2011). Nasilenie szkód wyrządzanych przez zwierzynę uzależnione jest również od lokalizacji uprawy, stopnia jej atrakcyjności dla zwierzyny oraz stosowanych zabiegów profilaktycznych w zakresie ograniczania szkód (Mackin, 1970; Flis, 2009b; Flis, 2010 a).

Zmiany dostępności żerowej w rozległych strukturach agrocenoz, zwłaszcza zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie kompleksów leśnych, w połączeniu z dostępnością wysokoenergetycznego żeru, skutkują swoistymi zmianami cyklu płciowego u dzików, traktujących tego typu tereny jako podstawowe areale bytowania. Zmiany te skutkują zwiększeniem potencjału rozrodczego populacji, jak również wcześniejszego dojrzewania osobników młodocianych i ich udziałem w rozrodzie (Kozdrowski i Dubiel, 2004; Flis i Nowacki, 2011). Fakty te przyczyniają się do rokrocznego postępującego wzrostu liczebności populacji tego gatunku, a pośrednio wpływają na wzrost wyrządzanych szkód (Kamieniarz i Panek, 2008; Budny i in., 2010; Flis, 2009 b; Flis, 2010 a).

Celem niniejszej pracy była analiza wielkości i rozkładu przestrzennego oraz czasowego szkód wyrządzanych przez dziki, w obwodzie łowieckim o charakterze leśnym, w ciągu ostatnich 8 sezonów łowieckich. W pracy dokonano również analizy dynamiki liczebności i łowieckiej eksploatacji populacji dzików na tym terenie.

MATERIAŁ I METODY

Analizę przeprowadzono w oparciu o badania w zakresie szkód wyrządzanych przez dzikie zwierzęta kopytne w uprawach rolniczych na terenie obwodu łowieckiego nr 123, położonego w północno-zachodniej części Lubelszczyzny. Całkowita powierzchnia obwodu łowieckiego jako terenu administracyjnego dzierżawionego przez koło łowieckie wynosi 3800 hektarów, z czego grunty leśne stanowią 40,3% ogólnej powierzchni tego

terenu. Zgodnie z łowiecką kategoryzacją, jest to obwód o charakterze leśnym. Gospodarkę rolną w tym rejonie cechuje występowanie dość żyznych gleb oraz znaczne rozdrobnienie upraw, co przyczynia się do znacznej mozaikowości środowisk bytowania zwierzyny w tym rejonie. Dodatkowo ze względu na fakt, że południową granicę obwodu stanowi meandrująca rzeka Wieprz, jak również na występowanie lokalnych podmokłych terenów, w strukturach agrocenoz dość znaczny udział (szacunkowo 25%) stanowią użytki zielone.

Badania obejmowały sezony łowieckie od 2002/2003 do 2009/2010. Miejsca uszkodzenia poszczególnych rodzajów upraw zgłaszane były dzierżawcy przedmiotowego obwodu, przez ich posiadaczy. Z kolei upoważnieni przedstawiciele dzierżawcy dokonywali szacowania wstępnego i ostatecznego zgłaszanych szkód, celem ustalenia wielkości przysługującego odszkodowania z tytułu powstałych zniszczeń (Ustawa - Prawo łowieckie 1995; Rozp. Min. Środ. z 8 marca 2010; Flis, 2008; Flis, 2011). W procedurze ostatecznego szacowania szkód ustalana jest ich tzw. powierzchnia zredukowana, czyli teoretycznie wyliczona powierzchnia, na której uprawa zniszczona jest w 100% (szkoda całkowita). W niniejszej analizie posłużono się kryterium powierzchni zredukowanej, co pozwoliło na dokonanie obiektywnych porównań w zakresie ilości i rozkładu powierzchniowego szkód w poszczególnych rodzajach upraw rolniczych. Dokonano również analizy rozkładu szkód w poszczególnych rodzajach upraw w sezonie wegetacyjnym. W celu określenia preferencji żerowych zwierzyny wyrządzającej szkody, obliczony został wskaźnik preferencji żerowych. Parametr ten obliczony został jako iloraz różnicy procentowego udziału zniszczonej uprawy i procentowego udziału danej uprawy w strukturze zasiewów, do procentowego udziału danej uprawy w strukturze zasiewów. Uwzględniono też dynamikę liczebności populacji dzików i łowieckiej eksploatacji tego gatunku.

