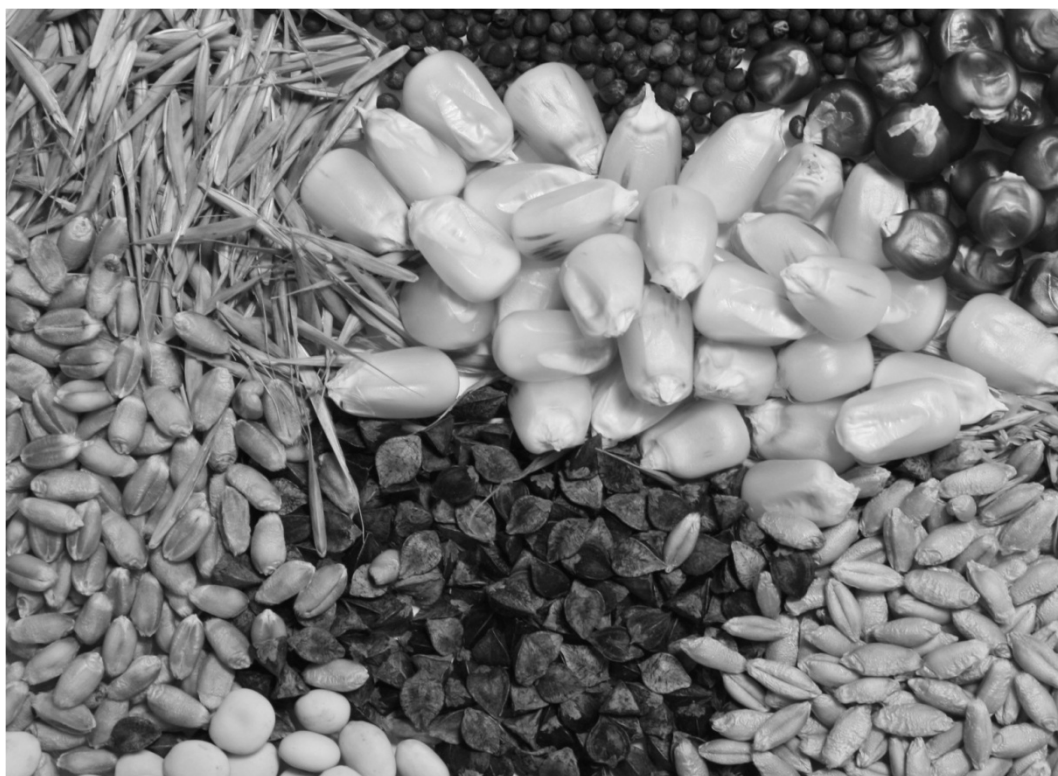




Nasiona roślin uprawnych
Fot. Dariusz R. Mańkowski

BIULETYN
INSTYTUTU HODOWLI
I AKLIMATYZACJI ROŚLIN
Nr 267/2013



Nasiona roślin uprawnych. Fot. Dariusz R. Mańkowski

RADZIKÓW 2013
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

Komitety Redakcyjne:

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)

Redaktor Statystyczny — PROF. DR HAB. WIESŁAW MĄDRY

CZASOPISMO UKAZUJE SIĘ OD 1951 ROKU

Redaktor techniczny i skład komputerowy
GABRIELA WODZYŃSKA-ŁAPIŃSKA

Druk: CENTRUM POLIGRAFII Sp. z o.o.

HENRYK J. CZEMBOR**OLGA DORACZYŃSKA****JERZY H. CZEMBOR**

Pracownia Genetyki Stosowanej

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy w Radzikowie

Odporność odmian pszenżyta na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* ff. ssp.) występującego w Polsce*

Resistance of triticale cultivars to powdery mildew (*Blumeria graminis* ff. ssp.) occurring in Poland

Mączniak prawdziwy powodowany przez grzyba *Blumeria graminis*, to jedna z ważniejszych chorób liści pszenżyta w Polsce. Przez wiele lat na tle gatunków rodzicielskich, pszenżyto uważano za gatunek mało podatny na choroby powodowane przez grzyby. Obecnie obserwuje się gwałtowne załamanie odporności na choroby powszechnie występujące w Polsce na pszenicy i życie. Celem badań było określenie stopnia odporności 59 odmian pszenżyta ozimego, 13 jarego i 14 odmian żyta na porażenie 45 izolatami *Blumeria graminis* ff. ssp. o zróżnicowanej wirulencji. Izolaty mączniaka prawdziwego pochodzenia pszenicznego i żytniego charakteryzowały się mniejszą patogenicznością w stosunku do odmian pszenżyta niż izolaty pochodzenia pszenżytniego. Spośród 72 badanych odmian pszenżyta, 53 wykazało odporność na zakażenie *B. graminis* f. sp. *secalis*, natomiast 62 na zakażenie izolatami *B. graminis* f. sp. *tritici*. Uprawiane w Polsce odmiany pszenżyta są podatne lub bardzo podatne na populację mączniaka prawdziwego zbóż. W prowadzonych badaniach jedynie odmiana Grenado odznaczała się odpornością.

Słowa kluczowe: mączniak prawdziwy, odporność odmian, patotypy, pszenżyto

Powdery mildew caused by fungus *Blumeria graminis* is one of the most important leaf diseases of triticale in Poland. For many years triticale was considered as less susceptible to fungal diseases in comparison to its parental species. Nowadays, a radical breaking down of triticale resistance to diseases of wheat and rye commonly occurring in Poland is observed. The aim of this study was to determine the resistance of 59 cultivars of winter triticale, 13 of spring triticale and 14 of rye to inoculation with 45 isolates of *Blumeria graminis* ff. ssp., with different virulence. Powdery mildew isolates originating from wheat and rye showed lower pathogenicity on triticale cultivars than isolates originating from triticale. Among 72 tested triticale cultivars, 53 showed resistance to inoculation with *B. graminis* f.sp.

* Praca wykonana w ramach grantu NCR nr N N310 314834; This study was performed by Narodowe Centrum Nauki grant No. N N310 314834

Redaktor prowadzący: Danuta Boros

secalis and 62 showed resistance to inoculation with *B. graminis* f.sp.*tritici*. Triticale cultivars grown in Poland are very susceptible to powdery mildew population and in presented study only cultivar Grenado showed resistance reaction.

Key words: powdery mildew, resistance of cultivars, patotype, triticale

WSTĘP

Mączniak prawdziwy powodowany przez grzyba *Blumeria graminis* to jedna z ważniejszych chorób liści pszenżyta w Polsce. Przez wiele lat na tle gatunków rodzicielskich pszenżyto uważano za gatunek mało podatny na choroby powodowane przez grzyby (Wakuliński, 2005). W Polsce do 1991 roku, a do 2001 roku w Niemczech, w doświadczeniach odmianowych nie prowadzono oceny odporności pszenżyta na porażenie przez choroby, ponieważ występowały one w śladowym nasileniu. Obecnie obserwuje się gwałtowne załamanie odporności na: septoriozę plew, mączniaka prawdziwego (Wakuliński, 2005; Strzembicka, 2007) oraz rdzę brunatną (Jańczak i Pawlak, 2002; Filoda, 2009). W literaturze brak jest danych określających straty w plonie pszenżyta powodowane przez mączniaka prawdziwego. Na podstawie analizy porównawczej wyników z Doświadczeń Odmianowych COBORU dla dwóch odmian pszenżyta zarejestrowanych w 1998 roku, tj. Lamberto i Tornado, można określić procentowy spadek plonu spowodowany wystąpieniem mączniaka prawdziwego. W latach 1999–2001 Lamberto plonowało w stosunku do Tornado odpowiednio: 105, 107, 105, 106, 101% przy podobnym, wysokim poziomie odporności na mączniaka, u obu odmian powyżej 8 w dziesięciostopniowej skali COBORU. W kolejnych latach, 2002–2006, poziom odporności na mączniaka odmiany Lamberto gwałtownie się obniżył i wynosił odpowiednio: 6,8; 7,5; 4,9; 4,1; 5,1. Natomiast odporność odmiany Tornado w dalszym ciągu pozostawała na wysokim poziomie, tj., powyżej 8. W konsekwencji silnego porażenia przez mączniaka plon ziarna Lamberto w stosunku do Tornado również gwałtownie spadał, i w latach 2002–2006 do Tornado, wynosił odpowiednio: 103%, 99%, 88%, 85% i 87%. Przyjmując, na podstawie wyników doświadczeń odmianowych COBORU za lata 1996–2006, że pozostałe cechy, przede wszystkim odporność na inne choroby powodowane przez grzyby, były na podobnym poziomie u obydwu odmian, można przyjąć, że duże porażenie przez mączniaka może prowadzić do obniżenia plonu pszenżyta o 15%. W roku 2007 odmiana Lamberto po raz ostatni została wymieniona w Liście Opisowej Odmian (COBORU, 1999–2007). Dla porównania, straty w plonie pszenicy powodowane przez mączniaka prawdziwego wynoszą od 13–34% w zależności od przebiegu epifitozy (Bowen i in., 1991; Griffey i Das, 1994). Celem podjętych badań było określenie stopnia odporności odmian pszenżyta na porażenie izolatami *Blumeria graminis* ff. ssp. o zróżnicowanej wirulencji.

MATERIAŁ I METODY

Materiał roślinny

Badaniami objęto 59 odmian pszenżyta ozimego i 13 jarego oraz 14 odmian populacyjnych i mieszańcowych żyta (tab. 1) wpisanych do krajowego rejestru odmian rolniczych w latach od 1982 do 2009.

Tabela 1

Lista badanych odmian pszenżyta i żyta
List of tested triticale and rye cultivars

Gatunek Species	Odmiany Cultivars
Pszenżyto ozime Winter triticale	Alekto, Algoso, Aliko, Almo, Alzo, Atletico, Baltico, Beta, Bogo, Bolero, Borwo, Chrono, Dagro, Dinaro, Disco, Eldorado, Fidelio, Gniewko, Grenado, Hewo, Hortenso, Janko, Kazo, Kitaro, Krakowiak, Lamberto, Largo, Lasko, Magnat, Malno, Marko, Moderato, Moniko, Moreno, Nemo, Ordo, Pawo, Piano, Pigmej, Pinokio, Prado, Prego, Presto, Pronto, Salvo, Secundo, Sorento, Tewo, Todan, Tornado, Trigold, Trimester, Trismart, Tulus, Ugo, Vero, Witon, Woltario, Zorro
Pszenżyto jare Spring triticale	Andrus, Dublet, Gabo, Jago, Kargo, Maja, Matejko, Mieszko, Migo, Milewo, Milkaro, Nagano, Wanad
Żyto ozime Winter rye	Caroas Syntetyk, Dańkowskie Złote, Dańkowskie Diament, Herakles Syntetyk, Agronom F ₁ , Amatto F ₁ , Balistic F ₁ , Ballami F ₁ , Fugato F ₁ , Minello F ₁ , Picasso F ₁ , Placid F ₁ , Rasant F ₁ , Visello F ₁
Zestaw różnicujący Differential set	Axminster, Avalon, Asosan, Chul, Sonora, Kolibri, Weihestephan, Kormoran, <i>Pm6</i> , Transec, Disponent, Maris Huntsmann, Kadett, Boxer, Sorbas, Kronjuvel, Grenado, Apollo Sappo, Amigo, Yangmai5, Virest, Pova, <i>Pm34</i> , <i>Pm35</i> , Nimbus

W celu porównania reakcji odmian pszenżyta na zakażenie izolatami *B. graminis* o zróżnicowanej wirulencji, do badań włączono zestaw linii i odmian testowych o znanych genach odporności, różnicujących izolaty mączniaka prawdziwego pod względem genów wirulencji (tab. 2).

Tabela 2

Linie i odmiany o znanych genach odporności *Pm* na mączniaka (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*)
Lines and cultivars with known *Pm* resistance genes for powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*)

Linia/odmiana Line/cultivar	Geny odporności Resistance gene	Chromosom Chromosome	Linia/odmiana Line/cultivar	Geny odporności Resistance gene	Chromosom Chromosome
Axminster	<i>Pm1a</i>	7AL	Boxer	<i>Pm4b+5</i>	
Avalon	<i>Pm2</i>	5DS	Sorbas	<i>Pm4b+6</i>	
Asosan	<i>Pm3a</i>	1AS	Kronjuvel	<i>Pm4b+8</i>	
Chul	<i>Pm3b</i>	1AS	Grenado	<i>Pm5+8</i>	
Sonora	<i>Pm3c</i>	1AS	Apollo	<i>Pm2+4b+8</i>	
Kolibri	<i>Pm3d</i>	1AS	Sappo	<i>Pm1+2+4b+9</i>	
Weihestephan	<i>Pm4b</i>	2AL	Amigo	<i>Pm17</i>	1AL/1RS
Kormoran	<i>Pm5d</i>	7BL	Yangmai5	<i>Pm21</i>	6VS/6AL
<i>Pm 6</i>	<i>Pm6</i>	2B	Virest	<i>Pm 22</i>	7AL
Transec	<i>Pm7</i>	4BS/4BL-2RL	Pova	<i>Pm 29</i>	7DL
Disponent	<i>Pm8</i>	1BL/1RS	<i>Pm 34</i>	<i>Pm 34</i>	5DL
Maris Huntsman	<i>Pm2+6</i>		<i>Pm 35</i>	<i>Pm 35</i>	5DL
Kadett	<i>Pm3d+4b</i>				

Materiał infekcyjny grzyba

Izolaty rozmnażano na podatnych na mączniaka odmianach: pszenżyta — Lamberto, pszenicy — Nimbus i żyta — Dańkowskie Żłote.

Stopień odporności odmian pszenżyta i żyta oceniano na podstawie reakcji na zakażenie 39 izolatami jednozarodnikowymi mączniaka prawdziwego wyodrębnionymi z porażonych liści pszenżyta o zróżnicowanej wirulencji w stosunku do zestawu linii pszenicy o znanych genach odporności. Dodatkowo do zestawu włączono cztery izolaty *B. graminis* f. sp. *tritici* oraz dwa izolaty *B. graminis* f. sp. *secalis* o różnej patogeniczności. Spektrum patogeniczności 45 izolatów podano w tabeli 3. Zestaw izolatów został opracowany na podstawie wyników badań nad strukturą populacji *Blumeria graminis* ff. ssp. występującej na terenie Polski, prowadzonych w Pracowni Genetyki Stosowanej Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Radzikowie (IHAR — PIB).

Tabela 3

Reakcja izolatów *Blumeria graminis* ff. ssp. zebranych z pszenicy, pszenżyta i żyta w stosunku do odmian różnicujących
Reaction of *Blumeria graminis* ff. ssp isolates collected from wheat ^(a), triticale ^(b) and rye ^(c) on differential set

Izolot Isolate	Odmiana — Cultivars																									
	Axminster	Avalon	Asosan	Chul	Sonora	Kolibri	Weihenstephan	Krmoran	Pm6	Transec	Disponent	Maris Huntsman	Kadett	Boxer	Sorbas	Kronjuvel	Granada	Apollo	Sappo	Amigo	Yangmai5	Virest	Pova	Pm34	Pm35	Nimbus
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	15	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Bgt 12 ^(a)	0	4	3	0	4	2	2	4	4	4	4	4	1	4	4	4	4	4	0	2	0	0	0	2	3	4
Bgt 28 ^(a)	0	4	0	0	4	3	3	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	0	2	0	0	0	x	3	4
Bgt 8 ^(a)	0	4	3	0	4	0	0	4	4	x	4	4	0	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	3	2	4
Bgt Kadett ^(a)	4	4	2	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	0	2	2	4
BgT 15 ^(b)	3	0	0	0	4	2	0	4	4	4	0	4	0	0	0	0	4	0	0	4	0	4	0	0	0	4
BgT MAS 109 ^(b)	0	0	3	0	4	3	0	3	4	3	0	3	0	0	0	0	4	0	0	4	0	0	0	1	1	4
BgT KOH 209 ^(b)	3	0	0	0	4	0	0	3	4	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	2	2	3
BgT RAH 609 ^(b)	0	0	0	0	4	0	0	3	4	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4	0	x	0	0	0	4
BgT GLO 1109 ^(b)	0	0	3	0	3	2	0	4	4	4	3	3	0	3	0	3	3	0	0	3	0	0	0	4	3	4
BgT RAH 709 ^(b)	0	0	3	0	4	3	0	4	4	4	0	3	0	0	4	0	4	0	1	2	0	0	0	1	0	4
BgT WRO 209 ^(b)	0	4	3	0	4	0	0	4	4	4	0	3	0	0	0	0	4	0	0	3	0	0	0	4	3	4
BgT GRH 1409 ^(b)	0	0	3	0	4	3	0	2	4	4	0	3	0	0	3	0	3	0	1	4	0	0	0	4	4	4
BgT MAH 1509 ^(b)	0	2	0	0	0	0	0	2	3	4	0	1	0	1	0	0	3	0	1	2	0	0	0	0	3	4
BgT GRH 1609 ^(b)	0	3	0	0	4	3	0	4	4	4	0	3	0	0	2	2	4	3	0	3	0	x	0	2	3	4
BgT GLO 909 ^(b)	0	0	3	0	2	1	0	3	3	2	0	3	0	2	3	2	4	0	0	3	0	0	0	3	3	4
BgT KOH 23 ^(b)	4	4	0	2	4	1	4	4	4	4	4	3	0	4	3	4	4	4	1	2	0	4	0	1	1	3
BgT KOH2 ^(b)	3	0	0	1	3	2	0	3	4	1	0	2	0	1	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	3	4
BgT GRH809 ^(b)	0	0	0	0	3	0	0	4	4	4	0	4	0	1	4	0	4	0	0	3	0	0	0	2	3	4
BgT WRO209 ^(b)	3	4	3	3	4	3	0	4	4	4	0	4	0	0	0	0	4	0	0	4	0	0	0	4	4	4
BgT UHN 21-11 ^(b)	4	2	0	0	4	3	0	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	1	1	3	0	4	0	4	4	4
BgT UHN 12-25 ^(b)	0	0	3	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	4	3
BgT GLO 15-6 ^(b)	3	1	4	1	4	3	0	4	4	2	0	3	0	0	3	0	4	0	0	4	0	4	0	3	4	4
BgT GRH 3-15 ^(b)	0	4	0	0	3	3	0	4	4	4	0	4	0	0	0	0	4	0	0	4	0	0	0	3	3	4
BgT UHN 22-28 ^(b)	3	0	0	3	4	4	0	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	2	0	4	0	0	0	4	4	4

c. d. Tabela 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
BgT GRH 5-1 ^(b)	4	4	0	0	4	2	0	0	4	4	0	3	0	0	4	0	0	0	2	4	0	3	0	0	2	3
BgT Przecław 21 ^(b)	0	4	0	0	4	3	3	4	4	4	0	0	4	4	4	4	4	4	0	3	0	0	0	0	0	4
BgT Przecław 24 ^(b)	0	0	0	0	3	3	0	3	3	3	0	0	0	4	0	3	0	0	4	0	0	0	0	0	0	4
BgT Dębina 1 ^(b)	4	4	3	3	4	0	4	4	4	4	4	3	0	4	4	4	4	4	3	4	0	4	0	0	2	4
BgT CHR 18 ^(b)	0	0	0	4	0	0	0	4	4	4	0	4	0	0	0	0	4	0	0	4	0	0	0	0	2	4
BgT MAS 1 ^(b)	0	4	0	0	0	0	0	2	3	3	0	4	0	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	4
BgT MAS17 ^(b)	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	0	0	0	0	2	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	4
BgT KOH 19 ^(b)	2	0	0	0	4	0	0	3	4	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	2
BgT 928 ^(b)	4	4	0	0	4	1	0	4	4	4	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	2	4
BgT KOH 5 ^(b)	0	3	0	0	3	3	2	3	4	4	4	0	0	4	2	4	2	2	0	2	0	0	0	0	0	4
BgT 9 ^(b)	3	0	0	0	3	0	0	4	4	4	0	3	0	0	0	0	4	0	0	4	0	3	0	0	0	4
BgT UHN12/11 ^(b)	0	0	0	0	4	2	0	4	4	4	0	2	0	0	1	0	4	0	0	3	0	0	0	0	0	4
BgT Przecław 24/13 ^(b)	0	3	0	0	4	3	0	4	4	3	0	4	0	0	0	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0	4
BgT BKH 1/09 ^(b)	0	3	0	0	4	3	0	4	4	4	0	3	0	0	0	0	4	0	0	3	0	0	0	0	0	4
BgT BKH 3/09 ^(b)	4	3	0	0	4	2	0	4	4	4	0	4	0	0	0	0	4	0	0	3	0	4	0	0	0	4
BgT BHK 2 ^(b)	4	1	0	0	3	0	4	4	4	3	0	3	0	0	0	0	3	0	0	4	0	4	0	0	0	4
BgT STH 21 ^(b)	0	0	0	0	4	3	0	3	4	3	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0	4
BgT STH 20 ^(b)	4	4	0	0	3	3	0	4	4	4	0	4	0	0	3	3	4	3	0	4	0	4	0	0	0	4
BgT L28 ^(b)	3	4	0	0	0	0	0	4	4	4	0	4	0	0	0	0	4	0	0	3	0	3	0	0	0	4
Bgs 1 ^(c)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0	0	1	2
Bgs 2 ^(c)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	2	2

^a — *Blumeria graminis* f.sp. *tritici* isolates; izolaty z pszenicy

^b — *Blumeria graminis* isolates collected from triticales; izolaty z pszenżyta

^c — *Blumeria graminis* f.sp. *secalis* isolates; izolaty z żyta

Testy odpornościowe — inokulacja roślin

Nasiona badanych odmian wysiewano do doniczek w ilości ok. 10–15 ziarniaków. Testy odpornościowe prowadzono w fitotronie w warunkach optymalnych dla rozwoju grzyba *Blumeria graminis* ff. ssp.: długość dnia 16 h przy świetle o natężeniu ok. 10 $\mu\text{E}/\text{m}^2$; długość nocy 8 h; temperatura dnia 19°C, a temperatura nocy 15°C. Rośliny badanych odmian zakażano poszczególnymi izolatami w fazie 11 według skali Zadoks (1974), gdy drugi liść był w pełni rozwinięty. Rośliny badanych odmian zakażano poprzez strząsanie zarodników konidialnych z liści roślin odmianach podatnych, odpowiednio: Lamberto, Nimbus i Dankowskie Złote. Ilość inokulum była wystarczająca, aby w sposób równomierny pokryć zakażane rośliny. Ocenę stopnia porażenia roślin określonym izolatem grzyba *B. graminis* ff. ssp. przeprowadzano po 8 dniach od inokulacji. Do oceny wykorzystano skalę opracowaną przez Mains i Dietz (1930), gdzie 0 = brak widocznych objawów porażenia; 1 = niewielkie nekrozy; 2 = nekrozy powiększają się, skąpe zarodnikowanie; 3 = chlorozy, grzybnia rozwinięta lecz słabo zarodnikująca; 4 = dobrze rozwinięta i zarodnikująca grzybnia.

WYNIKI

W tabeli 4 przedstawiono wyniki oceny reakcji odmian pszenżyta ozimego i jarego oraz żyta, na zakażenie 45 izolatami *B. graminis* ff. ssp. o zróżnicowanej patogeniczności w stosunku do zestawu różnicującego wirulencję *B. graminis* f. sp. *tritici* pszenicy.

Tabela 4

Reakcja 72 odmian pszenżyta ozimego i jarego oraz żyta na porażenie 45 izolatami *Blumeria graminis* ff.ssp. o znanej wirulencji w stosunku do genów odporności *Pm*

Reaction of 72 winter and spring triticale and rye cultivars to inoculation with 45 isolates of *Blumeria graminis* ff.ssp. with known virulence against known *Pm* resistance genes

Odmiana Cultivar	Izolat — Isolate																							
	Bgt 12 ^(a)	Bgt 28 ^(a)	Bgt 8 ^(a)	Bgt Kadett ^(a)	Bgt 15 ^(b)	Bgt MAS 109 ^(b)	Bgt KOH 209 ^(b)	Bgt RAH 609 ^(b)	Bgt GLO 1109 ^(b)	Bgt RAH 709 ^(b)	Bgt WRO 209 ^(b)	Bgt GRH 1409 ^(b)	Bgt MAH 1509 ^(b)	Bgt GRH 1609 ^(b)	Bgt GLO 909 ^(b)	Bgt KOH 23 ^(b)	Bgt KOH2 ^(b)	Bgt GRH809 ^(b)	Bgt WRO209 ^(b)	Bgt UHN 21-11 ^(b)	Bgt UHN 12-25 ^(b)	Bgt GLO 15-6 ^(b)	Bgt GRH 3-15 ^(b)	Bgt UHN 22-28 ^(b)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	24
Pszenżyto ozime																								
Winter triticale																								
Aleko	0	0	0	0	0	4	4	4	0	0	0	4	0	0	0	4	4	0	0	0	4	0	0	4
Algoso	1	2	0	2	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Aliko	0	0	0	0	4	4	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	3	4	4	3	4	4
Almo	0	0	0	0	4	4	0	4	4	4	3	3	4	4	4	4	0	4	3	4	4	3	4	4
Alzo	0	0	0	0	4	0	4	1	3	4	4	2	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4
Atletiko	0	0	0	0	0	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0	4	0	0	4
Baltiko	1	0	0	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Beta	1	0	0	0	2	0	1	0	4	1	3	0	2	2	4	1	2	2	2	4	3	3	2	4
Bogo	1	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4
Bolero	0	0	0	0	4	4	0	4	4	4	3	3	4	4	4	4	0	4	4	4	4	3	4	4
Borwo	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	0	0	0	4	4	0	0	0	4	0	0	4
Chrono	1	0	0	0	4	4	4	4	0	0	0	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Dagro	0	0	0	0	4	4	0	4	4	4	0	3	3	3	4	4	2	4	3	4	4	3	4	4
Dinaro	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	4
Disco	1	0	0	2	2	1	1	0	4	3	0	1	0	2	4	2	2	2	0	4	3	4	4	4
Eldorado	1	2	0	0	4	4	0	4	4	4	0	2	4	4	4	4	2	4	2	4	4	4	4	4
Fidelio	1	0	0	0	4	4	4	4	4	3	0	4	2	0	4	3	3	0	0	4	4	4	0	4
Gniewko	1	0	0	0	0	4	4	4	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	4
Grenado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
Hewo	0	0	0	0	4	4	0	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Hortenso	4	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Janko	1	0	0	0	4	4	0	4	4	4	4	3	3	4	4	4	2	4	4	4	4	3	4	4
Kazo	1	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Kitaro	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Krakowiak	2	4	2	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Lamberto	1	0	0	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Largo	0	0	0	2	4	4	0i4	4	4	3	4	2	4	3	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4
Lasko	0	0	0	0	4	4	0	4	4	4	4	3	4	4	4	4	2	4	4	4	4	3	4	4
Magnat	0	0	0	0	0	4	3	4	0	0	0	4	0	0	0	4	4	0	0	0	4	0	0	4
Malno	0	0	0	0	4	4	0	4	4	4	4	3	4	4	4	4	0	4	4	4	4	3	4	4
Marko	4	4	2	2	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Moderato	1	0	0	2	4	2	2	2	4	0	4	0	4	4	4	2	3	2	3	4	4	4	2	4
Moniko	0	0	0	0	0	4	0	4	0	0	0	1	0	0	0	4	1	0	0	0	4	0	0	0
Moreno	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Nemo	0	0	0	0	4	4	0	4	4	4	4	3	4	4	4	4	2	4	4	4	4	3	4	4
Ordo	1	0	0	0	4	4	0	4	4	4	4	3	4	4	4	4	2	4	4	4	4	3	4	4
Pawo	2	0	0	0	4	4	0	4	4	4	4	3	4	4	4	4	2	4	4	4	4	3	4	4
Piano	2	3	1	2	4	4	4	4	4	4	4	3	0	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4
Pigmej	0	0	0	0	0	4	4	4	0	0	0	3	0	0	0	4	4	0	0	0	4	0	0	3
Pinokio	0	0	0	0	0	4	4	4	0	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	0	4	0	0	3

c. d. Tabela 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	24
Prado	0	0	0	0	2	0	0	1	3	2	4	1	4	3	4	1	0	2	4	3	3	3	3	4
Prego	0	0	0	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Presto	0	0	0	0	4	4	0	4	4	4	2	3	4	4	4	4	2	4	3	4	4	4	4	4
Pronto	0	0	0	0	4	4	0	4	4	4	3	3	3	4	4	4	2	4	4	4	4	3	4	4
Salvo	0	0	0	0	2	2	0	2	4	3	4	2	4	4	4	3	0	2	0	4	4	2	4	4
Sekundo	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Sorento	0	0	0	0	4	4	0	4	4	4	2	3	4	4	4	4	2	4	2	4	4	3	4	4
Tewo	0	0	0	0	4	4	0	4	4	4	4	3	4	4	4	4	0	4	4	4	4	3	4	4
Todan	1	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Tornado	0	0	0	0	4	4	0	1	4	4	4	3	4	4	4	3	2	4	4	4	4	4	4	4
Trigold	2	3	2	2	4	4	4	4	3	4	0	4	1	3	4	4	2	4	0	4	4	4	4	4
Trimester	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4
Trismart	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4
Tulus	3	4	3	1	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	2	4	4
Ugo	1	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4
Vero	2	0	0	0	4	4	0	4	4	4	4	3	3	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4
Witon	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Woltario	0	0	0	0	4	4	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4	4
Zorro	2	2	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Pszenżyto jare																								
Spring tritiale																								
Andrus	0	0	0	0	3	1	1	0	3	3	4	3	4	4	4	0	2	2	4	4	0	4	3	4
Dublet	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Gabo	2	3	0	2	4	3	2	2	4	4	4	3	4	4	4	1	2	4	4	4	3	4	4	4
Jago	3	4	2	4	4	4	2	2	4	4	4	4	4	4	4	3	2	4	4	4	4	4	4	4
Kargo	1	0	0	0	2	4	0	2	4	4	3	1	3	4	4	4	2	4	4	4	3	4	4	4
Maja	1	0	0	2	4	3	0	4	4	4	4	1	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4
Matejko	4	4	0	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Mieszko	0	0	0	0	3	4	0	4	4	3	4	2	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4
Migo	0	0	0	0	4	4	4	4	4	x	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Milewo	0	0	0	0	3	4	0	4	4	3	3	2	4	4	4	4	2	4	4	4	0	3	4	4
Milkaro	0	0	0	1	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2	4	4	4	4	4	4	4
Nagono	0	0	0	0	2	2	2	2	4	3	4	3	4	3	4	3	3	2	4	4	3	4	4	4
Wanad	2	3	1	1	4	3	2	2	4	4	4	3	4	4	4	2	3	4	4	4	3	4	4	4
Rye																								
Żyto																								
Caroas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0i4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
D. Złote	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0i3	0	0	0	0	0i4	0	0	0i4
D. Diament	0	0	0	0	0	0i4	0i3	0	0	0	0	0i4	0i1	0	0i3	0	0	0	0	0	0i2	0	0	0
Herakles	0	0	0	0	0	0i4	0	0	0	0	0	0	0i2	0	0i2	0	2	0i4	0	0	0	0	0	0
Agromom F1	0	0	0	0	0	0	0i3	0i3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amatto F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0i2	0i3	0	0i2	0i4	0	0	0i3	0i2	0	0
Balistic F1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0i2	0i3	0i3	0i4	0i3	0	0	0i2	0i2	0	0	0i2	0
Ballami F1	0	0	0	0	0	0i4	0i3	0i3	0	0	0	0	0	0i2	4	3	0i3	0i2	0i4	0	0i3	0	0i2	3
Fugato F1	0	0	0	0	0	0	0i3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Minello F1	0	0	0	0	0	0i3	0	0i3	0i2	0	0	0i2	0	0	0i2	0i3	0i2	0i4	0i4	3	0i3	0i3	3	3
Picasso F1	0	0	0	0	0	0	0i2	0	0	0	0	0	0	0	0i2	0	0i4	0	0	0	0	0	0	0
Placid F1	0	0	0	0	0	0i2	0	0	0	0	0	0	0	0	0i3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rasant F1	0	0	0	0	0	0i4	0i3	0	0	0	0	0	0	0	0i3	0	0i2	0	0	0	0	0	0	0
Visello F1	0	0	0	0	0	0i4	0	0	0	0	0	0i3	0i3	0	0	0i3	0	0i2	0i2	0i3	0	0	0	0

c. d. Tabela 4

Odmiana Cultivar	Izolaty — Isolate																					
	BgT GRH 5 - 1 ^(b)	BgT Przecław 21 ^(b)	BgT Przecław 24 ^(b)	BgT Dębina 1 ^(b)	BgT CHR 18 ^(b)	BgT MAS 1 ^(b)	BgT MAS 17 ^(b)	BgT KOH 19 ^(b)	BgT 928 ^(b)	BgT KOH 5 ^(b)	BgT 9 ^(b)	BgT UHN12/11 ^(b)	BgT Przecław 24/12/12 ^(b)	BgT BKH 1/09 ^(b)	BgT BKH 3/09 ^(b)	BgT BKH 2 ^(b)	BgT STH 21 ^(b)	BgT STH 20 ^(b)	BgT L28 ^(b)	Bgs 1 ^(c)	Bgs 2 ^(c)	
1	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	
Pszennyto ozime																						
Winter triticale																						
Alekto	0	4	4	4	0	0	0	4	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	
Algoso	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	2	
Aliko	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4	0	0	
Almo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4	0	0	
Alzo	4	3	3	4	2	4	2	4	4	0	4	0	4	4	4	4	0	4	4	2	0	
Atletiko	0	4	4	4	0	0	0	4	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	3	3	
Baltiko	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	2	4	4	4	2	2	4	4	0	0	
Beta	0	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	
Bogo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
Bolero	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4	0	0	
Borwo	4	4	4	4	0	0	0	4	0	4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	
Chrono	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	0	0	
Dagro	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	3	4	0	0	
Dinaro	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	
Disco	3	3	4	3	0	0	2	4	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	2	0	
Eldorado	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	2	
Fidelio	0	4	4	4	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Gniewko	0	4	4	4	0	0	0	4	0	4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	
Grenado	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Hewo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	2	
Hortenso	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	
Janko	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4	0	0	
Kazo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	
Kitaro	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	
Krakowiak	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2	
Lamberto	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	0	
Largo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	0	
Lasko	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4	0	0	
Magnat	0	4	4	4	0	0	0	4	0	4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	
Malno	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4	2	0	
Marko	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	x	x	4	4	4	4	4	4	4	0	0	
Moderato	3	4	4	4	4	2	4	2	2	0	0	2	4	4	0	2	2	0	2	0	0	
Moniko	0	4	4	4	0	0	0	4	0	4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	2	
Moreno	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2	
Nemo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4	0	0	
Ordo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4	0	0	
Pawo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4	2	3	
Piano	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2	
Pigmej	0	4	4	4	0	0	0	4	4	4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	
Pinokio	0	4	4	4	0	0	0	4	0	4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	
Prado	4	3	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	
Prego	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	2	
Presto	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4	0	0	

c.d. Tabela 4

1	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Pronto	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4	2	0
Salvo	4	3	4	4	4	4	2	2	4	2	2	4	0	2	2	4	1	2	2	0	0
Sekundo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	0
Sorento	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4	0	0
Tewo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0
Todan	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4	0	3
Tornado	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	0
Trigold	3	4	3	3	2	2	4	2	2	4	3	4	4	4	4	2	2	0	0	0	0
Trimester	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	2
Trismart	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	3	2
Tulus	4	4	4	4	4	4	4	2	4	2	3	4	4	4	4	4	4	0	4	3	2
Ugo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	0
Vero	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4	0	0
Witon	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2
Woltario	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	2	4	0	0
Zorro	4	4	4	4	4	4	4	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0
Pszenżyto jare																					
Spring triticales																					
Andrus	3	0	4	3	4	4	4	4	4	2	3	2	4	2	4	3	2	2	2	0	0
Dublet	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	2	0
Gabo	4	3	4	3	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3
Jago	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	0
Kargo	4	4	4	4	3	2	4	1	4	4	4	4	2	4	4	3	4	2	2	3	3
Maja	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2
Matejko	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	2
Mieszko	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	2	4	4	4	4	4	3	3
Migo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	0	3
Milewo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	0	4	4	4	4	4	4	3	2
Milkaro	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	4	4	4	4	3	2	0	4	0	0
Nagono	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	0	0	2	2
Wanad	4	3	4	4	4	4	4	1	4	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	2
Żyto																					
Rye																					
Caroas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4
Dańkowskie Złote	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4
Dańkowskie Diament	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4
Herakles	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0i3	0	0	0	0	0	0	4	4
Agronom F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0i4	0	0	0	0	0	0	4	4
Amatto F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4
Balistic F1	3	0	0	0	2	0	0	0	0i2	0i3	0	0	0	0	0	0i4	0	0	0	4	4
Ballami F1	0	0	0	0	0	0i4	0	0	4	0i3	0i2	0i4	0i4	0	0i4	0i4	0	0	0	4	4
Fugato F1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0i4	0	0	0	0	0	0	x	X
Minello F1	3	0	0	0	0	0	0i2	0	0i2	0i4	0i2	0i4	0i4	0	0i4	0	0	0i4	0	4	4
Picasso F1	0	0	0	0	0	0	0i2	0	0i2	0i2	0	0i2	0	0	0	0	0	0i3	0	4	4
Placid F1	0	0	0	0	2	0	0i2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0i3	0	4	4
Rasant F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4
Visello F1	0	0	0	0	0	0	0i2	0	0	0	0	0i2	0	0	0	0	0	0i3	0	4	4

^a — *Blumeria graminis* f.sp. *tritici* isolates — izolat z pszenicy.

^b — *Blumeria graminis* isolates collected from triticales — izolat z pszenżyta

^c — *Blumeria graminis* f.sp. *secalis* isolates — izolat z żyta

Izolaty mączniaka prawdziwego pochodzenia pszenicznego i żytniego charakteryzowały się mniejszym zakresem patogeniczności w stosunku do odmian pszenżyta niż izolaty pochodzenia pszenżytniego. Wszystkie izolaty charakteryzowały się większym

zakresem wirulencji w stosunku do odmian pszenżyta jarego w porównaniu do odmian ozimych. Na 13 badanych odmian jarych, 7 odznaczało się odpornością na izolaty *B. graminis* f.sp. *secalis*, zaś 9 na zakażenie izolatami pochodzącymi z pszenicy. Z ogólnej liczby 72 badanych odmian pszenżyta 53 wykazało odporność na zakażenie *B. graminis* f.sp. *secalis*, natomiast 62 na zakażenie izolatami *B. graminis* f.sp. *tritici*.

Użyte w badaniach izolaty pochodzące z pszenżyta były w różnym stopniu wirulentne w stosunku do wszystkich ocenianych odmian pszenżyta. Wysoką odpornością w ocenianym zestawie 72 odmian pszenżyta charakteryzowały się odmiany ozime Grenado i Dinaro, odporne odpowiednio na 37 i 36 izolatów. Dobrą odporność w stosunku do kolekcji 39 izolatów z pszenżyta wykazały odmiany pszenżyta ozimego: Alekto, Atletico, Beta, Borwo, Disco, Fidelio, Gniewko, Magnat, Moniko, Pigmej, Pinokio i Prado, dla których liczba izolatów awirulentnych była większa niż 20, podczas gdy dla odmian pszenżyta jarego jedynie odmiana Nagano charakteryzowała się odpornością w stosunku do 18 izolatów. Na 72 badane odmiany pszenżyta 13 odmian ozimych: Algoso, Bogó, Hortenso, Kazo, Kitaro, Krakowiak, Lamberto, Moreno, Prego, Secundo, Trimester, Ugo, Witon oraz 2 odmiany jare: Matejko i Migo były podatne na wszystkie izolaty pochodzące z pszenżyta.

Użyte w badaniach izolaty *B. graminis* f.sp. *tritici* były awirulentne względem odmian żyta wykorzystanych w zestawie testowym. Natomiast izolaty *B. graminis* f.sp. *secalis* były wirulentne względem wszystkich odmian żyta. Izolaty *B. graminis* pobrane z pszenżyta były w różnym stopniu wirulentne wobec odmian żyta wykorzystanych w doświadczeniu. Obserwowano reakcje od pełnej odporności do pełnej podatności. Niemniej u wielu odmian żyta obserwowano heterogeniczną reakcję odporności na zakażenie mączniakiem prawdziwym zebranych na pszenżycie.

Zestawienie liczbowe odmian pszenżyta ozimego i jarego podatnych na porażenie izolatami *Blumeria graminis* ff.ssp. wyodrębnionymi z pszenżyta, *Blumeria graminis* f.sp. *tritici* oraz *Blumeria graminis* f.sp. *secalis*, przedstawia tabela 5. Można stwierdzić, że wirulencja izolatów *B. graminis* ff.ssp. zebranych z pszenżyta była wyższa w stosunku do odmian pszenżyta niż do odmian pszenicy ze znanymi genami odporności. Najwyższą wirulencją charakteryzował się izolat BgT UHN22-28, porażając 68 odmian pszenżyta, w tym 55 odmian ozimych i wszystkie odmiany jare. Jednocześnie izolat ten porażał 16 odmian i linii testowych o znanych genach odporności na mączniaka. Z kolei izolat BgT Dębina1 charakteryzował się najwyższą wirulencją w stosunku do odmian o znanych genach odporności na mączniaka, poraził 19 z 25 odmian pszenicy zestawu testowego.

Na podstawie wyników reakcji odmian pszenicy, których odporność na mączniaka prawdziwego jest warunkowana znanymi genami, podjęto próbę postulowania genów odporności u odmian pszenżyta. Stwierdzono, że kombinacje wirulencji i awirulencji reprezentowane przez utworzoną kolekcję 45 izolatów nie pozwalają jednoznacznie określić genów odporności *Pm* na mączniaka prawdziwego występujących w badanych odmianach pszenżyta.

Tabela 5

Zestawienie liczbowe podatnych odmian pszenżyta ozimego i jarego na porażenie izolatami *Blumeria graminis* wyodrębnionymi z pszenżyta, pszenicy i żyta

The numbers of cultivars of winter and spring triticale susceptible to inoculation with *Blumeria graminis* originated from triticale, wheat and rye

Patogen Pathogen	Izolat Isolate	Liczba podatnych odmian pszenżyta ozimego No. of susceptible cultivars of winter triticale	Procent z ogółu Percentage	Liczba podatnych odmian pszenżyta jarego No. of susceptible cultivars of spring triticale	Procent z ogółu Percentage
1	2	3	4	5	6
<i>Blumeria graminis</i> ff.ssp. z pszenżyta <i>Blumeria graminis</i> ff.ssp. from triticale	BgT KOH2	23	38,98	9	69,23
	BgT Przecł. 24/13	30	50,85	4	30,77
	BgT KOH 209	26	44,07	9	69,23
	BgT GRH 1409	30	50,85	13	100,00
	BgT GLO 15-6	37	62,71	9	69,23
	BgT STH 20	40	67,80	9	69,23
	BgT 9	36	61,02	13	100,00
	BgT MAH 1509	40	67,80	9	69,23
	BgT STH 21	36	61,02	13	100,00
	BgT WRO209	37	62,71	13	100,00
	BgT WRO 209	42	71,19	10	76,92
	BgT BKH 3/09	42	71,19	10	76,92
	BgT L28	41	69,49	11	84,62
	BgT UHN12/11	42	71,19	11	84,62
	BgT BHK 2	46	77,97	7	53,85
	BgT KOH 5	42	71,19	11	84,62
	BgT MAS17	42	71,19	12	92,31
	BgT CHR 18	43	72,88	11	84,62
	BgT GRH809	43	72,88	11	84,62
	BgT MAS 1	42	71,19	13	100,00
	BgT GRH 1609	43	72,88	12	92,31
	BgT RAH 709	45	76,27	11	84,62
	BgT 15	46	77,97	10	76,92
	BgT BKH 1/09	44	74,58	13	100,00
	BgT 928	47	79,66	10	76,92
	BgT KOH 19	50	84,75	7	53,85
	BgT RAH 609	45	76,27	13	100,00
	BgT GRH 3-15	45	76,27	13	100,00
	BgT GRH 5 - 1	46	77,97	13	100,00
	BgT GLO 1109	50	84,75	10	76,92
	BgT KOH 23	48	81,36	13	100,00
	BgT UHN 21-11	49	83,05	13	100,00
	BgT GLO 909	51	86,44	11	84,62
	BgT MAS 109	52	88,14	12	92,31
	BgT Przecław 21	52	88,14	13	100,00
	BgT Dębina 1	54	91,53	11	84,62
	BgT UHN 12-25	53	89,83	13	100,00
	BgT Przecław 24	55	93,22	13	100,00
	BgT UHN 22 -28	2	3,39	0	0,00

c.d. Tabela 5

1	2	3	4	5	6
<i>Blumeria graminis</i> f.sp. <i>tritici</i>	Bgt 8	1	1,69	1	7,69
	Bgt Kadett	4	6,78	2	15,38
	Bgt 12	6	10,17	4	30,77
	Bgt 28	3	5,08	4	30,77
<i>Blumeria graminis</i> f.sp. <i>secalis</i>	Bgs 2	3	5,08	4	30,77
	Bgs 1	9	15,25	5	38,46

DYSKUSJA

Wprowadzone w Polsce z początkiem lat 80. ubiegłego wieku do uprawy pszenżyto było wolne od chorób powszechnie występujących na pszenicy i życie (Wakuliński in., 2005). W miarę przyrostu powierzchni uprawy tego gatunku na przestrzeni lat, mechanizmy odpornościowe na patogeny zostały przełamane. Obecnie jest ono porażane przez wiele grzybów występujących zarówno na pszenicy, jak i na życie. Należą do nich: *Blumeria graminis*, *Puccinia triticea*, *Puccinia striiformis*, *Rhynchosporium secalis*, *Stagonospora ssp.*, *Fusarium ssp.* (Wakuliński i in., 2005; Strzembicka i in., 2011). Hodowla odpornościowa na stresy biotyczne jest jedną z ważnych metod ochrony roślin. Dlatego stopień odporności odmian na choroby, w tym na mączniaka prawdziwego, jest jednym z podstawowych kryteriów świadczących o ich przydatności dla rolnictwa zrównoważonego, organicznego i ekologicznego (Bennett, 1984).

Badania Cichego i Olejniczaka (2010) nad mączniakiem pszenżyta wskazują, iż przełamywanie odporności pszenżyta przez tego patogena obserwowane jest na terenie całego kraju. Proces przełamywania odporności nowych odmian pszenżyta następuje w krótkim okresie, o czym świadczą badania publikowane każdego roku przez COBORU (2003–2012), badania Cichego i Olejniczaka (2010) oraz Wakulińskiego i in. (2007). W przeprowadzonych badaniach odmiany starsze, Lamberto i Moreno były podatne na wszystkie izolaty *B. graminis* ff.ssp. podczas gdy odmiana Grenado zarejestrowana stosunkowo niedawno wykazała wrażliwość tylko na dwa.

Reakcja zestawu odmian testowych na zakażenie izolatami mączniaka prawdziwego z pszenżyta jest różna od reakcji na zakażenie izolatami *B. graminis* f.sp. *tritici* i *B. graminis* f.sp. *secalis* (tab. 3). Uzyskane wyniki pozwalają wnioskować, iż na gospodarzu, jakim jest pszenżyto, występuje wyspecjalizowany patotyp grzyba *B. graminis*. Do tej pory jednak nie uzyskano jednoznacznych wyników badań dla potwierdzenia tej hipotezy. W badaniach Walkera i in. (2010) na podstawie testów fenotypowych oraz testów tolerancji na fungicydy wykazano odrębność izolatów mączniaka prawdziwego pochodzenia pszenżytniego w stosunku do izolatów *B. graminis* f.sp. *tritici* oraz *B. graminis* f.sp. *secalis*. Jednakże autorzy nie byli w stanie jednoznacznie odróżnić izolatów *B. graminis* f.sp. *tritici* od izolatów mączniaka prawdziwego pozyskanych z odmian pszenżyta za pomocą zastosowanych markerów molekularnych, które okazały się w niewystarczającym stopniu polimorficzne. W celu uzyskania polimorfizmu DNA badanych izolatów grzyba *B. graminis* wskazane byłoby przebadanie większej liczby izolatów mączniaka

prawdziwego pochodzenia pszenżytniego oraz zastosowanie markerów mikrosatelitarnych i AFLP w dalszych badaniach. Kolekcja izolatów mączniaka prawdziwego pochodzenia pszenżytniego uzyskana w wyniku badań własnych mogłaby w przyszłości posłużyć jako materiał do badań filogenetycznych z wykorzystaniem markerów molekularnych.