WYNIKI I DYSKUSJA

W ciągu ocenianego okresu wystąpiło znaczne zróżnicowanie zarówno ilości uszkodzeń poszczególnych rodzajów upraw, jak i rozkładu powierzchniowego szkód w nich występujących, wyrządzonych przez dzikie zwierzęta (tab. 1). W pierwszym sezonie łowieckim okresu objętego analizą, na terenie obwodu wystąpiło łącznie 7 szkód łowieckich o ogólnej powierzchni (zredukowanej) wynoszącej 0,78 ha. Trzy szkody wystąpiły w uprawach owsa, trzy w uprawach kukurydzy i jedna w ziemniakach. Największa powierzchnia uszkodzeń w tym okresie dotyczyła upraw kukurydzy. W kolejnym sezonie łowieckim likwidacją objęto łącznie 6 szkód o powierzchni 0,60 ha. W okresie tym najwięcej szkód wystąpiło w uprawach ziemniaków, zaś największa powierzchnia uszkodzeń dotyczyła upraw kukurydzy. W sezonie łowieckim 2004/2005 likwidacją objęto 7 szkód łowieckich, a ich łączna powierzchnia zredukowana wynosiła 0,82 ha. W okresie tym najwięcej szkód, zarówno w ujęciu ilościowym, jak i powierzchniowym wystąpiło w uprawach kukurydzy. W kolejnym ocenianym okresie, łączna liczba szkód na terenie obwodu wynosiła 18, lecz powierzchnia uszkodzeń była zbliżona do wcześniejszych okresów i wynosiła 0,89 ha. Najwięcej szkód w tym okresie wystąpiło w uprawach ziemniaków. W sezonie łowieckim 2006/2007 likwidacją objęto 39

szkód o łącznej powierzchni 10,03 ha. W sezonie tym najwięcej szkód, zarówno w ujęciu ilościowym jak i powierzchni zredukowanej wystąpiło na łąkach i pastwiskach.

Tabela 1

Występowanie szkód (ha* i %) w uprawach rolniczych w okresie 8 sezonów łowieckich
Damages (ha* and %) in crops during 8 hunting seasons

Sezon łowiecki Hunting season	Rodzaj uprawy Type of cultivation									Ogółem Total
	pszenica wheat	żyto rye	pszenżyto triticale	owies oats	mieszan- ka zbożowa cereal mixture	kukurydza corn	użytki zielone green lands	ziemniaki potato	inne others	
n				3		3		1		7
2002/2003				0,16		0,59		0,03		0,78
ha				20,5		75,6		3,9		100
%										
n	2					1		3		6
2003/2004	0,11					0,40		0,09		0,60
ha	18,3					66,7		15,0		100
%										
n				1	1	4		1		7
2004/2005				0,06	0,04	0,70		0,02		0,82
ha				7,4	4,8	85,4		2,4		100
%										
n	2					3	3	10		18
2005/2006	0,21					0,15	0,29	0,24		0,89
ha	23,5					16,9	32,6	27,0		100
%										
n	4			1	3	7	23	1		39
2006/2007	0,35			0,06	0,15	1,66	7,79	0,02		10,03
ha	3,4			0,6	1,5	16,6	77,7	0,2		100
%										
n	5		2	1	3	8	4	1		24
2007/2008	0,25		0,25	0,2	0,3	2,1	0,76	0,02		3,88
ha	6,4		6,4	5,2	7,8	54,1	19,6	0,5		100
%										
n	6	2	1	4	11	15	16	26	1**	82
2008/2009	0,34	0,01	0,30	0,53	3,09	9,10	3,41	1,14	0,06	17,98
ha	1,9	0,1	1,7	2,9	17,2	50,6	19,0	6,3	0,3	100
%										
n	19		7	9	4	5	56	22		122
2009/2010	2,38		5,35	1,72	0,63	2,15	24,17	1,36		37,76
ha	6,3		14,2	4,6	1,7	5,6	64,0	3,6		100
%										

* Wielkość szkód w hektarach podana dla powierzchni zredukowanej

* Extent of damages in hectares expressed per reduced area

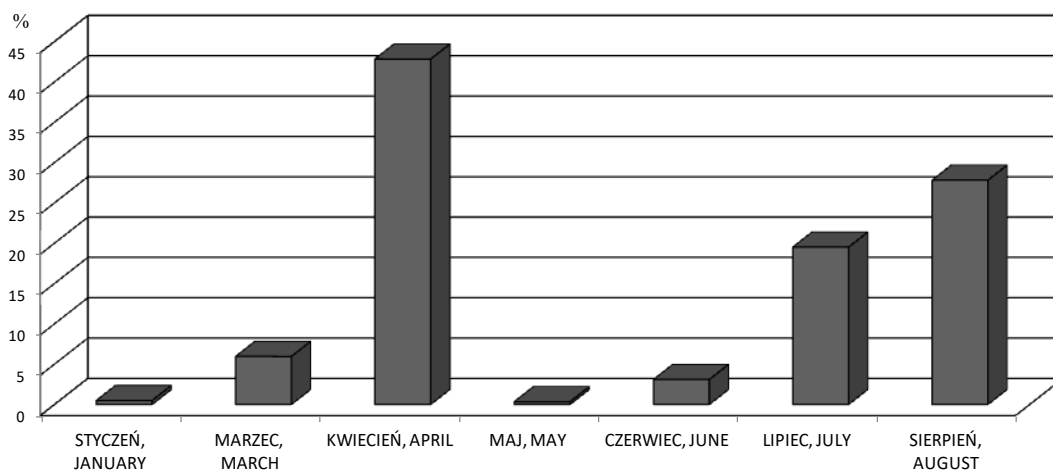
** Szkoda w uprawie truskawek; Damage in strawberry crop