Wielu autorów zwraca uwagę na duży potencjał mączniaka prawdziwego w przełamaniu źródeł odporności, wskazując konieczność poszukiwania nowych źródeł odporności na mączniaka prawdziwego występującego na pszenżycie (Strzembicka i in., 2007; Wakuliński i in., 2007; Walker i in., 2010; Kowalczyk i in., 2011). Szczególnie cenne mogą okazać się odmiany żyta i dzikie gatunki traw, a także transfer efektywnych genów odporności *Pm* z pszenicy do pszenżyta (He i in., 2009; Li i in., 2009; Kowalczyk i in., 2011) oraz piramidowanie genów odporności (Kowalczyk i in., 2011). Do czasu wprowadzenia nowych odpornych odmian pszenżyta konieczna jest kontrola patogenu za pomocą odpowiednich fungicydów.

WNIOSKI

1. Populacja *Blumeria graminis* f. ssp. występująca na pszenżycie w Polsce charakteryzuje się szerokim spektrum patogeniczności w stosunku do badanych odmian pszenżyta.
2. Uprawiane w Polsce odmiany pszenżyta są podatne lub bardzo podatne na populację mączniaka prawdziwego zbóż. W prowadzonych badaniach jedynie odmiana Grenado odznaczała się wysoką odpornością.
3. Izolaty *B. graminis* ff.ssp., wyodrębnione z pszenicy i żyta, charakteryzują się niską wirulencją w stosunku do pszenżyta.

LITERATURA

- Bennett F. G. A. 1984. Resistance to powdery mildew in wheat: A review of its use in agriculture and breeding programmers. *Plant Pathology* 33: 279 — 300.
- Bowen K. L., Everts K. L., Leath S. 1991. Reduction in yield of winter wheat in North Carolina due to powdery mildew and leaf rust. *Phytopathology* 81: 503 — 511.
- Cichy H., Olejniczak J. 2010. Podatność odmian pszenżyta ozimego na mączniaka zbóż w warunkach polowych i szklarniowych. *Progress in Plant Protection* 50 (4): 1779 — 1784.
- Filoda G. 2009. Zagrożenie upraw pszenżyta ozimego przez rdze. *Progress In Plant Protection* 49 (2): 623 — 626.
- Griffey C. A., Das M. K. 1994. Inheritance of adult — plant resistance to powdery mildew in Knox 62 and Massey winter wheats. *Crop Sci.* 34: 641 — 646.
- He R. L., Chang Z. J., Yang Z. J., Yuan Z. Y., Zhan H. X., Zhang Z. J., Liu J. X. 2009. Inheritance and mapping of powdery mildew resistance gene *Pm43* introgressed from *Thinopyrum intermedium* into wheat. *Theor. Appl. Genet.* 118: 1173 — 1180.
- Jańczak C., Pawlak A. 2002. Rdza — corocznie występująca choroba zbóż. *Progress In Plant Protection* 42 (2): 864 — 867.
- Kowalczyk K., Gruszecka D., Nowak M., Leśniowska-Nowak J. 2011. Resistance of triticale hybrids with *Pm4b* and *Pm6* genes to powdery mildew. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica* 53/1: 57 — 62.
- Li G., Fang T., Zhang H., Xie C., Yang T., Sun Q., Liu Z. 2009. Molecular identification of a new powdery mildew resistance gene *Pm41* on chromosome 3BL derived from wild emmer (*Triticum turgidum* var. *dicoccoides*) *Theor. Appl. Genet.* 119: 531 — 539.

- Mains E. B., Dietz S. M. 1930. Physiologic forms of barley mildew, *Erysiphe graminis hordei* Marchal. Phytopathol. 20: 229 — 239.
- Strzembicka A. 2007. Występowanie mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* sp.) na pszenżycie w Polsce. Konferencja Naukowa „Nauka dla hodowli roślin uprawnych”. Zakopane, 29.01-02.02.2007, Streszczenie str. 42.
- Strzembicka A., Czajowski G., Karska K. 2011. Chorobotwórczość *Blumeria graminis* sprawcy mączniaka prawdziwego pszenicy i pszenżyta. Konferencja Naukowa „Nauka dla hodowli i nasiennictwa roślin uprawnych”. Zakopane, 7-11.02.2011, streszczenie: 166 s.
- Wakuliński W., Zamorski Cz., Nowicki B., Schollenberger M., Mirzwa-Mróż E., Mikulski W., Konieczny M. 2005. Grzyb *Blumeria graminis* (DC) Speer poważnym zagrożeniem dla pszenżyta. Progress In Plant Protection 45: 505 — 510.
- Wakuliński W., Zamorski Cz., Nowicki B. 2007. Podatność odmian i linii hodowlanych pszenżyta na porażenie przez *Blumeria graminis* (DC) Speer. Progress In Plant Protection 47: 361 — 365.
- Walker A.S., Bouguennec A., Confais J., Morgant G., Leroux P. 2010. Evidence of host-range expansion from new powdery mildew (*Blumeria graminis*) infections of triticale (*x Triticosecale*) in France. Plant Pathology. Doi: 10.1111/j.1365-3059.2010.02379.x.
- Zadoks J. C., Chang T. T., Konzak C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research 14: 415 — 421.

SEBASTIAN GASPARIS**ANNA NADOLSKA-ORCZYK**

Zakład Genomiki Funkcjonalnej

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Radzików

Genetyczne uwarunkowania twardości ziarna pszenicy i pszenżyta

Genetic background of wheat and triticale grain hardness

Twardość ziarna pszenicy heksaploidalnej *T. aestivum* jest cechą determinowaną między innymi przez geny puroindolinowe *Pina* i *Pinb*. Geny te kodują białka puroindolinowe PINA i PINB, które akumulowane są w endospermie na powierzchni ziaren skrobiowych. Geny *Pina* i *Pinb* występują w genomie D pszenicy heksaploidalnej oraz w genomach pszenic diploidalnych, natomiast pszenica tetraploidalna o genomie AABB nie posiada tych genów. Ortologi genów puroindolinowych występują również u innych gatunków zbóż i wykazują ponad 90% podobieństwo z sekwencją kodującą genów *Pin* pszenicy. U żyta i pszenżyta heksaploidalnego są to geny sekaloindolinowe *Sina* i *Sinb*, które zlokalizowane są w genomie żytnim R. Ze względu na swoje znaczenie, cecha twardości ziarna pszenicy jest obiektem badań od ponad kilkudziesięciu lat. Pierwsze istotne doniesienia na temat dziedziczności tej cechy pojawiły się już w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku. Natomiast od końca lat dziewięćdziesiątych nastąpił znaczny postęp w tym obszarze, gdy w badaniach wykorzystano nowoczesne metody inżynierii genetycznej. W ramach tych badań ustalono sekwencje genów puroindolinowych i ich promotorów, scharakteryzowano ich zróżnicowanie alleliczne i profile ekspresji. W znacznym stopniu ustalono również strukturę białek puroindolinowych i mechanizm ich działania.

Słowa kluczowe: pszenica, pszenżyto, puroindoliny, sekaloindoliny, twardość ziarna

Grain hardness of hexaploid wheat *T. aestivum* is controlled by puroindoline genes *Pina* and *Pinb*. They encode puroindoline proteins PINA and PINB which are accumulated on starch granule surface in the endosperm. Genes *Pina* and *Pinb* are located in genome D of hexaploid wheat and in other genomes of diploid wheat species. Both genes are absent in tetraploid wheat with genome AABB. Orthologs of puroindoline genes were detected in other cereal species and showed above 90% similarity of coding sequences with *Pin* genes. Secaloindoline genes are orthologs of puroindolines in rye and hexaploid triticale and are located in genome R. In regard of its importance, wheat grain hardness has been studied from the second half of the last century. However, significant progress in this area started at the end of the last century when the advanced genetic engineering techniques were applied. As a result of this research the coding sequences of puroindoline genes and their promoters were determined as well as the allelic variation and the structure of puroindoline proteins.

Key words: grain hardness, puroindolines, secalindolines, triticale, wheat

WSTĘP

Twardość ziarna pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum* L.) jest jedną z najważniejszych cech, decydujących o właściwościach technologicznych mąki i końcowej jakości produktu. Cecha ta ma bezpośredni wpływ na wartość przemiałową, wypiekową, wielkość cząstek mąki i zdolność do absorpcji wody. Mąka z ziarna miękkiego zawiera więcej nieuszkodzonych ziaren skrobi i nadaje się do wypieku ciast i ciastek. Z kolei ziarno twarde daje mąkę z większą ilością uszkodzonych ziaren skrobi i o większej zdolności do absorpcji wody, przez co nadaje się ona do produkcji pieczywa (Dubreil i in., 1998a; Igrejas i in., 2001).

Cecha ta różnicuje odmiany pszenicy zwyczajnej na typy o twardym i miękkim ziarnie. Ziarno pszenicy tetraploidalnej typu durum (*Triticum turgidum* ssp. *durum* L.) jest twardsze niż ziarno pszenicy zwyczajnej i wykorzystywane jest głównie do produkcji makaronów.

Genetyczne podłoże twardości ziarna pszenicy zostało dość dobrze poznane i opisane w literaturze. Symes (1965) jako jeden z pierwszych prowadził badania nad dziedzicznością tej cechy. Porównując wskaźnik wielkości cząstek mąki PSI (particie size index) w krzyżówkach odmian miękkich i twardych, dowiódł on, że twardość ziarna determinowana jest pojedynczym *locus*. Law i in. (1978) zlokalizowali *locus* twardości *Ha* (*Hardness*) na krótszym ramieniu chromosomu 5D. W przełomowej pracy, Greenwell i Schofield (1986) zidentyfikowali białko wielkości 15 kDa, jako biochemiczny marker twardości. Analiza ponad 150 różnych odmian pszenicy wykazała, że białko to wyizolowane z oczyszczonej frakcji skrobi występuje w dużych ilościach u odmian miękkich, w bardzo małych ilościach u odmian twardych, natomiast u pszenicy twardej typu durum stwierdzono jego brak.

Kolejne badania dotyczące białka 15 kDa, zwanego friabiliną lub GSP (Grain Softness Protein) potwierdzają, że jego akumulacja w endospermie warunkowana jest przez *locus Ha*, a także, że jest to białko złożone, zbudowane z dwóch podjednostek puroindolinowych (Jolly i in., 1993; Blochet i in., 1993; Rahman i in., 1994; Gautier i in., 1994). W pierwszych pracach dotyczących związku wspomnianego białka 15 kDa z twardością ziarna, autorzy używają nazwy friabilina i GSP zamiennie. Obecnie termin friabilina odnosi się do białka kodowanego przez geny puroindolinowe, natomiast GSP do białka kodowanego przez gen *GSP-1* (Morris, 2002).

Obecnie wiadomo, że tekstura endospermy ziarna determinowana jest przez geny puroindolinowe *Pina* i *Pinb*. Geny te wraz z genem *Gsp-1* tworzą *locus Ha* i u pszenicy zwyczajnej zlokalizowane są na chromosomie 5DS. Geny *Pina* i *Pinb* kodują białka puroindolinowe — PINA i PINB, które są podjednostkami friabiliny — białka o masie 13 kDa. W ziarnach miękkich friabilina występuje na powierzchni ziaren skrobiowych. Allele typu dzikiego genów *Pin* — *Pina-D1a* i *Pinb-D1a* decydują o powstawaniu ziaren miękkich, natomiast ziarno twarde jest efektem mutacji jednego lub obydwu genów (Giroux i Morris, 1998). Geny puroindolinowe występują również u diploidalnych gatunków pszenicy, natomiast nieobecne są w genomie pszenicy tetraploidalnej *T.*

turgidum ssp. *durum* (Gautier i in., 2000). Obecność ich ortologów stwierdzono również u innych gatunków zbóż z plemion *Avenae* i *Triticeae*.

W niniejszej pracy przedstawiamy podsumowanie najnowszych badań dotyczących genów i białek puroindolinowych, ze szczególnym uwzględnieniem ich korelacji z twardością ziarna i właściwościami technologicznymi pszenicy i pszenżyta.

WYSTĘPOWANIE GENÓW PUROINDOLINOWYCH U PSZENICY

Geny puroindolinowe występują u wszystkich przebadanych dotychczas diploidalnych gatunków pszenic z rodzaju *Triticum* i *Aegilops* w genomach A^m, C, D, M, S, U. Wśród tych gatunków geny puroindolinowe *Ae. tauschii* wykazują największe podobieństwo (do 100%) z sekwencją nukleotydową i aminokwasową puroindolin pszenicy zwyczajnej (Gautier i in., 2000). U pozostałych gatunków podobieństwo sekwencji aminokwasowych wynosi od 95,9% do 96,6% dla PINA i od 90,5% do 93,2% dla PINB (Lillemo i in., 2002). U pszenic tetraploidalnych obecność genów *Pin* potwierdzono u dwóch gatunków: *Ae. ventricosa* w obu genomach D^v i N^v (Gazza i in., 2006) oraz *T. timopheevii* w genomie A (Li i in., 2008), natomiast u pszenic tetraploidalnych posiadających genomy A i B (*T. turgidum* ssp. *durum*, *T. turgidum* ssp. *dicoccum*, *T. turgidum* ssp. *dicoccoides*) geny *Pin* nie występują, a ich ziarno klasyfikowane jest jako bardzo twarde (Gautier i in., 2000). Utrata genów puroindolinowych u tych gatunków jest najprawdopodobniej konsekwencją poliploidyzacji, która wystąpiła w trakcie rozwoju ewolucyjnego. U *T. turgidum* powstałej w wyniku hybrydyzacji pomiędzy *T. urartu* (genom AA) i jednym z gatunków z sekcji *Sitopsis* (prawdopodobnie *Ae. speltoides* — genom BB) stwierdzono delecję dużych obszarów *locus Ha* w genomach A i B o długości odpowiednio około 50 kbp i 37 kbp (Chantret i in., 2005). U pszenicy heksaploidalnej *T. aestivum* *locus Ha* w genomie A i B jest mniejszy o odpowiednio 75,7 i 77 kbp w porównaniu z *locus Ha* w genomie D. Analiza zakonserwowanych sekwencji znajdujących się w obrębie miejsc delecji wykazała obecność skróconych retroelementów w obydwu genomach. Chantret i in. (2005) wskazują na udział tych retroelementów w delecji fragmentów *locus Ha* na drodze nieuprawnionej rekombinacji, przy czym proces ten wystąpił w genomie A i B niezależnie od siebie. Geny puroindolinowe zostały wprowadzone do *T. aestivum* wraz z genomem D w trakcie hybrydyzacji pomiędzy *T. turgidum* (genom BBAA) a *Ae. tauschii* (genom DD). Przemawia za tym 100% homologia sekwencji nukleotydowych i aminokwasowych puroindolin u *T. aestivum* i *Ae. tauschii*.

CHARAKTERYSTYKA GENÓW PUROINDOLINOWYCH

Analiza klonów BAC u *T. aestivum*, *T. monococcum* i *Ae. tauschii* pozwoliła na dokładną charakterystykę sekwencji znajdujących się w obrębie *locus Ha*. Region ten, oprócz genów *Pinb*, *Pina* i *Gsp-1* zawiera również dwie dodatkowe, zdegenerowane kopie genu *Pinb* oraz dwie sekwencje kodujące o bliżej nieokreślonej funkcji (Chantret i in., 2005). Geny puroindolinowe *Pina* i *Pinb* mają postać pojedynczych egzonów o długości

447 pz. Podobieństwo sekwencji kodujących wynosi 70,2%, a sekwencji 3'UTR około 54% (Gautier i in., 1994).

Analiza sekwencji promotorowych wskazuje na obecność kluczowych elementów regulatorowych w obszarze pomiędzy -210 a -388 powyżej kodonu start, które warunkują ekspresję genów w endospermie. Najważniejszym z tych elementów jest zakonserwowany motyw TGAGAAAAG obecny w obydwu promotorach (w pozycji -203 w promotorze *Pina* i -223 w promotorze *Pinb*). Motyw ten wykazuje podobieństwo do sekwencji zwanej endosperm box: TG(T/A/C)AAA(A/G)(G/T). Jest to jeden z dwóch elementów motywu prolamin box, który występuje w promotorach większości genów białek zapasowych zbóż, specyficznych dla endospermy (Digeon i in., 1999; Lillemo i in., 2002).

ZRÓŻNICOWANIE ALLELICZNE GENÓW PUROINDOLINOWYCH

Jak wspomniano wcześniej, fenotyp o miękkim ziarnie wymaga obecności w genomie obydwu alleli genów *Pin* typu dzikiego. Ziarno twarde powstaje w wyniku mutacji w jednym lub obydwu genach *Pin*. Odmiany pszenicy zwyczajnej określane jako twarde wykazują różny stopień twardości ziarna. W zależności od rodzaju mutacji przyjmuje on wartości pośrednie pomiędzy pszenicą miękką a pszenicą twardą typu durum. Z kolei u odmian z delecją obydwu genów *Pin* poziom twardości ziarna jest znacznie wyższy, podobny do poziomu twardości pszenicy twardej typu durum (Tranquilli i in., 2002).

Zgodnie z nomenklaturą stosowaną w Catalogue of Gene Symbols for Wheat (McIntosh i in., 2005) allele genów *Pin* oznaczane są kolejną literą alfabetu dodawaną do pełnej nazwy genu tj. *Pina-D1* i *Pinb-D1*. Allele typu dzikiego, dla których wzorcem jest odmiana Chinese Spring oznaczone są jako *Pina-D1a* i *Pinb-D1a*. Dotychczas u *T. aestivum* i *Ae. tauschii* zidentyfikowano 18 zmutowanych alleli genu *Pina* oraz 24 allele genu *Pinb*. Mutacje te obejmują delecję genów, polimorfizm pojedynczych nukleotydów prowadzący do substytucji aminokwasów oraz insercje, delecje i substytucje, których skutkiem jest przesunięcie ramki odczytu i przedwczesny kodon stop (przegląd w Bhawe i Morris, 2008; Nadolska-Orczyk i in., 2009). Wśród dotychczas przebadanych populacji pszenic najczęściej występującymi allelami są *Pinb-D1b* i *Pina-D1b*. Mutacja w pierwszym z nich jest związana z substytucją glicyny na serynę w białku PINB w pozycji 46. Efektem mutacji jest mniejsza zawartość friabiliny w endospermie skrobiowej i większa twardość ziarna, która przyjmuje wartości pośrednie pomiędzy twardością ziaren miękkich i bardzo twardych (Giroux i Morris, 1997, 1998). Allelem *Pina-D1b* oznaczono mutację polegającą na delecji genu *Pina*. Jej efektem jest brak białka PINA i niska zawartość białka PINB w endospermie skrobiowej. Odmiany z tą mutacją wytwarzają ziarno twarde, o wartości zbliżonej do twardości pszenicy durum (Giroux i Morris 1998, Lillemo i Morris, 2000).

Przeanalizowane dotąd dwie polskie odmiany, Kontesa i Torka posiadają allel typu dzikiego genu *Pina* (*Pina-D1a*), natomiast gen *Pinb* obu odmian występuje w postaci allelu *Pinb-D1c* (Gasparis i in., 2011). Zgodnie z badaniami Lillemo i Morris (2000) mutacja w tym allelu skutkuje zamianą aminokwasu leucyny na prolinę w kodowanym białku, a rośliny wytwarzały ziarno średnio twarde lub twarde. Jak w wynika z naszych badań (Gasparis, 2012), mimo stwierdzenia tych samych alleli genów *Pin* w obu analizowanych

odmianach, różniły się one wyraźnie twardością ziarna. Indeks twardości u Torki jest typowy dla odmian o średniej twardości ziarna, natomiast Kontesa wytwarza ziarno miękkie.

EKSPRESJA GENÓW *PIN* W TKANKACH NASION

Ekspresja genów *Pin* wykazuje specyficzność tkankową i podlega regulacji w trakcie rozwoju nasion. Liczne obserwacje wskazują, że akumulacja transkryptów genów *Pin* zachodzi już w początkowym okresie rozwoju nasion, a jej intensywność stopniowo wzrasta i osiąga maksimum w środkowym stadium rozwoju endospermy. Hybrydyzacja northern całkowitego RNA wyizolowanego z dojrzewających nasion wykazała, że akumulacja obu transkryptów następuje od 8. dnia po zapyleniu, po czym znacząco wzrasta pomiędzy 15–18 DPA (z ang. days post anthesis), osiągając maksimum między 26–33 DPA i zanika całkowicie po 40 DPA (Gautier i in., 1994; Hogg i in., 2004). Tendencję tę, z niewielkimi różnicami, potwierdziła również bardziej czuła analiza, wykorzystująca ilościową reakcję RT-PCR (Amoroso i in., 2004).

Mimo podobnego profilu ekspresji, poziom transkryptu poszczególnych genów *Pin*, jak i zawartość białek puroindolinowych był różny. Analiza porównawcza jednoznacznie wskazuje, że u odmian miękkich (*Pina-D1a* / *Pinb-D1a*) poziom transkryptu genu *Pina* i zawartość białka PINA jest wyższa niż poziom odpowiednio, transkryptu *Pinb* i białka PINB (Gautier i in., 1994; Giroux i Morris, 1997; Turnbull i in., 2003; Amoroso i in., 2004; Hogg i in., 2004; Gazza i in. 2005; Ikeda i in., 2005). Różnice w zawartości białek puroindolinowych zaobserwowane u odmian twardych nie zawsze skorelowane są z poziomem mRNA poszczególnych genów *Pin*. Giroux i Morris (1997) dowiedli, że u odmian twardych ze zmutowanym allelem *Pinb-D1b* (mutacja punktowa powodująca zamianę aminokwasu) poziom transkryptu *Pina* i *Pinb* był taki sam jak u odmian miękkich. Podobne wyniki uzyskali Amoroso i in. (2004). W analizie ilościowej qRT-PCR porównali oni dodatkowo odmiany z delecją genu *Pina* (*Pina-D1b* / *Pinb-D1a*). Również u tych odmian ilość transkryptu *Pinb* była na tym samym poziomie jak u odmian miękkich i twardych z mutacją *Pinb-D1b*. Pszenice miękkie i twarde różniły się jednak zawartością białka PINB, która u odmian twardych była niższa. Turnbull i in. (2000) wykazali, że zawartość białek PINA i PINB jest nieznacznie lub wyraźnie większa u pszenic miękkich niż u pszenic twardych *Pina-D1a* / *Pinb-D1b*, natomiast zawartość PINB jest zdecydowanie mniejsza u pszenic twardych z delecją genu *Pina* (*Pina-D1b* / *Pinb-D1a*). Ekspresję genów *Pin* i zawartość białek puroindolinowych badano również w polskich odmianach pszenicy jarej, Kontesa i Torka (Gasparis i in., 2011). Profile ekspresji genów *Pina* i *Pinb* wyznaczone na podstawie analizy ilościowej qRT-PCR nie różniły się znacząco od dotychczas opisanych w literaturze. U obu odmian maksymalny poziom ekspresji genów *Pin* następował pomiędzy 20. a 26 dniem po zapyleniu. Na podstawie analizy SDS-PAGE oszacowano również zawartość białek puroindolinowych. U odmian tych nie stwierdzono różnic pomiędzy zawartością białka PINA i PINB, mimo iż posiadają one zmutowany allel genu *Pinb* (*Pina-D1a* / *Pinb-D1c*). Może to świadczyć o tym, że mutacja ta nie wpływa na poziom akumulacji białka PINB w endospermie.

Jak wspomniano wcześniej, promotory obydwu genów *Pin* posiadają specyficzne elementy regulatorowe kontrolujące przebieg ekspresji w tkankach nasion. Dotychczasowe badania potwierdzają, że ekspresja genów *Pin* u pszenicy zachodzi wyłącznie w dojrzewających nasionach (Dubreil i in., 1998 b). Nie stwierdzono obecności transkryptów *Pin* w kiełkujących siewkach (Gautier i in., 1994). Wiley i in. (2007) badali aktywność promotorów *Pin* w różnych tkankach pszenicy wykorzystując gen reporterowy *uidA*. Analiza histochemiczna GUS wykazała ekspresję tego genu jedynie w endospermie skrobiowej nasion. Nie stwierdzono jej w zarodku ani w organach wegetatywnych, jak korzeń, liść oraz generatywnych, to jest załazni, pylnikach czy w pyłku. Gen reporterowy *uidA* pod kontrolą promotora *Pinb* wykazywał podobny wzór ekspresji w nasionach transgenicznym roślin pszenicy oraz ryżu (Digeon i in., 1999; Evrard i in., 2007). Inaczej było w przypadku promotora *Pina* w transgenicznym ryżu, który nie posiada ortologów genów *Pin*. Jego aktywność zaobserwowano, poza nasionami, również w innych organach, to jest w korzeniach, liściach i w różnych elementach kwiatu. Ponadto promotor *Pina* u tych roślin indukowany był poprzez patogena i zranienie tkanki (Evrard i in., 2007).

Immunodetekcja białek puroidolinowych w nasionach wskazuje, że ich akumulacja następuje przede wszystkim w części skrobiowej bielma oraz w warstwie aleuronowej (Gautier i in., 1994; Dubreil i in., 1998 b; Digeon i in., 1999; Capparelli i in., 2005; Wiley i in., 2007; Feiz i in., 2009).

GENY SEKALOINDOLINOWE U PSZENŻYTA

Pierwotne pszenżyto heksaploidalne (*x Triticosecale* Wittmack) jest gatunkiem syntetycznym powstałym przez skrzyżowanie pszenicy tetraploidalnej z żytem ($2n = 6x = 42$, AABBRR).

Ziarno większości pierwotnych form pszenżyta klasyfikowane jest jako miękkie (Li i in. 2006), podobnie jak ziarno żyta (Williams, 1986).

Jak wspomniano wcześniej, geny sekaloindolinowe występują w genomie żytnim na chromosomie 5RS. W dotychczasowej literaturze bardzo mało jest danych dotyczących zróżnicowania allelicznego tych genów. Gautier i in. (2000) wykazali obecność genu sekaloindoliny w genomie żyta poprzez jego amplifikację przy użyciu starterów specyficznych dla sekwencji kodującej gen *Pina*. Gen oznaczony później jako *Sina-R1a* wykazuje 100% homologii z sekwencją allelu dzikiego *Pina-D1a*. Simeone i Lafiandra (2005) zidentyfikowali u żyta dwa allele sekaloindoliny b oznaczone jako *Sinb-R1a* i *Sinb-R1b*. Oba wykazują podobieństwo do sekwencji kodującej *Pinb-D1a* na poziomie 93,1%. Li i in. (2006) jako pierwsi zidentyfikowali u pszenżyta allel *Sina-R1b* z substytucją tryptofanu na argininę w pozycji 44 oraz allel *Sinb-R1c* z substytucją dwóch aminokwasów i insercją cysteiny w peptydzie sygnałowym. Massa i Morris (2006) scharakteryzowali sekwencję aminokwasową sekaloindoliny a u żyta, która zawierała substytucję argininy na glutaminę w pozycji 65. Zgodnie ze stosowaną nomenklaturą allel ten powinien być oznaczony jako *Sina-R1c*.

W badaniach nad funkcją genów *Sin* u pszenżyta po raz pierwszy zastosowano nowoczesną technologię wyciszania genów, bazującą na interferencji RNA (RNAi).

Pozwoliła ona na uzyskanie szeregu linii odmiany Wanad z wyciszoną ekspresją genów *Sina* i *Sinb* (Gasparis, 2012). Ten silny spadek ekspresji wiązał się z bardzo małą ilością lub brakiem sekaloindolin. Nie stwierdzono większych różnic w twardości ziarna pomiędzy wyciszanymi liniami i liniami kontrolnymi. Nie wykazano również korelacji pomiędzy obniżeniem zawartości lub brakiem sekaloindolin a wzrostem twardości ziarna badanych linii pszenżyta.

CHARAKTERYSTYKA BIAŁEK PUROINDOLINOWYCH I SEKALOINDOLINOWYCH

Badania nad strukturą i biologiczną funkcją białek puroindolinowych rozpoczęły się pod koniec lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku, wraz z odkryciem friabiliny jako markera twardości ziarna u pszenicy (Greenwell i Schofield, 1986). Od tamtej pory w wielu laboratoriach podjęto prace badawcze nad biologiczną funkcją puroindolin (Glenn i Saunders, 1990; Oda i in., 1992; Jolly i in., 1993; Rahman i in., 1994; Bettge i in., 1995; Greenblatt i in., 1995), ich strukturą (Blochet i in., 1993; Jolly i in., 1993; Morris i in., 1994; Gautier i in., 1994; Le Bihan i in., 1996; Oda i Schofield, 1997) oraz wpływem twardości ziarna na właściwości technologiczne mąki i jakość produktów końcowych (Morris, 1992; Bettge i Morris, 2000; Campbell i in., 2007; Dubreil i in., 1998 a; Hogg i in., 2005). Chociaż stan wiedzy na temat białek puroindolinowych wzrósł znacząco w ciągu ostatnich kilkunastu lat, to jednak niektóre aspekty związane z ich funkcją wciąż wymagają wyjaśnienia.

Nazwa białek puroindolinowych jest połączeniem słów puro (z gr. puros — pszenica) i indoline — od pierścienia indolowego w tryptofanie (Blochet i in., 1993). Należą one do dużej grupy białek posiadających zdolność wiązania lipidów. U roślin wyróżnia się kilka rodzin tych białek m. in. tioniny, białka transportujące lipidy (LTP) oraz indoliny (Douliez i in., 2000). Puroindoliny są białkami zasadowymi (pI 10,5 dla PINA i 10,7 dla PINB), rozpuszczalnymi w wodzie i bogatymi w reszty cysteinowe. Występują w postaci dwóch izoform — puroindoliny a i puroindoliny b, obie o masie około 13 kDa, zbudowane ze 148 aminokwasów o 60% podobieństwie sekwencji (Gautier i in. 1994). Cechą charakterystyczną puroindolin (i innych białek z tej grupy) jest tzw. szkielet cysteinowy, złożony z dziesięciu reszt cysteinowych oraz domena tryptofanowa zawierająca pięć reszt tryptofanowych u puroindoliny a (WRWWKWWK) i trzy reszty tryptofanowe u puroindoliny b (WPTKWWK). Motywy te są zakonserwowane w grupie białek indolinowych, a szkielet cysteinowy pokrywa się również częściowo z podobną strukturą u białek ns-LTP (z ang. non-specific lipid transfer proteins) (Gautier i in., 1994). Puroindoliny syntetyzowane są w postaci prekursorów, które mogą ulegać przekształceniom potranslacyjnym. Wskazuje na to obecność N- i C-końcowych peptydów zawierających miejsce rozcięcia. N-końcowy fragment o długości 28–29 reszt zawiera peptyd sygnałowy i miejsce rozcięcia w pozycji 19. C-końcowy fragment złożony z 4 reszt aminokwasowych jest identyczny u PINA i PINB co sugeruje, że oba białka mogą podlegać tej samej obróbce potranslacyjnej. Le Bihan i in. (1996) analizowali strukturę białek puroindolinowych wykorzystując spektroskopię w podczerwieni i spektroskopię Ramana. Drugorzędowa struktura puroindolin uzależniona jest od pH środowiska, w którym

znajdują się te białka i przy pH równym 7,0, 30% tej struktury ma postać α -helisy, 30% postać β -harmonijki, a pozostałe 40% jest w postaci nieuporządkowanej. Przewidywana struktura trzeciorzędowa obejmuje cztery α -helisy oddzielone pętlami, stabilizowane pięcioma mostkami dwu-siarczkowymi między resztami cysteiny. Domena tryptofanowa zlokalizowana jest w pętli pomiędzy helisą H1 a H2 i jest częściowo odsłonięta. Strukturalnie puroindoliny wykazują pewne podobieństwa do niespecyficznych białek transportujących lipidy — ns-LTP. U roślin zidentyfikowano dwie klasy tych białek nsLTP1 i nsLTP2 o masie odpowiednio 9 kDa i 7 kDa. Posiadają one szkielet cysteinowy zawierający osiem reszt cysteiny, a ich strukturę trzeciorzędową tworzą cztery α -helisy stabilizowane czterema mostkami dwu-siarczkowymi. Białka ns-LTP nie posiadają domeny tryptofanowej (Douliez i in., 2000). Podobieństwo strukturalne puroindolin i ns-LTP wiąże się zapewne z podobnymi właściwościami tych białek, wśród których najważniejszą jest zdolność wiązania lipidów, oraz pewne właściwości antybiotyczne. Mimo wielu danych na temat biochemicznych właściwości białek puroindolinowych, mechanizm ich działania w regulacji twardości ziarna nie jest do końca wyjaśniony. Ziarno miękkie powstaje, gdy oba białka puroindolinowe kodowane są przez allele dzikie *Pina-D1a* i *Pinb-D1a*. Zidentyfikowane dotychczas mutacje genów puroindolinowych skutkują najczęściej zwiększeniem twardości ziarna. Również prace wykorzystujące transformację genetyczną z udziałem genów *Pin* potwierdzają ich rolę w powstawaniu miękkiej endospermy. Wprowadzenie dzikich alleli genów puroindolinowych do roślin ryżu (Krishnamurthy i Giroux 2001) i do mutantów pszenicy o twardym ziarnie (Beecher i in., 2002; Hogg i in., 2004; Martin i in., 2006; Wanjugi i in. 2007) powodowało znaczące obniżenie twardości ziarna w tych roślinach. W badaniach nad funkcją genów puroindolinowych zastosowano również technikę RNAi (ang. RNA interference) pozwalającą na wyciszenie ekspresji badanego genu. Potranskrypcyjne wyciszenie ekspresji genów *Pin* u pszenicy zwyczajnej skutkowało obniżeniem zawartości białek puroindolinowych w endospermie i znacznym wzrostem twardości ziarna (Gasparis i in., 2011). Jak wspomniano wcześniej, immunodetekcja białek PIN wykazała ich akumulację głównie w endospermie na powierzchni ziaren skrobiowych oraz w warstwie aleuronowej. Związane jest to ze zdolnością białek puroindolinowych do wiązania fosfolipidów i wnिकania w błonę fosfolipidową ziaren skrobi. Według niektórych badaczy obecność białek puroindolinowych na powierzchni ziaren skrobi przeciwdziała przyleganiu do nich białkowego matriksu, co skutkuje luźniejszą strukturą endospermy i w rezultacie bardziej miękkim ziarnem. Sugestie te wydają się potwierdzać zdjęcia preparatów skrobi wykonane skaningowym mikroskopem elektronowym. U odmian o twardym ziarnie, ziarna skrobi mają nieregularną powierzchnię, do której przylegają skupiska białkowej matriksu i są ściślej upakowane. Natomiast u odmian o miękkim ziarnie, ziarna skrobi są gładkie, wyraźnie oddzielone od białkowej matriksu i są luźniej upakowane (Beecher i in., 2002; Chen i in., 2005).

W badaniach dotyczących mechanizmu wiązania białek puroindolinowych z błonami lipidowymi wyróżniono obecność reszt tryptofanowych, oddziaływania elektrostatyczne i zasadowy charakter puroindolinu, jako główne czynniki sprzyjające wspomnianej interakcji. Najważniejszym z tych czynników jest niewątpliwie oddziaływanie hydrofobowe

między domeną tryptofanową a węglowodorowymi łańcuchami cząsteczek lipidów (Kooijman i in., 1997; Wall i in., 2010). Rola tryptofanu w tym oddziaływaniu wynika z jego właściwości fizycznych (Yau i in., 1998). Zdolność wiązania lipidów jest silniejsza u PINA niż u PINB, co prawdopodobnie związane jest z mniejszą liczbą reszt tryptofanowych (3 zamiast 5) w domenie tryptofanowej u PINB (Dubreil i in., 1997). PINB wykazuje natomiast większe powinowactwo do fosfolipidów o ujemnym ładunku, ponieważ jego ładunek dodatni jest większy niż u PINA. Obydwa białka silniej wiążą się z ujemnie naładowanymi błonami bakteryjnymi niż z neutralnymi błonami komórek eukariotycznych, co potwierdza udział oddziaływań elektrostatycznych jako dodatkowej siły wzmacniającej powinowactwo puroindolin do fosfolipidów (Douliez i in., 2000; Jing i in., 2003). Ponadto Charnet i in. (2003) wykazali zdolność puroindoliny a do formowania kanałów jonowych zarówno w sztucznych, jak i biologicznych błonach fosfolipidowych. Ze względu na zdolność białek puroindolinowych do dekompozycji błon fosfolipidowych, wykazują one pewne właściwości cytotoksyczne względem grzybów i bakterii (Dubreil i in., 1998 b; Krishnamurthy i in., 2001; Jing i in., 2003; Capparelli i in., 2005; Luo i in., 2008; Palumbo i in., 2010). Stąd ich pierwotną funkcją wydaje się być udział w reakcjach obronnych na infekcję patogenów.

Białka sekaloindolinowe wykazują wysokie podobieństwo do sekwencji puroindolin pszenicy, a charakterystyczne elementy tych białek, jak domena tryptofanowa i motyw zawierający 10 reszt cysteiny są identyczne u obu gatunków. Podobna budowa pozwala przypuszczać, że białka sekaloindolinowe mogą mieć analogiczny wpływ na strukturę endospermy i twardość ziarna, jak puroindoliny u pszenicy. Jednak uzyskane do tej pory wyniki badań są niejednoznaczne, a czasami sprzeczne. Li i in. (2006) analizowali twardość ziarna u 171 linii pszenżyta z kolekcji CIMMYT. Na podstawie indeksu twardości SKCS, 70,8% testowanych linii sklasyfikowano jako miękkie, 19,3% jako pośrednie i 9,9% jako twarde. Dalsza analiza zawartości friabiliny u wybranych 30 linii, w tym 10 twardych, 9 pośrednich i 11 miękkich wykazała, że linie miękkie charakteryzowały się wysoką zawartością friabiliny we frakcji skrobi, natomiast u linii twardych zawartość friabiliny była wyraźnie niższa.

Korelacji pomiędzy zawartością friabiliny a twardością ziarna nie potwierdzają z kolei Ramirez i in. (2003) po przetestowaniu ośmiu odmian pszenżyta. Różnice te mogą jednak wynikać z zastosowania przez obu autorów odmiennej metodyki izolacji białek. Budak i in. (2004) badali linie substytucyjne pszenżyta Presto z podstawionymi chromosomami z genomu D pszenicy heksaploidalnej. Zamiana chromosomu 5R na 5D pochodzącego z odmiany twardej pszenicy zwyczajnej wyraźnie zwiększyła twardość ziarna, co potwierdza udział *locus Ha* w kształtowaniu tej cechy u pszenżyta.

Nie ustalono dotychczas, czy mutacje genów sekaloindolinowych mogą mieć wpływ na fenotyp ziarna, ponieważ żadna z tych mutacji nie warunkuje jednoznacznie ziarna twardego. Ponadto mutacje tych genów nie pokrywają się z mutacjami genów puroindolinowych pszenicy heksaploidalnej, dlatego nie można porównać efektu fenotypowego. Zidentyfikowane przez Li i in. (2006) allele *Sina-R1b* i *Sinb-R1c* występują zarówno u linii miękkich i twardych. Allel *Sina-R1b* kodujący białko SINA z substytucją tryptofanu na argininę w poz. 44 występował u linii miękkich pszenżyta. Co ciekawe,

podobna substytucja występująca w białku PINB (kodowanym przez allel *Pinb-D1d*) u pszenicy, warunkuje powstawanie ziaren twardych (Lillemo i Morris 2000). Niewiele wiadomo na temat pozostałych zmian w sekwencji białka SINB. Część substytucji aminokwasowych jest nieistotna z punktu widzenia ich właściwości fizykochemicznych, niektóre występują również u gatunków pszenic diploidalnych, jednak są to gatunki o miękkim ziarnie (Simeone i Lafiandra 2005). Sekwencje genów *Sina* i *Sinb*, które scharakteryzowano u polskiej odmiany pszenżyta — Wanad, różnią się od dotychczas poznanych sekwencji u żyta i pszenżyta (Gasparis, 2012).

PODSUMOWANIE

Jak wspomniano wcześniej, twardość ziarna pszenicy ma istotny wpływ na właściwości fizyczne mąki i jakość wytwarzanych z niej produktów. Cecha ta odgrywa również duże znaczenie u innych gatunków zbóż korelując z jakością ziarna, wpływając na jego przetwarzanie, a w przypadku jęczmienia na słodowanie czy luszczanie. Nieliczne prace wskazują również na jej związek z odpornością na czynniki biotyczne (grzyby, bakterie). W krajach zachodnich twardość jest jednym z najważniejszych wskaźników jakości zbóż. Stąd tak duże znaczenie ma wiedza na temat genetycznych uwarunkowań kształtujących tę cechę. Jak wynika z badań, twardość ziarna pszenicy jest w głównej mierze kontrolowana przez dwa geny *Pin* znajdujące się w jednym *locus* lub przez ortologi tych genów u innych gatunków. U zbóż alloheksaploidalnych jak pszenica, pszenżyto, owies *locus* twardości znajduje się tylko w jednym z genomów diploidalnych. A więc jest to cecha przekazywana w prosty sposób, a co za tym idzie powinna być w sposób prosty kontrolowana w procesie hodowlanym. Ze względu na ważność cechy oraz postęp w badaniach, warto wykorzystać tę wiedzę do charakterystyki polskich odmian i materiałów hodowlanych głównie pszenicy, ale i innych zbóż jak jęczmień, pszenżyto czy owies. Pozwoli na bardziej precyzyjny dobór materiałów hodowlanych i uzyskanie odmian o przewidywanych właściwościach, zgodnych z oczekiwaniami producentów żywności i konsumentów.

LITERATURA

- Amoroso M. G., Longobardo L., Capprarelli R. 2004. Real time RT-PCR and flow cytometry to investigate wheat kernel hardness: role of puroindoline genes and proteins. *Biotechnol. Lett* 26: 1731 — 1737.
- Beecher B., Bettge A., Smidansky E., Giroux M. J. 2002. Expression of wild-type PinB sequence in transgenic wheat complements a hard phenotype. *Theor. Appl. Genet.* 105: 870 — 877.
- Bettge A. D., Morris C. F. 2000. Relationships among grain hardness, pentosan fractions and end-use quality of wheat. *Cereal Chem.* 77: 241 — 247.
- Bettge A. D., Morris C. F., Greenblatt G. A. 1995. Assessing genotypic softness in single wheat kernels using starch granule associated friabilin as a biochemical marker. *Euphytica* 86: 65 — 72.
- Bhave M., Morris C. F. 2008. Molecular genetics of puroindolines and related genes: allelic diversity in wheat and other grasses. *Plant Mol. Biol.* 66: 205 — 219.
- Blochet J-E., Chevalier C., Forest E., Pebay-Peyroula E., Gautier M. F., Joudrier P., Pezolet M., Marion D. 1993. Complete amino acid sequence of puroindoline, a new basic and cysteine-rich protein with a unique tryptophan-rich domain, isolated from wheat endosperm by Triton X-114 phase partitioning. *FEBS Lett.* 329: 336 — 340.

- Budak H., Baenziger P. S., Beecher B. S., Graybosch R. A., Campbell B. T., Shipman M. J., Erayman M., Eskridge K. M. 2004. The effect of introgressions of wheat D-genome chromosomes into 'Presto' triticale. *Euphytica* 137: 261 — 270.
- Campbell J. B., Martin J. M., Crutcher FD, Meyer F, Clark DR and Giroux MJ. 2007. Effects on soft wheat (*Triticum aestivum* L.) quality of increased puroindoline dosage. *Cereal Chem.* 84: 80 — 87.
- Capparelli R., Amoroso M. G., Palumbo D., Iannaccone M., Faleri C., Cresti M. 2005. Two plant puroindolines colocalize in wheat seed and in vitro synergistically fight against pathogens. *Plant Mol. Biol.* 58: 857 — 867.
- Chantret N., Salse J., Sabot F., Rahman S., Bellec A., Laubin B., Dubois I., Dossat C., Sourdille P., Joudrier P., Gautier M.-F., Cattolico L., Beckert M., Aubourg S., Weissenbach J., Caboche M., Bernard M, Leroy P., Chalhouh B. 2005. Molecular basis of evolutionary events that shaped the Hardness locus in diploid and polyploid wheat species (*Triticum* and *Aegilops*). *Plant Cell* 17: 1033 — 1045.
- Charnet P., Molle G., Marion D., Rousset M., Lullien-Pellerin V. 2003. Puroindolines form ion channels in biological membranes. *Biophys J.* 84: 2416 — 2426.
- Chen M., Wilkinson M., Tosi P., He G., Shewry P. 2005. Novel puroindoline and grain softness protein alleles in *Aegilops* species with the C, D, S, M and U genomes. *Theor. Appl. Genet.* 111: 1159 — 1166.
- Digeon J.-F., Guiderdoni E., Alary R., Michaux-Ferrière N., Joudrier P., Gautier M-F. 1999. Cloning of a wheat puroindoline gene promoter by IPCR and analysis of promoter regions required for tissue-specific expression in transgenic rice seeds. *Plant Mol. Biol.* 39: 1101 — 1112.
- Douliez J.-P., Michon T., Elmorjani K., Marion D. 2000. Structure, biological and technological functions of lipid transfer proteins and indolines, the major lipid binding proteins from cereal kernels. *J. Cereal Sci.* 32: 1 — 20.
- Dubreil L., Compoint J. P., Marion D. 1997. Interaction of puroindoline with wheat flour polar lipids determines their foaming properties. *J. Agric. Food Chem.* 45: 108 — 116.
- Dubreil L., Meliande S., Chiron H., Compoint J-P., Quillien L., Branlard G., Marion D. 1998 a. Effect of puroindolines on the bread making properties of wheat flour. *Cereal Chem.* 75: 222 — 229.
- Dubreil L., Gaborit T., Bouchet B., Gallant D. J, Broekaert W. F, Quillien L, Marion D. 1998 b. Spatial and temporal distribution of the major isoforms of puroindolines (puroindoline-a and puroindoline-b) and non-specific lipid transfer protein (ns-LTP1e1) of *Triticum aestivum* seeds. Relationships with their in vitro antifungal properties. *Plant Sci.* 138: 121 — 135.
- Evrard A., Meynard D., Guiderdoni E., Joudrier P., Gautier M-F. 2007. The promoter of the wheat puroindoline-a gene (PinA) exhibits a more complex pattern of activity than that of the PinB gene and is induced by wounding and pathogen attack in rice. *Planta* 255: 287 — 300.
- Feiz L., Wanjugi H. W., Melnyk C. W., Altossar I., Martin J. M., Giroux M. J. 2009. Puroindolines co-localize to the starch granule surface and increase seed bound polar lipid content. *J. Cereal Sci.* 50: 91 — 98.
- Gasparis S., Orczyk W., Zalewski W., Nadolska-Orczyk A. 2011. The RNA-mediated silencing of one of the Pin genes in allohexaploid wheat simultaneously decreases the expression of the other, and increases grain hardness. *J. Exp. Bot.* 62: 4025 — 4036. DOI:10.1093/jxb/err103.
- Gasparis S. 2012. Analiza genów *Pina* i *Pinb* determinujących twardość ziarna u heksaploidalnej pszenicy i ich ortologów u pszenżyta. Praca doktorska. IHAR — PIB Radzików.
- Gautier M.-F., Aleman M.-E., Guirao A., Marion D., Joudrier P. 1994. *Triticum aestivum* puroindolines, two basic cysteine-rich seed proteins: cDNA sequence analysis and developmental gene expression. *Plant Mol. Biol.* 25: 43 — 57.
- Gautier M.-F., Cosson P., Guirao A., Alary R., Joudrier P. 2000. Puroindoline genes are highly conserved in diploid ancestor wheats and related species but absent in tetraploid *Triticum species*. *Plant Sci.* 153: 81 — 91.
- Gazza L., Conti S., Taddei F., Pogna N. E. 2006. Molecular characterization of puroindolines and their encoding genes in *Aegilops ventricosa*. *Mol. Breed.* 17: 191 — 200.
- Gazza L., Nocente F., Ng P. K. W., Pogna N. E. 2005. Genetic and biochemical analysis of common wheat cultivars lacking puroindoline a. *Theor. Appl. Genet.* 110: 470 — 478.
- Giroux M. J., Morris C. F. 1997. A glycine to serine change in puroindoline b is associated with wheat grain hardness and low levels of starch-surface friabilin. *Theor. Appl. Genet.* 95: 857 — 864.