Udział szkód w na tego typu użytkach rolniczych stanowił wówczas 77,7% wszystkich szkód objętych likwidacją. W kolejnym sezonie łowieckim zmniejszeniu uległa zarówno ilość jak i wielkość uszkodzeń upraw rolniczych. W okresie tym likwidacją objęto 24 szkody, których powierzchnia zredukowana stanowiła obszar 3,88 ha. W okresie tym największy rozmiar uszkodzeń, zarówno pod względem ilościowym jak i powierzchniowym dotyczył upraw kukurydzy, gdzie likwidacją objęto 54,1% wszystkich szkód. W sezonie łowieckim 2008/2009 wystąpiło ponad 3-krotne zwiększenie ilości szkód oraz ponad 4,5-krotne zwiększenie ich powierzchni. Najwięcej szkód w tym okresie wystąpiło w uprawach ziemniaków, zaś największa powierzchnia uszkodzeń dotyczyła upraw kukurydzy oraz trwałych użytków zielonych. W ostatnim sezonie łowieckim okresu objętego oceną wystąpił dalszy wzrost szkód wyrządzonych przez zwierzynę. W okresie

tym likwidacją objęto 122 szkody o łącznej powierzchni zredukowanej wynoszącej 37,76 ha. W okresie tym najwięcej szkód zarówno w ujęciu ilościowym, jak i powierzchniowym wystąpiło na trwałych użytkach zielonych.

Uzyskane wyniki są potwierdzeniem ogólnopolskiego trendu rocznego postępującego wzrostu szkód wyrządzonych przez dzikie zwierzęta w uprawach rolniczych. O ile największe nasilenie szkód występuje w rejonach Polski zachodniej, które cechują się największymi wskaźnikami zagęszczenia dzików, będących głównymi sprawcami szkód, to w rejonie Lubelszczyzny pomimo niższych zagęszczeń tego gatunku również obserwowany jest wzrost interakcji zwierząt na środowiska bytowania, a tym samym i wzrost wielkości uszkodzeń upraw rolniczych (Budny i in., 2010; Flis, 2009 a; Flis, 2010 a). Uzyskane wyniki są również potwierdzeniem, iż na przełomie ostatnich lat rocznie zwiększeniu ulega średnia wielkość pojedynczej szkody w ujęciu powierzchni zredukowanej. Drozd (1998) prowadząc badania w rejonie Lubelszczyzny w latach 1979-1983 podał, że wielkość ta kształtowała się na poziomie 0,1 ha. Z kolei badań Flisa (2009 b i 2010 a) prowadzonych w tym samym rejonie wynika, iż wartość ta kształtowała się na poziomie nieznacznie przekraczającym 0,2 ha, zaś obecnie średnia wielkość pojedynczej szkody kształtuje się na poziomie zbliżonym do 0,3 ha.

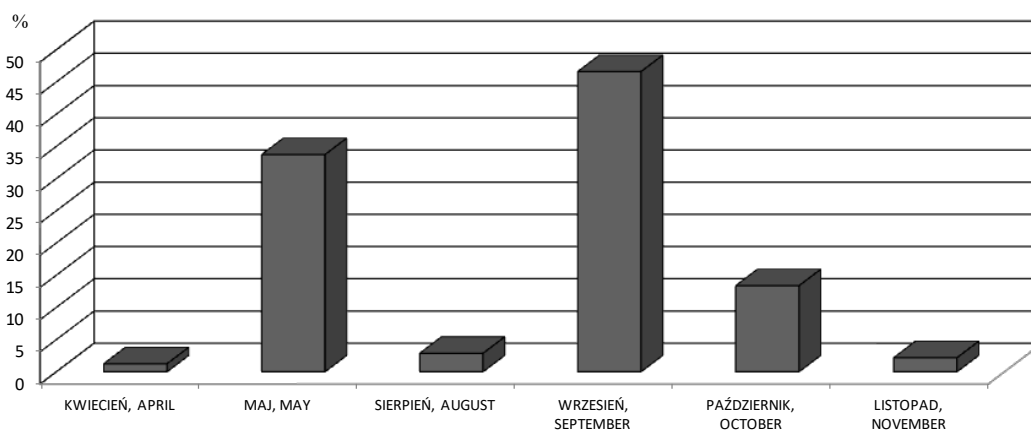
Wyniki przeprowadzonej oceny rozkładu szkód w ciągu sezonu wegetacyjnego wskazują, iż największe nasilenie szkód w poszczególnych rodzajach upraw ściśle powiązane jest z terminami ich pojawiania się na polach oraz okresem osiągnięcia przez nie dojrzałości i wydania plonu. W uprawach roślin zbożowych wystąpiło dwa okresy nasilenia szkód wyrządzanych przez dziki (rys. 1).



Rys. 1. Rozkład szkód w uprawach zbożowych w czasie sezonu wegetacyjnego w badanym obwodzie w latach 2003–2010

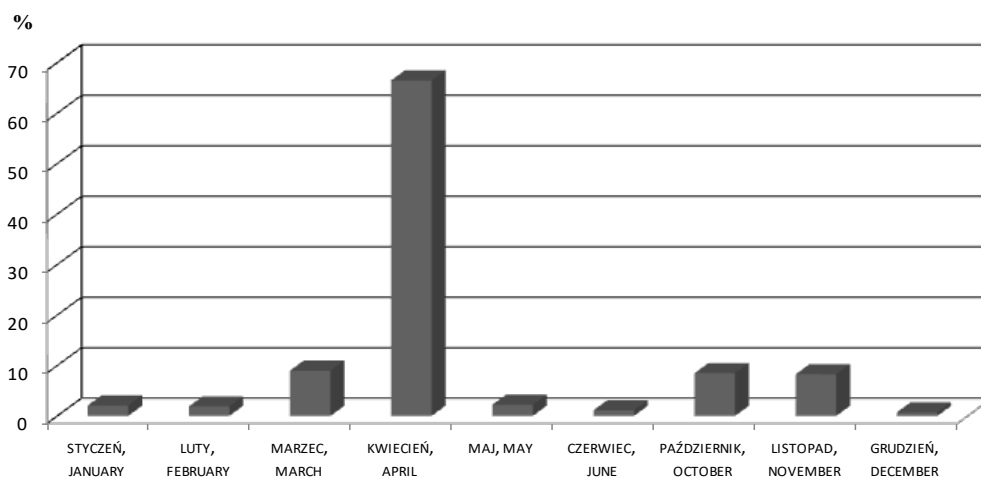
Fig. 1. Distribution of damages in cereals during the vegetation season in investigated hunting district in years 2003–2010

Pierwszy z nich przypadał na miesiąc kwiecień, a więc okres siewu zbóż jarych, zaś drugi na lipiec i sierpień, czyli okres osiągnięcia dojrzałości młocnej ziarniaków i ich dojrzewania. Podobna sytuacja wystąpiła w uprawach kukurydzy (rys. 2), gdzie 34% wszystkich szkód wystąpiło w maju, czyli w okresie siewu tej rośliny. Z kolei 46,6% szkód w uprawach kukurydzy odnotowanych zostało we wrześniu, tj. w okresie osiągnięcia dojrzałości młocnej ziarniaków niezależnie od kierunku użytkowania. Największa penetracja użytków zielonych przez dziki występowała w miesiącu kwietniu (rys. 3).



Rys. 2. Rozkład szkód w uprawach kukurydzy w czasie sezonu wegetacyjnego w badanym obwodzie w latach 2003–2010

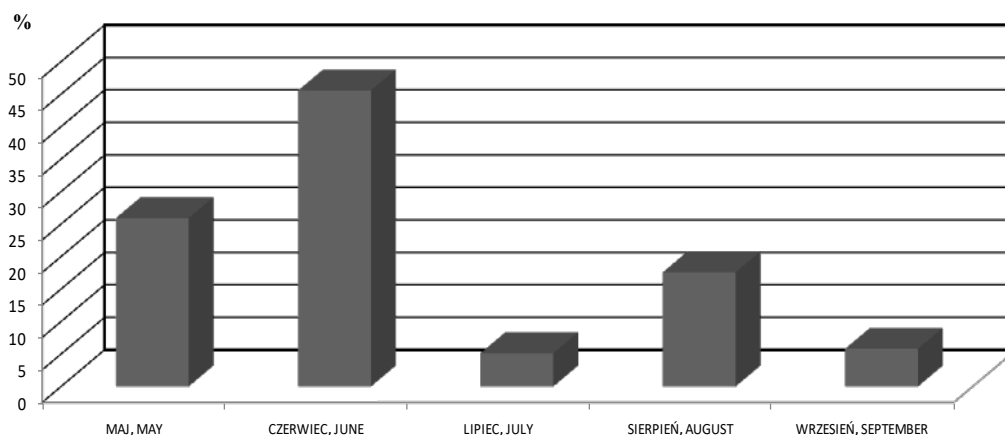
Fig. 2. Distribution of damages in corn during the vegetation season in investigated hunting district in years 2003–2010



Rys. 3. Rozkład szkód na użytkach zielonych w czasie sezonu wegetacyjnego w badanym obwodzie w latach 2003–2010

Fig. 3. Distribution of damages in green lands during the vegetation season in investigated hunting district in years 2003–2010

W miesiącu tym wystąpiło 66,5% wszystkich szkód objętych likwidacją na tego typu użytkach rolniczych. Zwiększona penetracja tego typu użytków przez zwierzęta, występowała też w miesiącu marcu, październiku i listopadzie. W uprawach ziemniaków największe nasilenie szkód odnotowano w maju i czerwcu (rys. 4). W okresie tym likwidacją objęto ponad 70% wszystkich szkód wyrządzonych przez zwierzynę. W lipcu likwidacją objęto ok. 5% szkód, we wrześniu wystąpił wzrost ilości uszkodzonych upraw do poziomu 17,5% wszystkich szkód, zaś ostatnim miesiącem występowania szkód był wrzesień. W okresie tym poziom uszkodzeń upraw wynosił niespełna 6% wszystkich uszkodzeń w cyklu rocznym.