- Giroux M. J., Morris C. F. 1998. Wheat grain hardness results from highly conserved mutations in the friabilin components puroindoline a and b. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95: 6262 — 6266.
- Glenn G. M., Saunders R. M. 1990. Physical and structural properties of wheat endosperm associated with grain texture. *Cereal Chem.* 67: 176 — 182.
- Greenblatt G. A., Bettge A. D., Morris C. F. 1995. The relationship among endosperm texture, friabilin occurrence, and bound polar lipids on wheat starch. *Cereal Chem.* 72: 172 — 176.
- Greenwell P., Schofield J. D. 1986. A starch granule protein associated with endosperm softness in wheat. *Cereal Chem.* 63: 379 — 380.
- Hogg A. C., Sripo T., Beecher B., Martin J. M., Giroux M. J. 2004. Wheat puroindolines interact to form friabilin and control wheat grain hardness. *Theor. Appl. Genet.* 108: 1089 — 1097.
- Hogg A. C., Beecher B., Martin J. M., Meyer F. D., Talbert L. E., Lanning S., Giroux M. J. 2005. Hard wheat milling and bread baking traits affected by the seed-specific overexpression of puroindolines. *Crop Sci.* 45: 871 — 878.
- Igrejas G., Gaborit T., Oury F-X., Chiron H., Marion D., Branlard G. 2001. Genetic and environmental effects on puroindoline-a and puroindoline-b content and their relationship to technological properties in French bread wheats. *J. Cereal Sci.* 34: 37 — 47.
- Ikeda TM, Ohnishi N, Nagamine T, Oda S, Hisatomi T, Yano H. 2005. Identification of new puroindoline genotypes and their relationship to flour texture among wheat cultivars. *J. Cereal Sci.* 41: 1 — 6.
- Jing W., Demcoe A. R., Vogel H. J. 2003. Conformation of a bactericidal domain of puroindoline a: structure and mechanism of action of a 13-residue antimicrobial peptide. *J. Bacteriol* 185: 4938 — 4947.
- Jolly C. J., Rahman S., Kortt A. A., Higgins T. J. V. 1993. Characterization of the wheat Mr 15000 “grain-softness protein” and analysis of the relationship between its accumulation in the whole seed and grain softness. *Theor. Appl. Genet.* 86: 589 — 597.
- Kooijman M., Orsel R., Hessing M., Hamer J. R., Bekkers A. C. A. P. A. 1997. Spectroscopic characterisation of the lipid-binding properties of wheat puroindolines. *J. Cereal Sci.* 26: 145 — 159.
- Krishnamurthy K., Giroux M. J. 2001. Expression of wheat puroindoline genes in transgenic rice enhances grain softness. *Nat. Biotechnol.* 19: 162 — 166.
- Krishnamurthy K., Balconi C., Sherwood J. E., Giroux M. J. 2001. Wheat Puroindolines Enhance Fungal Disease Resistance in Transgenic Rice. *Mol. Plant Microbe Interact.* 14: 1255 — 1260.
- Law C. N., Young C. F., Brown J. W. S., Snape J. W., Worland J. W. 1978. The study of grain protein control in wheat using whole chromosome substitution lines. In: *Seed Protein Improvement by Nuclear Techniques*, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria: 483 — 502.
- Le Bihan T., Blochet J. E., Desormeaux A., Marion D., Pezolet M. 1996. Determination of the secondary structure and conformation of puroindolines by infrared and Raman spectroscopy. *Biochemistry* 35: 12712 — 12722.
- Li G., He Z., Pena R J., Xia X., Lillemo M., Qixin S. 2006. Identification of novel secaloindoline-a and secaloindoline-b alleles in CIMMYT hexaploid triticales lines. *J. Cereal Sci.* 43: 378 — 386.
- Li W., Li H., Gill B. S. 2008. Recurrent deletions of puroindoline genes at the grain hardness *locus* in four independent lineages of polyploid wheat. *Plant Physiol.* 146: 200 — 212.
- Lillemo M., Morris C. F. 2000. A leucine to proline mutation in puroindoline b is frequently present in hard wheats from Northern Europe. *Theor. Appl. Genet.* 100: 1100 — 1107.
- 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.
- Luo L., Zhang J., Yang G., Li Y., Kexiu L., He G. 2008. Expression of puroindoline a enhances leaf rust resistance in transgenic tetraploid wheat. *Mol. Biol. Rep.* 35: 195 — 200.
- Martin J., Meyer F., Smidansky E., Wanjugi H., Blechl A., Giroux M. J. 2006. Complementation of the Pina (null) allele with the wild type Pina sequence restores a soft phenotype in transgenic wheat. *Theor. Appl. Genet.* 113: 1563 — 1570.
- Massa AN, Morris CF. 2006. Molecular evolution of the puroindoline-a, puroindoline-b, and grain softness protein-1 genes in the tribe *Triticeae*. *J. Mol. Evol.* 63: 526 — 536.

- McIntosh R. A., Devos K. M., Dubcovsky J., Rogers W. J., Morris C. F., Appels R., Anderson O. D. 2005. Catalogue of gene symbols for wheat: 2005 supplement. <http://wheat.pw.usda.gov/ggpages/wgc/2005upd.html>.
- Morris C.F. 1992. Impact of blending hard and soft white wheats on milling and baking quality. *Cereal Foods World* 37: 643 — 648.
- Morris C. F. 2002. Puroindolines: the molecular genetic basis of wheat grain hardness. *Plant Mol. Biol.* 48: 633 — 647.
- Morris C.F., Greenblatt G. A., Bettge A. D., Malkawi H. I. 1994. Isolation and characterization of multiple forms of friabilin. *J. Cereal Sci.* 21: 167 — 174.
- Nadolska-Orczyk A., Gasparis S., Orczyk W. 2009. The determinants of grain texture in cereals. *J. Appl. Genet* 50: 185 — 197.
- Oda S., Komae K., Yasui T. 1992. Relation between starch granule protein and endosperm softness in Japanese wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Jpn J. Breed.* 42: 161 — 165.
- Oda S., Schofield J. D., 1997. Characterization of friabilin polypeptides. *J. Cereal Sci.* 26: 29 — 36.
- Palumbo D., Iannaccone M., Porta A., Capparelli R. 2010. Experimental antibacterial therapy with puroindolines, lactoferrin and lysozyme in *Listeria monocytogenes*-infected mice. *Microbes Infect.* 12: 538 — 545.
- Rahman S., Jolly C. J., Skerritt J. H., Walloscheck A. 1994. Cloning of a wheat 15 kDa grain softness protein (GSP). GSP is a mixture of puroindoline-like polypeptides. *Eur. J. Biochem.* 223: 917 — 925.
- Ramirez A., Perez G.T., Ribotta P. D., Leon A. E. 2003. The occurrence of friabilins in triticale and their relationship with grain hardness and baking quality. *J. Agric. Food Chem.* 51: 7176 — 7181.
- Simeone M. C., Lafiandra D. 2005. Isolation and characterization of friabilin genes in rye. *J. Cereal Sci.* 41: 115 — 122.
- Symes K. J. 1965. The inheritance of grain hardness in wheat as measured by particle size index. *Aust. J. Agric. Res.* 16: 113 — 123.
- Tranquilli G., Heaton J., Chicaiza O., Dubcovsky J. 2002. Substitutions and deletions of genes related to grain hardness in wheat and their effect on grain texture. *Crop Sci.* 42: 1812 — 1817.
- Turnbull K. M., Gaborit T., Marion D., Rahman S. 2000. Variation in puroindoline polypeptides in Australian wheat cultivars in relation to grain hardness. *Aust. J. Plant Physiol.* 27: 153 — 158.
- Turnbull K. M., Marion D., Gaborit T., Appels R., Rahman S. 2003. Early expression of grain hardness in the developing wheat endosperm. *Planta* 216: 699 — 706.
- Wall M. L., Wheeler H. L., Huebsch M. P., Smith J. C., Figeys D., Altossar I. 2010. The tryptophan-rich domain of puroindoline is directly associated with the starch granule surface as judged by tryptic shaving and mass spectrometry. *J. Cereal Sci.* 52: 115 — 120.
- Wanjugi H. W., Hogg A. C., Martin J. M., Giroux M. J. 2007. The role of puroindoline a and b individually and in combination on grain hardness and starch association. *Crop Sci.* 47: 67 — 76.
- Wiley P. R., Tosi P., Evrard A., Lovergrove A., Jones H. D., Shewry P. R. 2007. Promoter analysis and immunolocalisation show that puroindoline genes are exclusively expressed in starchy endosperm cells of wheat grain. *Plant Mol. Biol.* 64: 125 — 136.
- Williams P. C., Sobering D. C. 1986. Attempts at standardization of hardness testing of wheat. I. The grinding/sieving (particle size index) method. *Cereal Foods World* 31: 359: 362 — 364.
- Yau W.M., Wimley W. C., Gawrisch K., White S. H. 1998. The preference of tryptophan for membrane interfaces. *Biochemistry* 37: 14713 — 14718.

ALICJA SOBKOWIAK¹**JAROSŁAW SZCZEPANIK**²**PAWEŁ SOWIŃSKI**^{1,2}¹ Zakład Biochemii i Fizjologii Roślin, IHAR — PIB, Radzików² Zakład Ekofizjologii Molekularnej Roślin, Uniwersytet Warszawski, Warszawa

Molekularne podstawy adaptacji kukurydzy do różnych warunków klimatycznych

Molecular framework of maize adaptation to various climatic factors

Znaczenie kukurydzy wzrasta w ostatnich latach, o czym decyduje głównie łatwość jej uprawy, wysokie plonowanie oraz wszechstronność zastosowań tego gatunku. Wiąże się to ze wzrostem areálu upraw tej rośliny. Ze względu na pochodzenie, uprawa kukurydzy w strefie klimatu umiarkowanego wiąże się z uzyskaniem materiałów hodowlanych przystosowanych do szeregu czynników abiotycznych, takich jak odmienny fotoperiod, okresowe susze i niska temperatura. Molekularne podłoże adaptacji kukurydzy do omawianych czynników jest słabo poznane. Wypełnienie tej luki jest warunkiem dalszego postępu hodowlanego, szczególnie w obliczu przewidywanych zmian klimatu

Słowa kluczowe: adaptacja, chłód, dobór sztuczny, kukurydza, susza, zmiany klimatu

Maize becomes more and more important crop during the last decades, mainly due to high yield and economic versatility, and its crop acreage is growing continuously, expanding more to the north and south from its centre of domestication in the tropics. This results in the need for the cultivars adapted to several abiotic factors, such as different photoperiod, periodic droughts and low temperature. Molecular mechanisms of maize adaptation to those factors remain unknown. Filling this gap is essential for future breeding advance, which becomes important especially in the context of predicted climate change.

Key words: adaptation, artificial selection, chilling, climate change, drought, maize

WSTĘP

Współczesny areal upraw kukurydzy jest imponujący w porównaniu z powierzchnią centrum udomowienia tego gatunku. Co więcej, kukurydza trafiła ze strefy międzyzwrotnikowej o klimacie monsunowym daleko na północ i południe od równika, jak dotąd nie jest ona uprawiana jedynie na obszarach podbiegunowych. Gdy gatunek ten zaczęto uprawiać poza Ameryką Środkową, pojawiło się zapotrzebowanie na odmiany

zaadaptowane do klimatu umiarkowanego. Kluczowe znaczenie miały tu takie czynniki jak fotoperiod, susza oraz niskie temperatury. Wydaje się, iż przełamanie wrażliwości na te czynniki odbywało się stopniowo i miało najczęściej charakter unikania stresu, poprzez wyhodowanie odmian wczesnych, o okresie rozwoju dostosowanym do długości sezonu wegetacyjnego (Sowiński, 2000 a, b).

Jak dotąd molekularne podstawy adaptacji do wymienionych czynników klimatycznych rozpoznano jedynie częściowo. Spośród genów podlegających selekcji w procesie adaptacji do klimatu umiarkowanego zidentyfikowano jedynie te odpowiedzialne za adaptację do długiego dnia (Coles i in., 2010). Geny związane ze zwiększoną tolerancją na suszę i niską temperaturę pozostają jak dotąd nieznane. Odporność na niską temperaturę, w przeciwieństwie do odporności na suszę, nie była jak do tej pory celem programów hodowlanych. Uzyskanie genotypów o zróżnicowanej wrażliwości na ten czynnik jest raczej efektem ubocznym selekcji pod kątem innych cech (Sobkowiak, 2012). Wydaje się, iż otrzymywanie materiałów hodowlanych zaadaptowanych do klimatu umiarkowanego tradycyjnymi metodami stosowanymi przez hodowców wiąże się z jednoczesną selekcją wielu genów. Stąd poznanie genów kontrolujących odpowiedź rośliny na takie czynniki jak susza czy niska temperatura może ułatwić dalsze postępy w tej dziedzinie.

POWIĘKSZANIE SIĘ AREAŁU UPRAW KUKURYDZY

Ekspansja kukurydzy w Amerykach osiągnęła imponujące rozmiary już w czasach prekolumbijskich. Rozprzestrzenianie się uprawy kukurydzy miało miejsce przede wszystkim wzdłuż wybrzeży i pasm górskich: około 7500 lat (7,5 ka) temu trafiła na obszar dzisiejszej Kolumbii i Wenezueli, około 4 ka temu była uprawiana na obszarze całego Meksyku, na wschodnim wybrzeżu Ameryki Południowej oraz w Andach (Tenaillon i Charcosset, 2011). Nieco później, dopiero około 2 ka temu kukurydza rozprzestrzeniła się w Ameryce Północnej, docierając do rejonu Wielkich Jezior oraz w dolinę rzeki Św. Wawrzyńca, zaś najpóźniej — około roku 500 — zaczęto uprawiać ją na Karaibach (Troyer, 2004). Rośliny tej nie uprawiano w okresie prekolumbijskim w interiorze kontynentu północnoamerykańskiego (obecny Amerykański Pas Uprawy Kukurydzy), gdzie pojawiła się dopiero w XIX wieku (Tenaillon i Charcosset, 2011). Do Europy *Zea mays* dotarła w XV i XVI wieku z trzech różnych regionów Ameryki, w tym z południowej Kanady, jednak przez kilka następnych stuleci nie miała większego znaczenia gospodarczego (Tenaillon i Charcosset, 2011). Na obszarze Polski pojawiła się w XVII wieku, zapewne poprzez Węgry (słowo „kukurydza” jest pochodzenia węgierskiego), jednak do XIX wieku nie podejmowano poważniejszych prób uprawy tego gatunku.

Problem adaptacji kukurydzy do różnych czynników abiotycznych związanych z klimatem umiarkowanym pojawił się już w momencie, kiedy uprawa tego zboża dotarła na obszar dzisiejszych Stanów Zjednoczonych (Troyer, 2004). *Zea mays* ssp. *mays* jest ciepłolubną rośliną krótkiego dnia z klimatu monsunowego, wobec czego niezwykle istotne z punktu widzenia adaptacji tej rośliny do klimatu umiarkowanego było wyselekcjonowanie odmian lokalnych charakteryzujących się brakiem wrażliwości na

długość dnia oraz posiadających skrócony cykl życiowy. Opóźnienie wschodów lub/i przyspieszenie czasu kwitnienia było o tyle istotne, iż umożliwiało unikanie niekorzystnych dla rośliny okresów sezonu wegetacyjnego, zwłaszcza niskiej temperatury w okresie wschodów oraz suszy (Stamp, 1984). Podobny mechanizm obserwowano dla innych ciepłolubnych roślin uprawnych, takich jak pomidor, ogórek, czy fasola (Wasilewski, 2005). Niemal sukcesy na tym polu osiągnięto już w czasach prekolumbijskich, jednak największy postęp w tym zakresie miał miejsce w ciągu ostatnich 150 lat (Tenaillon i Charcosset, 2011).

ADAPTACJA KUKURYDZY DO DŁUGIEGO DNIA

Fotoperiod ma kluczowe znaczenie w trakcie przechodzenia kukurydzy z fazy wegetatywnej w generatywną. Niezwykle istotna jest u tych odmian długość dnia podczas tworzenia kwiatostanów męskich — długi dzień hamuje ich rozwój, co w dalszej perspektywie uniemożliwia zapłodnienie i plonowanie (Wang i in., 2008). Oczywiście wydaje się stwierdzenie, że przełamanie tej cechy było warunkiem koniecznym dla uprawy *Zea mays* w strefie klimatu umiarkowanego. Rozwój współczesnych odmian hodowanych na tym obszarze jest niezależny od długości dnia (Wang i in., 2008). Analiza QTL wykazała, iż przełamanie zależności kwitnienia od fotoperiodu wiązało się z selekcją kilkudziesięciu *loci* (Coles i in., 2010), przy czym znaczna ich część zlokalizowana jest we fragmencie chromosomu 10, noszącym ślady intensywnego doboru sztucznego (Wang i in., 2008; Tian i in., 2009).

Selekcjonowana najprawdopodobniej równolegle długość cyklu życiowego waha się u współczesnych odmian pomiędzy 36 a 180 dniami (Tian i in., 2009). Uzyskanie genotypów o różnym czasie kwitnienia wiązało się z selekcją około sześćdziesięciu *loci*, przy czym wydaje się, iż każdy *locus* miał niewielki wpływ na selekcjonowaną cechę (Buckler i in., 2009; Salvi i in., 2009). Najważniejszym *locus* odpowiadającym za zmienność omawianej cechy jest *Vgt1* (*Vegetative to generative transition 1*), który kontroluje ekspresję czynnika transkrypcyjnego *Ap2-like*, kontrolującego rozwój generatywny u kukurydzy (Salvi i in., 2007). Wyróżnia się dwie grupy haplotypów w obrębie omawianego locus, różniące się obecnością transpozonu typu MITE (Miniature Inverted repeat Transposable Element) — jego brak powoduje wczesne kwitnienie, zaś obecność opóźnia ten proces (Ducrocq i in., 2008). Zmutowany wariant omawianego genu występuje u większości linii uprawianych powyżej 25° szerokości geograficznej oraz na wysokości powyżej 2000 m. n.p.m. (Tenaillon i Charcosset, 2011). Szacuje się, iż pomimo swego znaczenia *Vgt1* odpowiada za przyspieszenie okresu kwitnienia jedynie o około 2 dni, co pokazuje jak wiele różnych *loci* musiało być selekcjonowane razem z nim (Tian i in., 2009).

ZWIĘKSZENIE TOLERANCJI NA SUSZĘ

Susza była i jest jednym z głównych czynników wpływających na plonowanie kukurydzy w różnych rejonach świata (Guo i in., 2008). Przełamanie wrażliwości na suszę

u tego gatunku odbywało się stopniowo i najprawdopodobniej było ściśle powiązane z adaptacją do długiego dnia. Stopniowe skracanie cyklu wegetacyjnego kukurydzy pozwalało na wzrost i plonowanie poza niekorzystnym okresem suszy. Pojawienie się kukurydzy na obszarze dzisiejszych Stanów Zjednoczonych około 2 ka temu wiąże się najprawdopodobniej z uzyskaniem odmian zdolnych przynajmniej częściowo do unikania stresu suszy (Tenaillon i Charcosset, 2011). Nieporównywalnie większy postęp w zakresie adaptacji do suszy miał miejsce począwszy od XIX wieku, kiedy to zaczęto uprawiać ten gatunek w amerykańskim interiorze (Troyer, 2004). Amerykański Pas Uprawy Kukurydzy jest do dziś źródłem materiałów hodowlanych przeznaczonych do uprawy w klimacie umiarkowanym (Goodman, 2005).

Jak dotąd nie udało się zidentyfikować genów odpowiedzialnych za zwiększenie tolerancji *Zea mays* na suszę. Analizy *loci* cech ilościowych prowadzone przez kilka różnych zespołów badawczych wykazały, że za wrażliwość na suszę odpowiada kilka do kilkunastu *loci*, przy czym *loci* wytypowane w poszczególnych projektach nie zawsze pokrywały się (Tuberosa i in., 2002; Guo i in., 2008; Liu i in., 2011). Różni autorzy sugerują, iż wśród wytypowanych *loci* znajdować się mogą geny kodujące dehydryny (Tuberosa i in., 2002), białka DREB (dehydration responsive element binding), będące czynnikami transkrypcyjnymi związanymi z wieloma stresami bio- i abiotycznymi (Agarwal i in., 2006), gen *ERECTA*, który u *Arabidopsis thaliana* reguluje wydajność transpiracji (Masle i in., 2005), czy geny związane z produkcją i dystrybucją kwasu abscysynowego do ksylemu (Tuberosa i in., 2002). Jednocześnie wydaje się, że odpowiedź kukurydzy na suszę jest na tyle złożona, iż powoduje zmiany ekspresji wielu grup genów (Guo i in., 2008).

PRZYSTOSOWANIE DO NISKIEJ TEMPERATURY

Wydaje się, iż przystosowanie *Zea mays* do niskiej temperatury oraz suszy ma przede wszystkim charakter unikania stresu. Niskie temperatury w okresie wiosennym są jednym z głównych czynników ryzyka upraw w klimacie umiarkowanym, powodując nierówne wschody, spowolnienie rozwoju czy nawet wypadanie siewek (Stamp, 1984). Wydaje się, że populacje zaadoptowane przynajmniej częściowo do niskich temperatur istniały już w okresie prekolumbijskim. W pierwszej połowie XVI wieku kukurydza była hodowana i plonowana w herbariach na obszarze całych współczesnych Niemiec (Finan, 1948), przy czym najprawdopodobniej były to odmiany pochodzące z południowej Kanady (Tenaillon i Charcosset, 2012). Należy pamiętać, iż średnie roczne temperatury w Europie musiały być niższe co najmniej o 1°C (Mayewski i in., 2004).

Znaczny postęp w adaptacji kukurydzy do niskich temperatur nastąpił w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat. W Polsce, do niedawna stanowiącej północną granicę zasięgu upraw kukurydzy w Europie (Kenny i Harrison, 1992), w ciągu 40 lat obszar upraw na ziarno przesunął się o 200 km na północ, zaś hodowla kukurydzy na pasze, kiszonki i biopaliwa możliwa jest w zasadzie na terenie całego kraju. Postęp w hodowli kukurydzy w Polsce był związany z uzyskaniem linii wczesnych, o bujnym wczesnym wigorze, a jednocześnie gwarantujących wysoki plon i dużą zdolność kombinacyjną. Niektóre współczesne

materiały hodowlane kukurydzy są już w stanie przetrwać wiosenne okresy chłodu, a nawet krótkotrwałe przymrozki (J. Adamczyk, kom. ustny). Dzięki temu okres siewu kukurydzy w Polsce południowo-zachodniej jest już możliwy nawet w pierwszej połowie kwietnia. Należy zauważyć, iż kukurydza jest jednym z niewielu gatunków wywodzących się ze strefy międzyzwrotnikowej, u którego doszło do wykształcenia się adaptacji do chłodnego klimatu. Sezon wegetacyjny dla wszystkich innych roślin pochodzenia tropikalnego rozpoczyna się w drugiej połowie maja. Dotyczy to nawet prosa, które jest uprawiane w Polsce od setek lat.

Jak dotąd nieznane są geny, które ulegały selekcji w związku z przełamaniem chłodowrażliwości, czy podatności na suszę u kukurydzy. Jednak na podstawie dotychczas przeprowadzonych badań wydaje się, iż dobór sztuczny przebiegał tu podobnie jak w przypadku selekcji odmian o różnej długości cyklu życiowego: najprawdopodobniej selekcjonowano jednocześnie wiele *loci*, a zmiany w pojedynczych genach dawały niewielkie efekty fenotypowe (Fracheboud i in., 2004; Guo i in., 2008). Trzeba jednak zaznaczyć, że dopiero ostatnio na większą skalę rozpoczęto badania molekularnego podłoża mechanizmu tolerancji chłodu przez kukurydzę. Było to m.in. możliwe dzięki uzyskaniu przez hodowców linii kukurydzy bardzo dobrze zaadaptowanych do warunków chłodnej wiosny, a także wprowadzeniu nowych technik biologii molekularnej: mikromacierzy, ilościowego RT PCR oraz proteomiki. Pierwsze wyniki są obiecujące, gdyż wytypowano kilkanaście genów i białek potencjalnie odpowiedzialnych za chłodotolerancję *Zea mays* (Sobkowiak, 2012). Należy jednocześnie pamiętać o tym, że odpowiedź rośliny na stres to zjawisko złożone, polegające na współdziałaniu wielu procesów fizjologicznych, stąd też nie należy się spodziewać prostych zależności na poziomie molekularnym. Wydaje się, że najkrótszą drogą do polepszenia adaptacji kukurydzy do klimatu umiarkowanego jest uzyskiwanie nowych linii w oparciu o naturalnie występującą zmienność. Niemniej jednak zastosowanie metod molekularnych do oceny potencjalnej przydatności nowych materiałów hodowanych może znacznie zwiększyć wydajność selekcji. Takie podejście może być i jest z powodzeniem stosowane także w odniesieniu do innych cech pożądanых przez hodowców.

PERSPEKTYWY UPRAWY KUKURYDZY W OBLICZU PRZEWIDYWANYCH ZMIAN KLIMATU

Z uwagi na globalne znaczenie kukurydzy, jako rośliny uprawnej, problem zmiany polityki rolnej dla tego gatunku w różnych strefach klimatycznych jest niezwykle ważny. Zmiany klimatu w ciągu ostatnich kilku dekad obejmują przede wszystkim wzrost średniej temperatury na wszystkich szerokościach geograficznych, wzrost stężenia dwutlenku węgla w atmosferze oraz zmiany rozkładu intensywności opadów w ciągu sezonu wegetacyjnego na dużych obszarach globu (Petit i in., 1999; Lisiecki i Raymo, 2005). Wszystkie te czynniki nie pozostają bez wpływu na możliwości uprawy kukurydzy.

Wydaje się, iż kukurydza, jako roślina C4 powinna osiągać największą wydajność fotosyntezy w warunkach niskiego stężenia CO₂ i podwyższonej temperatury oraz łatwiej znosić suszę, niż zboża C3 takie jak pszenica (Ehleringer i in., 1997; Sage i Kubien, 2003).

Problem odpowiedzi roślin (zarówno C3, jak i C4) na wzrost zawartości dwutlenku węgla w atmosferze jest złożony, a zdania badaczy na ten temat podzielone. Krótkoterminowy wzrost kukurydzy w warunkach zwiększonego stężenia CO₂ (700 ppm) wykazał, że podwyższenie stężenia tego gazu wpływa pozytywnie na rośliny, powodując 20–30% przyrost biomasy w stosunku do osobników rosnących przy dwukrotnie niższym stężeniu CO₂ (Driscoll i in., 2006), co jest procesem obserwowanym także u gatunków C3 (Koski, 1996). Z drugiej strony, wzrost stężenia dwutlenku węgla powinien dać większe korzyści gatunkom C3, poprzez redukcję utraty węgla w procesie fotooddychania. Z kolei badania długoterminowe i materiał kopalny sugerują, iż w dłuższej perspektywie wzrost zawartości CO₂ w atmosferze nie przekłada się na większy przyrost biomasy, ale prowadzi do przebudowy epidermy (zmniejszenie liczby aparatów szparkowych na powierzchni liści i zwiększenie rozmiarów pojedynczych aparatów), co pozwala na wydajniejszą gospodarkę wodną (Franks i Beerling, 2009).

Analizując odpowiedź rośliny C4 takiej jak kukurydza na wzrost zawartości CO₂ w atmosferze nie można rozpatrywać tego czynnika w oderwaniu innych parametrów klimatu: temperatury i wilgotności, które również podlegają znaczącym wahaniom. Obecnie wiadomo, iż wyższe wymagania termiczne większości roślin C4 są spuścizną po ich międzyzworotnikowym pochodzeniu (Edwards i Still, 2008). Wyższa wydajność zużycia wody i odporność na suszę roślin C4 jest z kolei zagadnieniem złożonym, zależnym w dużej mierze od przynależności systematycznej danego gatunku (Sage i in., 2011): u traw z plemienia palczatkowych, do których należy kukurydza, istotnym czynnikiem jest odpowiedni rozkład opadów w trakcie sezonu wegetacyjnego (Knapp i in., 2002; Ureta i in., 2012).

Wydaje się, iż wzrost stężenia dwutlenku węgla w atmosferze w połączeniu z ocieplaniem się klimatu oraz bardziej uciążliwymi okresami suszy generalnie będzie sprzyjać rozszerzaniu zasięgu występowania przez gatunki C4 (Ghannoum i in., 2000; Leakey i in., 2009). Prognozy dotyczące zmian obszaru występowania różnych odmian kukurydzy oraz jej najbliższych dziko żyjących krewnych (teosinte, *Tripsacum sp.*) na terenie Meksyku zakładają zmniejszenie ich areалу o 10–40% w ciągu najbliższych trzydziestu lat, przy czym w największym redukcji ulegnie zasięg teosinte (Ureta i in., 2012). Autorzy modelu zaznaczają, iż w skali lokalnej zmiany zasięgów są zróżnicowane dla poszczególnych odmian oraz linii kukurydzy i odpowiednie gospodarowanie materiałami hodowlanymi może zapobiec negatywnym efektom zmian klimatu. Należy jednocześnie pamiętać, iż zmiany klimatu będą miały odmienny wpływ na uprawę kukurydzy w poszczególnych strefach klimatycznych: ocieplanie się klimatu pozwoli z jednej strony na dalsze rozszerzenie areálu uprawy tego gatunku w Eurazji i Ameryce Północnej, z drugiej zaś strony poważnym problemem mogą się tam okazać zbyt krótki sezon wegetacyjny oraz wiosenne przymrozki (Koski, 1996). Z kolei najpoważniejszym wyzwaniem dla hodowli kukurydzy w strefie międzyzworotnikowej mogą okazać się susze mające miejsce w okresie krytycznym dla wzrostu i rozwoju roślin (Ureta i in., 2012).

O ile w strefie umiarkowanej kukurydza ma głównie znaczenie przemysłowe (pasze, biopaliwa), w wielu krajach rozwijających się jest ona podstawą diety (Blackie, 1994). W ostatnich dziesięcioleciach kukurydza staje się popularnym zbożem w Afryce, głównie

za sprawą nowych odmian o podwyższonej zawartości białka (Prasanna i in., 2001). Wysoka produktywność oraz łatwość obróbki plonów w stosunku do innych zbóż sprawiają, iż uprawa kukurydzy na terenie Afryki wydaje się obiecująca (Chapman, 1996).

Poważną przeszkodą na drodze do upowszechnienia uprawy tego gatunku w Afryce jest fakt, iż większość dostępnych na rynku materiałów hodowlanych pochodzi z Amerykańskiego Pasa Uprawy Kukurydzy (Goodman, 2005). Są to linie i odmiany przeznaczone do uprawy poza strefą międzyzwrotnikową, do tego uprawy intensywnej z wykorzystaniem nawozów sztucznych oraz chemicznych środków ochrony roślin. Rolnictwo w Afryce to przede wszystkim drobne gospodarstwa, zaś poszczególnych hodowców nie stać na nawozy sztuczne. Także zestaw chwastów i szkodników upraw jest w Afryce inny niż w klimacie umiarkowanym. Kolejnymi czynnikami nie sprzyjającymi uprawie kukurydzy w wielu regionach Afryki są częste susze oraz szybkie jałowienie gleb (Blackie, 1994). Odpowiedni dobór materiałów hodowlanych na rynek afrykański wydaje się być niezwykle istotny, jak dotąd, dużo lepiej sprawdzają się w krajach rozwijających się odmiany z Ameryki Środkowej (Prasanna, 2012). Dodatkowo niezbędne są odgórne działania ułatwiające zrzeszanie rolników, co ma na celu ułatwić rozpowszechnianie wiedzy na temat uprawy kukurydzy oraz uczynić zakup odpowiednich technologii niezbędnych do hodowli tańszymi (Blackie, 1994). Inicjatywy tego typu przeprowadzone w wielu krajach afrykańskich dały pozytywne skutki (Bratton, 1986).

PODSUMOWANIE

Znaczenie kukurydzy, jako rośliny uprawnej wzrasta w ostatnich latach. Mimo, iż gatunek ten charakteryzuje się olbrzymią zmiennością genetyczną, pojawiają się obawy, czy będzie ona wystarczająca do wyselekcjonowania odmian i linii o cechach zbieżnych z oczekiwaniami różnych gałęzi gospodarki. Szczególnym wyzwaniem jest uzyskanie materiałów hodowlanych zdolnych do wzrostu i plonowania w różnych strefach klimatycznych. Niskie temperatury w początkowych fazach wzrostu oraz okresowe susze wydają się być czynnikami, które obecnie ograniczają uprawę kukurydzy w największym stopniu. Jak dotąd wrażliwość tego zboża na obydwa typy stresów została przełamana jedynie częściowo.

Nie wiadomo dokładnie jak przewidywane zmiany klimatu wpłyną na możliwości uprawy kukurydzy w różnych częściach globu. Wydaje się, iż ocieplanie się klimatu pozwoli na rozszerzenie areалу upraw na jeszcze bardziej na północ i południe od Równika. Jeśli tak się stanie, na znaczeniu zyskają projekty hodowlane mające na celu uodpornienie kukurydzy na niskie temperatury. Z kolei zmiany klimatu w strefie międzyzwrotnikowej będą się najprawdopodobniej wiązały z nasileniem stresu suszy w ciągu sezonu wegetacyjnego, co również może dać bodziec do dalszych badań nad uzyskaniem materiałów hodowlanych odpornych na ten czynnik. Może być to możliwe na drodze modyfikacji genomu lub też poprzez uzyskanie nowych linii tradycyjnymi metodami hodowlanymi.

Programy hodowlane wydają się być najlepszą metodą otrzymywania nowych odmian i linii, gdyż wiele cech ilościowych, takich jak skład chemiczny ziarniaków uzyskanie

pożądanych zmian fenotypowych na drodze mutagenyzy wydaje się niezwykle trudne (Tracy i in., 2004). Zmienność genetyczna kukurydzy pozostaje wciąż duża i pozwala na uzyskanie imponujących wyników (Moose i in., 2004). Co ciekawe, większość współczesnych programów hodowlanych bazuje na liniach z Amerykańskiego Pasa Uprawy Kukurydzy, które wywodzą się od odmian o stosunkowo wąskim zakresie zmienności fenotypowej (Labate i in., 2003; Goodman, 2005). Wydaje się, że linie pochodzące z Ameryki Środkowej posiadają znacznie większą zmienność fenotypową: lokalne odmiany z tej części świata (Wellhausen-Anderson Maize Genetic Resources Center w El Batan w Meksyku posiada w swojej kolekcji 27000 różnych materiałów hodowlanych, w większości rodzimych; Ortiz i in., 2010) wykazują ogromną rozpiętość cech związanych z morfologią i adaptacją do rozmaitych czynników abiotycznych (Prasanna, 2012). Posiadają one duży potencjał, możliwy do wykorzystania w programach hodowlanych, który ujawnił się chociażby podczas selekcji Quality Protein Maize (Prasanna i in., 2001). Rozpoznanie i odpowiednie gospodarowanie materiałami hodowlanymi z różnych stron świata może być kluczem do utrzymania lub nawet dalszego powiększenia areału uprawy kukurydzy w obliczu przewidywanych zmian klimatu.

LITERATURA

- Agarwal P. K., Agarwal P., Reddy M. K., Sopory S. K. 2006. Role of DREB transcription factors in abiotic and biotic stress tolerance in plants. *Plant Cell Rep.* 25: 1263 — 1274.
- Blackie M. J. 1994. Maize productivity for the 21st century: the African challenge. *Outlook Agric.* 23: 189 — 195.
- Bratton M. 1986. Farmer organizations and food production in Zimbabwe. *World Develop.* 14: 367 — 384.
- Buckler E. S., Holland J. B., Bradbury P. J., Acharya C., Brown P. J., Browne C., Erso E., Flint-Garcia S., Garcia A., Glaubitz J., Goodman M., Harjes C., Guill K., Kroon D.E., Larsson S., Lepak N.K., Li H., Mitchel S., Pressoir G., Peiffer J., Rosas O., Rocheford T. R., Romay C. M., Romero S., Salvo S., Villeda S., da Silva H. S., Sun Q., Tian F., Upadyayula N., Ware D., Yates H., Yu J., Zhang Z., Kresovich S., McMullen M. D. 2009. The genetic architecture of maize flowering time. *Science* 325: 714 — 718.
- Chapman G. P. 1996. *The biology of grasses*. CAB International, Sydney.
- Coles N. D., McMullen M. D., Balint — Kurti P. J., Pratt R. C., Holland J. B. 2010. Genetic control of photoperiod sensitivity in maize revealed by joint multiple population analysis. *Genetics* 184: 799 — 812.
- Driscoll SE, Prins A, Olmos E, Kunert KJ, Foyer CH. 2006. Specification of adaxial and abaxial stomata, epidermal structure and photosynthesis to CO₂ enrichment in maize leaves. *J. Exp. Bot.* 51: 381 — 390.
- Ducrocq S., Madur D., Veyrieras J-B., Camus-Kulandaivelu L., Kloiber-Maitz M., Presterl T., Ouzunova M., Manicacci D., Charcosset A. 2008. Key impact of Vgt1 on flowering time adaptation in maize: evidence from association mapping and ecogeographical information. *Genetics* 18: 2433 — 243.
- Edwards E. J., Still E. J. 2008. Climate, phylogeny and the ecological distribution of C4 grasses. *Ecol. Let.* 11: 266 — 276.
- Ehleringer J. R., Cerling, T. E., Helliker B. R. 1997. C4 photosynthesis, atmospheric CO₂ and climate. *Oecologia* 112: 285 — 299.
- Finan J. J. 1948. Maize in the great herbals. *Ann. Mo. Bot. Gard.* 35: 149 — 165.
- Fracheboud Y., Jompuk C., Ribaud M. J., Stamp P., Leipner J. 2004. Genetic analysis of cold — tolerance of photosynthesis in maize. *Plant Mol. Biol.* 56: 241 — 253.
- Franks P.J., Beerling D. J. 2009. Maximum leaf conductance driven by CO₂ effects on stomatal size and density over geologic time. *PNAS* 106: 10343 — 10347.
- Ghannoum O. von Caemmerer S. Ziska L. H. Conroy J. P. 2000. The growth response of C4 plants to rising atmospheric CO₂ partial pressure: a reassessment. *Plant, Cell Environ.* Vol. 23: 931 — 942.

- Goodman M. M. 2005. Broadening the U.S. maize germplasm base. *Maydica* 50: 203 — 214.
- Guo J., Su G., Zhang J., Wang G. 2008. Genetic analysis and QTL mapping of maize yield and associate agronomic traits under semi — arid land condition. *Afr. J. Biotech.* 7: 1829 — 1838.
- Kenny G. J., Harrison P. A. 1992. Thermal and moisture limits of grain maize in Europe: model testing and sensitivity to climate change. *Clim. Res.* 2: 113 — 129.
- Knapp A. K., Fay P.A., Blair J. M., Collins S. L., Smith M. D., Carlisle J. D., Harper C. W., Danner B. T., Lett M. S., McCarron J. K. 2002. Rainfall variability, carbon cycling, and plant species diversity in a mesic grassland. *Nature* 298: 2202 — 2205.
- Koski V. 1996. Breeding plants in case of global warming. *Euphytica* 92: 235 — 239.
- Labate J. A., Lamkey K. R., Mitchell S. E., Kresovich S., Sullivan H., Smith J. S. C. 2003. Molecular and historical aspects of Corn Belt dent diversity. *Crop Sci.* 43: 80 — 91.
- Leakey A. D. B., Ainsworth E. A., Bernacchi C. J., Rogers A., Long S. P., Ort D. R. 2009. Elevated CO₂ effects on plant carbon, nitrogen, and water relations: six important lessons from FACE. *J. Exp. Bot.* 60: 2859 — 2876.
- Lisiecki L. E., Raymo ME. 2005. A Pliocene — Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records. *Paleoceanography* 20: PA1003.
- Liu Y., Subhash C., Yan J., Song C., , Zhao J., Li J. 2011. Maize leaf temperature responses to drought: Thermal imaging and quantitative trait loci (QTL) mapping. *Environ. Exp. Bot.* 71: 158 — 165.
- Masle J., Gilmore SR, Farquhar GD. 2005. The ERECTA gene regulates plant transpiration efficiency in *Arabidopsis*. *Nature* 436: 866 — 870.
- Mayewski P. A., Rohling E. E., Stager J. C., Wibjörn K., Maasch K. A., Meeker L. D., Meyerson E. A., Gasse F., van Kreveland S., Holmgren K., Lee-Thorp J., Rosqvist G., Rack F., Staubwasser M., Schneider R. R., Steig E. J. . 2004. Holocene climate variability. *Quaternary Res.* 62: 243 — 255.
- Moose S.P, Dudley J. W., Rocheford T. R. 2004. Maize selection passes the century mark: a unique resource for 21st century genomics. *Trends Plant Sci.* 9: 358 — 364.
- Ortiz R., Taba S., Chavez V. H., Mezzalama M., Xu Y., Yan J., Crouch J. H. 2010. Conserving and genetic resources as global public goods— a perspective from CIMMYT. *Crop Sci.* 50: 13 — 28.
- Petit J. R., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N. I., Barnola J.-M., Basile I., Bender M., Chappellaz J., Davis M., Delaygue G., Delmotte M., Kotlyakov V.M., Legrand M., Lipenkov V.Y., Lorius C., Pepin L., Ritz C., Saltzman E., Stievenard M. 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399: 429 — 436.
- Prasanna B. M. 2012. Diversity in global maize germplasm: characterization and utilization. *J. Biosci.* 37: 843 — 855.
- Prasanna B. M., Vasal S. K., Kassahun B., Singh N. N. 2001. Quality protein maize. *Current Science* 81: 1308 — 1319.
- Sage R. F., Christin P. A., Edwards E. J. 2011. The C₄ plant lineages of planet Earth. *J. Exp. Bot.* 62: 3155 — 3169.
- Sage R. F., Kubien D. S. 2003. Quo vadis C₄? An ecophysiological perspective on global change and the future of C₄ plants. *Photosynth. Res.* 77: 209 — 225.
- Salvi S., Castelletti S., Tuberosa R. 2009. An updated consensus map on flowering time QTLs in maize. *Maydica* 54: 501 — 512.
- Salvi S., Sponza G., Morgante M., Tomes D., Niu X., Fengler K. A., Meeley R., Ananiev E. V., Svitashv S., Bruggemann E., Li B., Hainey C. F., Radovic S., Zaina G., Rafalski J. A., Tingey S. V., Miao G.-H., Phillips R. L., Tuberosa R. 2007. Conserved non coding genomic sequences associated with a flowering — time quantitative trait locus in maize PNAS 104: 11376 — 11381.
- Sobkowiak A. 2012. Reakcje kukurydzy na chłód umiarkowany na poziomie transkryptomicznym i proteomicznym. Rozprawa doktorska. IHAR PIB, Radzików.
- Sowiński P. 2000 a. Wrażliwość kukurydzy na chłód. Cz. 1. Wzrost, rozwój, fotosynteza. *Biul. IHAR* 214: 3 — 16.
- Sowiński P. 2000 b. Wrażliwość kukurydzy na chłód. Cz. 2. System korzeniowy, regulacja funkcjonowania rośliny, perspektywy hodowli. *Biul. IHAR.* 214: 17 — 29.

- Stamp P. 1984. Chilling tolerance of young plants demonstrated on the example of maize (*Zea mays* L.). In: Advances in Agronomy and Crop Science no 7, G. Geisler (ed.), Berlin, Parey: 83.
- Tenaillon M. I., Charcosset A. 2011. A European perspective on maize history. C.R. Biologies 334: 221 — 228.
- Tian F., Stevens N. M., Buckler E. S. 2009. Tracking footprints of maize domestication and evidence for a massive selective sweep on chromosome 10. PNAS 106: 9979 — 9986.
- Tracy W. F., Goldman I. L., Tiefenthaler A. E., Schaber M. A. 2004. Trends in productivity of U.S. crops and long-term selection. In: Janick J. (ed.). Plant Breeding Reviews. Long-term selection: Crops, animals, and bacteria. Vol. 24 (2). John Wiley & Sons. Oxford.
- Troyer A. F. 2004. Background of U.S. Hybrid corn: II. Breeding, climate and food. Crop Sci. 44: 370 — 380.
- Tuberosa R., Salvi S., Sanguineti M.C., Landi P., Maccaferri M., Conti S. 2002. Mapping QTLs regulating morpho-physiological traits and yield: Case studies, shortcomings and perspectives in drought — stressed maize. Annals Bot. 89: 941 — 963.
- Ureta C., Martinez-Meyer E., Perales H. R., Alvarez-Buylla E. R. 2012. Projecting the effects of climate change on the distribution of maize races and their wild relatives in Mexico Global Change Biol. 18: 1073 — 1082.
- Wang C. L., Cheng F. F., Sun Z. H., Tang J. H., Wu L. C., Ku L. X., Chen Y. H. 2008. Genetic analysis of photoperiod sensitivity in a tropical by temperate maize recombinant inbred population using molecular markers. Theor. Appl. Genet. 117: 1129 — 1139.
- Wasilewski M. 2005. Udomowienie roślin w Nowym Świecie. Wiad. Bot. 49: 19 — 37.

ALICJA SOBKOWIAK¹JAROSŁAW SZCZEPANIK²PAWEŁ SOWIŃSKI^{1,2}¹ Zakład Biochemii i Fizjologii Roślin, IHAR — PIB, Radzików² Zakład Ekofizjologii Molekularnej Roślin, Uniwersytet Warszawski, Warszawa

Molekularne podłoże udomowienia kukurydzy

Molecular background of maize domestication

Dobór sztuczny towarzyszący procesowi udomowienia kukurydzy opierał się głównie na selekcjonowaniu określonych fenotypów, w efekcie czego powstały populacje osobników jakościowo różnych od dzikiego przodka. Dalsze zmiany w genomach gatunków udomowionych zachodziły na etapie hodowli, podczas którego z odmian lokalnych otrzymywano, bazując na ich zmienności, linie wsobne (inbred lines) o pożądanym cechach. Powstało szereg hipotez mających wyjaśnić drogi ewolucji kukurydzy uprawnej i rozpoznać źródła jej zmienności. Dziś wiadomo, iż kukurydza udomowiona została tylko raz, w południowo-zachodnim Meksyku, w dolinie rzeki Balsas, około 9000 lat temu. W ciągu ostatniej dekady, na podstawie analizy populacji uzyskanej z krzyżowania teosinte z kukurydzą, zidentyfikowano cztery główne geny związane z cechą udomowienia: *tb1*, *Barren stalk1*, *tga1*, *ramosa2*. Wykazano, że wszystkie cztery, wyżej wymienione geny kodują czynniki transkrypcyjne. W artykule przedstawiono współczesny stan wiedzy odnośnie specyfiki genomu kukurydzy warunkującej ogromną zdolność adaptacyjną tego gatunku jako tło dla procesów związanych z jego udomowieniem.