Rys. 4. Rozkład szkód w uprawach ziemniaków w czasie sezonu wegetacyjnego w badanym obwodzie w latach 2003–2010

Fig. 4. Distribution of damages in potato during the vegetation season in investigated hunting district in years 2003–2010

Podobne wyniki uzyskali inni autorzy prowadzący badania w tym zakresie. Drozd (1988), prowadząc badania na Lubelszczyźnie w latach 1979–1983 oraz Flis (2009 b) i Flis (2010 a) wskazali podobne okresy nasilenia szkód w poszczególnych rodzajach upraw rolniczych. Z kolei Dubas (1996) prowadząc badania w rejonie Polski północno-wschodniej, wskazał dwa okresy nasilenia szkód niezależnie od rodzaju upraw. Okresami tymi były miesiące maj i czerwiec oraz sierpień i wrzesień. Dodatkowo w rejonie tym autor wyszczególnił swoisty łańcuch żeru polowego zwierząt dzikich, ściśle powiązany z terminem zejścia z pól poszczególnych rodzajów upraw.

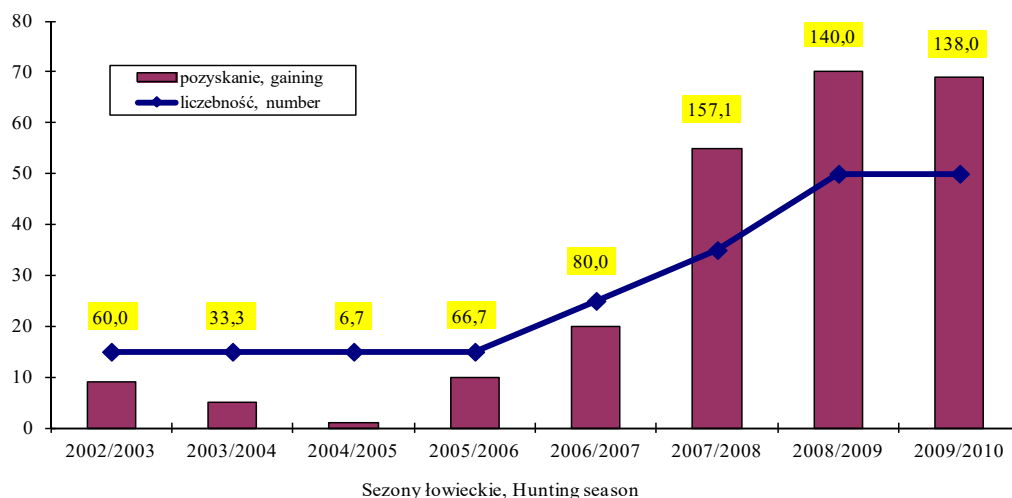
Obliczone wskaźniki atrakcyjności żerowej dla dzików poszczególnych rodzajów upraw, pozwalają na stwierdzenie, iż w terenie objętym oceną najbardziej preferowanymi rodzajami upraw były użytki zielone dla których wskaźnik preferencji osiągnął wartość 0,91. Kolejną rośliną w malejącej kolejności łańcucha preferencji żerowych dzików były uprawy kukurydzy, gdzie wskaźnik preferencji wyniósł 0,34 i roślin zbożowych dla których wartość wskaźnika preferencji żerowej kształtowała się na poziomie -0,47.

Najniższą wartość wskaźnik preferencji osiągnął dla upraw ziemniaków (-0,65). Uzyskane wyniki są dość zaskakujące, ze względu na fakt najwyższej preferencji żerowej przez dziki użytków zielonych. Wskazuje to o dostępności na tego rodzaju użytkach, znacznej liczby pędraków stanowiących wysoko atrakcyjną bazę żerową dla dzików. Dodatkowo fakt dostępności pędraków świadczy o niezbyt wysokiej kulturze rolnej tego rodzaju użytków rolniczych. Flis (2009 b, 2010 a) prowadząc badania w latach 1999–2009 w zróżnicowanych środowiskach rejonu Wyżyny Lubelskiej wykazał, że najbardziej preferowaną rośliną przez dziki była kukurydza. Według badań Drozda (1988) z lat 1979–1983 w rejonie Lubelszczyzny najbardziej preferowanymi roślinami uprawnymi były uprawy ziemniaków i owsa. W rejonie Polski północno-wschodniej pod względem atrakcyjności żerowej, w uprawach polowych dominowała również kukurydza oraz rzepak i ziemniaki (Dubas, 1996). Z kolei Mackin (1970) prowadząc badania w trzech rejonach Polski podała, że najbardziej preferowanymi roślinami żerowymi były uprawy owsa i ziemniaków. Jednak w okresie tym w Polsce nie występowały uprawy kukurydzy.

Swoiste przeniesienie preferencji żerowych dzików, w rejonie badań uwarunkowane może być dość znacznym udziałem tych terenów w strukturze upraw, które będąc okresowo zalewane stanowią doskonałe miejsca osłonowe dla zwierząt dzikich. Tym samym okresowe, a w niektórych terenach stałe przebywanie dzików, warunkowało zwiększoną penetrację tego rodzaju terenów przez zwierzęta w poszukiwaniu pożywienia. Z kolei wysoki wskaźnik preferencji żerowych dla kukurydzy, uwarunkowany jest zwiększaniem jej udziału zarówno w ujęciu powierzchniowym, jak i w ujęciu zwiększania jednostkowych powierzchni upraw, a ubywaniem powierzchni upraw ziemniaków i niektórych roślin zbożowych, głównie owsa (GUS, 2009; Chotkowski i Rembeza, 2006; Flis, 2007; Flis, 2010 a).