Słowa kluczowe: dobór sztuczny, genom, hodowla, kukurydza, selekcja, udomowienie, zmienność genetyczna

Artificial selection during maize domestication was based mostly on selection of certain phenotypes. That resulted in creating populations differing in many aspects from teosinte — the wild progenitor of modern maize. Similar changes took place during breeding phase, when exploitation of natural variation of local landraces gave rise to several inbred lines bearing the desired features. The questions of maize origin and the sources of its variability were addressed by several authors. In accordance with the current paradigm, maize was domesticated only once, in southwestern Mexico, in the valley of Balsas river, about 9000 BP. During the last decade several genes associated with domestication were identified (*tb1*, *Barren stalk1*, *tga1*, *ramosa2*). It was shown that all four genes encode transcription factors. This article shows current understanding of unique features of maize genome. This uniqueness is discussed in the context of domestication and breeding processes of *Zea mays*.

Key words: breeding, maize, genome, artificial selection, domestication, genetic variability

WSTĘP

W 1896 roku rozpoczął się trwający do dziś The Illinois Long-Term Selection Experiment — program hodowlany, którego celem była selekcja roślin należących do jednej linii wsobnej (*Burr's White*) pod kątem zawartości białka i tłuszczów w ziarniakach (Hopkins, 1899). Ziarniaki z pokolenia zerowego zostały podzielone na grupy o różnym składzie chemicznym, po czym każda z nich stała się zaczątkiem oddzielnej subpopulacji krzyżowanej potem wsobnie (Moose i in., 2004). Program ten jest niezwykle istotny z kilku powodów. Po pierwsze, jest to najdłuższy tego typu eksperyment przeprowadzony dla roślin wyższych. Po drugie, ziarniaki uzyskiwane w kolejnych latach są dostępne do badania, przez co może on dostarczyć wielu informacji, zarówno ilościowych, jak i jakościowych, na temat mechanizmów zachodzących podczas doboru sztucznego, i pośrednio, w trakcie ewolucji na drodze doboru naturalnego. Po trzecie, zastosowanie nowoczesnych metod biologii molekularnej dla ziarniaków z kolejnych pokoleń, w połączeniu z rosnącą wiedzą na temat zsekwencjonowanego kilka lat temu genomu kukurydzy (Schnable i in., 2009) może ułatwić zidentyfikowanie genów odpowiedzialnych za konkretne zmiany fenotypowe. Wreszcie po czwarte, eksperyment ten pokazał iż po ponad stuleciu poszczególne subpopulacje wciąż zachowują znaczny stopień zmienności genetycznej (Moose i in., 2004).

Ostatnia obserwacja jest niezwykle interesująca w kontekście udomowienia i hodowli kukurydzy. Gatunek ten jest jedną z najważniejszych dla rolnictwa roślin: areal jego upraw rozciąga się pomiędzy 50°N a 40°S i sięga wysokości 3500 m. n.p.m. w Andach (Tenaillon i Charcosset, 2011). W porównaniu z dwoma innymi gatunkami zbóż o globalnym znaczeniu — pszenicą i ryżem — uprawa i obróbka plonów kukurydzy jest niezwykle prosta. Dodatkowo kukurydza jest zbożem wszechstronnym — jest wykorzystywana nie tylko jako żywność, ale jest również źródłem pasz oraz biopaliw (Chapman, 1996). Mnogość zastosowań kukurydzy oraz rozległy areal upraw są wynikiem olbrzymiego zróżnicowania genetycznego u tego gatunku. Resekwencjonowanie sześciu elitarnych linii wsobnych doprowadziło do stwierdzenia obecności w genomie kukurydzy miliona polimorfizmów pojedynczego nukleotydu (SNP) oraz 3000 polimorfizmów typu *InDel* w stosunku do linii B73, której genom został zsekwencjonowany jako pierwszy (Lai i in., 2010). Ocenia się, iż polimorfizm u kukurydzy jest kilkukrotnie wyższy niż w przypadku większości roślin uprawnych (Tian i in., 2009), a dwie linie wsobne *Zea mays* mogą się od siebie różnić w stopniu większym niż człowiek i szympansy (Walbot, 2009).

Z punktu widzenia gospodarki pojawia się pytanie o przyczynę zmienności obserwowanej u kukurydzy oraz perspektywy jej wykorzystania w celu otrzymania nowych materiałów hodowlanych. Genetyka populacyjna przewiduje, iż neutralna zmienność genetyczna wzrasta, gdy mamy do czynienia z dużą populacją oraz wysokim współczynnikiem mutacji (Tian i in., 2009). Mimo iż *Zea mays* posiada długą historię jako roślina uprawna, wciąż charakteryzuje się wysokim zróżnicowaniem: ocenia się, iż współczesne linie wsobne kukurydzy zachowały około 60% zmienności stwierdzonej u dzikiego przodka i 80% zmienności populacji, z których się wywodzą (Tenaillon i in.,

2001). Dla porównania, pochodzący również z Ameryki pomidor utracił w trakcie udomowienia i dalszej hodowli aż 95% swojej zmienności genetycznej (Tian i in., 2009).

W literaturze przedmiotu funkcjonują dwa modele tłumaczące utrzymywanie się wysokiego stopnia polimorfizmu w populacjach poddawanych silnej selekcji: (i) infinitezymalny model Fishera, zakładający iż w trakcie selekcji zmianom podlega duża liczba alleli, przy czym każdy z nich ma niewielki wpływ na zmienność fenotypową; nie ma tu potrzeby generowania nowej zmienności w trakcie selekcji (Fisher, 1930) oraz (ii) zmienność jest generowana przez mutacje w trakcie procesu selekcji, co zapobiega jej spadkowi (Tenaillon i in., 2004). Aby oszacować potencjał hodowlany kukurydzy wynikający z polimorfizmu, należy znaleźć jego źródła wynikające zarówno z architektury genomu, jak i ze zmienności u dzikiego przodka oraz ocenić wpływ efektów demograficznych związanych z doбором sztucznym na różnicowanie genetyczne.

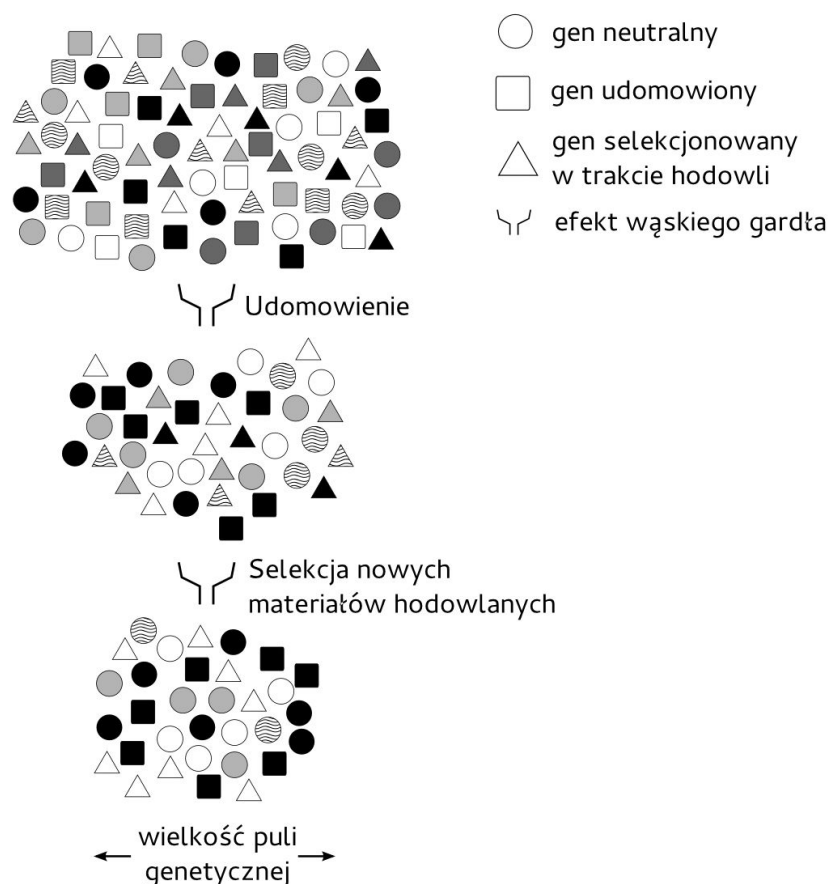
MODEL UDOMOWIENIA GENOMU NA PRZYKŁADZIE KUKURYDZY

Dobór sztuczny towarzyszący procesowi udomowienia szeregu gatunków roślin i zwierząt opierał się głównie na selekcjonowaniu określonych fenotypów, co pociągało za sobą wywieranie presji selekcyjnej na określone geny. W efekcie powstawały populacje osobników jakościowo różnych od dzikiego przodka, (odmiany lokalne — *landraces*). Dalsze zmiany w genomach gatunków udomowionych zachodziły na etapie hodowli, podczas którego z odmian lokalnych otrzymywano, bazując na ich zmienności, linie wsobne (*inbred lines*) o pożądanym cechach (Yamasaki i in., 2007). Zidentyfikowanie i charakterystyka genów, które podlegały selekcji na etapie udomowienia oraz hodowli, jest niezwykle istotne w kontekście oceny możliwości uzyskania nowych materiałów hodowlanych danego gatunku (Vigouroux i in., 2002).

W przypadku roślin uprawnych identyfikacja genów selekcjonowanych podczas udomowienia bywa problematyczna. Metody pozwalające na powiązanie fenotypu z określonymi genami, takie jak mapowanie *loci* cech ilościowych (QTL) oraz analiza asocjacyjna polegają na analizie różnicowania na poziomie nukleotydowym, natomiast omawiane geny charakteryzują się zwykle niskim polimorfizmem, przez co są niewidoczne dla opisywanych metod (Yamasaki i in., 2007).

Yamasaki i in. (2005) skonstruowali teoretyczny model wpływu doboru sztucznego na różnorodność genetyczną dla gatunku udomowionego jednokrotnie — takiego jak kukurydza — przedstawiony na rysunku 1. Geny zostały w tym modelu podzielone na trzy kategorie: (i) geny neutralne, nie podlegające bezpośrednio doborowi sztucznemu, (ii) geny podlegające selekcji podczas udomowienia dzikiego przodka (nazywane dalej genami udomowionymi) oraz (iii) geny selekcjonowane po udomowieniu, w procesie uzyskiwania linii wsobnych. Udomowienie i dalsza hodowla zmniejszają polimorfizm wszystkich trzech klas genów w stosunku do sytuacji u dzikiego przodka, co jest wynikiem wahań liczebności populacji związanych z selekcją (efekt wąskiego gardła). Wskutek ukierunkowanej selekcji geny udomowione oraz geny selekcjonowane podlegają redukcji polimorfizmu w jeszcze większym stopniu niż geny neutralne. W przypadku genów udomowionych, ich poziom polimorfizmu będzie podobny u wszystkich odmian i linii

wsobnych, natomiast dla danego genu selekcjonowanego w trakcie hodowli będzie on odmienny u różnych linii wsobnych.



Rys. 1. Model udomowienia genomu kukurydzy. Poszczególne figury reprezentują różne geny, natomiast szrafurą zaznaczono allele pojedynczych genów. Podczas procesu udomowienia selekcji poddawany jest wyłącznie gen udomowiony, jednak dochodzi też do niewielkiego spadku zróżnicowania pozostałych genów. W procesie hodowli wielkość puli genetycznej ulega dalszej redukcji na skutek selekcji, skierowanej głównie na gen warunkujący korzystne dla hodowcy cechy
Fig. 1. A model of domestication of maize genome. Each figure represents different genes and shades show different alleles of each gene. During domestication only domesticated gene is selected, however the diversity of the rest of genes also decreases slightly. During breeding phase, the genetic pool experiences a further reduction due to selection for genes bearing the desired features

Korzystając z opisanego modelu stwierdzono, iż około 3% (~1200) genów kukurydzy nosi ślady doboru sztucznego (Yamasaki i in., 2005). Także inni autorzy potwierdzają różnice polimorfizmu na poziomie nukleotydowym pomiędzy genami neutralnymi a genami podlegającymi doborowi sztucznemu u kukurydzy (Gallavotti i in., 2004; Tenaillon i in., 2004). Opisany model nie tłumaczy jednak sposobu działania selekcji na

etapie udomowienia i hodowli oraz nie wyjaśnia, jak będzie się zachowywała zmienność genetyczna podczas omawianych procesów.

GENOM KUKURYDZY JAKO ŹRÓDŁO POLIMORFIZMU

W 2009 roku został opublikowany genom kukurydzy B73 (Schnable i in., 2009). Tym samym kukurydza jest jednym z pięciu gatunków rodziny wiechlinowatych (obok ryżu, sorgo, włośnicy zielonej oraz kłosownicy dwukłoskowej) o zsekwencjonowanym genomie. Przy wielkości 2,3 Gpż jest on trzykrotnie większy niż u blisko spokrewnionego z nią sorgo oraz cechuje się wysokim stopniem polimorfizmu (Paterson i in., 2009). Tak duży rozmiar wynika zapewne z jego allotetraploidalnego charakteru: w linii rodowej prowadzącej do kukurydzy przed około 5 Ma nastąpiła duplikacja genomu na skutek hybrydyzacji dwóch blisko spokrewnionych gatunków będących przodkami *Zea mays*, po czym dochodziło do stopniowej utraty około połowy zduplikowanych genów (Gaut i Doebley, 1997; Swigonowa i in., 2004). Kukurydza posiada około 32000 genów, co jest wielkością zbliżoną do liczby genów człowieka, zlokalizowanych na dziesięciu chromosomach (Schnable i in., 2009). Badania cytologiczne wykazały, że genom kukurydzy zawiera wiele regionów homologicznych, czego dowodem są często spotykane u kukurydzy zduplikowane fragmenty chromosomowe (Gaut i in., 2000). Istotną jego część stanowią transpozony (sekwencja DNA, która może przemieszczać się na inną pozycję w genomie tej samej komórki w wyniku procesu zwanego transpozycją) oraz retrotranspozony (zawierają geny kodujące enzymy niezbędne do przemieszczania się w procesie transpozycji; Katsiosis i in., 1997). Ruchome elementy genetyczne są rozmieszczone równomiernie w całym genomie, głównie w regionach flankujących genów i stanowią około 85% jego długości (Schnable i in., 2009), co jest wartością wyższą w porównaniu z innymi gatunkami zbóż (Messing i in., 2004).

Kolejną charakterystyczną cechą genomu kukurydzy jest wspomniana wcześniej zmienność na poziomie nukleotydowym. Ma ona swoje odzwierciedlenie w olbrzymiej zmienności fenotypowej, którą zauważył już Darwin (1868). Ocenia się, że materiał genetyczny dwóch linii wsobnych *Zea mays* różni się od siebie bardziej niż genomy dwóch gatunków hominidów, których linie rodowe rozeszły się kilka milionów lat temu (Walbot, 2009). Zmienność u większości innych roślin uprawnych jest 2–5 razy niższa, natomiast w przypadku człowieka zmienność wewnątrzpopulacyjna jest około piętnastokrotnie niższa (Tian i in., 2009). Bardzo częstym zjawiskiem jest brak współliniowości dużych odcinków chromosomowych u dwóch blisko spokrewnionych linii wsobnych, przy czym może ona dotyczyć fragmentów konserwowanych ewolucyjnie, wykazujących współliniowość na poziomie rodziny, czy nawet klasy (Fu i in., 2001). Wśród czynników decydujących o utrzymywaniu się wysokiej zmienności u kukurydzy wymienia się niedawną duplikację całego genomu i dużą liczbę ruchomych elementów genetycznych (Lai i in., 2010), niewystępowanie samozapłodnienia w populacjach naturalnych i wysoki poziom rekombinacji (Fu i in., 2001), czy też dużą liczebność populacji na różnych etapach hodowli (Vigouroux i in., 2002), mechanizm selekcji genów w procesie udomowienia (Wang i in., 1999) oraz wysoką zmienność u dzikiego przodka (Hufford i in., w druku).

Niedawna, w skali geologicznej, duplikacja genomu oraz duży udział transpozonów w genomie są przytaczane jako przyczyny utrzymywania się wysokiej różnorodności także u innych gatunków zbóż takich jak pszenica, żyto, czy jęczmień (Lai i in., 2005; Scherrer i in., 2005). Ponadto uważa się, iż ewolucja u roślin opiera się w dużym stopniu na kolejnych cyklach duplikacji genomu oraz stopniowej i selektywnej utraty dodatkowych kopii (Flagel i Wendel, 2009; Gaut i in., 2000); gatunki, u których duplikacja zaszła stosunkowo niedawno charakteryzują większy polimorfizm na poziomie genotypu i fenotypu, przez co mają większą szansę na udomowienie (Wang i Dooner, 2012).

Szczególną rolę w generowaniu polimorfizmu u kukurydzy mają ruchome elementy genetyczne. Wydaje się, że to ich aktywność odpowiada za obserwowane różnice na poziomie nukleotydowym pomiędzy różnymi liniami wsobnymi (Song i Messing, 2003; Brunner i in., 2005; Lai i in., 2005). Interesującym przykładem jest mutant *sh2-7527* kukurydzy, który powstał podczas jednego z programów hodowlanych w latach 70-tych XX wieku (Eckart, 2003). Okazało się, iż za mutację w genie *shrunkened 2* odpowiada transpozon z rodziny helitronów (Lal i in., 2003). Transpozony te charakteryzuje nietypowy mechanizm transpozycji: po genomie wędruje jedynie jedna z nici; druga jest odtwarzana przy wykorzystaniu komórkowej maszynerii służącej do naprawy DNA (Kapitonov i Jurka, 2007). Helitrony niezwykle łatwo przechwytyują geny gospodarza — transpozony te nie mają ściśle zdefiniowanych sekwencji flankujących, wobec czego całe geny lub ich fragmenty ulegają transpozycji (Feschotte i in., 2002). Lal i in. (2003) uważają, że niektóre helitrony u kukurydzy mogą posiadać w pełni funkcjonalny gen helikazy RNA, pozwalający na tworzenie hybryd RNA-DNA i ulegać dzięki temu transpozycji do genów podlegających transkrypcji. Dodatkowo helitrony mogą powodować transpozycję genów gospodarza za pośrednictwem wirusów: wydaje się, że geminowirusy — grupa charakterystyczna dla królestwa roślin — wyewoluowały z helitronów (Kapitonov i Jurka, 2001). Morgante i in. (2005), badając polimorfizm genetyczny dwóch linii wsobnych kukurydzy ocenili, że helitrony odpowiadają za około 80% spośród 10000 insercji pochodzenia transpozonoнового. Inne typy transpozonów również biorą czynny udział w rearanżacji genomu roślin uprawnych, a być może nawet w ewolucji genów, czego przykładem są transpozony typu Pack-MULE — Mutator-like Transposable Elements (Jiang i in., 2004).

O ile udział ruchomych elementów genetycznych w generowaniu zmienności u kukurydzy na poziomie nukleotydowym jest niepodważalny, o tyle można mieć wątpliwości, co do ich udziału w generowaniu zmienności cech użytecznych rolniczo. Należy pamiętać, że transpozony przenoszą przede wszystkim fragmenty genów, co rzadko prowadzi do powstania nowej użytecznej cechy (Lal i in., 2003). Z drugiej strony Morgante i in. (2005) oszacowali, iż dwie linie wsobne kukurydzy różnią się od siebie lokalizacją około 20% genów (w analizie uwzględniono 21000 – całych lub ich fragmentów). Przetasowanie *loci* najprawdopodobniej miało miejsce już na poziomie pierwotnie udomowionych odmian lokalnych, zaś ich krzyżowanie doprowadziło do dalszego wzrostu nierównowagi sprzężeń (Yamasaki i in., 2007). Wydaje się jednak, iż główną przyczyną olbrzymiej zmienności genetycznej kukurydzy jest porównywalna lub większa zmienność dzikiego przodka.

UDOMOWIENIE KUKURYDZY

Pochodzenie kukurydzy, dokładny czas jej udomowienia oraz liczba epizodów domestykacji, przez długi czas były przedmiotem sporów pomiędzy badaczami, którzy próbując je wyjaśnić wysuwali niejednokrotnie sprzeczne hipotezy (Chapman, 1996). Dziś wiadomo, iż kukurydza udomowiona została tylko raz w południowo-zachodnim Meksyku, w dolinie rzeki Balsas, około 9000 lat temu (Piperno i in., 2009; Ranere i in., 2009). Najbliższymi żyjącymi krewnymi kukurydzy uprawnej (*Zea mays* ssp. *mays*) są inne trawy z rodzaju *Zea*, określane w literaturze anglosaskiej jako teosinte (Chapman, 1996). Rodzaj *Zea* obejmuje 5 gatunków: *Z. mays*, *Z. diploperennis*, *Z. perennis*, *Z. luxurians* i *Z. nicaraguensis*, natomiast w obrębie gatunku *Z. mays* wyróżnia się 4 podgatunki: *Z. mays* ssp. *mays*, *Z. mays* ssp. *mexicana*, *Z. mays* ssp. *parviglumis*, *Z. mays* ssp. *huehuetenangensis* (Hufford i in., w druku). Dane molekularne i archeologiczne wskazują, iż przodkiem kukurydzy jest tzw. Balsas teosinte — *Z. mays* ssp. *parviglumis* — aczkolwiek wykazano, iż w późniejszym okresie dochodziło do hybrydyzacji kukurydzy z *Z. diploperennis*, *Z. luxurians* oraz z wszystkimi trzema dzikimi podgatunkami *Z. mays*, co w dużej mierze wynikało ze wspólnej uprawy różnych gatunków i podgatunków rodzaju *Zea* (Wang i in., 1999; Piperno i Flannery, 2001; Piperno i in., 2009; Hufford i in., w druku).

Zea mays ssp. *parviglumis* charakteryzuje się wyższą zmiennością genetyczną niż kukurydza (Moeller i in., 2007). Niedawna duplikacja genomu, duża liczba ruchomych elementów genetycznych oraz charakterystyczny dla traw wyższy współczynnik mutacji (Gaut i in., 1996) były zapewne podłożem zmienności u teosinte na poziomie nukleotydowym. Z kolei mozaikowy charakter siedlisk w rejonie Kordyliery Meksykańskiej w połączeniu z okresowymi fluktuacjami klimatu wywierały presję selekcyjną na liczne subpopulacje tej rośliny, przenosząc część zmienności genetycznej na poziom fenotypu (Moeller i in., 2007).

Wydaje się, że efekt wąskiego gardła podczas udomowienia teosinte był niewielki, co przełożyło się na zachowanie dużej części zmienności u kukurydzy (Tian i in., 2009). Wiadomo, iż społeczności, które udomowiły kukurydzę były nieliczne i odbywały okresowe wędrówki w ciągu roku (Ranere i in., 2009). Sprzyjało to zapewne wymianie materiałów hodowlanych z innymi wspólnotami, ułatwiało krzyżowanie odmian oraz hybrydyzację z różnymi subpopulacjami teosinte. Kukurydza była przez stulecia podstawą wyżywienia wielu społeczności w Nowym Świecie. Nawet niewielkie populacje ludzkie, aby przetrwać, potrzebowały ziarniaków z setek, czy tysięcy osobników, dzięki czemu poszczególne lokalne odmiany były niezwykle liczne. Wszystkie wymienione powyżej czynniki sprzyjały utrzymaniu zmienności genetycznej na wysokim poziomie (Tian i in., 2009).

Wskutek udomowienia doszło u kukurydzy do szeregu znaczących zmian morfologicznych w stosunku do dziko rosnących przedstawicieli rodzaju *Zea*. Obejmują one nie tylko różnice w pokroju rośliny, ale również zmianę budowy kwiatostanów i nasion — odpowiednik kolby u teosinte ma kilka nasion, do tego każde z nich jest otoczone twardą okrywą, podczas gdy u kukurydzy są one większe, nagie, a pojedyncza kolba zawiera ich

kilkaset (Doebley i in., 1990). Wymienione różnice kontrastują z wysokim stopniem podobieństwa genomów obydwu gatunków i, co więcej, miały miejsce na przestrzeni kilku tysięcy lat – materiały hodowlane sprzed około 4500 lat posiadały już allele charakterystyczne dla współczesnej kukurydzy (Jaenicke-Despres i in., 2003). Należy wobec tego przypuszczać, że udomowienie kukurydzy było procesem szybkim i dokonało się wskutek zmian w niewielu genach, przy czym sumaryczna wartość tych zmian była bardzo duża (Tian i in., 2009).

Beadle, autor koncepcji o pochodzeniu kukurydzy od teosinte wykazał, korzystając z metod genetyki klasycznej, że za różnicę pomiędzy obydwoma gatunkami odpowiada pięć genów (Beadle, 1980). Mapowanie *loci* cech ilościowych potwierdziło tę hipotezę (Doebley i in., 1990; Doebley i Stec, 1993) i doprowadziło do zidentyfikowania czterech spośród pięciu postulowanych genów (Buckler i in., 2006). Locus, który najprawdopodobniej podlegał selekcji jako pierwszy to *tg1* (*teosinte glume architecture1*). Gen ten kontroluje powstawanie twardej okrywy owocowo-nasiennej wokół ziarniaków u teosinte (Dorweiler i in., 1993). Uzyskanie mutanta z nagimi nasionami stanowiło przełom w hodowli *Zea mays* — twarde okrywy chroniące nasiona przed strawieniem w przewodzie pokarmowym zwierząt znacznie utrudniały wykorzystanie tej rośliny przez człowieka. Zmiany w morfologii kolby są kontrolowane przez inny zidentyfikowany niedawno, aczkolwiek słabo poznany gen *ramosa1-ral* (Vollbrecht i in., 2005). Allel genu *tg1* u kukurydzy różni się od typu dzikiego zamianą tylko jednego aminokwasu w kodowanym białku; selekcja tego genu na etapie udomowienia była bardzo silna, jednak przy założeniu dużej populacji wyjściowej, możliwa do uzyskania w stosunkowo krótkim czasie (Wang i in., 2005).

Kolejnym spośród *loci* selekcionowanych w procesie udomowienia kukurydzy jest *tb1* (*teosinte branched1*), który odpowiada za dominację wierzchołkową i pokrój rośliny: allel dziki warunkuje powstanie rośliny o silnie rozgałęzionym pokroju, przy czym każdy z pędów jest zakończony kwiatostanem męskim, natomiast u kukurydzy pędy boczne są silnie skrócone i zakończone kolbami (Doebley i in., 1997). Również czwarty z udomowionych *loci* — *barren stalk1* — kontroluje pokrój rośliny poprzez uczestnictwo w formowaniu merystemu bocznego pędu (Gallavotti i in., 2004). W przypadku *tb1*, doborowi sztucznemu w trakcie udomowienia nie podlegał właściwy gen, który charakteryzuje się poziomem polimorfizmu zbliżonym do teosinte, ale jego sekwencja regulatorowa (Wang i in., 1999).

Ostatni spośród *loci* postulowanych przez Beadle'a nie został jak dotąd zidentyfikowany, jednak wiadomo, że duży fragment chromosomu 10 nosi ślady niezwykle silnej selekcji — wyższej niż w przypadku *tg1* czy *tb1*, co może świadczyć, iż ten fragment genomu ulegał selekcji zarówno na etapie domestykacji, jak i hodowli (Tian i in., 2009). Co ciekawe, wszystkie cztery udomowione geny (*tg1*, *ral*, *tb1*, *bs1*) kodują czynniki transkrypcyjne (są to zazwyczaj geny pleiotropowe, których mutacje powodują daleko idące zmiany fenotypowe), co tłumaczy dlaczego udomowienie kukurydzy mogło mieć miejsce w krótkim czasie poprzez selekcję niewielu genów. Dodatkowo selekcja jedynie kilku genów powodowała niewielką redukcję zróżnicowania genetycznego na poziomie całej populacji (Buckler i in., 2006). Wydaje się, że odwrotny mechanizm —

selekcja wielu genów o niewielkim efekcie fenotypowym i wyższa redukcja polimorfizmu — miał miejsce na etapie hodowli.

NOWE KIERUNKI W HODOWLI KUKURYDZY

Jak wspomniano we wstępie, kukurydza jest rośliną wyjątkowo łatwą w uprawie i wszechstronną. Jako że współcześnie ma ona wiele zastosowań, prowadzone programy hodowlane można podzielić na kilka grup: (i) programy mające na celu uzyskanie materiałów hodowlanych o zwiększonej odporności na stresy abiotyczne i biotyczne; (ii) dążące do uzyskania linii charakteryzujących się zróżnicowanym składem chemicznym; (iii) programy skierowane na otrzymanie roślin przydatnych do produkcji biopaliw.

Wielkość i jakość ziarniaków była cechą selekcyjonowaną już w czasach pre-kolumbijskich. Skrobia jest głównym materiałem zapasowym w ziarniakach i stanowi nawet trzy czwarte jego masy (Tian i in., 2009). Wykazano, że spośród sześciu znanych genów biorących udział w biosyntezie skrobi, cztery noszą silne ślady doboru sztucznego, przy czym każdy z nich odpowiadał jedynie za kilka procent obserwowanej zmienności fenotypowej (Wilson i in., 2004). Analiza aDNA z ziarniaków wykazała, że co najmniej jeden z omawianych genów *sugary1* (*su1*) podlegał selekcji już w pierwszych wiekach naszej ery (Jaenicke-Despres i in., 2003). Niestety autorzy publikacji nie analizowali pozostałych genów zaangażowanych w biosyntezę skrobi.

Skład chemiczny ziarniaków jest przedmiotem trwającego od ponad stu lat eksperymentu hodowlanego The Illinois Long-Term Selection Experiment. Początkowa populacja jednej z linii wsobnych została podzielona na cztery subpopulacje, spośród których każda reprezentowała skrajnie wysoką lub niską zawartość tłuszczów bądź białka (Moose i in., 2004). W połowie XX wieku każdą z subpopulacji podzielono na dwie części, przy czym w jednej z nich kontynuowano dotychczasowy kierunek selekcji, a w drugiej go odwrócono. Po ponad stu sezonach wegetacyjnych uzyskano ziarniaki o zawartości białka z zakresu 5–35% oraz zawierające 0–20% tłuszczów, wobec wyjściowych wartości 8–12% dla białek i 4–6% dla tłuszczów (Dudley i Lambert, 2004). Próba skorelowania uzyskanych zmian fenotypowych z określonymi *loci* wykazała, iż selekcja pod kątem zawartości białka wywołała zmiany w 102–179 *loci*, natomiast selekcja pod kątem zawartości tłuszczów 14–69 *loci* (Dudley i Lambert, 1992; 2004). Co więcej, selekcja pod kątem składu chemicznego ziarniaków pociągnęła za sobą wiele innych zmian fenotypowych, często dotyczących cech pozornie nie związanych z pierwotnie selekcyjonowanymi, takich jak rozgałęzienie kwiatostanu męskiego, odporność na stresy biotyczne, czy długość trwania poszczególnych faz cyklu rozwojowego (Raboy i in., 1989; Berke i Rocheford., 1999; Dudley i Lambert, 2004). Tym samym opisywany eksperyment sugeruje, podobnie jak wcześniejsze przykłady selekcji genów związanych z adaptacją do klimatu umiarkowanego, iż zmienność genetyczna kukurydzy podczas hodowli zachowuje się zgodnie z przewidywaniami infinitesimalnego modelu Fishera (1930).

Rodzaj materiału zapasowego w ziarniakach był także celem selekcji wielu innych programów hodowlanych. Warto tu wspomnieć o tzw. quality protein maize (QPM): grupie linii przeznaczonych głównie na rynek krajów rozwijających się. Posiadają one zwiększoną

zawartość lizyny i tryptofanu, niezbędnych w prawidłowej diecie aminokwasów, które zazwyczaj występują w ziarniakach zbóż w niewielkich ilościach, co wymusza konieczność uzupełniania diety (Prasanna i in., 2001). Linie charakteryzujące się zwiększoną zawartością wspomnianych aminokwasów wyselekcjonowano w latach 60. ubiegłego stulecia, u mutantu *opaque-2* (Mertz i in., 1964). *Locus o2* koduje czynnik transkrypcyjny regulujący ekspresję zein (Schmidt i in., 1990). Z mutantem *o2* wiązano duże nadzieje w krajach rozwijających się, jednak bardzo szybko okazało się, iż wykazują one szereg niekorzystnych efektów pleiotropowych, takich jak obniżony plon czy zwiększona podatność na stresy biotyczne (Bjarnason i Vasal, 1992). Dopiero dzięki umiejętnemu krzyżowaniu z szeregiem odmian pochodzących z Ameryki Środkowej udało się zlikwidować negatywne efekty fenotypowe mutantu *o2* (Prasanna i in., 2001).

Stosunkowo od niedawna kukurydza jest wykorzystywana jako roślina energetyczna do produkcji biopaliw. Jej przydatność pod tym kątem wynika z dwóch cech: *Zea mays* jest rośliną o fotosyntezie typu C4 — gatunki o tym typie asymilacji CO₂ charakteryzują się wydajniejszym przyrostem biomasy (Sage i Kubien, 2003) — oraz, podobnie jak inne popularne rośliny energetyczne (palczatka Gerarda, miskant, sorgo czy trzcina cukrowa) jest przedstawicielem plemienia palczatkowych (*Andropogoneae*) — trawy z tej grupy oprócz fotosyntezy C4 osiągają często duże rozmiary. Pozycja kukurydzy w grupie roślin energetycznych jest wyjątkowa: po pierwsze, jest ona dobrze poznanym pod kątem fizjologii i genetyki gatunkiem, przez co może stanowić organizm modelowy w stosunku do swoich najbliższych krewnych, po drugie zaś, w przeciwieństwie do pozostałych roślin energetycznych, jest już uprawiana w wielu zakątkach globu. Wprawdzie uzyskiwanie etanolu z ziarniaków kukurydzy odbywa się, np. w USA, na skalę przemysłową, jednak przemysł ten musi konkurować o ziarniaki z innymi gałęziami gospodarki (Carpita i McCann, 2008). Pojawia się więc presja na rozwój technologii pozwalających na otrzymywanie biopaliw z innych niż ziarniaki części rośliny.

Prowadzone obecnie badania skupiają się na dwóch aspektach mogących wpłynąć na większą wartość kukurydzy jako rośliny energetycznej: (i) uzyskanie materiałów hodowlanych o dużej biomase i podwyższonej akumulacji cukrów w pędach (ii) manipulacje składem chemicznym ścian komórkowych i ich grubości. Wysokość pędów nadziemnych była do niedawna pomijana podczas większości programów hodowlanych, tak więc niewiele jest wiadomo na temat zmienności tej cechy (Carpita i McCann, 2008). Szczególne zainteresowanie badaczy budzą pod tym kątem mieszańce odmianowe i liniowe, stanowiące współcześnie większość materiałów hodowlanych dostępnych na rynku (Michalik, 2009). Hodowle mieszańcowe wykorzystują zjawisko heterozji (bujność mieszańców), którego jednym z najważniejszych efektów jest wzrost produkcji biomasy w stosunku do materiałów rodzicielskich (Shull, 1946). U niektórych mieszańców zaobserwowano też obecność rdzenia w międzywęźlach (normalnie brak go u osobników dojrzałych), co dodatkowo zwiększa biomasę (Carpita i McCann, 2008). Również odmiany pochodzące z Ameryki Środkowej charakteryzują się dużą zmiennością wysokości pędów nadziemnych, jednak jak do tej pory nie były one wykorzystywane w programach hodowlanych (Prasanna, 2012).

Znaczną część biomasy roślin stanowią polisacharydy ściany komórkowej, ale wysoka odporność na działanie enzymów hydrolizujących jest główną przeszkodą w ich wykorzystaniu do produkcji biopaliw (Sticklen, 2008). Wiechlinowate oraz inne blisko spokrewnione rodziny wytwarzają ściany komórkowe typu II, różniące się składem chemicznym od występujących u reszty roślin kwiatowych ścian komórkowych typu I (Carpita, 1983). Wiadomo, iż rośliny angażują około 10% swojej maszyneryi genetycznej w syntezę ścian komórkowych, jednak jest ona tylko częściowo zbieżna u gatunków o różnych typach ściany komórkowej (Carpita i in., 2001; Yong i in., 2005). Stąd przenoszenie wiedzy na temat genetycznej architektury omawianych procesów z rzodkiewnika czy topoli, gdzie zostały one dobrze poznane, na kukurydzę nie jest możliwe w pełnym zakresie. Jak dotąd udało się wytypować dużą część genów odpowiedzialnych za syntezę ścian komórkowych u traw (Carpita i McCann, 2008). Uzyskanie linii kukurydzy przydatnych do produkcji biopaliw wydaje się realne: u blisko spokrewnionego sorgo znany jest mutant *brown midrib* o zahamowanej biosyntezie lignin, którego komórki są łatwiej przyswajalne dla roślinożerców i łatwiej trawione przez enzymy hydrolityczne (Vermerris i in., 2007). Zmiana składu chemicznego ścian komórkowych jest atrakcyjna nie tylko w aspekcie produkcji biopaliw, ale również w związku z uzyskaniem odmian odpornych na stresy biotyczne (Barros-Rios i in., 2011).

PODSUMOWANIE

Przejście z epoki zbieractwa w mezolicie do gospodarki rolniczej w neolicie na Bliskim Wschodzie, w Azji południowo-wschodniej, Ameryce Środkowej i Andach było związane z udomowieniem szeregu organizmów, w tym zbóż. Dało to początek świadomemu kształtowaniu fenotypów roślin i zwierząt o znaczeniu ekonomicznym, czego ukoronowaniem są współczesne programy hodowlane oparte o bogatą wiedzę teoretyczną i praktyczną. Proces udomowienia organizmów żywych nie uległ zakończeniu, czego dowodem jest ciągła adaptacja gatunków ważnych gospodarczo do nowych rejonów geograficznych, a także doskonalenie ważnych rolniczo cech fenotypowych. Obecna wiedza o podłożu molekularnym szeregu procesów życiowych z jednej strony i ewolucjonizm z drugiej rzucają nowe światło na procesy domestykacji. Stwarza to nadzieję na dalszą optymalizację procesów hodowlanych przy rosnących wymaganiach środowiskowych, demograficznych i ekonomicznych.

LITERATURA

- Barros-Rios J., Malvar R. A., Jung H.-J. G., Santiago R. 2011. Cell wall composition as a maize defense mechanism against corn borers. *Phytochem.* 72: 365 — 371.
- Beadle G. W. 1980. The ancestry of corn. *Sci. Am.* 242: 112 — 119.
- Berke T. G., Rocheford T. R. 1999. Quantitative trait *loci* for tassel trait in maize. *Crop Sci.* 39: 1439 — 1443.
- Bjarnason M., Vasal M. K. 1992. Breeding quality protein maize (QPM). In: *Plant Breeding Reviews* vol. 9. John Wiley & Sons, Inc., New York: 181 — 216.
- Brunner S., Pea G., Rafalski A. 2005. Origins, genetic organization and transcription of a family of non — autonomous helitron elements in maize. *Plant J.* 43: 799 — 810.

- Buckler E. S., Gaut B. S., McMullen M. D. 2006. Molecular and functional diversity of maize. *Current Opin. Plant Biol.* 9: 172 — 176.
- Carpita N. C. 1983. Hemicelluloses of the cell walls of *Zea* coleoptiles. *Plant Physiol.* 72: 515 — 521.
- Carpita N. C., McCann M. C. 2008. Maize and sorghum: genetic resources for bioenergy grasses. *Trends Plant Sci.* 13: 415 — 420.
- Carpita N. C., Tierney N., Campbell M. 2001. Molecular biology of the plant cell wall: searching for the genes that define structure, architecture and dynamic. *Plant Mol. Biol.* 47: 1 — 5.
- Chapman G. P. 1996. The biology of grasses. CAB International, Sydney.
- Darwin C. R. 1868. The Variation of Animals and Plants Under Domestication. Project Gutenberg Literary Archive Foundation, Oxford.
- Doebley J., Stec A. 1993. Inheritance of the morphological differences between maize and teosinte: comparison of results for two F2 populations. *Genetics* 134: 559 — 570.
- Doebley J., Stec A., Hubbard L. 1997. The evolution of apical dominance in maize. *Nature* 386: 485 — 488.
- Doebley J., Stec A., Wendel J., Edwards M. 1990. Genetic and morphological analysis of a maize — teosinte F2 population: Implications for the origin of maize. *PNAS* 87: 9888 — 9892.
- Dorweiler J., Stec A., Kermicle J., Doebley J. 1993. Teosinte glume architecture 1 a genetic locus controlling a key step in maize evolution. *Science* 262: 233 — 235.
- Dudley R. W., Lambert R. J. 1992. Ninety generations of selection for oil and protein in maize. *Maydica* 37: 81 — 87.
- Dudley R. W., Lambert R. J. 2004. 100 generations of selection for oil and protein in corn. *Plant Breed. Rev.* 24: 79 — 110.
- Eckart N. A. 2003. A new twist on transposons: the maize genome harbors helitron insertion. *Plant Cell* 15: 293 — 295.
- Feschotte C., Jiang N., Wessler S. R. 2002. Plant transposable elements: Where genetics meets genomics. *Nat. Rev. Genet.* 3: 329 — 341.
- Fisher R. A. 1930. The genetical theory of natural selection. Oxford Univ. Press. Oxford.
- Flagel L. E., Wendel J. F. 2009. Gene duplication and evolutionary novelty in plants. *New Phytol.* 183: 557 — 564.
- Fu H., Park W., Yan X., Zheng Z., Shen B., Dooner H. K. 2001. The highly recombinogenic *bz* locus lies in an unusually gene — rich region of the maize genome. *PNAS* 98: 8903 — 8908.
- Gallavotti A., Zhao Q., Kyojuka J., Meeley R. B., Ritter M. K., Doebley J. F., Pe M. E., Schmidt R. J. 2004. The role of *barren stalk1* in the architecture of maize. *Nature* 432: 630 — 635.
- Gaut B. S., Doebley J. F. 1997. DNA sequence evidence for the segmental allotetraploid origin of maize. *PNAS* 94: 6809 — 6814.
- Gaut B. S., Le Thierry d'Ennequin M., Peek A. S., Sawkins M. C. 2000. Maize as a model for the evolution of plant nuclear genomes. *PNAS* 97: 7008 — 7015.
- Gaut B. S., Morton B. R., McCaig B. C., Clegg M. T. 1996. Substitution rate comparisons between grasses and palms: Synonymous rate differences at the nuclear gene *Adh* parallel rate differences at the plastid gene *rbcL*. *PNAS* 93: 10274 — 10279.
- Hopkins C. G. 1899. Improvement in the chemical composition of the corn kernel. *Illinois Agric. Expt. Sta. Bul.* 55: 205 — 240.
- Hufford M. B., Bilinski P., Pyhäjärvi T., Ross-Ibarra J. In press. Teosinte as a model system for population and ecological genomics. *Trends Genet.* Dostęp on line: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tig.2012.08.004>.
- Jaenicke-Despres V., Buckler E. S., Smith B. D., Gilbert M. T. P., Cooper A., Doebley J., Pääbo S. 2003. Early allelic selection in maize as revealed by ancient DNA. *Science* 302: 1206 — 1208.
- Jiang N., Bao Z., Zhang X., Eddy S. R., Wessler S. R. 2004. Pack — MULE transposable elements mediate gene evolution in plants. *Nature* 431: 569 — 573.
- Kapitonov V. V., Jurka J. 2001. Rolling - circle transposons in eukaryotes. *PNAS* 98: 8714 — 8719.
- Kapitonov V. V., Jurka J. 2007. *Helitrons* on a roll: eukaryotic rolling - circle transposons. *Trends Genet.* 23: 521 — 529.

- Katsios A., Hagidimitriou M., Heslop-Harrison J. S. 1997. Genomic organization and physical distribution of Tyl - COPIA - like retrotransposons in maize and sorghum. *Proc. XVII Genetics, Biotechnology and Breeding of Maize and Sorghum. The Royal Soc. Chem.*: 36 — 51.
- Lai J., Li R., Xu X., Jin W., Xu M. 2010. Genome - wide patterns of genetic variation among elite maize inbred lines. *Nature Genet.*, 42: 1027 — 1030.
- Lai J., Li Y., Messing J., Dooner H. K. 2005. Gene movement by Helitron transposons contributes to the haplotype variability of maize. *PNAS* 102: 9068 — 9073.
- Lal S. K., Giroux M. J., Brendel V., Vallejos C. E., Hannah L. C. 2003. The maize genome contains a *Helitron* insertion. *Plant Cell* 15: 381–391.
- Mertz E. T., Bates L. S., Nelson O. E. 1964. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. *Science* 145: 279 — 280.
- Messing J., Bharti A. K., Karlowski W. M., Gundlach H., Kim H. R., Yu Y., Wei F., Fuks G., Soderlund C. A., Mayer K. F. 2004. Sequence composition and genome organization of maize. *PNAS* 101: 14349 — 14354.
- Michalik B. (red.). 2009. Hodowla roślin z elementami genetyki i biotechnologii. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- Moeller D. A., Tenaillon M. I., Tiffin P. 2007. Population structure and its effects on patterns of nucleotide polymorphism in teosinte (*Zea mays* ssp. *parviglumis*). *Genetics* 176: 1799 — 1809.
- Moose S. P., Dudley J. W., Rocheford T. R. 2004. Maize selection passes the century mark: a unique resource for 21st century genomics. *Trends Plant Sci.* 9: 358 — 364.
- Morgante M., Brunner S., Pea G., Fengler K., Zuccolo A., Rafalski A. 2005. Gene duplication and exon shuffling by helitron — like transposons generate intraspecies diversity in maize. *Nat. Genet.* 37: 997 — 1002.
- Paterson A. H., Bowers J. E., Bruggmann R., Dubchak I., Grimwood J., Gundlach H., Haberer G., Hellsten U., Mitros T., Poliakov A., Schmutz J., Spannagl M., Tang H., Wang X., Wicker T., Bharti A. K., Chapman J., Feltus A., Gowik U., Grigoriev I. V., Lyons E., Maher C. A., Martis M., Narechania A., Otillar R. P., Penning B. W., Salamov A. A., Wang Y., Zhang L., Carpita N. C., Freeling M., Gingle A. R., Hash C. T., Keller B., Klein P., Kresovich S., McCann M. C., Ming R., Peterson D. G., Mehboob-ur-Rahman, Ware D., Westhoff P., Mayer K. F. X., Messing J., Rokhsar D. S. 2009. The Sorghum bicolor genome and the diversification of grasses. *Nature* 45: 551 — 556.
- Peterson P. A. 1997. Maize genome: factors contributing to its reorganization. *Proc. XVII Genetics, Biotechnology and Breeding of Maize and Sorghum, A. S. Tsiftaris (Ed). The Royal Soc. Chem.*: 10 — 16.
- Piperno D. R., Flannery K. V. 2001. The earliest archaeological maize (*Zea mays* L.) from highland Mexico: New accelerator mass spectrometry dates and their implications. *PNAS* 98: 2101 — 2103.
- Piperno D. R., Ranere A. J., Holst I., Iriarte J., Dickau L. 2009. Starch grain and phytolith evidence for early ninth millennium B.P. maize from the Central Balsas River Valley, Mexico. *PNAS* 109: 5019 — 5024.
- Prasanna B. M. 2012. Diversity in global maize germplasm: Characterization and utilization. *J. Biosci.* 37: 843 — 855.
- Prasanna B. M., Vasal S. K., Kassahun B., Singh N. N. 2001. Quality protein maize. *Current Science* 81: 1308 — 1319.
- Raboy V., Below F. E., Dickinson D. B. 1989. Alternation of maize kernel phytic acid levels by recurrent selection for protein and oil. *J. Hered.* 80: 311 — 315.
- Ranere A. J., Piperno D. R., Holst I., Dickau L., Iriarte J. 2009. The cultural and chronological context of early Holocene maize and squash domestication in the Central Balsas River Valley, Mexico. *PNAS* 106: 5014 — 5018.
- Sage R. F., Kubien D. S. 2003. Quo vadis C4? An ecophysiological perspective on global change and the future of C4 plants. *Photosynth. Res.* 77: 209 — 225.
- Scherrera B., Isidorea E., Kleinb P., Kimb J., Bellecc A., Chalhoubc B., Kellera B., Feuilleta C. 2005. Large intraspecific haplotype variability at the *Rph 7* locus results from rapid and recent divergence in the barley genome. *Plant Cell* 17: 361 — 374.
- Schmidt R. J., Burr F. A., Aukerman M. J., Burr B. 1990. Maize regulatory gene opaque — 2 encodes a protein with a "leucine — zipper" motif that binds to zein DNA. *PNAS* 87: 46 — 50.

- Schnable P. S., Doreen Ware D., Fulton R. S., Stein J. C., Wei F., Pasternak S., Liang C., Zhang J., Fulton L., Graves T. A., Minx P., Reily A. D., Courtney L., Kruchowski S. S., Chad Tomlinson C., Strong C., Delehaunty K., Fronick C., Courtney B., Rock S. M., Belter E., Du F., Kim K., Abbott R. M., Cotton M., Levy A., Marchetto P., Ochoa K., Jackson S. M., Gillam B., Chen W., Yan L., Higginbotham H., Cardenas C., Waligorski J., Applebaum E., Phelps L., Falcone J., Kanchi K., Thane T., Scimone A., Thane N., Henke J., Wang T., Ruppert J., Shah N., Rotter K., Hodges J., Ingenthron E., Cordes M., Kohlberg S., Sgro J., Delgado B., Mead K., Chinwalla A., Leonard S., Crouse K., Collura K., Kudrna D., Currie J., He R., Angelova A., Rajasekar S., Mueller S., Lomeli R., Scara G., Ko A., Delaney K., Wissotski M., Lopez G., Campos D., Braidotti M., Ashley E., Golser W., Kim H., Lee S., Lin J., Dujmic Z., Kim W., Talag J., Zuccolo A., Fan C., Sebastian A., Kramer M., Spiegel L., Nascimento L., Zutavern T., Miller B., Ambroise C., Muller S., Spooner W., Narechania A., Ren L., Wei S., Kumari S., Faga B., Levy M. J., McMahan L., Van Buren P., Vaughn M. W., Ying K., Yeh C-T., Emrich S. J., Jia Y., Kalyanaraman A., Hsia A-P., Barbazuk W.B., Baucom R.S., Brutnell T.S., Carpita N.C., Chaparro C., Chia J.-M., Deragon J.-M., Estill J.C., Fu Y., Jeddelloh J., Han Y., Lee H., Li P., Lisch D., Liu S., Liu Z., Nagell D. N., McCann M. C., SanMiguel P., Myers A., Nettleton D., Nguyen J., Penning B. W., Ponnala L., Schneider K.L., Schwartz D. C., Sharma A., Soderlund C., Springer M.N., Sun Q., Wang H., Waterman M., Westerman M., Wolfgruber T. K., Yang L., Yu Y., Zhang L., Zhou S., Zhu L., Bennetzen J. L., Dawe R.K., Jiang J., Jiang M., Presting G. M., Wessler S. R., Aluru S., Martienssen R. A., Clifton S. W., McCombie W. R., Wing R. O., Wilson R. K. 2009. The B 3 Maize genome: complexity, diversity, and dynamics. *Science* 326: 1112 — 1115.
- Shull G. H. 1946. Hybrid seed corn. *Science* 103: 547 — 550.
- Song M., Messing J. 2003. Gene expression of a gene family in maize based on noncollinear haplotypes. *PNAS* 100: 9055 — 9060.
- Sticklen M. B. 2008. Plant genetic engineering for biofuel production: towards affordable cellulosic ethanol. *Nat. Rev. Genet.* 9: 433 — 443.
- Swigonova Z., Lai J., Ma J., Ramakrishna W., Laca V., Bennetzen J. L., Messing J. 2004. On the tetraploid origin of the maize genome. *Comp. Funct. Genom.* 5: 281 — 284.
- Tenaillon M. I., Charcosset A. 2011. A European perspective on maize history. *C.R. Biol.* 334: 221 — 228.
- Tenaillon M. I., Sawkins M. C., Long A. D., Gaut R. L., Doebley J. F., Gaut B. S. 2001. Patterns of DNA sequence polymorphism along chromosome 1 of maize (*Zea mays ssp. mays* L.). *PNAS*, 98: 9161 — 9166.
- Tenaillon M. I., U'Ren J., Tenaillon O., Gaut B. S. 2004. Selection versus demography: a multilocus investigation of the domestication process in maize. *Mol. Biol. Evol.* 21: 1214 — 1225.
- Tian F., Stevens N. M., Buckler E. S. 2009. Tracking footprints of maize domestication and evidence for a massive selective sweep on chromosome 10. *PNAS* 106: 9979 — 9986.
- Vermerris V., Saballos A., Ejeta G., Mosier N. S., Ladisch M. R., Carpita N. C. 2007. Molecular breeding to enhance ethanol production from corn and sorghum stover. *Crop Sci.* 47: S142 — S153.
- Vigouroux Y. M., McMullen C. T., Hittinger H., Houchins L., Schulz S., Kresovich Y., Matsuoka O. S., Doebley J. 2002. Identifying genes of agronomic importance in maize by screening microsatellites for evidence of selection during domestication. *PNAS* 99: 9650 — 9655.
- Vollbrecht E., Springer P. S., Goh L., Buckler E. S., Martienssen R. 2005. Architecture of floral branch systems in maize and related grasses. *Nature* 436: 1119 — 1126.
- Walbot V. 2009. 10 reasons to be tantalized by the B73 maize genome. *PloS Genet.* 5: e1000723.
- Wang H., Nussbaum-Wagler T., B. Li, Q. Zhao, Vigouroux Y., Faller M., Bomblies K., Lukens L., Doebley J. 2005. The origin of the naked grains of maize. *Nature* 436: 714 — 719.
- Wang Q., Dooner H. K. 2012. Dynamic evolution of bz orthologous regions in the *Andropogoneae* and other grasses. *Plant J.* 72: 212 — 221.
- Wang R. L., Stec A., Hey J., Lukens L., Doebley J. 1999. The limits of selection during maize domestication. *Nature* 398: 236 — 239.
- Wilson L. M., Whitt S. R., Ibañez A. M., Rocheford T. R., Goodman M. M., Buckler E. S. 2004. Dissection of maize kernel composition and starch production by candidate gene association. *Plant Cell* 16: 2719 — 2733.

- Yamasaki M., Tenaillon M. I., Vroh Bi I., Schroeder S. G., Sanchez-Villeda H., Doebley J. F., Gaut B. S., McMullen M. D. 2005. A large — scale screen for artificial selection in maize identifies candidate agronomic *loci* for domestication and crop improvement. *Plant Cell* 17: 2859 — 2872.
- Yamasaki M., Wright S. I., McMullen M. D. 2007. Genomic screening for artificial selection during domestication and improvement in maize. *Ann. Bot.* 100: 967 — 973.
- Yong W. Link B., O'Malley R., Tewari J., Hunter C. T. III, Lu C.-A., X Li, Bleecker A. B, Koch K. E., McCann M. C., McCarty D. R., Patterson S. E., Reiter W.-D., Staiger C., Thomas S. R., Vermerris W., Carpita N. C. 2005. Genomics of plant cell wall biogenesis. *Planta*. 221: 747 — 751.

EMIL STEFAŃCZYK**JADWIGA ŚLIWKA**

Pracownia Badania Odporności na Grzyby i Bakterie

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Młochów

Wpływ fotoperiodu na biologię ziemniaka*

Effect of photoperiod on potato biology

Cykl życiowy wielu roślin powiązany jest z porami roku, których zmiana sygnalizowana jest przez zmieniającą się długość dnia. Roślinne fotoreceptory, reagujące na światło fotomorfogenetycznie aktywne lub jego brak, umożliwiają roślinom odbiór sygnału o zmieniających się warunkach. Długość fotoperiodu jest istotnym czynnikiem regulującym procesy rozwojowe również w przypadku ziemniaka. W przeglądzie podsumowano wiedzę z dotychczasowych badań nad wpływem fotoperiodu na biologię rodzaju *Solanum*. Począwszy od udomowiania ziemniaka w odmiennych od miejsca pochodzenia szerokościach geograficznych, omówiono wpływ długości dnia na kwitnienie, tuberyzację oraz odporność na *Phytophthora infestans*, organizm powodujący najważniejszą pod względem ekonomicznym chorobę ziemniaka. Wybrane procesy życiowe stanowią najistotniejsze elementy biologii ziemniaka, ponieważ dotyczą jego zdolności do przetrwania i dalszego rozmnażania w zróżnicowanym środowisku.

Słowa kluczowe: CONSTANS, FLOWERING LOCUS T, fotoperiod, kwitnienie, *Phytophthora infestans*, *Solanum*, tuberyzacja

The life cycle of many plants is connected with seasons and their change is perceived by a day-length change. Plant photoreceptors responding to the presence of photomorphogenetically active light, mainly phytochromes, let plants perceive changing conditions. The length of photoperiod is also an essential factor in case of potato. In this review the knowledge obtained from previous studies on the influence of photoperiod on *Solanum* species was summarized. Beginning with domestication of a potato in latitudes different than the place of origin, an influence of a day-length on flowering, tuberization and resistance to *Phytophthora infestans* was described. The life processes chosen in this review are among the most important ones, because they allow surviving and further reproducing of potato in diverse environments.

Key words: CONSTANS, flowering, FLOWERING LOCUS T, photoperiod, *Phytophthora infestans*, *Solanum*, tuberization

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

WSTĘP

Ziemniak wywodzi się z górzystych terenów Ameryki Południowej, gdzie udomowiony został około 7000 lat temu (Hawkes, 1990). Przodkami obecnie uprawianego *Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum* są dzikie gatunki ziemniaka występujące w pasmie Andów — od zachodniej Wenezueli po północną Argentynę oraz południową część Chile. Gatunki te różnicowane są pod względem morfologii i poziomu ploidalności — od diploidalnych po heksaploidalne. Badania polimorfizmu długości powielonych fragmentów DNA (AFLP) opublikowane w 2005 roku przez Spoonera i współpracowników wykazały, że wszystkie gatunki ziemniaka mają wspólnego przodka w kompleksie *Solanum brevicaule*, na który składa się około dwudziestu, morfologicznie podobnych, dzikich taksonów. Z kolei Hawkes (1990), na podstawie badań molekularnych i morfologicznych, przytacza cztery dzikie gatunki (*S. acaule*, *S. sparsipilum*, *S. leptophyes* oraz *S. megistacrolobum*) jako przodków uprawianych dziś gatunków.

Ze względu na wysoką wartość odżywczą bulw, a także wysokie plony i możliwość uprawy w większości rejonów świata, ziemniak stał się jedną z najważniejszych roślin uprawnych na świecie. Ponieważ bulwy ziemniaka są częścią użytkową tej rośliny oraz są stosowane jako materiał siewny, procesy związane z ich zawiązywaniem, przechowywaniem oraz kiełkowaniem były dokładnie studiowane. Szczególnie tworzenie bulw, czyli tuberyzacja, podlega silnemu wpływowi fotoperiodu, co zostanie omówione w dalszej części artykułu. Ponadto zostanie omówiony mechanizm odbierania sygnału długości dnia, jego dalsze przesyłanie w postaci sygnału indukcji kwitnienia i tuberyzacji, a także wpływ fotoperiodu na odporność na *Phytophthora infestans*. Związek pomiędzy odpornością na tego patogena, a przystosowaniem do tworzenia bulw w warunkach dnia długiego, choć intensywnie badany, pozostaje wciąż niewyjaśniony i utrudnia hodowcom uzyskanie wczesnych i odpornych odmian ziemniaka. Celem artykułu było zestawienie najnowszych wyników badań w tej dziedzinie, uzyskanych w różnych ośrodkach badawczych.

RÓWNIKOWE POCHODZENIE ZIEMNIAKA

Pierwotnie ziemniak został wprowadzony do uprawy w pobliżu równika na dużych wysokościach, gdzie długość dnia wynosi 12 godzin, a temperatury w nocy są niskie. Andyjskie formy ziemniaka (*S. tuberosum* subsp. *andigena*), przystosowane do tych warunków, w wyższych temperaturach na terenach nizinnych, czy też w czasie długich, letnich dni klimatu umiarkowanego, tuberyzują słabo lub wcale. Trwająca kilka stuleci selekcja osobników podgatunku *andigena* przystosowanych do warunków panujących na nizinach południowego Chile i, później, w północnej Europie, zakończyła się pod koniec XVIII wieku i umożliwiła dalszą propagację nowego podgatunku ziemniaka (*S. tuberosum* subsp. *tuberosum*) we wschodniej i centralnej Europie (Hawkes, 1990).

Warunki dnia krótkiego (SD — short day; 8–10 h światła) indukują formowanie bulw we wszystkich genotypach ziemniaka, choć istnieją znaczne różnice w stopniu, w jakim sygnał ten wymagany jest do indukcji (Snyder i Ewing, 1989). Niektóre gatunki ziemniaka (*S. tuberosum* subsp. *andigena*, czy *S. demissum*) wytwarzają bulwy wyłącznie w czasie

dnia krótkiego, podczas gdy w warunkach dnia długiego (LD — long day; 16 h światła) oraz dnia krótkiego z impulsem światła w okresie nocnym (NB — night break), nie tuberyzują. Brak tuberyzacji w warunkach dnia krótkiego z impulsem światła w okresie nocnym to dowód na to, że to nieprzerwany okres ciemności podczas długiej nocy jest czynnikiem indukującym tuberyzację (Rodríguez-Falcón i in., 2006). Sygnał indukujący tuberyzację wymagany jest w odpowiedniej liczbie cykli dobowych o długim okresie nocy. Struik i Ewing (1995) opisują, iż liczba tuberyzujących roślin ziemniaka wzrasta wraz z liczbą cykli fotoperiodu indukującego.

ODBIERANIE SYGNAŁU DŁUGOŚCI DNIA

Fotoperiodyzm, jako fizjologiczna reakcja organizmu na długość trwania następujących po sobie w cyklu dobowym okresów ciemności i światła, opisany został szczegółowo w latach 20. XX wieku (Garner i Allard, 1920 i 1923). Kolejne badania z lat 50. XX wieku (Gregory, 1956; Chapman, 1958 za: Rodríguez-Falcón i in., 2006) wskazały liście jako miejsce odbioru bodźców fotoperiodycznych: przeprowadzono eksperyment, w którym pędy ziemniaka podgatunku *andigena* rosnącego w warunkach krótkiego dnia przeszczepiono na podkładki rosnące w warunkach długiego dnia w wyniku czego doszło do zawiązywania bulw. W odwrotnym układzie doświadczenia, gdy użyto pędów roślin rosnących w warunkach dnia długiego i podkładek uprawianych przy dniu krótkim, nie dochodziło do indukcji tuberyzacji. Wynik eksperymentu świadczy o tym, że warunki indukujące tworzenie bulw rejestrowane są w liściach, gdzie następnie odbywa się wytworzenie stymulanta, przesłanie go do podkładki i ostatecznie dochodzi do indukcji tuberyzacji.

Receptorami światła morfogenetycznie aktywnego u roślin są fitochromy i kryptochromy. W ziemniaku scharakteryzowano dwa geny kodujące fitochromy: PHYA oraz PHYB (Heyer i Gatz, 1992 a i 1992 b). W doświadczeniach nad de-etiolacją wykazano, że PHYA jest receptorem dalekiej czerwieni, zaś PHYB światła czerwonego (Cantón i Quail, 1999). Kryptochrom, receptor światła niebieskiego, jest u ziemniaka kodowany przez gen CRY (Somers i in., 1998). Fotoreceptory, pochłaniając kwanty światła odpowiedniej długości, zmieniają się w formę aktywną i przemieszczają z cytozolu do jądra komórkowego, gdzie prawdopodobnie biorą udział w regulacji ekspresji genów poprzez swą aktywność kinazową (Reed, 1999). PHYB pełni funkcję w percepcji zmian w długości dnia, co zostało dowiedzione w eksperymencie, w którym roślinie podgatunku *andigena* wyciszono gen kodujący fitochrom B. Rośliny te były praktycznie niewrażliwe na długość dnia i zawiązywały bulwy bardzo wcześnie niezależnie od fotoperiodu (Jackson i in., 1996 za: Rodríguez-Falcón i in., 2006). Obserwacje te są zgodne z modelem, w którym PHYB w warunkach nieindukujących (SD+NB, LD) działa jako represor ścieżki promującej tuberyzację. Ponadto przeszczepienie zrazu rośliny z wyciszonym genem PHYB na podkładkę rośliny odmiany dzikiej indukowało tuberyzację w warunkach SD+NB i LD. Nie zaobserwowano zaś formowania bulw po przeszczepieniu zrazu z rośliny z aktywnym genem PHYB na podkładkę rośliny dzikiej (Jackson i in., 1998 za: Rodríguez-Falcón i in., 2006). Podsumowując, bodziec indukujący tuberyzację wytwarzany jest w liściach w

sposób ciągły, a PHYB w warunkach LD działa jako inhibitor syntezy induktora, jednak mechanizm tej negatywnej regulacji ciągle pozostaje nieznany.

Funkcję fitochromu A w kontekście długości dnia zbadano wykorzystując linie ziemniaka o obniżonej ekspresji PHYA. Wydłużenie dnia o 6 h przy użyciu światła czerwonego (R) oraz dalekiej czerwieni (FR) przyczyniło się do opóźnienia formowania bulw w niezmodyfikowanych roślinach kontrolnych, nie miało zaś wpływu na linie z obniżoną ekspresją PHYA, co potwierdza udział tego fitochromu w odbiorze sygnału o długości dnia. Pięciogodzinna ekspozycja na FR lub FR+R pod koniec okresu nocy przesunęła fazę rytmu okołodobowego (zaobserwowaną jako ruch liści w rytmie okołodobowym) u roślin kontrolnych oraz antysensownych linii PHYB, ale nie u roślin o obniżonej ekspresji PHYA (Yanovsky i in., 2000 za: Rodríguez-Falcón i in., 2006). Dodatkowo wykazano, że wpływ na przesunięcie fazy rytmu okołodobowego u linii o obniżonej ekspresji PHYA ma również niebieskie światło, z czego wynika, iż PHYA nie jest jedynym czynnikiem regulującym cykl okołodobowy. Dopiero połączone działanie PHYA, PHYB oraz CRY zapewnia kontrolę tuberyzacji w zależności od długości dnia: PHYA i CRY biorą udział w określaniu fazy cyklu okołodobowego, podczas gdy funkcją PHYB jest indukcja tuberyzacji poprzez rejestrację obecności, bądź braku światła we wrażliwej fazie cyklu okołodobowego (Rodríguez-Falcón i in., 2006).

GENY REGULACJI ZAKWITANIA I TUBERYZACJI

Już w pierwszej połowie XX wieku zasugerowano istnienie roślinnego induktora — florigenu, generowanego w liściach, który przesyłany do wierzchołka pędu, miał indukować kwitnienie (Chailakhyan, 1936). W eksperymencie dotyczącym florigenu przeprowadzonym przez Chailakhjana w 1981 roku wykazano powiązanie między kwitnieniem, a tuberyzacją ziemniaka. Pędy roślin tytoniu kwitnących w różnych warunkach przeszczepiono na podkładkę ziemniaka podgatunku *andigena* i przeprowadzono analizę formowania bulw. Okazało się, że gdy zrazy pozyskano od rośliny, w której indukowano kwitnienie, dochodziło wówczas do tuberyzacji. Zrazy roślin niekwitnących nie powodowały zawiązywania bulw przez podkładkę ziemniaka. Wyniki tego eksperymentu sugerują, że bodziec odpowiedzialny za indukcję kwitnienia u tytoniu może być podobny, bądź nawet identyczny, z sygnałem indukcji tuberyzacji u ziemniaka i ma uniwersalny charakter (Chailakhyan i in., 1981 za: Rodríguez-Falcón i in., 2006).

Mechanizmy odpowiedzi na fotoperiod były badane także w roślinie modelowej *Arabidopsis thaliana*, gdzie m.in. odkryto moduł CONSTANS i FLOWERING LOCUS T (CO i FT) (Turck i in., 2008). CO to rodzina białek będących czynnikami transkrypcyjnymi, które zawierają dwa konserwatywne regiony: domeny B-box na N-końcu oraz CONSTANS, CONSTANS-like, TOC1 (CCT) na C-końcu (Robson i in., 2001). U *Arabidopsis* CO wpływa na FT i indukuje kwitnienie w warunkach dnia długiego (Putterill i in., 1995), podczas gdy jego ortolog Heading date 1 (Hd1) występujący w ryżu przyspiesza kwitnienie w dni krótkie, spowalnia zaś w dni długie (Yano i in., 2000). Kontrolowanie procesów regulowanych fotoperiodycznie poprzez geny z rodziny CO stwierdzono również u topoli (*Populus* spp.) (Böhlenius i in., 2006), jednokomórkowych

głonów *Chlamydomonas reinhardtii* (Serrano i in., 2009) oraz mchu *Physcomitrella patens* (Shimizu i in., 2004), wskazując na ewolucyjne zachowanie funkcji CO. Z kolei produkt genu FLOWERING LOCUS T należący do rodziny białek zawierających domenę wiążącą fosfatydyloetanolaminy (Kobayashi i in., 1999) stanowi cząsteczkę sygnałową — florigen, białko biorące udział w regulacji kwitnienia. Wywołana eksperymentalnie nadekspresja genów należących do rodziny FT prowadzi do bardzo wczesnego kwitnienia wielu roślin, takich jak pomidor (Lifschitz i in., 2006), topola (Böhlenius i in., 2006), jabłoni (Tränkner i in., 2010), ryż (Kojima i in., 2002), czy pszenica (Yan i in., 2006), co świadczy o uniwersalnym charakterze tego genu. Analogicznie, mutacje *ft* (obniżona ekspresja florigenu) w *Arabidopsis* powodują późniejsze kwitnienie w warunkach dnia długiego, nie mają zaś wpływu na kwitnienie w dniu krótkim — FT pełni więc swoją funkcję wyłącznie w czasie długiego dnia (Koornneef i in., 1991).

FOTOPERIOD A KWITNIENIE

Mechanizm indukcji kwitnienia opisany został najdokładniej u *Arabidopsis*, rośliny dnia długiego. Regulowane przez PHYB i fotoperiod białko jądrowe GIGANTEA (GI) (Rutitzky i in., 2009 za: Sarkar, 2010) funkcjonuje prawdopodobnie jako pośrednik w ścieżce sygnałowej PHYB (Huq i in., 2000 za: Sarkar, 2010) i odpowiada za aktywację transkrypcji CO. Kompleks białek FLAVIN-BINDING, KELCH REPEAT, F-BOX PROTEIN 1 (FKF1) i GI jest stabilizowany w świetle (Sawa i in., 2007) i degraduje negatywne regulatory transkrypcji CO dzięki czemu maksimum ekspresji CO przypada na okres światła LD (Turck i in., 2008). Białko CO aktywuje transkrypcję FT w komórkach łyka liści. Tam również zachodzi translacja białka FT, które następnie dyfunduje poprzez plasmodesmy, bądź niepoznany jeszcze mechanizm aktywnego transportu, do rurek sitowych. Przez rurki sitowe białko FT przesyłane jest do merystemu wierzchołkowego pędu, gdzie ostatecznie indukuje kwitnienie (Valverde i in., 2004). Podczas dni krótkich ekspresja CO osiąga wartość maksymalną w nocy, ekspresja FT wówczas nie zachodzi, a kwitnienie jest opóźnione. Białko CO jest ponadto ubikwitynowane i degradowane przez kompleks proteaz w SD (Rodríguez-Falcón i in., 2006).

Chociaż kwitnienie ziemniaka jest niezależne od długości dnia, proces ten podlega jednak działaniu białka *Solanum tuberosum* CONSTANS (StCO), którego ekspresja jest regulowana fotoperiodycznie. Zarówno wyciszanie, jak i nadekspresja StCO powoduje wcześniejsze zakwitanie ziemniaka (González-Schain i in., 2012). Wynika to z faktu, iż *StSP3D*, promujący kwitnienie homolog FT ziemniaka, podlega pozytywnej regulacji w roślinach z wyciszonym, jak i ulegającym nadekspresji genem *StCO* (Navarro i in., 2011). Moduł CO/FT ma więc prawdopodobny udział w regulacji kwitnienia w roślinach z grupy fotoperiodycznie neutralnych (Kopcewicz, 2007). Efekt StCO na indukcję tuberyzacji jest jednak większy niż na kwitnienie. Prawdopodobnie w ziemniaku rola StCO w regulacji kwitnienia zmniejszyła się w toku ewolucji na rzecz kontroli tuberyzacji (González-Schain i in., 2012).

FOTOPERIOD A TUBERYZACJA

Bulwa ziemniaka jest zmodyfikowaną łodygą. Podziemne pąki, rozwijające się u podstawy głównej łodygi, przekształcają się w stolony. W warunkach nieindukcyjnych stolony rosną w kierunku poziomym, a wystawione na działanie światła, zielenieją i formują nowe pędy. Jeśli tuberyzacja zostanie zainicjowana, następuje zahamowanie rozwoju stolonów, a zlokalizowane w ich wierzchołkowej części komórki miększu i kory pierwotnej najpierw powiększają się, a potem dzielą promieniście, rozpoczynając tworzenie się bulw. Wzrost objętościowy zostaje zahamowany, gdy średnica komórek znajdujących się tuż pod wierzchołkami stolonów osiągnie od 2 do 4 mm. Dochodzi wówczas do losowych podziałów oraz wzrostu komórek, aż do uzyskania końcowej masy (Xu i in., 1998a za: Fernie i Willmitzer, 2001). Jednocześnie z tuberyzacją występuje zwiększona aktywność fotosyntetyczna, synteza skrobi oraz eksport sacharozy z liści (Quail i in., 1995), a w bulwie następuje intensywne gromadzenie skrobi i białek (Prat i in., 1990). Tuberyzacji sprzyjają długie noce, niskie temperatury, niska dawka nawozów azotowych oraz zaawansowany wiek fizjologiczny materiału sadzeniowego (Jackson, 1999).

Informacje o roli białka CO w fotoperiodycznej kontroli tuberyzacji uzyskano w eksperymencie z transgenicznymi liniami *andigena*, w których przeprowadzono nadekspresję genu *CO* pochodzącego z *Arabidopsis* (linia pACO). Transgeniczne rośliny były mniejsze i w dniu krótkim zawiązywały bulwy później niż rośliny kontrolne (Martínez-García i in., 2002). Przeszczepienie zrazów z linii pACO na podkładkę rośliny dzikiej również opóźniało tuberyzację, podczas gdy w odwrotnym układzie rośliny wykształcały bulwy normalnie. Eksperyment wskazywał na transport sygnału indukcji tuberyzacji z liści do stolonów oraz na funkcję *CO* w jego negatywnej regulacji (Rodríguez-Falcón i in., 2006).

W oparciu o konserwatywne domeny genów należących do rodziny *CO* z *S. tuberosum* wyizolowano gen *CONSTANS* (*StCO*). Białko StCO wykazuje duży stopień podobieństwa do białek z rodziny CO zaangażowanych w fotoperiodyczną kontrolę kwitnienia, m.in. CO z *Arabidopsis*, Hd1 z ryżu, TCOL3 z pomidora, czy PtCO2 z topoli (González-Schain i in., 2012). Udział StCO w fotoperiodycznej regulacji tuberyzacji potwierdzono stosując rośliny z wyciszonym (*StCO*-RNAi) oraz ulegającym nadekspresji (*35S::StCO*) genem *StCO*. W nieindukcyjnych warunkach LD dochodzi do zawiązywania bulw roślin *StCO*-RNAi. Natomiast w warunkach SD+NB rośliny *StCO*-RNAi tuberyzują wcześniej a rośliny *35S::StCO* później niż rośliny kontrolne. Nie stwierdzono wpływu wyciszenia lub nadekspresji StCO na tuberyzację w warunkach silnie indukcyjnego SD (González-Schain i in., 2012).

Dla dokładniejszego poznania mechanizmu negatywnej regulacji tuberyzacji przez *StCO*, zbadano jego wpływ na geny powiązane z tuberyzacją: należący do rodziny BELL1, czynnik transkrypcyjny StBEL5 oraz *StFT/StSP6A* — homolog *FT* należący do rodziny genów SELF-PRUNING (SP) (rys. 1). Transkrypt *StBEL5* akumulowany jest w liściach w warunkach LD, a w SD transportowany jest do wierzchołków stolonów (Chatterjee i in., 2007). Jego nadekspresja indukuje tuberyzację, a przemieszczanie mRNA *StBEL5* do

stolonów koreluje z formowaniem bulw (Banerjee i in., 2006). Również poziom mRNA *StSP6A*, induktora tuberyzacji (Fan i in., 2010), w podgatunku *andigena* wzrasta wraz z zawiązywaniem bulw i jest wyższy w liściach niż w stolonach (González-Schain i in., 2012). Dowiedziono, iż StCO zaangażowany jest w regulację zarówno *StBEL5*, jak i *StSP6A*, sugerując rolę StCO w fotoperiodycznej kontroli tuberyzacji za pośrednictwem tych dwóch czynników transkrypcyjnych. Maksymalny poziom mRNA *StCO* osiągany jest w godzinach porannych LD i w okresie nocnym SD. Światło wymagane jest do stabilizacji białka StCO i jest ono aktywne wyłącznie w LD, wówczas też dochodzi do obniżenia transkrypcji *StBEL5* oraz *StSP6A*. W SD StCO pozostaje nieaktywne, zachodzi ekspresja *StBEL5* i *StSP6A*, prowadząc do tuberyzacji (González-Schain i in., 2012).

Kolejnym czynnikiem zaangażowanym w proces zawiązywania bulw jest microRNA 172 (*miRNA172*), który zwiększa ekspresję *StBEL5* w liściach i stolonach, natomiast hamuje ekspresję RELATED TO APETALA2 1 (*RAP1*), negatywnego regulatora *StBEL5* (Martin i in., 2009). Cytowani autorzy sugerują, że PHYB kontroluje tuberyzację w LD poprzez promowanie *RAP1*, który hamuje transport mRNA *StBEL5* i *miRNA172* z liści do stolonów.

Inna, niezależna ścieżka kontroli tuberyzacji związana jest z kwasem giberelinowym (GA), roślinnym hormonem hamującym proces tuberyzacji (Rodríguez-Falcón i in., 2006). Poziom GA obniża się w trakcie zawiązywania bulw (Xu i in., 1998b za: Rodríguez-Falcón i in., 2006), co prawdopodobnie wynika z hamowania transkrypcji genu *StGA20ox1* odpowiedzialnego za biosyntezę GA, gdy jego promotor wiązany jest z heterodimerskim kompleksem białek *StBEL5* i *POTH1* (Chen i in., 2004 za: Rodríguez-Falcón i in., 2006). Dodatkowo, modyfikacja endogennej postaci GA poprzez nadekspresję i wyciszenie genu *StGA20ox1* prowadzi, odpowiednio, do opóźnienia i przyspieszenia tuberyzacji w SD (Carrera i in., 2000 za: Rodríguez-Falcón i in., 2006).

WPLYW INNYCH CZYNNIKÓW ŚRODOWISKOWYCH NA TUBERYZACJĘ

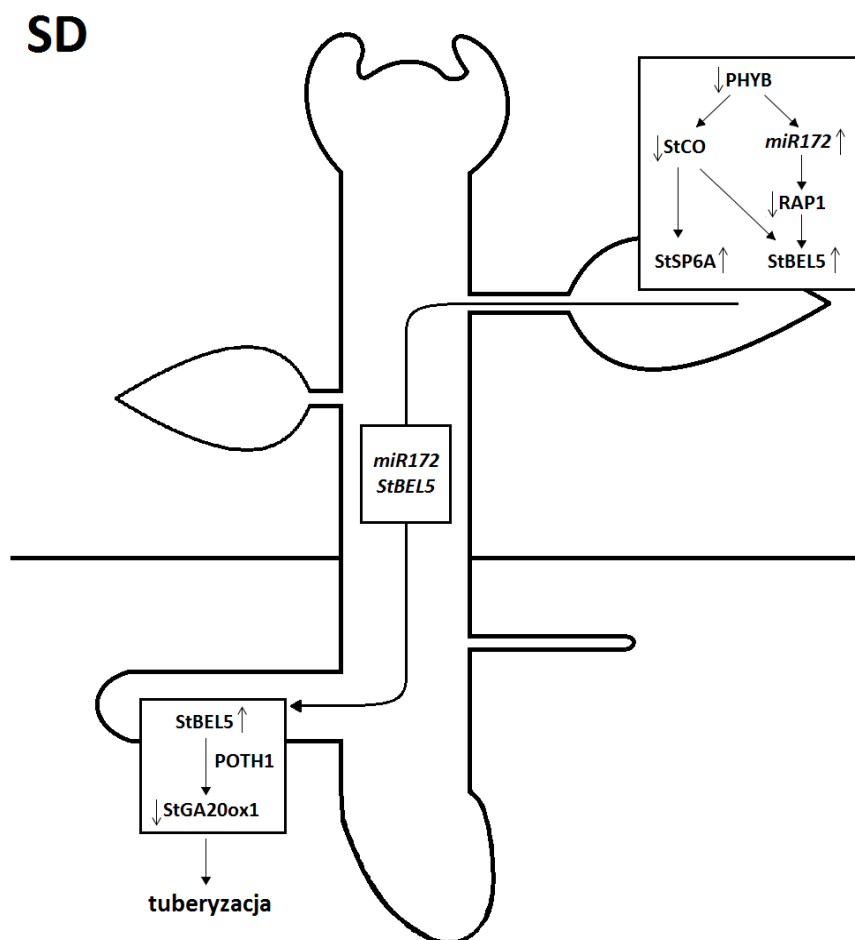
Wyniki wielu eksperymentów wykazują, że warunki SD inicjują tuberyzację ziemniaka, to istnieją również badania sugerujące, iż fotoperiodyczne wymogi mogą zostać przesłonięte przez inne, środowiskowe czynniki, np. temperaturę. Wheeler i in. w badaniach opublikowanych w 1986 roku wykazuje, że ziemniak jest w stanie zawiązywać bulwy nawet w warunkach 24-godzinnego naświetlania, jeżeli wzrost rośliny ma miejsce w temperaturze niższej niż 20°C. W temperaturze 28°C nie dochodzi zaś do tuberyzacji niezależnie od długości fotoperiodu. Wykazano także, iż wyższe temperatury promują wydłużanie łodyg (zwiększona liczba węzłów oraz długości międzywęzli) i rozgałęzianie, ale negatywnie wpływają na rozmiar liści (Demagante i Vander Zaag, 1988). Z kolei wysoki poziom promieniowania aktywnego fotosyntetycznie faworyzuje rozwój bulw, hamując jednocześnie wzrost pędów (Wheeler i Tibbits, 1986).

FOTOPERIOD A ODPORNOŚĆ NA *PHYTOPHTHORA INFESTANS*

Jednym z najważniejszych patogenów ziemniaka jest *Phytophthora infestans*. Zaraza ziemniaka, powodowana jest przez ten należący do gromady Oomycota grzybopodobny organizm, jest przyczyną ogromnych strat w plonach. Wiele badań poświęconych wpływowi długości dnia na odporność na *P. infestans* doprowadziło do uzyskania niespójnych rezultatów. Wyniki niektórych eksperymentów wskazują bowiem na obniżenie odporności odmian przystosowanych do klimatu umiarkowanego, a uprawianych w tropikach (Colon, 1994; Trognitz i in., 1996), z drugiej jednak strony inne publikacje donoszą o stabilności odporności roślin ziemniaka w różnych środowiskach (Forbes i in., 2005). Powiązanie wczesnej tuberyzacji i dojrzewania roślin z obniżeniem odporności na zarazę ziemniaka (Oberhagemann i in., 1999) doprowadziło do zlokalizowania czynników kontrolujących długość okresu wegetacji w okolicy QTL (Quantitative Trait Locus) odporności na *P. infestans* (Collins i in., 1999; Visker i in., 2004). Było to podstawą badań dotyczących wpływu długości dnia na odporność horyzontalną na zarazę ziemniaka ocenianą w teście listkowym i na całych roślinach, zarówno w warunkach SD jak i w warunkach LD. Wykazano, że odporność, wyrażona jako wskaźnik wzrostu plam chorobowych zależy od użytego izolatu i obniża się w warunkach SD. Przeprowadzony w SD i LD test listkowy wykazał znaczący wpływ interakcji izolat x długość dnia na rozwój zarazy ziemniaka (Mihovilovich i in., 2010). Wpływ długości dnia na odporność na *P. infestans* został również stwierdzony przez Trognitza i współpracowników (2009), którzy wykazali zwiększoną odporność wybranych genotypów w LD. W innym eksperymencie, Lebecka i Sobkowiak (2012), nie wykazali jednak wpływu tej interakcji na odporność na *P. infestans*. Wynikać to może z faktu, iż przed testem wyłącznie rośliny wzrastały w różnych warunkach fotoperiodycznych (SD i LD), co świadczyć może o wpływie fotoperiodu na agresywność izolatów *P. infestans*. Dodatkowo wykazano, że część izolatów, które były awirulentne na roślinach przetrzymywanych w warunkach szklarniowych, nabywają cech wirulencji w teście listkowym przeprowadzonym na roślinach wzrastających w warunkach SD. Jednocześnie izolaty te pozostawały najczęściej awirulentne na roślinach rosnących w LD (Lebecka i Sobkowiak, 2012). Przy wprowadzaniu nowych odmian bardzo często ważny jest zasięg uprawy. Ponieważ odporność wprowadzana jest z różnych źródeł, konieczne jest przeprowadzenie dalszych badań nad ekspresją odporności w zmieniających się warunkach fotoperiodu.

PODSUMOWANIE

Znaczenie wrażliwości na fotoperiod roślin ziemniaka było i pozostaje kluczowe dla jego uprawy w warunkach długiego dnia. Rozpowszechnienie ziemniaka powiązane było ze żmudnym procesem przystosowania do wzrostu i rozwoju w odmiennych warunkach od miejsca jego pochodzenia, gdzie właśnie długość dnia wpływała w dużej mierze na pomyślność uprawy.



Rys. 1. Model molekularnego mechanizmu indukcji tuberyzacji zachodzący w dniu krótkim (SD) w ziemniaku (na podst. Martínez-García i in., 2002)

▲ — symbolizuje zależności pomiędzy czynnikami — ↑ ↓ odpowiednio, wzrost i spadek ekspresji genu. *miR172*, mikroRNA 172; PHYB, fitochrom B; POTH1, potato homeobox 1; RAP1, RELATED TO APETALA2 1; StBEL5, *S. tuberosum* BEL5; StCO, *S. tuberosum* CONSTANS; StGA20ox1, oksydaza kwasu giberelinowego (GA)-20 *S. tuberosum*; StSP6A, *S. tuberosum* SELF-PRUNING 6A

Fig. 1. Molecular mechanism model of tuberization induction in potato in short day (SD) condition (based on Martínez-García i in., 2002)

Relationship between different factors is shown by ▲. ↑ ↓ indicate the up- and down regulation, respectively. *miR172*, microRNA 172; PHYB, phytochrome B; POTH1, potato homeobox 1; RAP1, RELATED TO APETALA2 1; StBEL5, *S. tuberosum* BEL5; StCO, *S. tuberosum* CONSTANS; StGA20ox1, *S. tuberosum* GA 20-oxidase; StSP6A, *S. tuberosum* SELF-PRUNING 6A

Jak wynika z przedstawionych wyników badań, fotoperiod ma ogromny wpływ na tuberyzację oraz prawdopodobnie również na odporność na jednego z najistotniejszych patogenów ziemniaka — *P. infestans*. Badania nad reakcjami roślin na obecność, bądź brak światła, doprowadziły do poznania i wytłumaczenia wielu mechanizmów związanych z

fotoperiodyzmem jak również z procesami tuberyzacji. Wiadomo, że w dniu krótkim PHYB przestaje funkcjonować jako represor ścieżki promującej tuberyzację (rys. 1).

Niepoznany dotychczas czynnik działa wówczas na StCO, prowadząc do jego dezaktywacji i umożliwiając transkrypcję *StBEL5* oraz *StSP6A*. Równocześnie dochodzi do wzrostu ekspresji *miR172*, który odpowiedzialny jest za zahamowanie ekspresji RAP1 — negatywnego regulatora *StBEL5*. mRNA *StBEL5* i *miR172* transportowane są następnie z liści do wierzchołków stolonów, gdzie indukują tuberyzację. Ponadto, StBEL5 tworzy w stolonach z białkiem POTH1 kompleks wpływający na zahamowanie transkrypcji *StGA20ox1*, genu odpowiedzialnego za syntezę giberelin, które hamują proces tuberyzacji.

Choć przybywa danych na temat fotoperiodyzmu roślin, ciągle pozostaje kilka niejasnych kwestii. Poznanie mechanizmu negatywnej regulacji tuberyzacji w dniu długim przez PHYB, wyjaśnienie roli modułu CO/FT w regulacji kwitnienia roślin ziemniaka, czy zidentyfikowanie wszystkich genów modułu wraz z poznaniem ich funkcji powinny ostatecznie usystematyzować wiedzę w temacie wpływu światła na biologię ziemniaka.

LITERATURA

- Banerjee A. K., Chatterjee M., Yu Y., Suh S. G., Miller W. A., Hannapel D. J. 2006. Dynamics of a mobile RNA of potato involved in a long-distance signaling pathway. *Plant Cell*. 18: 3443 — 3457.
- Böhlenius H., Huang T., Charbonnel-Campaa L., Brunner A. M., Jansson S., Strauss S. H., Nilsson O. 2006. CO/FT regulatory module controls timing of flowering and seasonal growth cessation in trees. *Science*. 312: 1040 — 1043.
- Cantón F. R., Quail P. H. 1999. Both phyA and phyB mediate light-imposed repression of *PHYA* gene expression in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 121: 1207 — 1215.
- Carrera E., Bou J., García-Martínez J. L., Prat S. 2000. Changes in GA 20-oxidase gene expression strongly affect stem length, tuber induction and tuber yield of potato plants. *Plant J.* 22: 247 — 256.
- Chailakhyan M. Kh. 1936. New facts in support of the hormonal theory of plant development. *C. R. Acad. Sci. URSS* 13: 79 — 83.
- Chailakhyan M. Kh., Yanina L. I., Davedzhiyan A. G., Lotova G. N. 1981. Photoperiodism and tuber formation in grafting of tobacco onto potato. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*. 257: 1276 — 1280.
- Chapman H. W. 1958. Tuberization in the potato plant. *Physiol. Plant*. 11: 215 — 224.
- Chatterjee M., Banerjee A. K., Hannapel D. J. 2007. A *BELL1*-Like gene of potato is light activated and wound inducible. *Plant Physiol.* 145: 1435 — 1443.
- Chen H., Banerjee A. K., Hannapel D. J. 2004. The tandem complex of BEL and KNOX partners is required for transcriptional repression of *ga20ox1*. *Plant J.* 38: 276 — 284.
- Collins A., Milbourne D., Ramsay L., Meyer R., Chatot-Balandras C., Oberhagemann P., de Jong W., Gerbhardt C., Bonnel E., Waugh R. 1999. QTL for field resistance to late blight in potato are strongly correlated with maturity and vigour. *Mol. Breed.* 5: 387 — 398.
- Colon L. 1994. Resistance to *Phytophthora infestans* in *Solanum tuberosum* and wild *Solanum* species. PhD thesis. ISBN 90_5485_226_7.
- Demagante A. L., Vander Zaag P. 1988. The response of potato (*Solanum* ssp.) to photoperiod and light intensity under high temperatures. *Potato Research* 31: 73 — 83.
- Fan C.-Y., Yin J.-M., Wang B., Zhang Y.-F., Yang Q. 2010. Molecular cloning and expression analysis of a FT homologous gene from *Solanum tuberosum*. *Agr. Sci. China* 9: 1133 — 1139.
- Fernie A. R., Willmitzer L. 2001. Molecular and biochemical triggers of potato tuber development. *Plant Physiol.* 127: 1459 — 65.
- Forbes G. A., Chacón G., Kirk H. G., Huarte M., Damme M. V., Distel S., Capezio S., Mackay G., Stewart H., Lowe R., Duncan J., Mayton H., Fry W. E., Andrivon D., Ellisèche D., Pellé R., Platt H., MacKenzie G.,

- Tarn R., Colon L. T., Budding D. J., Lozoya-Saldaña H., Hernandez-Vilchis A. 2005. Stability of resistance to *Phytophthora infestans* in potato: an international evaluation. *Plant Pathol.* 54: 364 — 372.
- Garner W. W., Allard H. A. 1920. Effect of the relative length of day and night and other factors of the environment on growth and reproduction in plants. *J. Agric. Res.* 18: 553 — 606.
- Garner W. W., Allard H. A. 1923. Further studies on photoperiodism, the response of plants to relative length of day and night. *J. Agric. Res.* 23: 871 — 920.
- Gregory L. E. 1956. Some factors for tuberization in the potato. *Ann. Bot.* 41: 281 — 88.
- González-Schain N. D., Díaz-Mendoza M., Żurczak M., Suárez-López P. 2012. Potato CONSTANS is involved in photoperiodic tuberization in a graft-transmissible manner. *Plant J.* 70: 678 — 690.
- Hawkes J. G. 1990. The potato: evolution, biodiversity and genetic resources. Belhaven Press.
- Heyer A., Gatz C. 1992 a. Isolation and characterization of a cDNA clone coding for potato type A phytochrome. *Plant Mol. Biol.* 18: 535 — 543.
- Heyer A., Gatz C. 1992 b. Isolation and characterization of a cDNA clone coding for potato type B phytochrome. *Plant Mol. Biol.* 20: 589 — 600.
- Huq E., Tepperman J. M., Quail P. H. 2000. GIGANTEA is a nuclear protein involved in phytochrome signaling in *Arabidopsis*. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 97: 9789 — 9794.
- Jackson S. D., Heyer A., Dietze J., Prat S. 1996. Phytochrome B mediates the photoperiodic control of tuber formation in potato. *Plant J.* 9: 159 — 166.
- Jackson S. D., James P., Prat S., Thomas B. 1998. Phytochrome B affects the levels of a graft-transmissible signal involved in tuberization. *Plant Physiol.* 117: 29 — 32.
- Jackson S. D. 1999. Multiple signaling pathways control tuber induction in potato. *Plant Physiol.* 119: 1 — 8.
- Kobayashi Y., Kaya H., Goto K., Iwabuchi M., Araki T. 1999. A pair of related genes with antagonistic roles in mediating flowering signals. *Science* 286: 1960 — 1962.
- Kojima S., Takahashi Y., Kobayashi Y., Monna L., Sasaki T., Araki T., Yano M. 2002. *Hd3a*, a rice ortholog of the *Arabidopsis* FT gene, promotes transition to flowering downstream of *Hdl* under short-day conditions. *Plant Cell Physiol.* 43: 1096 — 1105.
- Koornneef M., Hanhart C. J., van Der Veen J. H. 1991. A genetic and physiological analysis of late flowering mutants in *Arabidopsis thaliana*. *Mol. Gen. Genet.* 229: 57 — 66.
- Kopcewicz J. 2007. Fotoperiodyczna indukcja kwitnienia. W: J. Kopcewicz i S. Lewak (red.), *Fizjologia roślin*. Warszawa, PWN.
- Lebecka R., Sobkowiak S. 2012. Host-pathogen interaction between *Phytophthora infestans* and *Solanum tuberosum* following exposure to short and long daylight hours. *Acta Physiol. Plant.* 35: 1131 — 1139.
- Lifschitz E., Eviatar T., Rozman A., Shalit A., Goldshmidt A., Amsellem Z., Alvarez J. P., Eshed Y. 2006. The tomato FT ortholog triggers systemic signals that regulate growth and flowering and substitute for diverse environmental stimuli. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 103: 6398 — 6403.
- Martin A., Adam H., Díaz-Mendoza M., Żurczak M., González-Schain N. D., Suárez-López P. 2009. Graft-transmissible induction of potato tuberization by the microRNA *miR172*. *Development.* 136: 2873 — 2881.
- Martínez-García J. F., Virgós-Soler A., Prat S. 2002. Control of photoperiod-regulated tuberization in potato by the *Arabidopsis* flowering-time gene *CONSTANS*. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 99: 15211 — 15216.
- Mihovilovich E., Munive S., Bonierbale M. 2010. Influence of day-length and isolates of *Phytophthora infestans* on field resistance to late blight of potato. *Theor. Appl. Genet.* 120: 1265 — 1278.
- Navarro C., Abelenda J. A., Cruz-Oró E., Cuéllar C. A., Tamaki S., Silva J., Shimamoto K., Prat S. 2011. Control of flowering and storage organ formation in potato by FLOWERING LOCUS T. *Nature* 478: 119 — 122.
- Oberhagemann P., Chatot-Balandras C., Schäffer-Pregl R., Wegener D., Palomino C., Salamini F., Bonnel E., Gebhardt C. 1999. A genetic analysis of quantitative resistance to late blight in potato. *Mol. Breed.* 5: 399 — 415.
- Prat S., Frommer W. B., Höfgen R., Keil M., Kossman J., Köster-Töpfer M., Liu X.-J., Müller B., Peña-Cortés H., Rocha-Sosa M., Sánchez-Serrano J. J., Sonnewald U., Willmitzer L. 1990. Gene expression during tuber development in potato plants. *FEBS Lett.* 268: 334 — 338.