W ocenianym okresie na terenie obwodu stanowiącego teren badań, ponad trzykrotnie zwiększyła się liczebność dzików (rys. 5). Wraz ze wzrostem liczebności, rokrocznie wzrastała wielkość łowieckiego pozyskania tego gatunku. W ocenianym okresie liczba pozyskanych zwierząt zwiększyła się ponad 7,5-krotnie. W pierwszych pięciu sezonach łowieckich okresu objętego analizą, łowiecka eksploatacja populacji w odniesieniu do zinwentaryzowanego stanu wiosennego nie przekraczała 100%. W sezonie łowieckim 2007/2008 wielkość eksploatacji osiągnęła 157% stanu wiosennego i był to najwyższy poziom wskaźnika eksploatacji populacji. W dwóch ostatnich sezonach łowieckich wartość wskaźnika łowieckiej eksploatacji uległa nieznacznemu zmniejszeniu, lecz w dalszym ciągu była wysoka i wynosiła odpowiednio 140% i 138%.

Uzyskane wyniki potwierdzają ogólnopolski trend rocznego zwiększania liczebności populacji dzików. Wielkości tego przyrostu są zróżnicowane i uzależnione w głównej mierze od lokalnych warunków środowiskowych oraz presji łowieckiej (Kamieniarz i Panek, 2008; Flis, 2009 b; Budny i in., 2010; Kamieniarz, 2010). Wzrost liczebności uwarunkowany jest głównie poprawą warunków żerowych dla tego gatunku, w postaci intensyfikacji rolnictwa i wzrostu areалу upraw kukurydzy. Dostępność wysokoenergetycznego żeru, w strukturach rozległych agrocenoz, wpływa dodatnio na wskaźniki rozrodu u tego gatunku (Kozdrowski i Dubiel, 2004; Flis, 2009 a).



Rys. 5. Dynamika liczebności dzików w ciągu ostatnich ośmiu sezonów łowieckich na terenie obwodu objętego oceną

Fig. 5. Dynamics of wild boar population during the past 8 hunting seasons within the studied area

WNIOSKI

1. W okresie objętym oceną wystąpiło znaczne zwiększenie wielkości uszkodzeń upraw rolniczych, zarówno w ujęciu ilościowym, jak i powierzchniowym. W ujęciu ilościowym największy wzrost wystąpił na trwałych użytkach zielonych oraz w uprawach ziemniaków, zaś w ujęciu powierzchniowym, również na trwałych użytkach zielonych oraz uprawach kukurydzy. Jedynym gatunkiem wyrządzającym szkody były dziki.
2. Wystąpiło znaczne zróżnicowanie rozkładu szkód w czasie sezonu wegetacyjnego. Rozkład szkód ściśle powiązany był z terminami agrotechnicznymi związanymi z siewem lub sadzeniem poszczególnych rodzajów upraw, a więc pojawianiem się roślin na polach oraz terminem wydawania przez nie plonu.
3. Wskaźnik preferencji żerowych uwidacznia, iż w terenie badań najbardziej preferowanymi uprawami były użytki zielone oraz kukurydza. Preferencje użytków zielonych wynikały z uwarunkowań środowisk bytowania zwierzyny związanych z miejscami osłonowymi w postaci użytków zielonych położonych w większości wokół meandrującej rzeki Wieprz. Z kolei zaskakującym jest najmniejsza preferencja upraw ziemniaków pomimo wzrastającej powierzchni uszkodzeń tego rodzaju upraw.
4. Pomimo wzrastającej presji łowieckiej, w okresie ośmiu sezonów łowieckich wystąpił dość dynamiczny wzrost liczebności dzików. Łowiecka eksploatacja populacji na poziomie ok. 140% wiosennego stanu populacji, nie wpłynęła negatywnie na jej funkcjonowanie, co pozwala na stwierdzenie, iż obecnie przyrost populacji dzików przyjmować można na poziomie 150–200% wiosennego stanu populacji. Przy

planowaniu łowieckim w zakresie pozyskania dzików, wskazane wydaje się być przyjmowanie takiej wielkości przyrostu poprzez pryzmat wielkości uszkodzeń upraw rolniczych.