- Putterill J., Robson F., Lee K., Simon R., Coupland G. 1995. The *CONSTANS* gene of *Arabidopsis* promotes flowering and encodes a protein showing similarities to zinc finger transcription factors. *Cell* 80: 847 — 857.
- Quail P. H., Boylan M. T., Parks B. M., Short T. W., Xu Y., Wagner D. 1995. Phytochromes: photosensory perception and signal transduction. *Science* 268: 675 — 680.
- Reed J. W. 1999. Phytochromes are Pr-iptetic kinases. *Curr. Opin. Plant Biol.* 2: 393 — 397.
- Robson F., Costa M. M. R., Hepworth S. R., Vizir I., Piñeiro M., Reeves P. H., Putterill J., Coupland G. 2001. Functional importance of conserved domains in the flowering-time gene *CONSTANS* demonstrated by analysis of mutant alleles and transgenic plants. *Plant J.* 28: 619 — 631.
- Rodríguez-Falcón M., Bou J., Prat S. 2006. Seasonal control of tuberization in potato: conserved elements with the flowering response. *Annu. Rev. Plant Biol.* 57: 151 — 180.
- Rutitzky M., Ghiglione H. O., Curá J. A., Casal J. J., Yanovsky M. J. 2009. Comparative genomic analysis of light-regulated transcripts in the Solanaceae. *BMC Genomics* 10: 60.
- Sarkar D. 2010. Photoperiodic inhibition of potato tuberization: an update. *Plant Growth Regul.* 62:117-25
- Sawa M., Nusinow D. A., Kay S. A., Imaizumi T. 2007. FKF1 and GIGANTEA complex formation is required for day-length measurement in *Arabidopsis*. *Science* 318: 261 — 265.
- Serrano G., Herrera-Palau R., Romero J. M., Serrano A., Coupland G., Valverde F. 2009. Chlamydomonas *CONSTANS* and the evolution of plant photoperiodic signaling. *Curr. Biol.* 19: 359 — 368.
- Shimizu M., Ichikawa K., Aoki S. 2004. Photoperiod-regulated expression of the *PpCOL1* gene encoding a homolog of CO/COL proteins in the moss *Physcomitrella patens*. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 324: 1296 — 1301.
- Snyder E., Ewing E. E. 1989. Interactive effects of temperature, photoperiod and cultivar on tuberization of potato cuttings. *Hortic. Sci.* 24: 336 — 338.
- Somers D. E., Devlin P., Kay S. A. 1998. Phytochromes and cryptochromes in the entrainment of the *Arabidopsis* circadian clock. *Science* 282: 1488 — 1490.
- Spooner D. M., Mclean K., Ramsay G., Waugh R., Bryan G. J. 2005. A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 102: 14694 — 14699.
- Struik P. C., Ewing E. E. 1995. Crop physiology of potato (*Solanum tuberosum*): responses to photoperiod and temperature relevant to crop modeling. In: A. J. Haverkort & DKL MacKerron (ed.), *Ecology and modeling of potato crops under conditions limiting growth*. Dordrecht, Holland: Kluwer Academic Publishers. 19 — 40.
- Tränkner C., Lehmann S., Hoenicka H., Hanke M.-V., Fladung M., Lenhardt D., Dunemann F., Gau A., Schlangen K., Malnoy M., Flachovsky H. 2010. Over-expression of an FT-homologous gene of apple induces early flowering in annual and perennial plants. *Planta* 232: 1309 — 1324.
- Trognitz B., Ghislain M., Crissman C., Hardy B. 1996. Breeding potatoes with durable resistance to late blight. In: CIP circular. 22: 6 — 9
- Trognitz B., Trognitz F., Rodewald J., Weilharter A. 2009. Polygenic response of potato to late blight following exposure to long-day or short-day by monitoring of gene expression with a cDNA microarray. 59. Tagung der Vereinigung der Pflanzzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs 2008. ISBN:978-3-902559-28-9: 71 — 74.
- Turck F., Fornara F., Coupland G. 2008. Regulation and Identity of Florigen: FLOWERING LOCUS T Moves Center Stage. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 573 — 594.
- Valverde F., Mouradov A., Soppe W., Ravenscroft D., Samach A., Coupland G. 2004. Photoreceptor regulation of CONSTANS protein in photoperiodic flowering. *Science* 303: 1003 — 1006.
- Visker M. H. P. W., van Raaij H. M. G., Keizer L. C. P., Struik P. C., Colon L. T. 2004. Correlation between late blight resistance and foliage maturity in potato. *Euphytica* 137: 311 — 323.
- Wheeler R. M., Steffen K. L., Tibbitts T. W., Palta J. P. 1986. Utilization of potatoes for life support systems II. The effects of temperature under 24-h and 12-h photoperiods. *Am. Potato J.* 63: 639 — 647.
- Wheeler R. M., Tibbitts T. W. 1986. Growth and tuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.) under continuous light. *Plant Physiol.* 80: 801 — 804.

- Xu X., Vreugdenhil D., van Lammeren A. A. M. 1998 a. Cell division and cell enlargement during potato tuber formation. *J. Exp. Bot.* 49: 573 — 582.
- Xu X., van Lammeren A. A. M., Vermeer E., Vreugdenhil D. 1998 b. The role of gibberellin, abscisic acid, and sucrose in the regulation of potato tuber formation *in vitro*. *Plant Physiol.* 117: 575 — 584.
- Yan L., Fu D., Li C., Blechl A., Tranquilli G., Bonafede M., Sanchez A., Valarik M., Yasuda S., Dubcovsky J. 2006. The wheat and barley vernalization gene *VRN3* is an orthologue of *FT*. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 103: 19581 — 19586.
- Yano M., Katayose Y., Ashikari M., Yamanouchi U., Monna L., Fuse T., Baba T., Yamamoto K., Umehara Y., Nagamura Y., Sasaki T. 2000. *Hdl*, a major photoperiod sensitivity quantitative trait locus in rice, is closely related to the Arabidopsis flowering time gene *CONSTANS*. *Plant Cell.* 12: 2473 — 2483.
- Yanovsky M. J., Izaguirre M., Wagmaister J. A., Gatz C., Jackson S. D., Thomas B., Casal J. J. 2000. Phytochrome A resets the circadian clock and delays tuber formation under long days in potato. *Plant J.* 23: 223 — 232.

ANNA PŁAZA**BARBARA GĄSIOROWSKA****ARTUR MAKAREWICZ****MILENA ANNA KRÓLIKOWSKA**

Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach

Plonowanie ziemniaka nawożonego wsiewkami międzyplonowymi w integrowanym i ekologicznym systemie produkcji

The yielding of potato fertilized with undersown crops in integrated and organic production system

W pracy przedstawiono wyniki badań z lat 2005–2008 mające na celu określenie wpływu wsiewek międzyplonowych przyoranych jesienią i pozostawionych do wiosny w formie mulczu na plonowanie ziemniaka jadalnego uprawianego w integrowanym i ekologicznym systemie produkcji. W doświadczeniu badano dwa czynniki. I. Nawożenie wsiewką międzyplonową: obiekt kontrolny (bez nawożenia wsiewką międzyplonową), obornik, koniczyna perska, życica westerwoldzka, koniczyna perska — mulcz, życica westerwoldzka — mulcz. II. System produkcji: integrowany, ekologiczny. Bezpośrednio po zastosowaniu nawożenia wsiewkami międzyplonowymi uprawiano ziemniaki jadalne odmiany Zeus. Podczas zbioru ziemniaka określono plon ogólny świeżej masy bulw, a po zbiorze plon handlowy. W pobranych próbach bulw oznaczono zawartość suchej masy, skrobi i białka ogólnego, które przeliczono na plon. Otrzymane wyniki badań pozwalają stwierdzić, że większe plony bulw ziemniaka odnotowano w integrowanym niż w ekologicznym systemie produkcji. Koniczyna perska niezależnie od formy jej nawożenia w pełni zastępuje obornik w integrowanej uprawie ziemniaka. Stosowana łącznie z obornikiem w ekologicznym systemie produkcji także przynosi dobre plony.

Słowa kluczowe: nawożenie, mulcz, plon, system produkcji, wsiewka międzyplonowa, ziemniak

The paper presents results of studies carried out from 2005 to 2008 which aimed to determine the influence of undersown crops plowed down in autumn or left till spring in the form of mulch on yield of table potato cultivated in the integrated and organic production system. Two factors were examined. I. Undersown crop fertilization: control object (without undersown crop fertilization), farmyard manure, Persian clover, westerwold ryegrass, Persian clover — mulch, westerwold ryegrass — mulch. II. Production system: integrated and organic. Potato cultivar Zeus was grown directly after undersown crops fertilization. During potato harvest the yield of fresh tuber mass was determined and after that the marketable yield was determined. The contents of dry mass, starch and total protein were

determined in tuber samples and related to yield. The obtained results allow to conclude that higher yields of potato tubers were noted in integrated than in organic production system. Persian clover independently on the form of fertilization completely substitutes farmyard manure in integrated production system of potato. Persian clover used with farmyard manure in organic production system also gives good results.

Key words: fertilization, mulch, potato, production system, undersown crop, yield

WSTĘP

Ziemniak przeznaczony do bezpośredniego spożycia powinien być uprawiany w integrowanym lub ekologicznym systemie produkcji (Sawicka i in., 2007). W tych systemach uprawy zaleca się wysycenie płodozmianu międzyplonami. Najtańszym źródłem biomasy są wsiewki międzyplonowe (Spiertz i in., 1996; Płaza i Ceglarek, 2009). Spośród gatunków zalecanych do uprawy, koniczyna perska i życica westerwoldzka wyróżniają się wysoką produkcją biomasy (Sadowski, 1992; Spiertz i in., 1996; Redulla i in., 2005). Są to rośliny jednoroczne, a zatem mogą być stosowane również w formie mulczu. W Polsce brak jest badań dotyczących oceny wartości nawozowej wsiewek międzyplonowych stosowanych w formie mulczu. Stąd wyłania się potrzeba prowadzenia tego typu badań. Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu wsiewek międzyplonowych przyoranych jesienią i pozostawionych do wiosny w formie mulczu na plonowanie ziemniaka uprawianego w integrowanym i ekologicznym systemie produkcji.

MATERIAŁ I METODY

Eksperyment polowy przeprowadzono w latach 2005–2008 w Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Zawadach należącej do Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Badania prowadzono na glebie płowej wytworzonej z piasku gliniastego mocnego, o odczynie obojętnym, średniej zasobności w przyswajalny fosfor, potas i magnez. Zawartość próchnicy wynosiła 1,41%. Doświadczenie założono w układzie split-blok, w trzech powtórzeniach. Badano dwa czynniki. I. Nawożenie wsiewką międzyplonową: obiekt kontrolny (bez nawożenia wsiewką międzyplonową), obornik ($30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), koniczyna perska ($18 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), życica westerwoldzka ($20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), koniczyna perska — mulcz ($18 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), życica westerwoldzka — mulcz ($20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). II. System produkcji: integrowany i ekologiczny.

Wsiewki międzyplonowe wsiewano w pszenżyto jare uprawiane na ziarno. Jesienią, na każdym poletku określono plon świeżej masy międzyplonów łącznie z ich masą korzeniową, z 30 cm warstwy gleby. Średni plon z 3 lat wynosił w integrowanym systemie produkcji dla koniczyny perskiej $25,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, życicy westerwoldzkiej $36,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, a w ekologicznym systemie produkcji dla koniczyny perskiej $23,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ i życicy westerwoldzkiej $31,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. W pierwszym roku po nawożeniu wsiewkami międzyplonowymi uprawiano ziemniaki jadalne odmiany Zeus. W integrowanym systemie produkcji ziemniaka wczesną wiosną rozsiano nawozy mineralne, których ilość w przeliczeniu na 1 ha wynosiła: 90 kg N, 36,9 kg P i 99,6 kg K. Dawki nawożenia mineralnego dostosowano do zasobności gleby i wielkości przewidywanego plonu. Na

poletkach, na których jesienią wykonano orkę przedzimową, nawozy mineralne wymieszano z glebą za pomocą kultywatora zagregatowanego z broną. Natomiast na poletkach z mulczem stosowano bronę talerzową i kultywator. W ekologicznym systemie produkcji zamiast nawożenia mineralnego, stosowano obornik w dawce $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ pod pszenżyto jare uprawiane z wsiewkami międzyplonowymi. Ziemniaki wysadzano w 3. dekadzie kwietnia, a zbierano w 2. dekadzie września. W integrowanym systemie produkcji, na plantacji ziemniaka stosowano pielęgnację mechaniczno-chemiczną. Do wschodów co 7 dni obsypywano i bronowano, a tuż przed wschodami wykonano oprysk mieszkanką herbicydową Afalon 50 WP + Reglone Turbo 200 SL ($1 \text{ kg} + 1 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). Stonkę ziemniaczaną zwalczano preparatem Fastac ($0,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), a zarazę ziemniaczaną fungicydem Ridomil MZ 72WP ($2 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). Natomiast w ekologicznym systemie produkcji chwasty zwalczano mechanicznie. Od posadzenia do zwarcia rzędów, co 7 dni obsypywano i bronowano. Stonkę ziemniaczaną zwalczano preparatem Novodor ($2,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), a zarazę ziemniaczaną fungicydem Miedzian 50 WP ($4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Pasy pól ekologicznych pod ziemniak dla 3 serii doświadczenia wydzielono z uprawy konwencjonalnej w latach 2004–2006. Wówczas w zmianowaniu uprawiano owies, w którym już nie stosowano chemicznych środków ochrony roślin.

Podczas zbioru ziemniaka, z każdego poletka określono plon ogólny i handlowy, przyjmując za plon handlowy bulwy zdrowe, o średnicy powyżej 40 mm. Następnie z każdego poletka pobrano próby bulw w celu oznaczenia zawartości suchej masy, skrobi i białka ogólnego, które przeliczono na plon. Każdą z badanych cech poddano analizie wariancji. W przypadku istotnych źródeł zmienności dokonano szczegółowego porównania średnich testem Tukeya.

WYNIKI

Analiza statystyczna wykazała istotny wpływ badanych czynników doświadczenia i ich interakcji na plon ogólny, handlowy i plon suchej masy bulw ziemniaka (tab. 1, 2, 3). Największe plony otrzymano z obiektu nawożonego koniczyną perską w formie mulczu. Plony bulw ziemniaka nawożonego koniczyną perską przyoraną jesienią nie różniły się istotnie od plonów otrzymanych na oborniku. Tylko po życicy westerwoldzkiej, niezależnie od formy jej stosowania plony bulw ziemniaka były istotnie niższe niż na oborniku. System produkcji także istotnie różnicował plony bulw ziemniaka. Większe plony otrzymano w integrowanym niż w ekologicznym systemie produkcji. Wykazano interakcję badanych czynników doświadczenia, z której wynika, że największy plon ogólny, handlowy i plon suchej masy bulw ziemniaka otrzymano z obiektu nawożonego koniczyną perską w formie mulczu w integrowanym systemie produkcji, a najmniejsze plony z obiektu kontrolnego w ekologicznym systemie produkcji.

Tabela 1

Wpływ nawożenia wsiewką międzyplonową i systemu produkcji na plon ogólny świeżej masy bulw ziemniaka, t·ha⁻¹ (średnie z lat 2006–2008)
The influence of undersown crop fertilization and production system on the total yield of fresh mass of potato tubers, t·ha⁻¹ (means for 2006–2008)

Nawożenie wsiewką międzyplonową Undersown crop fertilization	System produkcji Production system		Średnie Means
	integrowany integrated	ekologiczny organic	
Obiekt kontrolny Control object	28,7	23,7	26,2
Obornik Farmyard manure	44,6	31,8	38,2
Koniczyna perska Persian clover	43,8	31,5	37,7
Życica westerwoldzka Westerwold ryegrass	37,2	27,6	32,4
Koniczyna perska — mulcz Persian clover — mulch	45,9	33,2	39,6
Życica westerwoldzka — mulcz Westerwold ryegrass — mulch	35,8	25,0	30,4
Średnie — Means	39,3	28,8	—
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}			
Nawożenie wsiewką międzyplonową — Undersown crop fertilization			1,1
System produkcji — Production system			1,0
Interakcja — Interaction			1,2

Tabela 2

Wpływ nawożenia wsiewką międzyplonową i systemu produkcji na plon handlowy bulw, t·ha⁻¹ (średnie z lat 2006–2008)
The influence of undersown crop fertilization on the marketable yield of tubers, t·ha⁻¹ (means for 2006–2008)

Nawożenie wsiewką międzyplonową Undersown crop fertilization	System produkcji Production system		Średnie Means
	integrowany integrated	ekologiczny organic	
Obiekt kontrolny Control object	23,2	18,6	20,9
Obornik Farmyard manure	41,7	30,0	35,9
Koniczyna perska Persian clover	41,2	29,6	35,4
Życica westerwoldzka Westerwold ryegrass	31,0	22,3	26,7
Koniczyna perska — mulcz Persian clover — mulch	43,5	31,5	37,5
Życica westerwoldzka — mulcz Westerwold ryegrass — mulch	29,7	21,4	25,6
Średnie — Means	35,1	25,6	—
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}			
Nawożenie wsiewką międzyplonową — Undersown crop fertilization			1,0
System produkcji — Production system			0,9
Interakcja — Interaction			1,1

Tabela 3

Wpływ nawożenia wsiewką międzyplonową i systemu produkcji na plon suchej masy, t·ha⁻¹
(średnie z lat 2006–2008)
The influence of undersown crop fertilization and production system on the dry mass yield, t·ha⁻¹
(means for 2006–2008)

Nawożenie wsiewką międzyplonową Undersown crop fertilization	System produkcji Production system		Średnie Means
	integrowany integrated	ekologiczny organic	
Obiekt kontrolny Control object	6,00	4,81	5,41
Obornik Farmyard manure	9,95	6,81	8,38
Koniczyna perska Persian clover	10,12	6,90	8,51
Życica westerwoldzka Westerwold ryegrass	8,15	5,85	7,00
Koniczyna perska — mulcz Persian clover — mulch	10,74	7,47	9,11
Życica westerwoldzka — mulcz Westerwold ryegrass — mulch	8,06	5,43	6,75
Średnie — Means	8,84	6,21	—
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}			
Nawożenie wsiewką międzyplonową — Undersown crop fertilization			0,36
System produkcji — Production system			0,23
Interakcja — Interaction			0,45

Tabela 4

Wpływ nawożenia wsiewką międzyplonową i systemu produkcji na plon skrobi, t·ha⁻¹
(średnie z lat 2006–2008)
The influence of undersown crop fertilization and production system on the starch yield, t·ha⁻¹
(means for 2006–2008)

Nawożenie wsiewką międzyplonową Undersown crop fertilization	System produkcji Production system		Średnie Means
	integrowany integrated	ekologiczny organic	
Obiekt kontrolny Control object	3,87	3,13	3,50
Obornik Farmyard manure	6,51	4,45	5,48
Koniczyna perska Persian clover	6,13	4,22	5,18
Życica westerwoldzka Westerwold ryegrass	5,39	3,86	4,63
Koniczyna perska — mulcz Persian clover — mulch	6,61	4,65	5,63
Życica westerwoldzka — mulcz Westerwold ryegrass — mulch	5,33	3,63	4,48
Średnie — Means	5,64	3,99	—
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}			
Nawożenie wsiewką międzyplonową — Undersown crop fertilization			0,30
System produkcji — Production system			0,26
Interakcja — Interaction			0,34

Plon skrobi był istotnie różnicowany przez badane czynniki doświadczenia i ich współdziałanie (tab. 4). Plon skrobi bulw ziemniaka nawożonego koniczną perską zarówno przyoraną jesienią, jak i pozostawioną do wiosny w formie mulczu nie różnił się istotnie od plonu skrobi otrzymanego z ziemniaka uprawianego na oborniku. Po zastosowaniu życicy westerwoldzkiej plon skrobi był istotnie niższy niż na oborniku. System produkcji także istotnie modyfikował plon skrobi. Więcej skrobi zgromadził ziemniak uprawiany w integrowanym niż w ekologicznym systemie produkcji. Ze współdziałania badanych czynników wynika, że największy plon skrobi otrzymano z ziemniaka nawożonego koniczną perską stosowaną w formie mulczu w integrowanym systemie produkcji, a najmniejszy plon skrobi z obiektu kontrolnego w ekologicznym systemie produkcji.

Analiza statystyczna wykazała istotny wpływ nawożenia wsiewką międzyplonową, systemu produkcji i ich interakcji na plon białka ogólnego (tab. 5).

Tabela 5

Wpływ nawożenia wsiewką międzyplonową i systemu produkcji na plon białka ogólnego, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$
(średnie z lat 2006–2008)

The influence of undersown crop fertilization and production system on the total protein yield, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$
(means for 2006–2008)

Nawożenie wsiewką międzyplonową Undersown crop fertilization	System produkcji Production system		Średnie Means
	integrowany integrated	ekologiczny organic	
Obiekt kontrolny Control object	522	403	463
Obornik Farmyard manure	940	622	781
Koniczyna perska Persian clover	1065	678	872
Życica westerwoldzka Westerwold ryegrass	738	510	624
Koniczyna perska — mulcz Persian clover — mulch	1205	758	982
Życica westerwoldzka — mulcz Westerwold ryegrass — mulch	774	507	641
Średnie — Means	874	580	—
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}			
Nawożenie wsiewką międzyplonową — Undersown crop fertilization			47
System produkcji — Production system			41
Interakcja — Interaction			56

Najwięcej białka ogólnego zgromadził ziemniak uprawiany po koniczynie perskiej stosowanej w formie mulczu. Również plon białka ogólnego ziemniaka uprawianego po koniczynie perskiej przyoranej jesienią był istotnie większy od plonu odnotowanego z ziemniaka uprawianego na oborniku. Tylko po życicy westerwoldzkiej, niezależnie od formy jej stosowania plon białka ogólnego był istotnie mniejszy od otrzymanego na oborniku. Najmniej białka ogólnego zgromadził ziemniak uprawiany na obiekcie kontrolnym. System produkcji także istotnie różnicował plon białka ogólnego. Więcej białka ogólnego zgromadził ziemniak uprawiany w integrowany niż w ekologicznym systemie produkcji. Wykazano interakcję badanych czynników, z której wynika, że

największy plon białka ogólnego otrzymano z obiektu nawożonego koniczyną perską w formie mulczu w integrowanym systemie produkcji, a najmniejszy plon z obiektu kontrolnego w ekologicznym systemie produkcji.

DYSKUSJA

Obecnie zmniejszająca się produkcja obornika, spowodowana zmniejszeniem się pogłowia zwierząt gospodarskich oraz rozwój integrowanej i ekologicznej uprawy ziemniaka skłaniają do poszukiwania alternatywnych rozwiązań. W tej sytuacji dużego znaczenia nabierają nawozy zielone (Spiertz i in., 1996; Reust i in., 1999; Boligłowa i Gleń, 2003; Dzienia i in., 2004; Płaza i Ceglarek, 2009). Nowak (1982) wskazuje na przewagę nawozów zielonych nad obornikiem. Wynika to z faktu, iż składniki pokarmowe zawarte w nawozie zielonym są na ogół łatwiej przyswajalne niż składniki obornika dzięki szybszemu rozkładowi masy organicznej. W badaniach własnych największe plony bulw ziemniaka otrzymano z obiektu nawożonego koniczyną perską w formie mulczu. Jak podaje Nowak (1982), Makaraviciute i in. (2003) oraz Redulla i in. (2005), podczas rozkładu roślin bobowatych mogą zachodzić wysokie straty azotu, w zależności od temperatury, wilgotności i czasu rozkładu straty azotu mogą dochodzić nawet do 50%. Aby temu zapobiec należy do rozkładającej się biomasy roślin bobowatych dodać substancji organicznej bogatej w węgiel np. traw w celu rozszerzenia stosunku C:N lub pozostawić je do wiosny w formie mulczu, co spowalnia proces mineralizacji i ogranicza straty składników pokarmowych, a zwłaszcza azotu. W przeprowadzonym eksperymencie plony bulw ziemniaka nawożonego koniczyną perską przyoraną jesienią nie różniły się istotnie od plonów odnotowanych na oborniku. Tylko po nawożeniu życią westerwoldzką, niezależnie od formy jej stosowania plony bulw ziemniaka były istotnie mniejsze od odnotowanych na oborniku. Jednak i w tym przypadku plony bulw były większe od otrzymanych na obiekcie kontrolnym, bez nawożenia wsiewką międzyplonową. Wzrost plonu bulw po przyoraniu traw stwierdzili także Sadowski (1992), Spiertz i in. (1996), Duer i Jończyk (1998) oraz Reust i in. (1999), jednak plony te były istotnie mniejsze niż na oborniku. Wynika to z faktu wprowadzenia do gleby dużej ilości biomasy, o niskiej zawartości makroelementów (Sadowski, 1992; Duer i Jończyk, 1998). Ponadto trawy charakteryzują się szerokim stosunkiem C:N. W takim przypadku mineralizuje się mniej azotu, który wykorzystywany jest głównie przez mikroorganizmy glebowe.

W przeprowadzonym eksperymencie analogicznie, jak u Sawickiej i Kusia (2000) stwierdzono, że wielkość plonu bulw ziemniaka zależy od systemu produkcji. W badaniach Zarzyńskiej i Goliszewskiego (2006) oraz Sawickiej i in. (2007) plony bulw ziemniaka uprawianego w systemie integrowanym były większe w stosunku do plonów bulw pochodzących z uprawy ekologicznej. Potwierdzają to wyniki badań własnych. Należy tłumaczyć to tym, iż w integrowanej produkcji ziemniaka, poza obornikiem czy nawozami zielonymi, stosowane jest uzupełniające nawożenie mineralne dostosowane do zasobności gleby i wielkości przewidywanego plonu. Składniki pokarmowe dostarczone roślinie w formie mineralnej są łatwiej przyswajalne niż z nawozów zielonych czy obornika, co przekłada się na wielkość uzyskanego plonu bulw ziemniaka.

WNIOSKI

1. Największe plony bulw ziemniaka otrzymano z obiektu nawożonego koniczyną perską w formie mulczu.
2. Większe plony bulw ziemniaka odnotowano w integrowanym niż w ekologicznym systemie produkcji.
3. Koniczyzna perska niezależnie od formy nawożenia w pełni zastępuje obornik w integrowanej uprawie ziemniaka. Stosowana łącznie z obornikiem w ekologicznym systemie produkcji przynosi dobre plony.

LITERATURA

- Boligłowa E., Gleń K. 2003. Yielding and quality of potato tubers depending on the kind of organic fertilization and tillage method. *Elec. Jour. Pol. Agric. Univ., Top Agron.* 1,6, www.ejpau.media.pl.
- Duer I., Jończyk K. 1998. Nawożenie pod ziemniak uprawiany w gospodarstwach ekologicznych. *Frag. Agron.* 1 (57): 85 — 95.
- Dzienia S., Szarek P., Pużyński S. 2004. Plonowanie i jakość ziemniaka w zależności od systemu uprawy roli i rodzaju nawożenia organicznego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 500: 235 — 242.
- Makaraviciute A. 2003. Effect of organic and mineral fertilizers on the yield and quality of different potato varieties. *Agron. Res.* 1 (2): 197 — 209.
- Nowak G. 1982. Przemiany roślinnej materii organicznej znakowanej izotopem C14 w glebach intensywnie nawożonych. *Zesz. Nauk. ART Olsztyn, Ser. Rol.* 35: 3 — 57.
- Płaza A., Ceglarek F. 2009. Tuber quality of edible potato fertilized with catch crops and barley straw. *Annales UMCS, Sec. E, LXIV* (3): 79 — 90.
- Reust W., Neyroud J.A., Dutoid J. P. 1999. Potato fertilization in integrated farming system. 14th Triennial Conference of the European Association for Potato Research. Sorrento, Italy, 02-07.05.1999: 259 — 260.
- Rudella C. A., Davenport J. R., Evans R. G., Hattendorf M. J., Alva A. K., Boydston R. A. 2005. Relating potato yield and quality to field scale variability in soil characteristics. *Amer. J. Pot. Res.* 79 (5): 317 — 323.
- Sadowski J. 1992. Porównanie efektywności obornika, słomy, nawozów zielonych i biohumusu w uprawie ziemniaka. *Mat. konf. nauk. nt. „Produkcyjne skutki zmniejszenia nakładów na agrotechnikę roślin uprawnych. ART Olsztyn, 25-26.03.1992*: 216 — 222.
- Sawicka B., Kuś J. 2000. Zmienność składu chemicznego bulw ziemniaka w warunkach ekologicznego i integrowanego systemu produkcji. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 489: 273 — 282.
- Sawicka B., Barbaś P., Kuś J. 2007. Variability of potato yield and structure in organic and integrated crop production systems. *Elec. Jour. Pol. Agric. Univ., Top. Agron.* 10,1, www.ejpau.media.pl.
- Spiertz J. H. J., Haverkort A. J., Vereijken P. H. 1996. Environmentally safe and consumer friendly potato production in The Netherlands. 1. Development of ecologically sound production system. *Pot. Res.* 39: 371 — 378.
- Zarzyńska K., Goliszewski W. 2006. Uprawa ziemniaka w systemie ekologicznym i integrowanym a jakość plonu bulw. *Pam. Puł.* 142: 617 — 626.

ANNA PŁAZAKatedra Szczegółowej Uprawy Roślin
Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach

Wpływ wsiewek międzyplonowych na plonowanie ziemniaka jadalnego uprawianego w integrowanym systemie produkcji

The influence of undersown crops on yield of table potato cultivated in integrated production system

W pracy przedstawiono wyniki badań z lat 2006–2009 mające na celu określenie wpływu wsiewek międzyplonowych przyoranych jesienią lub pozostawionych do wiosny w formie mulczu na plonowanie ziemniaka jadalnego. W doświadczeniu badano następujące kombinacje nawożenia wsiewką międzyplonową: obiekt kontrolny (bez nawożenia wsiewką międzyplonową), obornik, seradela, życica westerwoldzka, seradela — mulcz, życica westerwoldzka — mulcz). W biomasie wsiewek międzyplonowych oznaczono zawartość suchej masy i makroelementów (N, P, K, Ca i Mg). Bezpośrednio po zastosowaniu nawożenia wsiewkami międzyplonowymi uprawiano ziemniaki jadalne. Podczas zbioru ziemniaka określono plon ogólny świeżej masy bulw, a po zbiorze plon handlowy i strukturę plonu bulw. Otrzymane wyniki badań pozwalają stwierdzić, że spośród badanych wsiewek międzyplonowych życica westerwoldzka wprowadziła do gleby najwięcej suchej masy, a seradela najwięcej makroelementów. Nawożenie seradelą zarówno pozostawioną do wiosny w formie mulczu, jak i przyoraną jesienią w pełni zastępuje obornik w uprawie ziemniaka jadalnego. Największy udział frakcji bulw jadalnych i sadzeniaków, a najmniejszy udział frakcji bulw małych w plonie odnotowano z kombinacji nawożonej seradelą w formie mulczu.

Słowa kluczowe: mulcz, nawożenie, plon, struktura plonu bulw, wsiewka międzyplonowa, ziemniak

The paper presents results of studies carried out from 2006 to 2009 which aimed to determine the influence of undersown crops plowed down in the autumn or left till spring in the form of mulch on table potato yielding. The following treatments were examined: control object (without undersown crops fertilization), farmyard manure, serradella, westerwold ryegrass, serradella — mulch, westerwold ryegrass — mulch. The content of dry mass and macroelements (N, P, K, Ca, Mg) were determined in undersown crops biomass. Table potatoes were grown directly after undersown crops fertilization. During potato harvest the yield of fresh tubers mass was determined and after that the marketable yield and the structure of tuber yield were determined. The obtained results allow to conclude that among undersown crops westerwold ryegrass gives the highest amount of dry mass in soil, and serradella the highest amount of macroelements. Serradella fertilization both left till spring in the form of mulch and

plowed down fully replaced farmyard manure in potato cultivation. The highest shares of marketable and seed potato fractions, and the lowest share of small tubers was noted in combination fertilized with serradella in the form of mulch.

Key words: fertilization, mulch, potato, undersown crop, the structure of tubers yield, yield

WSTĘP

W integrowanej uprawie ziemniaka zaleca się wysycenie płodozmianu międzyplonami (Songin, 1998; Płaza i in., 2010). Spośród międzyplonów najtańszym źródłem substancji organicznej są wsiewki, które można przyorać jesienią lub stosować w formie mulczu (Ceglarek i in., 1998; Witkowicz, 1998; Kuraszkiewicz i Pałys, 2002). Mulczowanie polega na pozostawieniu międzyplonu do wiosny. Gleba pokryta mulczem posiada większą retencję wodną, potencjał biologiczny oraz nie traci tyle składników pokarmowych, co gleba zaorana (Spiertz i in., 1996; Reust i in., 1999; Dzienia i in., 2004). Dotychczas w Polsce brak jest badań dotyczących stosowania wsiewek międzyplonowych w formie mulczu. Próbę częściowego wypełnienia tej luki stanowi niniejsza praca mająca na celu określenie wpływu wsiewek międzyplonowych przyoranych jesienią lub pozostawionych do wiosny w formie mulczu na plonowanie ziemniaka jadalnego.

MATERIAŁ I METODY

Badania polowe przeprowadzono w latach 2006–2009 w Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Zawadach należącej do Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Eksperyment polowy założono na glebie płowej wytworzonej z piasku gliniastego mocnego, o odczynie obojętnym, średniej zasobności w przyswajalny fosfor, potas i magnez. Zawartość próchnicy wynosiła 1,41%. Doświadczenie założono w układzie losowanych bloków, w trzech powtórzeniach. Badano następujące kombinacje nawożenia wsiewką międzyplonową: obiekt kontrolny (bez nawożenia wsiewką międzyplonową), obornik ($30 \cdot \text{ha}^{-1}$), seradela ($22,4 \cdot \text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), życica westerwoldzka ($35,2 \cdot \text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), seradela — mulcz ($22,6 \cdot \text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), życica westerwoldzka — mulcz ($35,0 \cdot \text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Wsiewki międzyplonowe wsiewano w pszenżyto jare uprawiane na ziarno. Jesienią, w losowo wybranych miejscach, z każdego poletka międzyplonu pobrano średnie próby masy kośnej i resztek poźniwnych roślin łącznie z ich masą korzeniową z 30 cm warstwy gleby w celu określenia plonu świeżej masy. W pobranym materiale roślinnym oznaczono zawartość suchej masy i makroelementów (N, P, K, Ca i Mg). Następnie na wyznaczone poletka wywieziono obornik bydlęcy i wykonano orkę przedzimową, z wyjątkiem poletek z wsiewkami międzyplonowymi pozostawionymi do wiosny w formie mulczu. Bezpośrednio po zastosowaniu nawożenia wsiewkami międzyplonowymi uprawiano ziemniaki jadalne. Wczesną wiosną rozsiano nawozy mineralne, których ilość w przeliczeniu na 1 ha wynosiła: 90 kg N, 39,6 kg P i 99,6 kg K. Na poletkach, na których jesienią wykonano orkę przedzimową, nawozy mineralne wymieszano z glebą za pomocą kultywatora zagregowanego z broną. Natomiast na poletkach z mulczem stosowano bronę talerzową i kultywator. Ziemniaki wysadzano w 3. dekadzie kwietnia, a zbierano w 2. dekadzie września. Podczas zbioru ziemniaka określono plon ogólny świeżej masy bulw,

a po zbiorze plon handlowy. Ponadto pobrano próby bulw w celu oznaczenia struktury plonu. Wydzielono frakcje bulw o średnicy poniżej 30, 30–40, 40–50, 50–60 i powyżej 60 mm. Otrzymane wyniki badań opracowano statystycznie.

Lata prowadzenia badań charakteryzowały się znacznym zróżnicowaniem warunków pogodowych (tab. 1). Najkorzystniejszym dla uprawy ziemniaka okazał się 2008 rok. Gorsze warunki pogodowe odnotowano w latach 2007 i 2009.

Tabela 1

Warunki pogody podczas badań zgodnie z danymi ze Stacji Meteorologicznej w Zawadach
Weather conditions in the period of investigations, according to the data from the Meteorological Station at Zawady

Lata Years	Miesiąc Month						Średnie Means
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Temperatura (°C) — Temperature (°C)							
2007	8,6	14,6	18,2	18,9	18,9	13,1	15,4
2008	9,1	12,7	17,4	18,4	18,5	12,2	14,7
2009	10,3	12,9	15,7	19,4	17,7	14,6	15,1
1951–2000	7,8	13,8	17,1	18,7	18,0	13,0	14,7
Suma opadów (mm) — Rainfall sum (mm)							
2007	21,2	59,1	59,0	70,2	31,1	67,6	308,2
2008	28,1	85,6	49,0	69,8	75,4	63,4	371,2
2009	8,1	68,9	145,2	26,4	80,9	24,9	354,4
1951–2000	37,1	50,6	61,5	71,6	53,8	50,0	324,6

WYNIKI

Spośród badanych wsiewek międzyplonowych życica westerwoldzka wprowadziła do gleby więcej suchej masy niż seradela (tab. 2).

Tabela 2

Ilość suchej masy ($t \cdot ha^{-1}$) i makroelementów ($kg \cdot ha^{-1}$) wprowadzona do gleby przez badane wsiewki międzyplonowe i obornik (średnie z lat 2006–2008)
The amounts of dry mass and macroelements introduced into the soil by the applied undersown crops and farm yard manure (means for 2006–2008)

Wsiewka międzyplonowa Undersown crop	Sucha masa Dry mass	Makroelementy — Macroelements				
		N	P	K	Ca	Mg
Obornik Farmyard manure	7,7	157,8	46,2	130,4	61,6	38,4
Seradela Serradella	5,8	153,8	33,2	112,7	50,4	25,9
Życica westerwoldzka Westerwold ryegrass	7,2	118,7	28,6	109,4	36,2	15,0
Seradela — mulcz Serradella — mulch	5,9	154,2	33,4	113,0	50,6	26,1
Życica westerwoldzka — mulcz Westerwold ryegrass — mulch	7,1	118,3	28,4	109,2	36,0	14,9
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	0,83	10,31	1,14	7,80	4,92	2,83

Najwięcej makroelementów natomiast dostarczyła seradela. Życica westerwoldzka, chociaż wprowadziła do gleby więcej suchej masy niż seradela, to o niższej zawartości makroelementów, co przełożyło się na ich ilość. Życica westerwoldzka wprowadziła do gleby porównywalną ilość suchej masy jak obornik, a seradela porównywalną ilość azotu.

Plon ogólny świeżej masy bulw ziemniaka nawożonego seradelą w formie mulczu był największy (tab. 3). Plon bulw ziemniaka nawożonego seradelą przyoraną jesienią nie różnił się istotnie od plonu otrzymanego na oborniku. Po życicy westerwoldzkiej, niezależnie od formy jej stosowania plon ogólny bulw ziemniaka był istotnie niższy niż na oborniku. Jednak i w tym przypadku plon bulw ziemniaka był wyższy od plonu odnotowanego na obiekcie kontrolnym, bez nawożenia wsiewką międzyplonową.

Tabela 3

Plon ogólny świeżej masy bulw ziemniaka, t·ha⁻¹ (średnie z lat 2007–2009)
Total yield of fresh mass of potato tubers, t·ha⁻¹ (means for 2007–2009)

Nawożenie wsiewką międzyplonową Undersown crop fertilization	Plon ogólny Total yield t·ha ⁻¹	Wzrost plonu w porównaniu z kontrolą Increase in yield as compared to control		Wzrost plonu w porównaniu z obornikiem Increase in yield as compared to the effects of farmyard manure	
		t·ha ⁻¹	%	t·ha ⁻¹	%
Obiekt kontrolny Control object	28,7	0,0	0,0	-13,5	-32,0
Obornik Farmyard manure	42,2	+13,5	+47,0	0,0	0,0
Seradela Serradella	41,6	+12,9	+44,9	-0,6	-1,4
Życica westerwoldzka Westerwold ryegrass	35,8	+7,1	+24,7	-6,4	-15,2
Seradela — mulcz Serradella — mulch	43,7	+15,0	+52,3	+1,5	+3,6
Życica westerwoldzka — mulcz Westerwold ryegrass — mulch	33,4	+4,7	+16,4	-8,8	-20,9
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	1,12	—	—	—	—

Analiza statystyczna wykazała istotny wpływ warunków sezonu wegetacyjnego, nawożenia wsiewką międzyplonową i ich współdziałania na plon handlowy (tab. 4). Największe plony bulw ziemniaka zebrano w korzystnym 2008 roku, a istotnie mniejsze w latach 2007 i 2009. Nawożenie wsiewką międzyplonową także istotnie różnicowało plon handlowy bulw ziemniaka. Największy plon handlowy otrzymano z obiektu nawożonego seradelą w formie mulczu. Plon handlowy bulw ziemniaka nawożonego seradelą przyoraną jesienią nie różnił się istotnie od plonu odnotowanego na oborniku. Tylko po życicy westerwoldzkiej, niezależnie od formy jej stosowania był istotnie mniejszy. Jednak i w tym przypadku plon handlowy bulw ziemniaka był większy od odnotowanego na obiekcie kontrolnym. Wykazano interakcję, z której wynika, że największy plon handlowy bulw ziemniaka otrzymano w 2008 roku z obiektu nawożonego seradelą w formie mulczu, a najmniejszy w latach 2007 i 2009 z obiektu kontrolnego, bez nawożenia wsiewką międzyplonową.

Tabela 4

Plon handlowy, t·ha⁻¹ Marketable yield, t·ha⁻¹				
Nawożenie wsiewką międzyplonową Undersown crop fertilization	2007	2008	2009	Średnie Means
Obiekt kontrolny Control object	22,3	24,4	21,7	22,8
Obornik Farmyard manure	39,1	41,4	38,6	39,7
Seradela Serradella	38,2	40,5	37,7	38,8
Życica westerwoldzka Westerwold ryegrass	32,1	34,2	31,5	32,6
Seradela — mulcz Serradella — mulch	40,6	42,5	39,8	40,9
Życica westerwoldzka — mulcz Westerwold ryegrass — mulch	29,9	32,2	29,4	30,5
Średnie Means	33,7	35,9	33,1	-
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}				0,80
Lata — Years				1,03
Nawożenie wsiewką międzyplonową — Undersown crop fertilization				1,11
Interakcja — Interaction				

Nawożenie wsiewką międzyplonową w istotny sposób oddziaływało nie tylko na plon, ale i na jego strukturę (tab. 5). Można zauważyć tu pewną zależność, a mianowicie, tam gdzie otrzymano największe plony bulw ziemniaka odnotowano największy udział frakcji bulw jadalnych i sadzeniaków, a najmniejszy udział frakcji bulw małych w plonie. Natomiast na obiekcie kontrolnym i nawożonym życicą westerwoldzką udział frakcji bulw jadalnych i sadzeniaków był mniejszy, przy największym udziale frakcji bulw małych w plonie.

Tabela 5

Procentowy udział frakcji bulw w plonie (średnie z lat 2007–2009) The percentages of tuber fractions in the yield (means for 2007–2009)			
Nawożenie wsiewką międzyplonową Undersown crop fertilization	Ziemniaki jadalne Table potato ≥ 40 mm	Sadzeniaki Seed potatoes 30-60 mm	Bulwy małe Small tubers ≤ 30 mm
Obiekt kontrolny Control object	57,9	55,4	33,2
Obornik Farmyard manure	88,3	86,9	6,5
Seradela Serradella	93,6	91,5	4,1
Życica westerwoldzka Westerwold ryegrass	69,9	68,7	18,0
Seradela — mulcz Serradella — mulch	97,3	95,4	1,6
Życica westerwoldzka — mulcz Westerwold ryegrass — mulch	67,8	66,9	19,8
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	2,32	2,10	1,44

DYSKUSJA

Niedobór obornika spowodowany spadkiem pogłowia zwierząt gospodarskich, niska opłacalność produkcji oraz przesłanki przemawiające za systemem integrowanej uprawy ziemniaka skłaniają do przeprowadzenia alternatywnych rozwiązań. Na szczególną uwagę zasługują tu nawozy zielone (Spiertz i in., 1996; Songin, 1998; Duer, 1999). Niezwykle cennym gatunkiem jest tu seradela. W badaniach własnych dostarczyła ona porównywalną ilość azotu, jak obornik. Na wysoką wartość nawozową wsiewek roślin bobowatych wskazują też wyniki badań innych autorów (Ceglarek i in., 1998; Witkiewicz, 1998; Kuraszkiewicz i Pałys, 2002). Sadowski (1992) oraz Płaza i in. (2010) wskazują na przewagę nawozów zielonych nad obornikiem. Wynika to z faktu, iż składniki pokarmowe zawarte w nawozie zielonym są na ogół łatwiej przyswajalne niż składniki obornika, dzięki szybszemu rozkładowi masy organicznej. W omawianym doświadczeniu, spośród badanych międzyplonów najwyższą wartość nawozową wyrażoną plonem bulw ziemniaka wykazała seradela stosowana w formie mulczu. Jak podaje Nowak (1982), Makaraviciute (2003) oraz Rudella i in. (2005) podczas rozkładu roślin bobowatych mogą zachodzić wysokie straty azotu, w zależności od temperatury, wilgotności i czasu rozkładu straty azotu mogą dochodzić nawet do 50%. Aby temu zapobiec należy do rozkładającej się biomasy roślin bobowatych dodać substancji organicznej bogatej w węgiel, np. traw w celu rozszerzenia stosunku C:N lub pozostawić je do wiosny w formie mulczu, co spowalnia proces mineralizacji i ogranicza straty składników pokarmowych, a zwłaszcza azotu. W badaniach własnych plony bulw ziemniaka nawożonego seradelą przyoraną jesienią nie różniły się istotnie od odnotowanych na oborniku. Tylko po nawożeniu życicą westerwoldzką, niezależnie od formy jej stosowania były istotnie mniejsze niż na oborniku. Jednak i w tym przypadku plony bulw ziemniaka były większe od odnotowanych na obiekcie kontrolnym, bez nawożenia wsiewką międzyplonową. Wzrost plonu bulw po przyoraniu traw stwierdzili także Sadowski (1992), Spiertz i in. (1996), Duer i Jończyk (1998) oraz Reust i in. (1999), jednak plony te były istotnie mniejsze niż na oborniku. Wynika to z faktu wprowadzenia do gleby dużej ilości biomasy, o niskiej zawartości makroelementów (Sadowski, 1992; Duer i Jończyk, 1998). Ponadto trawy charakteryzują się szerokim stosunkiem C:N. W takim przypadku mineralizuje się mniej azotu, który wykorzystywany jest głównie przez mikroorganizmy glebowe.