LITERATURA

- Budny M., Kamieniarz R., Kolanoś B., Mąka H., Panek M. 2010. Sytuacja zwierząt łownych w Polsce w latach 2009–2010. *Biuletyn Stacji Badawczej w Czempiniu* Nr 7: 24 — 26.
- Chotkowski J., Rembeza J. 2006. Tendencje zmian na rynku ziemniaków w Polsce. W: *Produkcja ziemniaków*. Chotkowski J. (red.) Wydawnictwo Wieś Jutra. Warszawa: 7— 15.
- Drozd L. 1988. Wpływ rozdrobnienia kompleksów leśnych na szkody wyrządzane przez dziki w uprawach polowych w makroregionie środkowowschodniej Polski. *Sylvan*, Nr 11/12: 79 — 84.
- Dubas W. J. 1996. Szkody łowieckie w przyleśnych uprawach rolnych w północno — wschodniej Polsce. *Sylvan*, Nr 10: 45 — 56.
- Flis M. 2007. Szkody w ziemniakach. *Łowiec Polski*, Nr 9: 50 — 53.
- Flis M. 2008. Procedura szacowania szkód wyrządzonych przez zwierzęta w uprawach rolniczych. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, Nr 248: 117 — 123.
- Flis M. 2009 a. Szkody w uprawach rolniczych w świetle szkodliwego oddziaływania rolnictwa na ekosystemy. *Biotop. Zagrożenia biotopów leśnych*. Uniwersytet Opolski Opole: 123 — 132.
- Flis M. 2009 b. Wielkość szkód wyrządzanych przez dziki w uprawach rolniczych w obwodzie łowieckim polnym w latach 1999–2000 i 2008–2009. *Biul. IHAR* 254: 179 — 187.
- Flis M. 2010a. Zmienność wielkości szkód wyrządzanych przez dziki w zróżnicowanych strukturach agrocenoz. *Biul. IHAR* 256: 193 — 204.
- Flis M. 2010b. Szkody łowieckie w świetle uwarunkowań ekonomicznych i prawnych. *Wieś i Rolnictwo*. Nr 4: 95 — 103.
- Flis M., Nowacki W. 2011. Wyłączenie odpowiedzialności za szkody w uprawach rolniczych ze szczególnym uwzględnieniem ziemniaków. *Ziemniak Polski*, Nr 1: 9 — 13.
- Flis M. 2011. Szkody w uprawach rolnych. W: *Łownictwo* (red. naukowa) R. Dzieciolowski, M. Flis. Wyd. *Łowiec Polski*, Warszawa: 74 — 78.
- Kamieniarz R., Panek M. 2008. Zwierzęta łowne w Polsce na przełomie XX i XXI wieku. *Stacja Badawcza — OHZ PZŁ w Czempiniu*: 46 — 49.
- Kamieniarz R. 2010. Czas na redukcję. *Łowiec Polski*, Nr 11: 18 — 22.
- Kozdrowski R., Dubiel A. 2004. Biologia rozrodu dzika. *Medycyna Weterynaryjna*, 60: 1251 — 1253.
- Mackin R. 1970. Dynamics of damage caused by wild boar to different agricultural crops. *Acta Theriologica*, Vol. 15: 447 — 458.
- Rocznik Statystyczny Rolnictwa i Obszarów Wiejskich. 2009. GUS, Warszawa: 147 — 158.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2002 roku, w sprawie postępowania przy szacowaniu szkód oraz wypłat odszkodowań za szkody w uprawach i płodach rolnych (Dz. U. z 2002 r. Nr 126, poz. 1081).
- Ustawa z dnia 13 października 1995 roku — Prawo łowieckie (Dz. U. 05.175.1462).

LISTA RECENZENTÓW BIULETYNU INSTYTUTU HODOWLI I AKLIMATYZACJI
ROŚLIN ZA ROK 2011

Zofia Banaszak
Elżbieta Boligłowa
Zofia Bulińska-Radowska
Tadeusz Caliński
Jacek Chotkowski
Mirosława Chrzanowska
Henryk J. Czembor
Anita Dobek
Andrzej Dubas
Jerzy Dziuba
Marcin Filipecki
Wojciech Goliszewski
Janusz Gołaszewski
Tomasz Góral
Danuta Gruszevska
Roman Hołubowicz
Kazimierz Jabłoński
Jan Kaczmarek
Zygmunt Kaczmarek
Władysław Kadłubiec
Józefa Kapsa
Michał Kostiw
Krzysztof Kowalczyk
Marcin Kozak
Helena Kubicka
Jan Kuś
Zbigniew Laudański
Grażyna Lisińska
Bogusław Łapiński
Włodzimierz Majtkowski
Dariusz R. Mańkowski
Waldemar Marczewski
Piotr Masojć
Wiesław Mądry
Stanisław Mejza
Stanisław Mercik
Danuta Miazga
Tadeusz Michalski

Wojciech Nowacki
Tadeusz Oleksiak
Sylvia Oleszczuk
Alicja Pecio
Stefan Pietkiewicz
Wiesław Pilarczyk
Grażyna Podolska
Sławomir Prończuk
Jan Rozbicki
Stanisława Roztropowicz-Szkubel
Barbara Sawicka
Jan Siuta
Wiesław Skowroński
Anna Tomczyk
Jacek Waga
Tadeusz Wałkowski
Roman Warzecha
Krystyna Zarzecka
Kazimiera Zgórska
Janusz Zimny
Grzegorz Żurek