Badania Głuskiej (2004) dowodzą, że wielkość plonu bulw ziemniaka zależy nie tylko od czynników agrotechnicznych, lecz również od czynników środowiskowych, a przede wszystkim od sumy opadów i rozkładu temperatur w okresie wegetacji roślin. Potwierdzają to wyniki badań własnych. Niedobór opadów w 2007 i 2009 roku przyczynił się do uzyskania niższego plonu handlowego bulw ziemniaka, w porównaniu z plonem w roku 2008, o największej ilości opadów. Należy to tłumaczyć tym, iż niedobór opadów w okresie wegetacji ziemniaka hamuje rozkład biomasy w glebie, co zmniejsza ilość składników pokarmowych udostępnianych roślinie uprawnej, efektem czego jest niższy plon handlowy bulw ziemniaka.

Z badań własnych wynika, że nawożenie wsiewką międzyplonową oddziałuje nie tylko na plon bulw ziemniaka, ale i na jego strukturę. Spośród badanych wsiewek

międzyplonowych najkorzystniej na omawianą cechę oddziałuje nawożenie seradela w formie mulczu. Można zauważyć tu pewną zależność, którą potwierdzają badania innych autorów (Roztropowicz, 1989; Dzienia i in., 2004; Kołodziejczyk i in., 2007). Mianowicie na obiekcie, gdzie otrzymano największe plony ziemniaka występuje wzrost udziału bulw dużych, a spadek udziału frakcji bulw średnich i małych. Największy udział bulw drobnych w plonie odnotowano na obiekcie kontrolnym, bez nawożenia wsiewką międzyplonową.

WNIOSKI

1. Spośród badanych wsiewek międzyplonowych życica westerwoldzka wprowadziła do gleby najwięcej suchej masy, a seradela najwięcej makroelementów.
2. Seradela pozostawiona do wiosny w formie mulczu wykazała najwyższą wartość nawozową.
3. Nawożenie seradela zarówno pozostawioną do wiosny w formie mulczu, jak i przyoraną jesienią w pełni zastępuje obornik w uprawie ziemniaka jadalnego.
4. Największy udział frakcji bulw jadalnych i sadzeniaków, a najmniejszy udział frakcji bulw małych w plonie odnotowano z kombinacji nawożonej seradela w formie mulczu.

LITERATURA

- Ceglarek F., Płaza A., Buraczyńska D., Jabłońska-Ceglarek R. 1998. Alternatywne nawożenie organiczne ziemniaka jadalnego w makroregionie środkowo-wschodnim. Cz. I. Wartość nawozowa wsiewek poplonowych w zależności od ich sposobu użytkowania na tle obornika i nawożenia słomą. *Rocz. Nauk Rol. Ser. A*, T. 113, Z. 3–4: 173 — 188.
- Duer I. 1999. Plon suchej masy kilku odmian koniczyny uprawianej w ekologicznym i integrowanym systemie produkcji oraz akumulacja azotu w glebie. *Zesz. Nauk. AR Kraków* 347: 69 — 77.
- Duer I., Jończyk K. 1998. Nawożenie pod ziemniak uprawiany w gospodarstwach ekologicznych. *Frag. Agron.* 1 (57): 85 — 95.
- Dzienia S., Szarek P., Pużyński S. 2004. Plonowanie i jakość ziemniaka w zależności od systemu uprawy roli i rodzaju nawożenia organicznego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 500: 235 — 242.
- Głuska A. 2004. Wpływ zmiennego rozkładu opadów na cechy bulw ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.) oraz wyznaczenie okresu krytycznego wrażliwości na niedobór wody u odmian o różnej długości okresu wegetacji. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 496: 217 — 227.
- Kołodziejczyk M., Szmigiel A., Kielbasa S. 2007. Plonowanie oraz skład chemiczny bulw ziemniaka w warunkach zróżnicowanego nawożenia. *Fragm. Agron.* 2 (94): 142 — 150.
- Kuraszkiewicz R., Pałys E. 2002. Wpływ roślin ochronnych na plon masy nadziemnej wsiewek międzyplonowych. *Annales UMCS, Sec. E* 57: 105 — 112.
- Makaraviciute A. 2003. Effect of organic and mineral fertilizers on the yield and quality of different potato varieties. *Agron. Res.* 1 (2): 197 — 209.
- Nowak G. 1982. Przemiany roślinnej materii organicznej znakowanej izotopem C_{14} w glebach intensywnie nawożonych. *Zesz. Nauk. ART Olsztyn, Ser. Rol.* 35: 3 — 57.
- Płaza A., Ceglarek F., Królikowska M. A., Próchnicka M. 2010. Rola wsiewek międzyplonowych w nawożeniu ziemniaka jadalnego odmiany Syrena. *Biul. IHAR* 257/258: 137 — 143.
- Reust W., Neyroud J. A., Dutoid J. P. 1999. Potato fertilization in integrated farming system. 14th Triennial Conference of the European Association for Potato Research. Sorrento, Italy, 02-07.05.1999: 259 — 260.
- Roztropowicz S. 1989. Środowiskowe, odmianowe i nawozowe źródła zmienności składu chemicznego bulw ziemniaka. *Frag. Agron.* 1 (21): 33 — 75.

- Rudella C. A., Davenport J. R., Evans R. G., Hattendorf M. J., Alva A. K., Boydston R. A. 2005. Relating potato yield and quality to field scale variability in soil characteristics. *Amer. J. Pot. Res.* 79 (5): 317 — 323.
- Sadowski J. 1992. Porównanie efektywności obornika, słomy, nawozów zielonych i biohumusu w uprawie ziemniaka. *Mat. konf. nauk. nt. „Produkcyjne skutki zmniejszenia nakładów na agrotechnikę roślin uprawnych. ART Olsztyn, 25-26.03.1992:* 216 — 222.
- Spiertz J. H. J., Haverkort A. J., Vereijken P. H. 1996. Environmentally safe and consumer friendly potato production in The Netherlands. 1. Development of ecologically sound production system. *Pot. Res.* 39: 371 — 378.
- Songin W. 1998. Międzyplony w rolnictwie proekologicznym. *Post. Nauk Rol.* 2: 43 — 51.
- Witkowicz R. 1998. Porównanie plonowania oraz wartości przedplonowej wsiewek roślin motylkowatych i traw na glebie lekkiej. *Rocz. AR Poznań CCCVII, Ser. Rol.* 52: 65 — 70.

CEZARY TRAWCZYŃSKI

Zakład Agronomii Ziemiaka

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Oddział Jadwisin

Ocena zawartości azotu mineralnego w glebie po zbiorze bulw ziemniaka

Assessment of mineral nitrogen content in the soil after harvest of potato tubers

Celem badań polowych przeprowadzonych w latach 2007–2009 w Zakładzie Agronomii Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Oddział w Jadwisinie było określenie zawartości azotu mineralnego pozostającego w glebie po zbiorze bulw trzech odmian ziemniaka o małych (odmiana Asterix), średnich (odmiana Wiking) i dużych (odmiana Maryna) wymaganiach w stosunku do tego składnika. Badania przeprowadzono na glebie lekkiej, nawożonej organicznie słomą i międzyplonem gorczycy białej. W doświadczeniu z wyżej wymienionymi odmianami ziemniaka stosowano 5 poziomów nawożenia azotem: 0, 50, 100, 150 i 200 kg N·ha⁻¹ wraz ze stałym nawożeniem fosforem — 52,3 kg P·ha⁻¹ i potasem — 149,4 kg K·ha⁻¹. W miarę wzrostu stosowanych dawek N zwiększała się zawartość azotu mineralnego w warstwie gleby 0–30 cm jak i 30–60 cm. Istotnie większą zawartość azotu mineralnego w glebie po zakończeniu wegetacji roślin ziemniaka stwierdzono na poletkach z odmianami o małych i średnich wymaganiach w porównaniu do odmiany o dużych wymaganiach w stosunku do dawki azotu. Zastosowanie dawki azotu powyżej 100 kg·ha⁻¹ w przypadku odmiany o małych i średnich wymaganiach stanowiło niebezpieczeństwo przemieszczenia części azotu mineralnego do głębszych warstw gleby. W przypadku odmiany o dużych wymaganiach dawka największa 200 kg N·ha⁻¹ nie spowodowała przekroczenia bezpiecznej zawartości azotu mineralnego w glebie, ale największy plon bulw uzyskano po zastosowaniu dawki 150 kg N·ha⁻¹. Mniejszą zawartość azotu mineralnego w glebie stwierdzono w latach (2008, 2009) sprzyjających kumulacji plonu bulw.

Słowa kluczowe: dawki azotu, gleba, odmiany ziemniaka, plon bulw, zawartość azotu mineralnego w glebie

The aim of field experiment conducted in the years 2007–2009 in Department Agronomy of Plant Breeding and Acclimatization Institute, Division of Jadwisin was the determination of mineral nitrogen content in the soil after harvest of potato tubers representing three cultivars with low (cultivar Asterix), medium (cultivar Wiking) and high (cultivar Maryna) requirements for nitrogen. The experiment was carried out on the light soil fertilized organically with straw and aftercrop of white mustard. In these experiments 5 levels of nitrogen fertilization were applied: 0, 50, 100, 150 and 200 kg N·ha⁻¹ with the constant level of phosphorus 52.3 kg P·ha⁻¹ and potassium 149.4 kg K·ha⁻¹. Content of mineral nitrogen in the soil layers 0–30 cm and 30–60 cm rose as the N-fertilization doses increased. We detected significantly higher content of mineral nitrogen in the soil on plots with cultivars with low and medium requirements in comparison to cultivar with high requirements for this component. A dose of nitrogen

above 100 kg N·ha⁻¹ influenced negatively the content of mineral nitrogen in the soil in case of cultivars with low and medium requirements for nitrogen. For cultivar with high requirements, dose of 200 kg N·ha⁻¹ did not influence negatively the content of mineral nitrogen in the soil, but the highest yield of tubers was obtained at the dose of 150 kg N·ha⁻¹. In the years (2008, 2009) favourable for high tuber yield, lower content of mineral nitrogen in the soil was noted.

Key words: nitrogen doses, soil, potato cultivars, yield of tubers, content of mineral nitrogen in the soil

WSTĘP

Jednym z głównych składników nawozowych, uznawanym za najbardziej plonotwórczy jest azot. Z dotychczasowych badań wynika, że zapotrzebowanie na azot, w przypadku ziemniaka najlepiej rozpatrywać w odniesieniu do poszczególnych odmian, gdyż stwierdza się duże zróżnicowanie wielkości plonu bulw w reakcji na ten składnik (Jabłoński, 2004, 2006; Trawczyński, 2007, 2008, 2010; Trawczyński, Wierzbicka, 2011). Wieloletnie doświadczenia z oddziaływaniem zróżnicowanego nawożenia azotem na wielkość plonu bulw ziemniaka pozwoliły na ustalenie dawek tego składnika z podziałem na 3 grupy odmian: o małych, średnich i dużych wymaganiach (Wierzejska-Bujakowska, 1996; Trawczyński, 2004). Ze stosowaniem azotu wiążą się określone zmiany zawartości azotu mineralnego w glebie (Fotyma i in., 1998). Oznaczenie zawartości mineralnych form azotu, azotanowej i amonowej w warstwie gleby, w której rozmieszczona jest główna masa systemu korzeniowego roślin umożliwia ocenę ilości azotu pozostającego po sprężeniu roślin (Fotyma, 1996; Fotyma, Fotyma, 2006; Fotyma, 2009). Fotyma i in., (1998) oraz Vos i Mackerron (2000) wykazali, że straty azotu po zbiorze roślin mogą być bardziej niebezpieczne dla środowiska niż te, które występują w okresie wegetacji. Duża ilość N-mineralnego pozostała po zbiorze roślin stwarza niebezpieczeństwo wypłukania tego składnika do głębszych warstw gleby w okresie jesienno-zimowym, stanowiąc zagrożenie dla wód gruntowych (Jadczyszyn i in., 2010). Wymywanie azotu jest większe w warunkach gleb lekkich i uzależnione jest w znacznej mierze od ilości opadów i ilości azotu zastosowanego w nawozach (Ciećko i in., 1996). Mając na uwadze powyższe zagadnienia przeprowadzono badania mające na celu określenie wpływu nawożenia azotem i warunków klimatycznych w okresie wegetacji roślin na wielkość plonu bulw i ilość azotu mineralnego pozostającego w glebie po zbiorze bulw odmian ziemniaka o różnych wymaganiach w stosunku do tego składnika.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2007–2009 w Zakładzie Agronomii Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Oddział w Jadwisinie na glebie lekkiej, kwaśnej o składzie mechanicznym piasku gliniastego lekkiego. Gleba przed założeniem doświadczenia charakteryzowała się wysoką do bardzo wysokiej zasobnością w przyswajalny fosfor, średnią do bardzo wysokiej zawartością magnezu, średnią zawartością potasu i niską zawartością azotu mineralnego (tab. 1). Warunki klimatyczne okresu wegetacji oceniono na podstawie ilości opadów i temperatury powietrza (tab. 2).

Tabela 1

Zawartość N mineralnego oraz przyswajalnych form P, K i Mg w glebie (2007–2009)
Content of mineral N and available forms of P, K and Mg in the soil (2007–2009)

Rok Year	N mineralny (kg·ha ⁻¹) Mineral N (kg·ha ⁻¹)	Zawartość w mg·kg ⁻¹ — Content in mg·kg ⁻¹		
		P	K	Mg
2007	42	106	87	39
2008	48	98	124	85
2009	48	86	120	55

Tabela 2

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

Rok Year	Opady atmosferyczne (mm) Rainfalls (mm)			Temperatura powietrza (°C) Air temperature (°C)		
	suma miesiąca sum of month	średnia wielolecia multiyear mean	odchylenie deviation	średnia miesiąca mean for month	średnia wielolecia multiyear mean	odchylenie deviation
2007						
IV	16,3	39	-22,7	7,8	7,7	0,1
V	78,4	52	26,4	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	17,8	0,0
IX	103,7	51	52,7	10,8	13,1	-2,3
2008						
IV	29,3	38	-8,7	7,4	7,7	-0,3
V	62,9	52	10,9	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	51	-2,2	11,6	13,1	-1,5
2009						
IV	0,0	36	-36,0	9,7	7,8	1,9
V	80,8	53	27,8	12,3	13,6	-1,3
VI	72,4	76	-3,6	17,3	16,5	0,9
VII	85,6	73	12,6	21,3	18,5	2,9
VIII	83,1	58	25,1	17,3	17,8	-0,5
IX	18,8	49	-30,2	14,2	13,1	1,1

Pierwszy rok badań (2007) charakteryzował się ogólnie większą ilością opadów w okresie wegetacji roślin oraz był chłodniejszy w porównaniu do dwóch pozostałych (2008 i 2009) lat badań. W latach 2008 i 2009 zanotowano zbliżone ilości opadów w okresie wegetacji, ale trzeci rok badań (2009) był cieplejszy. Generalnie układ warunków pogodowych w latach 2008 i 2009 był bardziej sprzyjający rozwojowi roślin ziemniaka i większej kumulacji plonu bulw niż 2007 rok.

Doświadczenia zakładano w układzie losowanych bloków w 3 powtórzeniach. Wielkość pojedynczego poletka stanowiła powierzchnię 14,85 m². Czynnikiem 1-rzędu stanowiły dawki azotu (0, 50, 100, 150, 200 kg·ha⁻¹), czynnikiem 2-rzędu były średnio wczesne odmiany ziemniaka jadalnego (Asterix, Wiking, Maryna — odpowiednio o małych, średnich, dużych wymaganiach odnośnie maksymalnej dawki azotu) a czynnik 3-

rzędu stanowiły lata badań (2007, 2008, 2009). Wielkości maksymalnych dawek azotu dla odmian określono we wcześniejszych latach badań przy wykorzystaniu krzywych reakcji przedstawiających zależność pomiędzy wielkością plonu bulw a dawkami azotu. Na podstawie wyliczonych wielkości maksymalnych dawek azotu zastosowano podział odmian na 3 grupy: o małych (poniżej 145), średnich (145–177) i dużych wymaganiach (powyżej 177 kg N·ha⁻¹) (Wierzejska-Bujakowska, 1996; Trawczyński, 2004).

Nawożenie organiczne pod ziemniak stanowiła słoma z dodatkiem azotu mineralnego (około 1 kg N na 100 kg słomy) przyorywana podorywką oraz poplon ścierniskowy z gorczycy białej przyorywany jesienią orką przedzimową. Nawożenie mineralne fosforem stosowano w dawce 52,3 kg P·ha⁻¹, a potasem w dawce 149,4 kg K·ha⁻¹. Jesienią pod orkę przedzimową wysiewano 39,2 kg P·ha⁻¹ i 99,6 kg K·ha⁻¹, a wiosną przed sadzeniem uzupełniające dawki fosforu i potasu, tj. 13,1 kg P·ha⁻¹ i 49,8 kg K·ha⁻¹. Azot w dawkach 50 i 100 kg·ha⁻¹ wysiewano bezpośrednio przed sadzeniem bulw. Na poletkach nawożonych dawką 150 i 200 kg·ha⁻¹ N uzupełniono nawożenie wysiewając 50 i 100 kg·ha⁻¹ przed wschodami ziemniaka.

Bulwy ziemniaka sadzano ręcznie w III dekadzie kwietnia w rozstawie 75×33 cm, a zbierano w II i III dekadzie września (2007, 2009 rok) oraz I dekadzie października (2008 rok). Podczas zbioru określono wielkość plonu świeżej masy bulw z każdego poletka.

Glebę do badań celem oznaczenia zawartości azotanowej i amonowej formy azotu mineralnego pobierano wiosną przed zakładaniem doświadczenia oraz jesienią po zakończeniu wegetacji roślin, bezpośrednio przed zbiorem bulw ziemniaka. Próbkę gleby pobierano z warstwy 0–30 cm i 30–60 cm przy użyciu świdra glebowego. Próbkę gleby pobierano z czterech miejsc na poletku, po czym łączono je w jedną próbkę ogólną. Próbkę o masie ok. 400 g umieszczano w torebce foliowej i do czasu wykonywania analiz przechowywano je w stanie zamrożonym. Analizy zawartości jonów azotanowych (NO₃⁻) i amonowych (NH₄⁺) wykonywano reflektometrycznie przy użyciu reflektometru RQ Flex Merck. Do ekstrakcji jonów azotanowych i amonowych wykorzystano roztwór 0,01 mol·dm⁻³ chlorku wapnia (CaCl₂). Otrzymane wyniki przeliczono na zawartość N-NO₃ i N-NH₄ w suchej masie gleby. Następnie zsumowano zawartość N-NO₃ i N-NH₄ uzyskując zawartość N-mineralnego. Wykorzystując współczynnik dla 30 cm warstwy gleby lekkiej (4,5), obliczono zawartość N-mineralnego w kg·ha⁻¹ (Fotyma i in., 1998).

Wyniki doświadczeń opracowano posługując się programem statystycznym SAS Enterprise Guide. Analizę porównania średnich przeprowadzono metodą Tukeya.

WYNIKI I DYSKUSJA

W badaniach wykazano, że wysokość plonu bulw ziemniaka, jak i zawartość azotu mineralnego w glebie były istotnie zależne od zastosowanej dawki azotu. Udowodniony statystycznie przyrost plonu bulw badanych odmian notowano do dawki 150 kg N·ha⁻¹ z tym, że w przypadku odmiany o średnich wymaganiach względem dawki azotu (Wiking) oraz o wymaganiach dużych (Maryna) jeszcze po zastosowaniu dawki 200 kg N·ha⁻¹ następował niewielki przyrost plonu bulw (tab. 3). Natomiast w odniesieniu do odmiany o małych wymaganiach, po zastosowaniu dawki 200 kg N·ha⁻¹ plon bulw uległ istotnemu

obniżeniu w porównaniu do uzyskanego przy poziomie nawożenia 150 kg N·ha⁻¹. Wykazane obecnie oddziaływanie nawożenia azotem na plon bulw badanych odmian ziemniaka było wcześniej potwierdzone (Trawczyński, 2007, 2008). Istotny wpływ na wielkość uzyskanego plonu bulw miały również lata badań. Wyższy plon bulw, średnio dla badanych odmian uzyskano w drugim i trzecim roku badań (2008, 2009), gdyż były one cieplejsze i wilgotniejsze, a tym samym bardziej sprzyjające kumulacji plonu bulw niż pierwszy (2007) rok badań.

Tabela 3

Plon świeżej masy bulw (t·ha⁻¹) w zależności od nawożenia azotem, odmiany i lat badań
Yield of fresh mass of tubers (t·ha⁻¹) depending on the nitrogen fertilization, cultivar and study years

Dawka N i lata N dose and years	Odmiana — Cultivar			Średnia Mean
	Asterix	Wiking	Maryna	
0	41,6	41,3	45,9	42,9
50	45,7	45,1	52,5	47,8
100	49,9	47,2	59,1	52,1
150	52,4	48,7	62,0	54,4
200	48,6	49,1	62,2	53,3
Średnia — Mean	47,6	46,3	56,3	
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	1,4			2,2
2007	32,9	37,1	42,5	37,5
2008	57,1	51,7	66,5	58,5
2009	52,9	50,0	60,1	54,3
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}				1,4

Istotny przyrost zawartości mineralnych form azotu (azotanowej i amonowej) w warstwie gleby 0–30 jak i 30–60 cm stwierdzono w miarę wzrostu dawki azotu od 0 do 200 kg·ha⁻¹. Przeważającą formę azotu mineralnego w glebie stanowiły jony azotanowe, co było potwierdzeniem wcześniejszych badań (Trawczyński, 2001). Większą zawartość obu form azotu mineralnego stwierdzono w warstwie gleby 0–30 cm niż w warstwie 30–60 cm. Stwierdzono również zróżnicowaną zawartość mineralnych form azotu w glebie w zależności od wymagań nawozowych uprawianych odmian (tab. 4 i 5). W przypadku odmiany o małych i średnich wymaganiach w stosunku do azotu zawartość formy azotanowej N-NO₃ w warstwie gleby 0–30 cm po zbiorze bulw stanowiła ponad 30 kg·ha⁻¹, zaś na głębokości 30–60 cm około 20 kg·ha⁻¹. Natomiast w przypadku odmiany o dużych wymaganiach zawartość formy azotanowej w glebie była o około 50 % mniejsza (tab. 4). Mniejsze różnice pomiędzy badanymi odmianami wykazano w odniesieniu do zawartości amonowej formy azotu mineralnego w glebie, szczególnie w warstwie 30–60 cm (tab. 5). Zawartość azotu mineralnego w glebie (0–60 cm) po zbiorze bulw w odniesieniu do badanych czynników kształtowała głównie zawartość azotanowej formy tego składnika (tab. 4 i 5). Fotyma i in. (2010) zwracając uwagę na większą zawartość azotanowej formy azotu mineralnego niż amonowej w glebie stwierdzili, że jony azotanowe są bardziej labilne niż amonowe, stąd w ocenie środowiskowych skutków nawożenia szczególną uwagę należy zwracać na zawartość tej formy azotu. Według Fotymy (2000) oraz Fotymy i in. (2004) zawartości azotanowej formy azotu (N-NO₃) w glebie lekkiej w warstwie 0–30 cm wynoszące do 31 kg·ha⁻¹ oraz około 16–17 kg·ha⁻¹ w warstwie 30–60 cm uznawane są

za bezpieczne, czyli wyklucza się potencjalne zagrożenie zanieczyszczenia wód gruntowych nadmiarem azotanów.

Tabela 4

Zawartość formy azotanowej N-NO₃ (kg·ha⁻¹) w glebie po zbiorze bulw w zależności od nawożenia azotem, odmiany i lat badań
Content of nitrate form N-NO₃ (kg·ha⁻¹) in the soil after harvest of tubers depending on the nitrogen fertilization, cultivar and study years

Dawka N i lata N dose and years	Odmiana — Cultivar			Średnia Mean
	Asterix	Wiking	Maryna	
Warstwa gleby 0–30 cm — Soil layer 0–30 cm				
0	12,4	14,2	6,8	11,1
50	16,5	18,8	9,0	14,7
100	28,2	29,5	9,7	22,5
150	40,4	53,2	22,7	38,8
200	68,6	72,7	25,8	55,7
Średnia — Mean	33,2	37,7	14,8	
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	4,0			6,0
2007	48,6	51,2	30,0	43,3
2008	28,2	47,1	7,1	27,5
2009	22,8	14,7	7,3	14,9
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}				4,0
Warstwa gleby 30–60 cm — Soil layer 30–60 cm				
0	8,7	13,2	6,2	9,4
50	12,3	14,8	8,1	11,7
100	16,0	20,8	9,9	15,6
150	24,0	26,3	11,8	20,7
200	29,0	31,8	14,4	25,1
Średnia — Mean	18,0	21,4	10,1	
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	1,6			2,4
2007	25,3	29,2	17,6	24,0
2008	15,8	22,8	6,2	14,9
2009	13,0	12,0	6,4	10,5
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}				1,6
Warstwa gleby 0–60 cm — Soil layer 0–60 cm				
0	21,2	27,4	13,0	20,5
50	28,8	33,6	17,1	26,5
100	44,3	50,4	19,6	38,1
150	64,4	79,6	34,5	59,5
200	97,7	104,6	40,3	80,9
Średnia — Mean	51,3	59,1	24,9	
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	7,4			11,2
2007	74,0	80,5	47,7	67,4
2008	44,1	70,0	13,3	42,5
2009	35,8	26,8	13,7	25,5
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}				7,4

Wyniki uzyskane w niniejszych badaniach wskazują, że w warstwie gleby 0–30 cm w przypadku odmiany o dużych wymaganiach nawet przy największej dawce azotu nie stwierdzono ilości azotu azotanowego wskazanej przez Fotymę i in. (2004). Natomiast w przypadku odmian o małych i średnich wymaganiach zawartość formy azotanowej w warstwie gleby 0–30 cm po zastosowaniu dawki 100 kg N·ha⁻¹ była zbliżona do granicznej, a po zastosowaniu dawki 150 kg N·ha⁻¹ znacznie już tę zawartość przekraczała (tab. 4).

Tabela 5

Zawartość formy amonowej N-NH₄ (kg·ha⁻¹) w glebie po zbiorze bulw w zależności od nawożenia azotem, odmiany i lat badań

Content of ammonium form N-NH₄ (kg·ha⁻¹) in the soil after harvest of tubers depending on the nitrogen fertilization, cultivar and study years

Dawka N i lata N dose and years	Odmiana — Cultivar			Średnia Mean
	Asterix	Wiking	Maryna	
Warstwa gleby 0–30cm — Soil layer 0–30cm				
0	6,6	7,0	5,8	6,4
50	7,6	8,3	7,0	7,6
100	9,3	9,2	8,4	9,0
150	10,8	12,5	9,2	10,8
200	12,2	13,2	10,5	12,0
Średnia — Mean	9,3	10,0	8,2	
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	0,7			1,0
2007	12,3	13,8	11,9	12,7
2008	7,8	8,5	6,1	7,5
2009	7,8	7,7	6,4	7,3
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}				0,7
Warstwa gleby 30–60cm — Soil layer 30–60cm				
0	6,1	6,9	6,4	6,5
50	7,2	7,3	7,4	7,3
100	8,3	8,0	8,7	8,3
150	9,8	8,6	9,5	9,3
200	10,4	10,5	10,4	10,4
Średnia — Mean	8,3	8,3	8,5	
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	0,4			0,7
2007	11,2	12,0	11,1	11,4
2008	6,9	6,4	7,3	6,9
2009	6,9	6,4	7,1	6,8
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}				0,4
Warstwa gleby 0–60cm — Soil layer 0–60cm				
0	12,7	13,9	12,2	12,9
50	14,8	15,6	14,4	15,0
100	17,7	17,3	17,1	17,4
150	20,6	21,2	18,8	20,2
200	22,7	23,7	21,0	22,5
Średnia — Mean	17,7	18,4	16,7	
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	1,0			1,5
2007	23,6	25,9	23,1	24,2
2008	14,7	15,0	13,4	14,4
2009	14,7	14,1	13,6	14,2
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}				1,0

Z kolei zawartość formy azotanowej w warstwie gleby 30–60 cm już po zastosowaniu dawki 100 kg N·ha⁻¹ w odniesieniu do odmiany o małych i średnich wymaganiach była graniczną lub przewyższała przeciętną zawartość tej formy ustaloną dla gleby lekkiej, czego nie stwierdzono w przypadku odmiany o dużych wymaganiach względem azotu (tab. 4). Na podstawie sumarycznej zawartości azotanowej formy azotu mineralnego w glebie do głębokości 60 cm wynikało, że z uwagi na bezpieczeństwo środowiska glebowego uzasadnione było zastosowanie dawki około 100 kg N·ha⁻¹ w przypadku odmiany o małych i średnich wymaganiach oraz większej dawki azotu w odniesieniu do odmiany o dużych wymaganiach (tab. 4). Müller i Gorlitz (1990) z uwagi na niebezpieczeństwo nadmiernej

ilości azotu mineralnego w glebie po zbiorach wykazali, że przeciętna zawartość jesienią (koniec listopada) dla gleby lekkiej do głębokości 60 cm wynosi $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. W badaniach własnych zawartość azotu mineralnego po zakończeniu wegetacji roślin na obiekcie z dawką $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ w przypadku odmiany o małych i średnich wymaganiach stanowiła odpowiednio 85 i $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, zaś w stosunku do odmiany o dużych wymaganiach była znacznie mniejsza — $53 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 6). Łabętowicz (1995) oraz Fotyma i in. (1999) wykazali, że po zakończeniu wegetacji roślin zawartość azotu mineralnego w glebie może ulec znacznemu wzrostowi w porównaniu do stanu z okresu przed rozpoczęciem ich wegetacji, co należy wiązać z niepełnym wykorzystaniem przez rośliny azotu z zastosowanych nawozów mineralnych oraz mineralizacji substancji organicznej z nawozów naturalnych czy organicznych zachodzącej po zbiorze. Ciećko i in. (1996) oraz Fotyma i in. (1998) potwierdzili, że zawartość N-mineralnego w glebie po zakończeniu wegetacji roślin wzrasta szczególnie w miarę wzrostu zastosowanych dawek azotu.

Tabela 6

Zawartość azotu mineralnego $\text{N-NO}_3 + \text{N-NH}_4$ ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) w glebie po zbiorze bulw w zależności od nawożenia azotem, odmiany i lat badań
Content of mineral nitrogen $\text{N-NO}_3 + \text{N-NH}_4$ ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) in the soil after harvest of tubers depending on the nitrogen fertilization, cultivar and study years

Dawka N i lata N dose and years	Odmiana — Cultivar			Średnia Mean
	Asterix	Wiking	Maryna	
Warstwa gleby 0–60cm — Soil layer 0–60cm				
0	33,9	41,3	25,3	33,5
50	43,7	49,3	31,6	41,5
100	62,0	67,7	36,7	55,5
150	85,1	100,8	53,4	79,8
200	120,5	128,4	61,3	103,4
Średnia — Mean	69,0	77,5	41,6	
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}		7,5		11,4
2007	97,6	106,4	70,7	91,6
2008	58,9	85,1	26,8	56,9
2009	50,6	41,0	27,4	39,7
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}				7,5

W obecnie podsumowywanych badaniach próby do oceny zawartości azotu mineralnego pobierano w końcu września, stąd należy oczekiwać, że na skutek braku pobierania azotu przez rośliny oraz mineralizacji azotu organicznego (do końca listopada) znacznemu zwiększeniu ulec może zawartość tego składnika w glebie. Müller i Górlitz (1990) sugerują, aby podejmować odpowiednie kroki zmierzające do obniżenia N-mineralnego w glebie poprzez wysiew poplonów lub uprawę roślin ozimych. W badaniach potwierdzono, że podobnie jak na podstawie zawartości azotanowej formy, tak i w przypadku całkowitej zawartości azotu mineralnego uzasadnione było zastosowanie dawki azotu około $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ dla odmiany o małych i średnich wymaganiach. W przypadku odmiany o dużych wymaganiach, pomimo że nie zanotowano przekroczenia granicznych (bezpiecznych) zawartości azotu mineralnego w glebie, zarówno formy

azotanowej jak i całkowitej, do dawki $200 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, to jednak z uwagi na uzyskany plon bulw uzasadnione było zastosowanie dawki do $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Istotne zróżnicowanie ilości mineralnych form azotu w glebie stwierdzono również w stosunku do analizowanych lat badań (tab. 4, 5, 6). W pierwszym roku badań (2007) najbardziej niesprzyjającym kumulacji plonu bulw stwierdzono największą zawartość azotu mineralnego w glebie po ich zbiorze. Drugi (2008) i trzeci (2009) rok badań były bardziej sprzyjające gromadzeniu plonu bulw niż pierwszy rok, co prawdopodobnie bezpośrednio związane było z większym pobraniem azotu z gleby, a tym samym mniejszą ilością azotu mineralnego pozostającego w glebie po zakończeniu wegetacji ziemniaka. Ponadto wykazano, że w drugim roku badań wystąpił większy niedobór opadów i temperatury powietrza niższe były w miesiącach: czerwiec, lipiec i sierpień w porównaniu do trzeciego roku. Mogło to wpłynąć na mniejsze przemieszczenie azotu mineralnego, szczególnie formy azotanowej do głębszych warstw gleby i pomimo uzyskania średnio większego plonu w 2008 roku wykazano większą zawartość azotu mineralnego w glebie niż w 2009 roku. Niniejsze badania w tym aspekcie były potwierdzeniem wcześniejszych badań własnych, w których wykazano, że układ warunków pogodowych w głównych miesiącach wegetacji roślin ziemniaka, a szczególnie ilość opadów deszczu decydowały w istotny sposób o poziomie azotu mineralnego w glebie oznaczonego jesienią (Trawczyński, 2001).

WNIOSKI

1. Zawartość azotu mineralnego w glebie była istotnie zróżnicowana w zależności od wymagań nawozowych odmian, poziomu nawożenia azotem i badanych lat.
2. Istotnie mniejszą zawartość azotu mineralnego w glebie stwierdzono uprawiając odmianę o dużych wymaganiach w porównaniu do odmian o małych i średnich wymaganiach w stosunku do tego składnika.
3. W przypadku odmiany o małych i średnich wymaganiach zastosowanie dawki azotu powyżej $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ spowodowało przekroczenie bezpiecznej zawartości N-mineralnego w glebie.
4. W przypadku odmiany o dużych wymaganiach nie stwierdzono przekroczenia ustalonej dla gleby lekkiej bezpiecznej zawartości azotu mineralnego do dawki $200 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, ale uzyskana wielkość plonu bulw uzasadniała zastosowanie dawki do $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$.
5. W drugim (2008) i trzecim (2009) roku badań w warunkach pogodowych, sprzyjających kumulacji plonu bulw, stwierdzono istotnie mniejszą zawartość azotu mineralnego w glebie niż w roku o mniej sprzyjających warunkach (2007).

LITERATURA

- Ciećko Z., Wyszkowski M., Szagała J. 1996. Wpływ 4-letniego stosowania mineralnych nawozów azotowych na zawartość N-NO_3 i N-NH_4 w glebach. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. 440: 27 — 33.
- Fotyma E. 1996. Zastosowanie metody N_{min} do oceny środowiskowych skutków nawożenia azotem. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 440: 89 — 100.

- Fotyma E., Wilkos G., Pietruch Cz. 1998. Test glebowy azotu mineralnego — możliwości praktycznego wykorzystania. Mat. szkol. 69/98: ss. 48.
- Fotyma M., Fotyma E., Stuczyński T. 1999. Wykorzystanie wyników analiz chemicznych w doradztwie nawozowym i ochronie środowiska. Nawozy i Nawożenie 1: 44 — 58.
- Fotyma E. 2000. Zasady nawożenia azotem z wykorzystaniem testów glebowych i roślinnych. Nawozy i Nawożenie 3a: 17 — 37.
- Fotyma E., Fotyma M., Pietruch C. 2004. Zawartość azotu mineralnego w glebach gruntów ornych w Polsce. Nawozy i Nawożenie 3: 11 — 54.
- Fotyma E., Fotyma M. 2006. Normatywy zawartości azotu mineralnego w glebie i stężeń azotanów w roztworze glebowym gleb gruntów ornych w Polsce. Nawozy i Nawożenie 1: 44 — 56.
- Fotyma M. 2009. Monitoring of Nmin content in soil of Poland. Nawozy i Nawożenie 37: 108 — 128.
- Fotyma M., Kęsik K., Pietruch Cz. 2010. Azot mineralny w glebach jako wskaźnik potrzeb nawozowych roślin i stanu czystości wód glebowo-gruntowych. Nawozy i Nawożenie 38. 5 — 83.
- Jabłoński K. 2004. Wpływ nawożenia azotowego na plon i jakość nowych odmian ziemniaka jadalnego uprawianych na glebach średnio zwięzłych. Biul. IHAR 232: 157 — 165.
- Jabłoński K. 2006. Wpływ poziomu nawożenia azotem na plon i zawartość skrobi oraz na jakość nowych odmian ziemniaka. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. z. 512: 193 — 200.
- Jadczyszyn T., Pietruch Cz., Lipiński W. 2010. Monitoring zawartości azotu mineralnego w glebach Polski w latach 2007–2009. Nawozy i Nawożenie 38. 84 — 110.
- Łabętowicz J. 1995. Skład chemiczny roztworu glebowego w zróżnicowanych warunkach nawożenia. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. 421a: 245 — 251.
- Müller S., Gorlitz H. 1990. Wykorzystanie metody Nmin w NRD. Fragm.. Agronom.1: 23 — 35.
- Trawczyński C. 2001. Wpływ opadów oraz zróżnicowanego nawożenia ziemniaka azotem na zawartość N-mineralnego w glebie. Biul. IHAR 217: 177 — 185.
- Trawczyński C. 2004. Zależność między dawką azotu a plonem odmian ziemniaka. Biul. IHAR 232: 131 — 140.
- Trawczyński C. 2007. Reakcja kilku nowych odmian ziemniaka na nawożenie azotem. Biul. IHAR 246: 73 — 81.
- Trawczyński C. 2008. Reakcja nowych odmian ziemniaka na nawożenie azotem. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. z. 530: 187 — 196.
- Trawczyński C. 2010. Reakcja nowych odmian ziemniaka uprawianych na glebach lekkich na nawożenie azotem. Ziemniak Polski nr 1: 24 — 27.
- Trawczyński C., Wierzbicka A. 2011. Reakcja nowych odmian ziemniaka na nawożenie azotem. Biul. IHAR 259/2011: 193 — 201.
- Vos J., Mackerron D. K. L. 2000. Basic concepts of the management of supply of nitrogen and water in potato production in: Management of nitrogen and water in potato production. Haverkort A. J., Mackerron D. K. L. (eds). Wageningen Press, Wageningen: 136 — 154.
- Wierzejska-Bujakowska A. 1996. Maksymalne biologicznie dawki azotu dla 22 odmian ziemniaka i ich zmiana pod wpływem ochrony przed zarazą ziemniaka (*Phytophthora infestans* (Mont) de Bary). Biul. Inst. Ziem. 46: 51 — 62.

MICHAŁ KOSTIW¹**KAZIMIERZ JABŁOŃSKI**²¹ Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Nasiennictwa i Ochrony Ziemiaka w Boninie² Politechnika Koszalińska w Koszalinie

Wpływ nawożenia azotem na plon i jakość bulw odmian jadalnych ziemniaka uprawianych na glebie średniej

The impact of nitrogen fertilization on the tuber yield and quality of table potato varieties cultivated on medium soil

Badania przeprowadzono w Boninie k. Koszalina na północy Polski w latach 2008–2010 na glebie średnio-zwężłej. Ich celem było określenie wpływu różnych dawek nawożenia azotem na plon bulw w tym plon frakcji sadzeniaków, plon skrobi oraz niektóre cechy jakości bulw trzech nowych odmian jadalnych ziemniaka (Promyk, Tetyda, Wiarus). Wszystkie należą do grupy odmian średnio wczesnych i wszystkie były wpisane do krajowego rejestru w 2008r. W badaniach zastosowano 4 poziomy nawożenia: 40; 80; 120 i 160 kg N·ha⁻¹. Odmiana Tetyda (odznaczała się najwyższym potencjałem plonotwórczym. Uzyskany średni (ze wszystkich stosowanych poziomów nawożenia) plon ogólny, handlowy i plon bulw dużych wyniósł odpowiednio 55,5; 52,8 i 43,1 t·ha⁻¹ i był istotnie wyższy niż plon bulw odm. Promyk (odpowiednio: 41,8; 36,8 i 22,9 t·ha⁻¹) i Wiarus (odpowiednio 41,4; 39,3 i 32,2 t·ha⁻¹). Najwyższy plon frakcji sadzeniaków o kalibrze 30-50 mm wydała odm. Promyk. Wyniósł on średnio 18,4 t·ha⁻¹ i był istotnie wyższy niż plon sadzeniaków odm. Tetyda (średnio 12,0 t·ha⁻¹) i Wiarus (zaledwie 8,9 t·ha⁻¹). Najniższym plonem skrobi charakteryzowała się odm. Promyk (średnio 5,85 t·ha⁻¹). Był on istotnie niższy niż u odm. Tetyda (7,16 t·ha⁻¹) i Wiarus (6,29 t·ha⁻¹). Odmiany Promyk i Wiarus dla wytworzenia maksymalnego plonu bulw na jednakowym poziomie wynoszącym 47,9 t·ha⁻¹, potrzebowały różnych dawek N. Wyższej dawki (127 kg N·ha⁻¹) wymagała odmiana Wiarus, a niższej o 14 kg N·ha⁻¹ odmiana Promyk (113 kg N·ha⁻¹). Z kolei zapotrzebowanie roślin odmiany Tetyda dla uzyskania maksymalnego plonu bulw na poziomie 65 t·ha⁻¹ wyniosło 133 kg N·ha⁻¹. Poziom nawożenia N nie miał istotnego wpływu na ubytki bulw spowodowane parowaniem, kiełkowaniem i gniciem (razem) podczas długotrwałego przechowywania ani na udział bulw z objawami pustowości.

Słowa kluczowe: jakość bulw, nawożenie N, plon, ziemniak

The study was conducted in the northern region of Poland (Bonin near Koszalin) during years 2008–2010 on medium-heavy soil. The aim of the study was to determine the impact of four doses of nitrogen fertilization (40, 80, 120 and 160 kg N·ha⁻¹) on tuber yield, including total, marketable, large

tubers and seed tubers yield classes for three new varieties of table potatoes (Promyk, Tetyda, Wiarus). All of them are classified as mid-early cultivars and all were registered in 2008 into Polish national List of Agricultural Plant Varieties. Fertilizer influence on starch yield and some quality features was also evaluated. The highest yield was observed for variety Tetyda. The average (from all levels of applied fertilizer), total, marketable and large tuber yields were respectively: 55.5, 52.8 and 43.1 t·ha⁻¹ for this variety and were significantly higher than for variety Promyk (respectively: 41.8, 36, 8 and 22.9 t·ha⁻¹) and Wiarus (respectively 41.4; 39.3 and 32.2 t·ha⁻¹). In the class of seed yield (size 30-50 mm) highest yield was produced by variety Promyk. It amounted to an average of 18.4 t·ha⁻¹ and was significantly higher than for Tetyda (12.0 t·ha⁻¹) and Wiarus (8.9 t·ha⁻¹). The lowest yield of starch was observed for variety Promyk (average 5.85 t·ha⁻¹). It was significantly lower than for the variety Tetyda (7.16 t·ha⁻¹) and Wiarus (6.29 t·ha⁻¹). Different doses of nitrogen fertilization were needed by varieties Promyk (113 kg N·ha⁻¹) and Wiarus (127 kg N·ha⁻¹) to produce similar maximum yield of tubers (47.9 t·ha⁻¹). The variety Tetyda needed 133 kg N·ha⁻¹ to produce maximum tuber yield (65 t·ha⁻¹). The dose of nitrogen fertilization had no significant effect on the losses due to evaporation, rot and sprouting (counted together) and the number of tubers with hollow centre.

Key words: fertilization N, potato, tuber quality, yield

WSTĘP

Azot należy do najważniejszych nawozów mineralnych wpływających na plonowanie ziemniaka, cechy jakości bulw oraz ich trwałość przechowalniczą. Wyniki licznych badań przeprowadzonych w warunkach Polski (Wierzejska-Bujakowska i in., 1973; Mazur i in., 1987; Kaczorek, Wierzejska-Bujakowska, 1988; Wierzejska-Bujakowska, 1994; Jabłoński, 1996, 2004; Trawczyński, 2001, 2007; Trawczyński, Wierzbicka 2011) wykazały, że reakcja odmian na nawożenie tym nawozem jest zróżnicowana oraz, że efektywność wykorzystania azotu przez rośliny zależy od wielu czynników, m.in. warunków glebowych, czynników agrotechnicznych i atmosferycznych (Lis i in., 2002; Jabłoński, 2004; Wierzbicka, Trawczyński, 2011). Wśród badaczy panuje zgodny pogląd, że ocenę reakcji na azot należy odnosić do poszczególnych genotypów ziemniaka. Zatem nie jest uzasadnione merytorycznie, aby informacje uzyskane dla określonych odmian mogły być odnoszone do innych odmian tej rośliny, jeszcze nie ocenianych. Znajomość wzajemnych zależności ma duże znaczenie praktyczne zarówno w produkcji ziemniaka towarowego jak i sadzeniaków.

Celem badań było określenie wpływu różnych dawek nawożenia azotem na plon bulw, w tym plon frakcji sadzeniaków, plon i zawartość skrobi oraz niektóre cechy jakości bulw trzech odmian jadalnych ziemniaka: Promyk, Tetyda i Wiarus.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w latach 2008–2010 w Boninie woj. zachodniopomorskie na glebie średnio żyznej kompleksu żyniego dobrego. Odczyn gleby był lekko kwaśny. Wartość pH w KCl kształtowała się na poziomie 5,9 w 2008 r. oraz 5,8 w latach 2009 i 2010. Oceniano trzy średnio wczesne odmiany ziemniaka: Promyk, Tetyda i Wiarus wpisane do krajowego rejestru w 2008 r. Ich okres wegetacji wynosi 110–120 dni. Odmiana Promyk wytwarza bulwy duże, a odmiany Tetyda i Wiarus — bardzo duże. Decyzją Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych, odmiana Wiarus

została skreślona z krajowego rejestru w 2012 r. Przyczyną skreślenia był niezadowalający smak, określany jako przeciętny lub najwyżej dość dobry (ocena 6,5 w skali 9-stopniowej).

Doświadczenie założono metodą losowanych podbloków w 4 powtórzeniach. Podblokami I rzędu były 4 poziomy nawożenia azotem: 40; 80; 120 i 160 kg N·ha⁻¹, natomiast podbloki II rzędu stanowiły odm. ziemniaka. We wszystkich latach przedplonem było zboże ozime. Po zbiorze zboża i słomy wykonano podorywkę, a następnie wysiano poplon gorczycy w dawce 20 kg·ha⁻¹. W zaawansowanym stadium kwitnienia gorczycę przyorano stosując orkę przedzimową na pełną głębokość warstwy ornej. Wczesną wiosną następnego roku (początek kwietnia) wysiano nawóz fosforowo-potasowy i potasowy. Był to Lubofos PK 12:20 w dawce 900 kg·ha⁻¹ (108 kg P₂O₅ i 180 kg K₂O₅·ha⁻¹). Nawóz dwukrotnie wymieszano z glebą przy użyciu agregatu uprawowego na głębokość 12–15 cm. Nawóz azotowy (mocznik 46% N) zastosowano w dwóch terminach. W pierwszym terminie, na kilka dni przed sadzeniem ziemniaków, wysiano dawki podstawowe 40 i 80 kg·ha⁻¹, zależnie od kombinacji, a w drugim terminie dawki uzupełniające do 120 i 160 kg N·ha⁻¹, zależnie od kombinacji. Wysiano je pod ostatnie obsypywanie, czyli tuż przed wschodami roślin.