SPIS TREŚCI — CONTENTS

Józef Pilch	Wykorzystanie genów z gatunków diploidalnych, tetraploidalnych i heksaploidalnych pszenicy <i>Triticum</i> L. w odmianach pszenicy heksaploidalnej <i>Triticum aestivum</i> L. Using genes of diploid, tetraploid and hexaploid species of wheat <i>Triticum</i> L. in the varieties of hexaploid wheat <i>Triticum aestivum</i> L.	3
Radosław Spychaj Zygmunt Gil Barbara Chrzanowska-Drożdż	Wartość technologiczna ziarna ozimej pszenicy twardej odmiany Komnata w zależności od sposobu chemicznej ochrony roślin Technological value of winter durum wheat cv. Komnata as dependent on chemical plant protection	25
Wacław Jarecki Dorota Bobrecka-Jamro	Reakcja pszenicy jarej odmiany Parabola na dolistne dokarmianie mocznikiem i Mikrokompleksem Reaction of spring wheat, Parabola variety, to leaf feeding with urea and Microcomplex	39
Krystyna Witkowska Tadeusz Śmiałowski Edward Witkowski	Zależność plonu rodów pszenicy ozimej od stopnia porażenia przez <i>Stagonospora nodorum</i> i <i>Puccinia triticina</i> w zróżnicowanych warunkach polowych Dependence of yield of winter wheat strains on the degree of infection by <i>Stagonospora nodorum</i> and <i>Puccinia triticina</i> in different conditions of field experiments	47
Maria Surma Tadeusz Adamski Anetta Kuczyńska Karolina Krystkowiak Renata Trzeciak Krzysztof Mikołajczak Piotr Ogrodowicz	Zmodyfikowana technika pojedynczego ziarna w hodowli jęczmienia ozimego Modified single seed descent technique in winter barley breeding	59
Jadwiga Nadziak Barbara Nowak Zdzisław R. Biliński	Ocena zmienności cech agronomicznych odmian jęczmienia jarego z Banku Genów w Radzikowie Estimation of variability in agronomic traits of spring barley from the Gene Bank at Radzików	67
Iga Tomczyńska Jadwiga Śliwka	Piramidyzacja genów odporności w roślinach uprawnych Pyramiding resistance genes in cultivated plants	77
Mariusz Świątek Jadwiga Śliwka	Przegląd badań nad regulacją ekspresji genów głównych odporności roślin na patogeny Studies review of gene expression regulation of the plant major resistance genes against pathogens	89
Marek Gugąła, Krystyna Zarzecka	Skuteczność i selektywność herbicydów w regulacji zachwaszczenia na plantacji ziemniaka The effectiveness and the selectivity of herbicides in weed control on the potato plantation	103

Krystyna Zarzecka Marek Gugala	Porównanie efektywności różnych sposobów regulacji zachwaszczenia w łanie ziemniaka Effectiveness comparison of different weed control methods in cultivation of potato	111
Cezary Trawczyński Anna Wierzbicka	Odmianowe i środowiskowe zróżnicowanie zawartości glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka The cultivar and environmental difference of glycoalkaloids content in potato tubers	119
Zbigniew Czerko	Przechowywalność sześciu odmian ziemniaka uprawianych w latach 2007–2009 Influence of cultivar, temperature of storage and weather conditions during vegetation period on storage losses of six potato varieties tested in years 2007–2009	127
Beata Tatarowska Bogdan Flis Jarosław Plich	Zastosowanie modelu mieszanego Scheffégo - Calińskiego do analizy stabilności odporności odmian ziemniaka na <i>Phytophthora infestans</i> (Mont.) de Bary Application of Scheffé - Caliński mixed model in analysis of the stability of resistance to <i>Phytophthora infestans</i> (Mont.) de Bary in potato cultivars	141
Dariusz R. Mańkowski Zbigniew Laudański Monika Janaszek	Przydatność wybranych miar podobieństwa dla danych binarnych do analiz wielocechowych w badaniach molekularnych The application of chosen similarity measures for binary data in multivariate analysis in molecular experiments	155
Grzegorz Żurek Kamil Prokopiuk	Zawartości ołowiu, kadmu i chromu w glebach rolniczych przyległych do autostrady A2 Contents of lead, cadmium and chrome in agricultural areas near A2 highway	175
Kamil Prokopiuk Grzegorz Żurek	Ocena wpływu odmian wiechliny łąkowej (<i>Poa pratensis</i> L.) na jakość mieszanek przeznaczonych do zadarniania terenów zacienionych The effect of smooth-stalked meadow grass (<i>Poa pratensis</i> L.) varieties on the quality of turf mixtures in shade	183
Regina Janas	Wpływ środków biologicznych o różnych mechanizmach działania na metabolizm roślin i jakość nasion rakiety siewnej The influence of biological compounds with different mechanisms of action on the metabolism of plants and seed quality of garden rocket	197
Marian Flis	Profilaktyka w zakresie szkód wyrządzanych przez zwierzęta dzikie w uprawach rolniczych Prophylaxis against damages made by wild animals in crops	207
Marian Flis	Zróżnicowanie szkód wyrządzanych przez dzikie zwierzęta w uprawach rolniczych w warunkach obwodu łowieckiego leśnego Diversity of damages caused by wild animals within forest hunting district — number 123	215