Sadzenie ziemniaków odbywało się każdego roku w III dekadzie kwietnia w rozstawie międzyrzędzi 75×30 cm. W okresie do pełni wschodów roślin stosowano wyłącznie pielęgnację mechaniczną pola przy użyciu obsypnika. Tuż przed wschodami przeprowadzono ostatnie obsypywanie z jednoczesnym formowaniem redlin, a bezpośrednio po tym zabiegu wykonano opryskiwanie poletek herbicydami (w 2008 r. był to Linurex 50WP w dawce 3 kg·ha⁻¹, a w latach 2009 i 2010 zastosowano Plateen 41,5 WG w dawce 2 kg·ha⁻¹). Kolejne zabiegi agrotechniczne w okresie wegetacji dotyczyły zwalczania stonki ziemniaczanej (w 2008 r. zastosowano preparat Fastac 100 EC w ilości 0,1 l·ha⁻¹, a w latach 2009 i 2010 Bancol 50 WP w ilości 0,4 l·ha⁻¹). Zarazę ziemniaka zwalczano przemiennie różnymi fungicydami (Acrobat MZ 69 WG; Altima 500 S.C.; Bravo 500 S.C.; Curzate M 72,5 WG; Infinito 687,5 S.C.; Rewus 250 S.C.; Ridomil Gold MZ 68 WG; Tattoo C 750 SG). Liczba zabiegów była jednakowa (6 zabiegów) niezależnie od roku badań.

Zbiór bulw dokonywano kombajnem w II dekadzie września niezależnie od roku badań, określając jednocześnie plon ogólny bulw zebranych z całego poletka (50 roślin). Plon bulw poszczególnych frakcji oceniano w przechowalni, a pomiar zawartości skrobi w bulwach na podstawie 5-kilogramowych próbek z zastosowaniem metody hydrostatycznej (pomiar gęstości bulw ważonych w powietrzu i pod wodą) przeprowadzono w laboratorium. Ten sam materiał wykorzystano w badaniach na zawartość azotanów w bulwach (w mg NO₃·kg⁻¹), zlecając wykonanie prac Stacji Chemiczno Rolniczej. Ocenę pustowatości bulw i rdzawej plamistości miąższu oraz porażenie parchem zwykłym przeprowadzono w laboratorium w październiku na próbce złożonej z 10 bulw dużych o średnicy powyżej 50 mm w 4 powtórzeniach. Z kolei ubytki związane z kiełkowaniem, parowaniem i gniciem bulw po 6-miesięcznym ich przechowywaniu określono w marcu każdego następnego roku licząc od zbioru ziemniaków. Wyniki podano w procentach wagowych.

Wyniki analizowano statystycznie stosując analizę wariancji ANOVA.

WYNIKI I DYSKUSJA

W tabeli 1 przedstawiono dane średnie z lat 2008–2010 dotyczące wpływu różnych dawek nawożenia azotem na plon ogólny i handlowy bulw, plon bulw dużych (powyżej 50 mm) i frakcji sadzeniaków (30–50 mm) oraz zawartość i plon skrobi dla trzech odmian jadalnych ziemniaka (Promyk, Tetyda, Wiarus).

Tabela 1

Wpływ nawożenia azotem na plon bulw i zawartość skrobi trzech odmian ziemniaka. Średnie z lat 2008–2010

Influence of nitrogen fertilization on tuber yield and starch content of three potato cultivars. Mean values for 2008–2010

Odmiana Cultivar	Dawka kg N·ha ⁻¹ N dose kg·ha ⁻¹	Plon ziemniaków (t·ha ⁻¹) — Potato yield (t·ha ⁻¹)					Zawartość skrobi Starch content (%)
		ogólny total	handlowy marketable	sadzeniaków seed (30–50 mm)	bulw dużych big tubers	skrobi starch	
Promyk	40	37,6	32,4	19,3	17,8	5,49	14,6
	80	42,4	36,5	21,4	20,2	5,94	14,0
	120	43,2	38,4	17,3	25,5	5,94	13,8
	160	44,0	39,8	15,7	27,9	6,05	13,8
Średnia — Mean		41,8	36,8	18,4	22,9	5,85	14,0
Tetyda	40	47,8	45,0	12,5	35,0	6,23	13,0
	80	54,7	51,9	14,6	39,6	7,12	12,9
	120	58,1	55,3	10,3	47,3	7,46	12,8
	160	61,2	59,1	10,5	50,5	7,83	12,7
Średnia — Mean		55,5	52,8	12,0	43,1	7,16	12,8
Wiarus	40	36,9	34,9	9,7	27,0	5,70	15,2
	80	40,8	38,5	10,4	30,3	6,25	15,2
	120	42,9	40,9	8,4	34,2	6,45	14,9
	160	44,8	43,1	7,0	37,3	6,76	15,0
Średnia — Mean		41,4	39,3	8,9	32,2	6,29	15,1
NIR _{p=0,05} — LSD _{p=0,05}							
Odmiany — Cultivars		5,8	5,7	3,6	5,0	1,03	0,7
Odmiany × dawki N							
Cultivars × N dose		9,8	9,8	7,2	10,0	1,70	1,2
Średnie dla dawek N — Mean for N doses							
		40,8	37,4	13,8	26,6	5,80	14,2
		46,0	42,3	15,5	30,1	6,44	14,0
		48,1	44,9	12,0	35,7	6,62	13,8
		50,0	47,3	11,1	38,5	6,88	13,8
NIR _{p=0,05} — LSD _{p=0,05}		2,3	3,0	r.n.	5,6	0,31	0,5

r.n. — różnica nieistotna; not significant differences

U wszystkich trzech odmian plon ogólny, handlowy i plon bulw dużych zwiększał się wraz ze wzrostem poziomu nawożenia od 40 do 160 kg N·ha⁻¹, co jest zjawiskiem powszechnym, ponieważ azot jest głównym czynnikiem plonotwórczym. Podobne zależności między nawożeniem azotem a plonem bulw uzyskało wielu innych autorów, np. Roztropowicz (1989); Jabłoński (2005); Trawczyński (2010); Trawczyński, Wierzbicka (2011). W niniejszych badaniach najniższy plon bulw notowano po zastosowaniu dawki 40 kg N·ha⁻¹. Pomimo, że był on niższy niż plon uzyskany dla pozostałych dawek

nawożenia, istotną różnicę zanotowano jedynie u odm. Tetyda w plonie ogólnym bulw, który po zastosowaniu dawki $40 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ wyniósł $47,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ i był istotnie niższy w porównaniu z plonem uzyskanym przy poziomie nawożenia wynoszącym $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($58,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) oraz $160 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($61,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). W odniesieniu do plonu handlowego i plonu bulw dużych po zastosowaniu dawki $40 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ uzyskano u tej odmiany odpowiednio $45,0$ i $35,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, a więc istotnie mniej niż dla dawek: $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (odpowiednio $55,3$ i $47,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) i $160 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (odpowiednio $59,1$ i $50,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Odmiana Tetyda odznaczała się też najwyższym potencjałem plonotwórczym. Uzyskany średni plon ogólny, handlowy i plon bulw dużych wyniósł odpowiednio $55,5$; $52,8$ i $43,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ i był istotnie wyższy niż plon bulw odmiany Promyk (odpowiednio: $41,8$; $36,8$ i $22,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) i Wiarus (odpowiednio $41,4$; $39,3$ i $32,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Dane obrazujące wyniki uśrednione z wszystkich trzech ocenianych odmian i lat badań (tab. 1) wykazały, że najniższy plon ogólny i handlowy bulw stwierdzono przy najniższym poziomie nawożenia wynoszącym $40 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, odpowiednio $40,8$ i $37,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Był on istotnie niższy niż plon uzyskany dla pozostałych, wyższych dawek nawożenia azotem, a mianowicie: 80 ; 120 i $160 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (odpowiednio $46,0$ i $42,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$; $48,1$ i $44,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ oraz $50,0$ i $47,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Różnice w plonie ogólnym i handlowym bulw przy nawożeniu $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (odpowiednio $48,1$ i $44,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) i $160 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (odpowiednio $50,0$ i $47,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) były nieistotne.

Najwyższy plon frakcji sadzeniaków (o kalibrze $30\text{--}50 \text{ mm}$) wydała odmiana Promyk. Wyniósł on średnio $18,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ i był istotnie wyższy niż plon sadzeniaków odmiany Tetyda (średnio $12,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) i Wiarus (zaledwie $8,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Jednak stwierdzone wartości dla dwóch ostatnich odmian nie różniły się istotnie. Uzyskane dane dla poszczególnych odmian wykazały pewną prawidłowość, a mianowicie przy wyższych dawkach azotu (120 i $160 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) uzyskiwano niższy plon frakcji sadzeniaków niż przy dawkach wynoszących 40 i $80 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Jednak różnice nie były istotne. Potwierdzono więc notowaną już wcześniej zależność, że niższe dawki nawożenia azotem zwiększają udział frakcji sadzeniaków w plonie ogólnym, z kolei duży udział bulw dużych jest efektem wysokiego nawożenia tym składnikiem (Grześkiewicz, Wierzejska, 1981; Jabłoński, 1996, 2006, 2012).

Najniższym plonem skrobi charakteryzowała się odmiana Promyk (średnio $5,85 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Był on istotnie niższy niż u odm. Tetyda ($7,16 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) i zbliżony (brak istotnych różnic) do wielkości plonu uzyskanego dla odmiany Wiarus ($6,29 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Wszystkie trzy odmiany ziemniaka różniły się istotnie pod względem zawartości skrobi w bulwach. Jednak u żadnej z nich dawki azotu nie różnicowały istotnie tej zawartości. Średnio (ze wszystkich poziomów nawożenia) najwięcej skrobi zawierały bulwy odmian: Wiarus ($15,1\%$); Promyk ($14,0\%$) i Tetyda ($12,8\%$). Jednocześnie u wszystkich trzech odmian zawartość skrobi w bulwach nieco malała wraz ze wzrostem dawki azotu od 40 do $160 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, co zgodne było z wynikami badań Fotymy i Grześkiewicza (1979); Wierzejskiej-Bujakowskiej (1996); Jabłońskiego (1996, 2005). W innych badaniach Grześkiewicz i Wierzejska (1981) wykazali, że wzrastające dawki azotu, w stosunku do kombinacji bez azotu, powodowały istotny wzrost zawartości skrobi w bulwach.

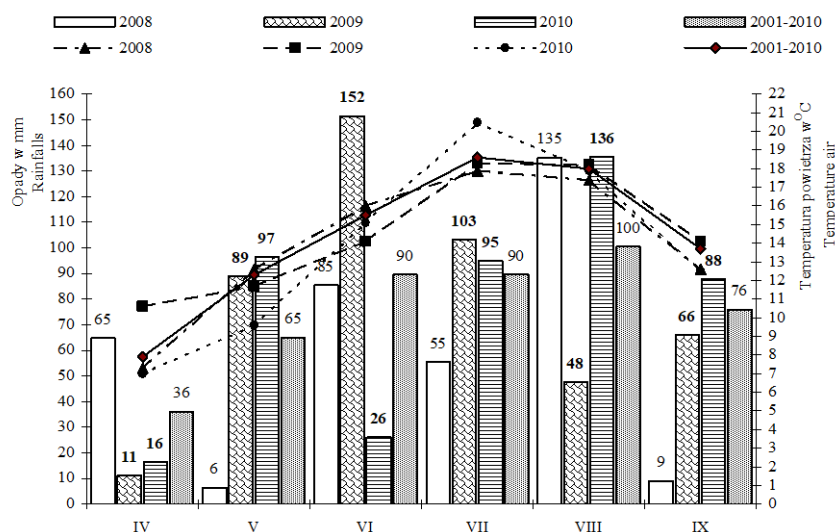
W tabeli 2 podano dawki nawożenia azotem, przy których uzyskano najwyższy plon ogólny bulw w $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Tabela 2

Maksymalny plon ogólny przy optymalnym nawożeniu azotem
Maximum total yield with optimal fertilization

Odmiana Cultivar	2008		2009		2010		Średnia dla odmiany Mean for cultivar	
	średni maksymalny plon t·ha ⁻¹ average maximum yield t·ha ⁻¹	optymalna dawka N kg·ha ⁻¹ optimal N dose kg·ha ⁻¹	średni maksymalny plon t·ha ⁻¹ average maximum yield t·ha ⁻¹	optymalna dawka N kg·ha ⁻¹ optimal N dose kg·ha ⁻¹	średni maksymalny plon t·ha ⁻¹ average maximum yield t·ha ⁻¹	optymalna dawka N kg·ha ⁻¹ optimal N dose kg·ha ⁻¹	średni maksymalny plon t·ha ⁻¹ average maximum yield t·ha ⁻¹	optymalna dawka N kg·ha ⁻¹ optimal N dose kg·ha ⁻¹
Promyk	44,3	130	55,3	110	44,2	100	47,9	113
Tetyda	52,8	150	71,8	130	70,5	120	65,0	133
Wiarus	44,2	140	59,0	100	40,6	140	47,9	127

Dane z lat 2008–2010 wykazały, że odmiany Promyk i Wiarus dla wytworzenia maksymalnego plonu bulw na jednakowym poziomie 47,9 t·ha⁻¹, potrzebowały różnych dawek azotu. Wyższej dawki (127 kg N·ha⁻¹) wymagała odmiana Wiarus, a niższej o 14 kg N·ha⁻¹ — odmiana Promyk (113 kg N·ha⁻¹). Z kolei zapotrzebowanie roślin odmiany Tetyda dla uzyskania maksymalnego plonu bulw na poziomie średnio 65 t·ha⁻¹ wyniosło 133 kg N·ha⁻¹. W poszczególnych latach proporcje między poziomem nawożenia azotem a plonem bulw kształtowały się różnie. Nie zawsze przy najwyższym poziomie nawożenia tym składnikiem uzyskiwano maksymalny plon bulw. Na przykład odmiana Promyk dla wytworzenia plonu o masie wynoszącej 44,3; 55,3 oraz 44,2 t·ha⁻¹ odpowiednio w latach 2008, 2009 i 2010 potrzebowała odpowiednio 130; 110 i 100 kg N·ha⁻¹. Zapotrzebowanie roślin odmian Tetyda, która odznaczała się najwyższym plonowaniem (odpowiednio w latach: 52,8; 71,8 i 70,5 t·ha⁻¹) wyniosło odpowiednio 150; 130 i 120 kg N·ha⁻¹, a odmiany Wiarus dla uzyskania maksymalnego plonu na poziomie 44,2; 59,0 i 40,6 t·ha⁻¹ wyniosło w kolejnych latach odpowiednio 140; 100 i 140 kg N·ha⁻¹. Stwierdzone różnice dowiodły, że odmiany ziemniaka charakteryzują się zróżnicowanymi wymaganiami w stosunku do azotu (Wierzejska-Bujakowska i in., 1973; Mazur i in., 1987; Wierzejska-Bujakowska, 1996). Różna jest też efektywność nawożenia tym składnikiem. Wierzbicka i Trawczyński (2011) oraz Jabłoński (1996, 2012) podają, że współczynnik wykorzystania azotu z nawozów stosowanych doglebowo i zapasów glebowych waha się od 40–65% przy nawożeniu tradycyjnym (rzutowym) do 85% przy nawożeniu rzędowym i nawet do 95% po zastosowaniu nawożenia dolistnego. Z informacji Wierzbickiej i Trawczyńskiego (2011) wynika, że rośliny ziemniaka wykorzystują około połowy z dostarczonej dawki azotu. W tym miejscu należy podkreślić, że współczynnik wykorzystania azotu zależy od wielu czynników. Oprócz czynnika genetycznego (odmiana) wpływ mają warunki siedliska, czynniki agrotechniczne i atmosferyczne. Z analizy przebiegu opadów w sezonie wegetacyjnym w latach badań (rys. 1 i tab. 3) wynika, że głównym, obok nawożenia azotem, czynnikiem wpływającym na wielkość plonu bulw był poziom opadów. Widać to dobrze na przykładzie 2009 r., gdy przy dawce azotu wynoszącej zaledwie 100 kg·ha⁻¹ i wysokim poziomie opadów (89 mm w maju; 152 mm w czerwcu i 103 mm w lipcu), plon bulw odmiany Wiarus wyniósł 59 t·ha⁻¹.



Rys. 1. Opady i temperatura powietrza w okresie wegetacji w latach 2008–2010 na tle danych z wielolecia 2001–2010

Fig. 1. Rainfalls and air temperature in the vegetation periods 2008–2010 compared to mean values for the years 2001–2010

Tabela 3

Opady i temperatura powietrza w okresie wegetacji w latach 2008–2010 na tle danych z wielolecia 2001–2010

Rainfalls and air temperature in the vegetation periods 2008–2010 compared to mean values for the years 2001–2010

Miesiące Months	Lata — Years							
	2008	2009	2010	średnia mean 2001–2010	2008	2009	2010	średnia mean 2001–2010
	opady — rainfalls (mm)				temperatura — temperature (°C)			
IV	64,8	11,2	16,4	36,0	7,3	10,6	7,0	7,9
V	6,4	89,0	96,6	65,0	12,6	11,7	9,6	12,3
VI	85,4	151,6	26,0	89,7	16,0	14,1	15,1	15,5
VII	55,4	103,2	95,0	89,7	17,9	18,3	20,5	18,6
VIII	135,2	47,6	135,6	100,4	17,4	18,2	17,9	18,0
IX	9,0	66,0	87,8	76,0	12,6	14,1	12,5	13,7
Suma — Sum	356,2	468,6	457,4	456,8	x	x	x	x
Średnia — Mean	x	x	x	x	14,0	14,5	13,8	14,3

Jednocześnie zapotrzebowanie roślin tej samej odmiany Wiarus na azot dla wytworzenia znacznie niższego plonu wynoszącego średnio 44,2 i 40,6 t·ha⁻¹ odpowiednio w latach 2008 i 2010 w warunkach mniejszych opadów (szczególnie w 2008 r., kształtujących się na poziomie 6 mm w maju; 85 mm w czerwcu i 55 mm w lipcu, a w 2010 r. na poziomie odpowiednio 97; 26 i 95 mm (rys. 1) — było znacznie większe i wyniosło po 140 kg N·ha⁻¹. Jest to zgodne z informacjami innych autorów, którzy stwierdzili, że w latach

sprzyjających kumulacji plonu bulw stwierdzano wyższe wykorzystanie azotu z nawozu (Lis, Wierzejska-Bujakowska, 2000; Mazurczyk i in., 2005; Trawczyński, 2010).

W tabeli 4 zestawiono wyniki dotyczące wpływu stosowanych dawek nawożenia azotem na ubytki związane z parowaniem, gniciem i kiełkowaniem bulw po 6-miesięcznym ich przechowywaniu oraz na porażenie parchem zwykłym, występowanie wad pustowatości i rdzawej plamistości miąższu.

Tabela 4

Wpływ nawożenia azotem trzech odmian ziemniaka na ubytki naturalne, występowanie wad bulw, porażenie parchem zwykłym i zawartość azotanów w bulwach
Influence of N fertilization of three potato cultivars on natural losses of tubers, the occurrence of hollow tubers, the nitrates content of tubers and tuber infection by common scab

Odmiana Cultivar	Dawka N kg·ha ⁻¹ N doses kg·ha ⁻¹	Ubytki po 6-miesiącach przechowywania (%) Natural losses after 6 months of storage (%)				Procentowy udział bulw z objawami: Percentage content of tubers with symptoms of:			Zawartość azotanów w bulwach (Mg NO ₃ ·kg ⁻¹) Content of nitrates in tubers (Mg NO ₃ ·kg ⁻¹)
		parowanie evaporation	gnicie rotting	kiełkowa- nie sprouting	razem total	parcha zwykłego common scab	brunatnej pustowatości hollow centre	rdzawej plamistości miąższu rust internal spots	
Promyk	40	9,0	3,1	0,3	12,4	0,0	2,5	0,0	96
	80	9,0	3,4	0,3	12,7	0,0	2,7	0,0	-
	120	9,8	2,7	0,3	12,8	0,0	2,8	0,0	150
	160	8,9	3,9	0,4	13,2	0,0	4,0	0,0	-
Średnia — Mean		9,2	3,3	0,3	12,8	0,0	3,0	0,0	123
Tetyda	40	11,7	0,9	0,0	12,6	0,0	0,0	0,0	120
	80	11,5	1,8	0,0	13,3	0,0	4,6	0,9	-
	120	11,0	1,8	0,0	12,8	0,0	7,9	0,0	155
	160	11,3	1,4	0,0	12,7	0,0	1,9	1,1	-
Średnia — Mean		11,4	1,5	0,0	12,8	0,0	3,6	0,5	138
Wiarus	40	12,0	0,8	0,5	13,4	0,1	6,5	0,0	121
	80	10,7	2,1	0,5	13,3	3,3	1,3	0,0	-
	120	11,5	0,6	0,7	12,8	0,2	6,1	0,7	112
	160	12,3	0,9	0,6	13,8	0,1	15,1	0,9	-
Średnia — Mean		11,6	1,1	0,6	13,3	0,9	7,4	0,4	117
NIR _{p=0,05} — LSD _{p=0,05}									
Odmiany — Cultivar		1,9	1,8	0,1	n.i.	*	n.i.	*	-
Odmiany × dawki N Cultivar × N doses		3,2	2,9	0,2	n.i.	*	11,6	*	-

„-” — brak danych — no data

„*” — obliczeń statystycznych nie wykonywano — no statistical calculations were performed

Uwzględniono też zawartość azotanów w bulwach. Ubytki spowodowane parowaniem bulw u odmiany Tetyda i Wiarus były bardzo zbliżone i zgodnie z uzyskanymi wartościami średnimi ze stosowanych poziomów nawożenia, straty wyniosły odpowiednio 11,4 i 11,6% i nie różniły się istotnie. Natomiast istotnie niższe straty stwierdzono u odmiany Promyk (9,2%). Odmiana ta wykazała największe straty z powodu gnicia bulw. Mimo, że nie były one wysokie (średnio 3,3%) okazały się istotnie wyższe niż u odmiany Wiarus (średnio 1,1%) i były na granicy istotności w porównaniu do danych dla odmiany Tetyda (1,5%). Ubytki wynikające z przerostu kiełków po 6-miesięcznym przechowywaniu bulw

wystąpiły tylko u dwóch odmian Promyk i Wiarus, i choć były bardzo niewielkie, (odpowiednio 0,3 i 0,6 procent) różnica między nimi okazała się istotna. U odmiany Tetyda straty spowodowane przerostem kielków w ogóle nie wystąpiły. Poziom nawożenia azotem nie miał istotnego wpływu na ubytki (parowanie, gnicie, kielki razem), niezależnie od odmiany. Straty jakie zanotowano wahały się średnio w zakresie od 12,8 (odm. Promyk i Tetyda) do 13,3% (odm. Wiarus).

Parch zwykły nie stanowił zagrożenia. Chorobę stwierdzono jedynie na bulwach odmiany Wiarus, ale odsetek bulw porażonych był bardzo niewielki i wyniósł średnio zaledwie 0,9%. Na bulwach odmian Promyk i Tetyda symptomów choroby w ogóle nie stwierdzono.

Wada pustowatości bulw wystąpiła u wszystkich trzech odmian. U odmian Promyk i Tetyda udział bulw wadliwych był podobny i wyniósł średnio odpowiednio 3,0% oraz 3,6%. Ponad dwukrotnie większy udział bulw pustowatych stwierdzono u odmiany Wiarus (średnio 7,4%), ale nie był on istotnie większy w porównaniu z wartościami uzyskanymi dla odmian Promyk (3,0%) i Tetyda (3,6%). Ten dość wysoki odsetek bulw pustowatych u odmiany Wiarus (średnio 7,4%) jest efektem liczego ich wystąpienia (15,1%) w kombinacji o najwyższym poziomie nawożenia azotem wynoszącym 160 kg N·ha⁻¹. Poza tym jedynym wynikiem różniącym się wyraźnie od pozostałych danych dla tej odmiany nie wykazano zależności między dawką nawożenia a udziałem bulw z symptomami pustowatości. Świadczą o tym wyniki uzyskane dla pozostałych poziomów nawożenia azotem: 40; 80 i 120 kg N·ha⁻¹. Udział bulw pustowatych wyniósł odpowiednio 6,5; 1,3 i 6,1%. Wada ta w bulwach pozostałych dwóch odmian wystąpiła na poziomie wahającym się w zakresie od 2,5 do 4,0% (odmiana Promyk) i od 0 do 7,9% (odmiana Tetyda) zależnie od dawki nawożenia.

Rdzawa plamistość miąższu wystąpiła jedynie sporadycznie i wyłącznie w bulwach odmian Tetyda oraz Wiarus z odsetkiem bulw wadliwych wynoszącym średnio odpowiednio 0,5 i 0,4%.

Średnia zawartość azotanów w bulwach odmian Promyk, Tetyda i Wiarus wyniosła odpowiednio: 123; 138 i 117 mg NO₃·kg⁻¹ świeżej masy ziemniaków.

WNIOSKI

1. Z trzech ocenianych odmian ziemniaka istotnie wyższym potencjałem plonotwórczym odznaczała się odmiana Tetyda w porównaniu do odmian Promyk i Wiarus.
2. Istotnie wyższą wydajnością w reprodukcji sadzeniaków odznaczała się odmiana Promyk (charakteryzująca się wytwarzaniem bulw dużych) w porównaniu do odmian Tetyda i Wiarus (bulwy bardzo duże).
3. Oceniane odmiany różniły się pod względem zapotrzebowania na azot dla wytworzenia maksymalnego plonu bulw. Najwyższe zapotrzebowanie stwierdzono u odmiany Tetyda, która dla wytworzenia bulw o masie 65,0 t·ha⁻¹ potrzebowała 133 kg N·ha⁻¹, a najniższe u odmiany Promyk (odpowiednio 47,9 t·ha⁻¹ i 113 kg N·ha⁻¹).
4. Poziom nawożenia azotem nie miał istotnego wpływu zarówno na zawartość skrobi w bulwach jak i na ubytki bulw podczas długotrwałego przechowywania.

LITERATURA

- Grześkiewicz H., Wierzejska A. 1981. Wpływ nawadniania i nawożenia azotem na plon i niektóre cechy jakości ziemniaków. Biul. Inst. Ziem. 25: 77 — 93.
- Jabłoński K. 1996. Nawożenie ziemniaków. Fundacja „Rozwój SGGW” Warszawa: 38 — 48.
- Jabłoński K. 2004. Wpływ nawożenia azotowego na plon i jakość nowych odmian ziemniaka jadalnego uprawianych na glebach średnio zwięzłych. Biul. IHAR 232: 157 — 165.
- Jabłoński K. 2006. Technologia uprawy ziemniaków jadalnych i przemysłowych. W: Produkcja ziemniaków pod red. J. Chotkowskiego, Warszawa 2006: 48 — 71.
- Jabłoński K. 2012. Prawidłowe zasady nawożenia ziemniaków. Wieś Jutra 1–2: 34 — 37.
- Kaczorek S., Wierzejska-Bujakowska A. 1988. Wymagania nawozowe 32 odmian ziemniaka. Ziemniak: 45 — 59.
- Lis B., Mazurczyk W., Trawczyński C., Wierzbicka A. 2002. Czynniki ograniczające wykorzystanie azotu przez rośliny ziemniaka, a zagrożenie środowiska. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 489: 165 — 174.
- Lis B., Wierzejska-Bujakowska A. 2000. Wykorzystanie azotu przez jadalne odmiany ziemniaka a ich plonowanie. Biul. IHAR. 213: 87 — 98.
- Mazur T., Ciećko Z., Kreft L. 1987. Wymagania nawozowe 32 odmian ziemniaka. Ziemniak: 45 — 59.
- Mazurczyk W., Wierzbicka A., Wroniak J. 2005. Wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez odmiany wczesne ziemniaka. Fragm. Agronom. XXII nr 1 (85): 512 — 520.
- Roztropowicz S. 1989. Środowiskowe, odmianowe i nawozowe źródło zmienności składu chemicznego bulw ziemniaka. Fragm. Agron. 6 (6): 33 — 75.
- Trawczyński C. 2001. Wpływ rzutowego i rzędowego nawożenia mocznikiem na wysokość plonów i niektóre cechy jakości bulw. Biul. IHAR 220: 221 — 226.
- Trawczyński C. 2007. Reakcja kilku nowych odmian ziemniaka na nawożenie azotem. Biul. IHAR 246: 73 — 81.
- Trawczyński C. 2010. Wykorzystanie azotu przez odmiany ziemniaka o zróżnicowanych wymaganiach w stosunku do tego składnika. Biul. IHAR 256: 133 — 140.
- Trawczyński C., Wierzbicka A. 2011. Reakcja nowych odmian ziemniaka na nawożenie azotem. Biul. IHAR 259: 193 — 2010.
- Wierzbicka A., Trawczyński C. 2011. Czynniki wpływające na pobranie i wykorzystanie azotu przez jadalne i skrobiowe odmiany ziemniaka. Biul. IHAR 259: 203 — 210.
- Wierzejska-Bujakowska A., Fotyma M., Fotyma E. 1973. Wpływ terminu stosowania na efektywność nawożenia ziemniaków azotem. Biul. Inst. Ziemn. 12: 63 — 80.
- Wierzejska-Bujakowska A. 1994. Rola odmian w dążeniu do zwiększenia efektywności nawożenia azotem. W: Makroproblemy produkcji ziemniaka w Polsce w okresie przemian organizacyjno-ekonomicznych. Sesja Naukowa PAN. Inst. Ziemn. Bonin: 48 — 51.
- Wierzejska-Bujakowska A. 1996. Maksymalne biologiczne dawki azotu dla 22 odmian ziemniaka i ich zmiana pod wpływem ochrony przed zarazą ziemniaka (*Phytophthora infestans* (Mont de Bary)). Biul. Inst. Ziemn. 46: 51 — 62.

KRYSTYNA ZARZECKA**MAREK GUGAŁA**

Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny, Siedlce

Wpływ użyźniacza glebowego UGmax na plon ziemniaka i jego strukturę

The effects of soil fertilizer UGmax on yield of potato tubers and its structure

Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2008–2010, a założono je jako dwuczynnikowe metodą losowanych podbloków w trzech powtórzeniach. Celem podjętych badań było określenie wpływu Użyźniacza Glebowego UGmax na plon ogólny bulw, plon bulw dużych i strukturę plonu dwóch odmian ziemniaka jadalnego. Plony bulw zależały istotnie od sposobów stosowania UGmax, od właściwości odmianowych i warunków pogodowych w latach badań. Po zastosowaniu Użyźniacza Glebowego UGmax, w porównaniu z obiektem kontrolnym, uzyskano średni wzrost plonów odpowiednio o 27,2 i 35,3%.

Słowa kluczowe: ziemniak, plon, struktura plonu, użyźniacz glebowy UGmax,

A field experiment was carried out in 2008–2010. The experiment was designed as a two-factor randomized block with three replicates. The research aimed at determination of the effect of soil fertilizer UGmax on the total yield, yield of large tubers and structure of yield of two potato cultivars. The tuber yields largely depended on application of UGmax, cultivar properties and weather conditions in the years of investigations. After applied the soil fertilizer UGmax, as compared to the control object, the obtained yields increased by 27.2 and 35.3%.

Key words: potato, yield, structure of yield, soil fertilizer UGmax

WSTĘP

Wraz z rozwojem intensyfikacji rolnictwa występują uprawy monokulturowe, uproszczenia w uprawie roli, zmniejszone nawożenie organiczne, wprowadzanie nowych odmian, którym towarzyszy zwiększona chemiczna ochrona, następuje pogarszanie właściwości fizycznych, chemicznych i mikrobiologicznych gleby, a w następstwie tego i plonu (Gajewski i in., 2011; Krasowicz i in., 2008; Trawczyński, 2007). Stosowane technologie uprawy roślin powinny uwzględniać aspekty środowiskowe i dbałość o jakość pozyskiwanych surowców i produktów roślinnych oraz pasz (Jabłoński, 2009; Koziara i

in., 2006). W ostatnich latach obserwuje się zainteresowanie i stosowanie w uprawach różnego rodzaju biostymulatorów, efektywnych mikroorganizmów, preparatów i użyźniaczy wzbogacających glebę w próchnicę, poprawiających zdrowotność i odporność roślin na warunki stresowe, ułatwiających pobieranie składników pokarmowych oraz pozwalających na osiąganie dużych, o dobrej jakości plonów (Dobrzański i in., 2008; Gajewski i in., 2010; Piskier, 2006; Trawczyński i Bogdanowicz, 2007).

Celem badań było określenie wpływu Użyźniacza Glebowego UGmax na plonowanie i strukturę plonu dwóch odmian ziemniaka jadalnego.

MATERIAŁ I METODY

Badania polowe przeprowadzono w latach 2008–2010 w Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Zawadach, na glebie typu płowe o składzie granulometrycznym gliny piaszczystej, należącej do kompleksu żytniego bardzo dobrego, klasy bonitacyjnej IVa, o odczynie lekko kwaśnym i kwaśnym (4,81–5,91 pH w 1 n KCl). Zasobność gleby w przyswajalny fosfor była od wysokiej do bardzo wysokiej, potas od niskiej do wysokiej i magnez od niskiej do średniej. Doświadczenie założono metodą losowanych podbloków, w układzie zależnym. Czynnikiem I rzędu były dwie średnio wczesne odmiany ziemniaka jadalnego, a II rzędu — pięć sposobów stosowania Użyźniacza Glebowego UGmax w różnych terminach i dawkach: 1. obiekt kontrolny — bez UGmax, 2. UGmax — przed sadzeniem w dawce $1,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, 3. UGmax — doglebowo, przed sadzeniem $0,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, przy wysokości roślin 10–15 cm i w fazie pąków kwiatowych po $0,25 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, 4. UGmax — przed sadzeniem $1,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, przy wysokości roślin 10–15 cm i w fazie pąków kwiatowych po $0,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, 5. UGmax — przy wysokości roślin 10–15 cm i w fazie pąków kwiatowych po $0,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Użyźniacz rozpuszczano w 300 dm^3 wody w przeliczeniu na 1 ha. Przedplonem ziemniaka było pszenżyto ozime. Jesienią, przed założeniem doświadczenia stosowano obornik w dawce $25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ oraz nawożenie fosforowe $44,0 \text{ kg P}$ i potasowe $124,5 \text{ kg K}$, a wiosną nawożenie azotowe w ilości 100 kg N na 1 ha. Bulwy ziemniaka sadzono w rozstawie rzędów 67,5 cm, co 37 cm w rzędzie, w drugiej dekadzie kwietnia. Przeciw chwastom stosowano mieszaninę herbicydów Command 480 SC $0,2 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ + Afalon Dyspersyjny 450 SC $1,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, 5–7 dni przed wschodami roślin ziemniaka. W okresie wegetacji stosowano ochronę roślin przed stonką ziemniaczaną (Apacz 50 WG, Actara 25 WG) i zarazą ziemniaka (Ridomil Gold MZ 68 WG, Dithane 455 SC). Przed zbiorem doświadczenia ze wszystkich poletek wykopano losowo bulwy z 10 roślin ziemniaka (z wyłączeniem roślin brzeżnych). W próbach tych określono strukturę plonu wyodrębniając frakcje według średnicy poprzecznej: do 35, 36–50, 51–60 i powyżej 60 mm (Rozporządzenie, 2003). Plon ogólny ziemniaka wyliczono na podstawie masy bulw zebranych z powierzchni poletka dodając masę wcześniej pobranych prób, a w plonie bulw dużych uwzględniono frakcje o średnicy powyżej 50 mm. Wyniki badań opracowano statystycznie za pomocą analizy wariancji, a istotność różnic testowano testem Tukeya przy poziomie istotności $p = 0,05$.

Podczas prowadzenia badań panowały zróżnicowane warunki pogodowe (tab. 1). W roku 2008 temperatury powietrza były zbliżone do średnich z okresu wieloletniego.

Opady były większe niż w okresie wieloletnim o 96,2 mm, ale były dobrze rozłożone w poszczególnych miesiącach wegetacji. Był to sezon sprzyjający wzrostowi i rozwojowi roślin ziemniaka oraz jego plonowaniu. W 2009 roku średnia temperatura była wyższa niż w latach 1987–2000, a opady nierównomiernie rozłożone. Rok 2010 był cieplejszy niż poprzednie sezony, a opady były bardzo duże, przekraczały średnią sumę z okresu wieloletniego aż o 184,5 mm, był to sezon mokry.

Tabela 1

Temperatury powietrza i opady w czasie wegetacji ziemniaka w latach 2008–2010
Air temperatures and rainfall in the vegetation period of potato in 2008–2010

Miesiące Months	Temperatury powietrza Air temperatures (°C)				Opady Rainfall (mm)			
	średnia wieloletnia multi-year mean		średnia mean		średnia wieloletnia multi-year mean		suma sum	
	1987–2000	2008	2009	2010	1987–2000	2008	2009	2010
IV	7,8	9,1	10,3	8,9	38,6	28,2	8,1	10,7
V	12,5	12,7	12,9	14,0	44,1	85,6	68,9	93,2
VI	17,2	17,4	15,7	17,4	52,4	49,0	145,2	62,6
VII	19,2	18,4	19,4	21,6	49,8	69,8	26,4	77,0
VIII	18,5	18,5	17,7	19,8	43,0	75,4	80,9	106,3
IX	13,1	12,2	14,6	11,8	47,3	63,4	24,9	109,9
IV–IX	średnia — mean 14,7	14,7	15,1	15,6	suma — sum 275,2	371,4	354,4	459,7

WYNIKI I DYSKUSJA

We współczesnym rolnictwie w coraz większym zakresie wykorzystywane są efektywne mikroorganizmy, biostymulatory oraz użyźniacze glebowe wzbogacające warstwę orną w pożyteczne mikroorganizmy przyspieszające rozkład nawozów naturalnych i organicznych, poprawiające właściwości gleby i dostępność składników pokarmowych dla roślin. Wyniki badań dotyczące oddziaływania różnych preparatów bywają rozbieżne. Kaczmarek i in. (2001) wykazali, że preparat EM-A przygotowany na bazie koncentratu EM-1 powodował wzrost ilości wody dostępnej w glebie dla roślin, Gajewski i in. (2010, 2011) stwierdzili korzystny wpływ tego preparatu na właściwości fizyczne i wodne gleby, a Jakubus i in. (2010), że EM-A zwiększał ilość przyswajalnych form potasu, magnezu, siarki i azotu mineralnego oraz obniżał sumę kationów zasadowych (S) i pojemność sorpcyjną (PWK) w glebie płowej.

Zastosowany w badaniach Użyźniacz Glebowy UGmax spowodował istotny wzrost plonu ogólnego i plonu bulw dużych ziemniaka (tab. 2, 3). Plony te były większe dla wszystkich wariantów aplikacji preparatu w porównaniu do obiektu kontrolnego odpowiednio o 27,2 i 35,3%. Udział plonu bulw dużych w plonie ogólnym był zróżnicowany i kształtował się dla odmian i lat od 71,3 (na obiekcie kontrolnym) do 86,1% przy trzykrotnym stosowaniu Użyźniacza Glebowego UGmax w dawce ogólnej 2,0 dm³·ha⁻¹ (obiekt 4). Trawczyński i Bogdanowicz (2007) uzyskali plon większy o 7,1% w porównaniu z obiektem kontrolnym, Jabłoński (2009) po zastosowaniu UGmax w dawce 1,0 dm³·ha⁻¹ otrzymał wzrost plonu ogólnego o 12,2%, handlowego o 15,1%, a bulw

dużych o 20,3%, a Frąckowiak-Pawlak (2011) na podstawie wyników z sześciolletnich badań odnotowała 30% przyrost plonu bulw ziemniaka jadalnego. Natomiast Maciejewski i Rębarz (2011) w jednorocznych badaniach stwierdzili, że zastosowanie UGmax nie miało wpływu na elementy plonotwórcze ziemniaka.

Tabela 2

Plon ogólny bulw ziemniaka (t·ha⁻¹)
Total yield of potato tubers (t·ha⁻¹)

Obiekty Objects	Plon ogólny bulw — Total yield					
	odmiany — cultivars		lata — years			średnio mean
	Satina	Tajfun	2008	2009	2010	
Obiekt kontrolny — bez UGmax Control object — without UGmax	29,31	36,92	46,21	26,22	26,92	33,12
UGmax — przed sadzeniem UGmax — before planting	36,64	44,64	58,06	30,89	32,97	40,64
UGmax — przed sadzeniem i 2 razy dolistnie UGmax — before planting and double foliar application	39,81	47,87	58,51	35,34	37,68	43,84
UGmax — przed sadzeniem i 3 razy dolistnie UGmax — before planting and 3 times foliar application	42,78	52,21	62,64	40,34	39,52	47,50
2 razy dolistnie — double foliar treatment	31,53	41,55	50,15	28,86	30,62	36,54
Średnio — Mean	36,01	44,64	55,11	32,33	33,54	40,33
NIR _{0,05} dla: LSD _{0,05} for: lat — years = 2,62						
NIR _{0,05} dla: LSD _{0,05} for: odmian — cultivars = 1,71; UGmax = 3,02						

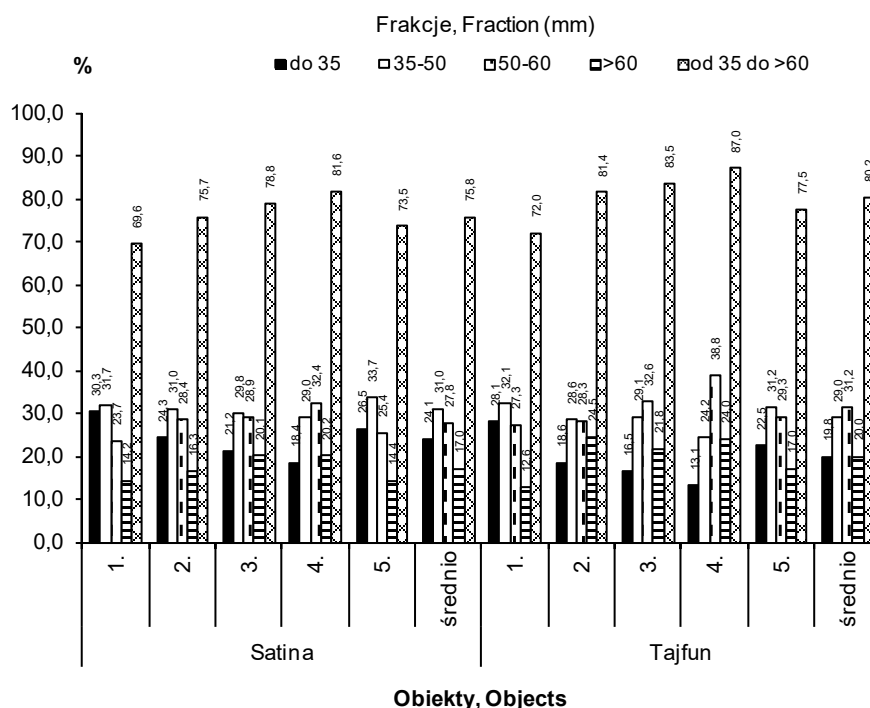
Tabela 3

Plon bulw dużych ziemniaka (t·ha⁻¹)
Large yield of potato tubers (t·ha⁻¹)

Obiekty Objects	Plon bulw dużych — Yield large tubers					
	odmiany — cultivars		lata — years			średnio mean
	Satina	Tajfun	2008	2009	2010	
Obiekt kontrolny — bez UGmax Control object — without UGmax	20,26	27,16	34,62	17,07	19,45	23,71
UGmax — przed sadzeniem UGmax — before planting	26,85	33,84	46,63	21,54	22,87	30,35
UGmax — przed sadzeniem i 2 razy dolistnie UGmax — before planting and double foliar application	30,99	37,45	47,90	25,70	29,06	34,22
UGmax — przed sadzeniem i 3 razy dolistnie UGmax — before planting and 3 times foliar application	34,11	41,16	52,42	29,66	30,83	37,64
2 razy dolistnie — double foliar treatment	21,49	30,67	38,47	19,15	20,62	26,08
Średnio — Mean	26,74	34,06	44,01	22,62	24,57	30,40
NIR _{0,05} dla: LSD _{0,05} for: lat — years = 0,63						
NIR _{0,05} dla: LSD _{0,05} for: odmian — cultivars = 0,41; UGmax = 1,79						
NIR _{0,05} dla: LSD _{0,05} for: interakcji lata × odmiany — interaction years × cultivars = 6,67						
NIR _{0,05} dla: LSD _{0,05} for: interakcji lata × UGmax — interaction years × UGmax = 1,38						

Badania własne wykazały, że plon ogólny i plon bulw zależał także od uprawianych odmian i warunków pogodowych panujących w sezonach wegetacji. Istotnie wyżej

plonowała odmiana Tajfun niż Satina, a najkorzystniejszym dla plonowania ziemniaka był rok 2008, w którym temperatury były zbliżone do średnich z okresu wieloletniego, a opady równomiernie rozłożone w poszczególnych miesiącach wegetacji. Struktura plonu była zróżnicowana pod wpływem stosowania Użyźniacza Glebowego UGmax — największy udział bulw badanych odmian o średnicy powyżej 60 mm i o średnicy od 35 do 60 mm stwierdzono na obiekcie 4., na którym UGmax stosowano trzykrotnie, tj. przed sadzeniem, przy wysokości roślin ziemniaka 10–15 cm i w fazie pąków kwiatowych (rys. 1).



Rys. 1. Procentowy udział liczby frakcji w plonie (średnio dla lat 2008–2010)
Fig. 1. The percentages of particular tuber fractions in the yield (mean for 2008–2010)

Korzystny wpływ Użyźniacza Glebowego na plon (wzrost od 4,5 do 31,8%) i strukturę plonu stwierdził także Bernat (2007). Bernat (2007), Zarzecka i in. (2011) odnotowali także mniejszy udział bulw porażonych chorobami ziemniaka na obiektach, na których stosowano UGmax.

WNIOSKI

1. Użyźniacz Glebowy UGmax zastosowany w różnych dawkach i terminach przyczynił się do zwiększenia plonu ogólnego i plonu bulw dużych ziemniaka średnio o 27,2 i 35,3% w porównaniu do obiektu kontrolnego.

2. Największe plony bulw zebrano z obiektów 3. i 4., na których UGmax stosowano trzykrotnie — przed sadzeniem i dwa razy dolistnie.
3. Po aplikacji UGmax stwierdzono zwiększenie udziału bulw dużych w plonie i poprawę struktury plonu badanych odmian ziemniaka.

LITERATURA

- Bernat E. 2007. Wpływ stosowania Użyźniacza Glebowego na plonowanie i zdrowotność ziemniaków. Mat. Konf. Nauk.-Szkol. nt. Nasiennictwo i ochrona ziemniaka. Kołobrzeg, 19–20 kwietnia: 43 — 46.
- Dobrzański A., Anyszka Z., Elkner K. 2008. Reakcja marchwi na ekstrakty pochodzenia naturalnego z alg z rodzaju *Sargassum* — *Algaminoplant* i z *leonardytu* — *Humiplant*. J. Res. App. Agric. Eng. 53 (3): 53 — 58.
- Frąckowiak-Pawlak K. 2011. Wyniki wieloletnich doświadczeń z UGmax. Poradnik Gospodarski 2: 11.
- Gajewski P., Kaczmarek Z., Mrugalska L. 2010. Wpływ wzrastających dawek preparatu EM-A na właściwości gleb uprawnych. Cz. I. Właściwości fizyczne i wodne. J. Res. App. Agric. Eng. 55 (3): 75 — 87.
- Gajewski P., Kaczmarek Z., Owczarek W., Mrugalska L. 2011. Wpływ efektywnych mikroorganizmów na wybrane właściwości fizyczne i wodne oraz stan struktury poziomu orno-próchniczego gleb mineralnych, przy zróżnicowanej w nich materii organicznej. Cz. II. Stan struktury. J. Res. App. Agric. Eng. 56 (3): 83 — 87.
- Jabłoński K. 2009. Kierunki przewidywanych zmian w technologii produkcji ziemniaka do roku 2020. Studia i Raporty IUNG — PIB 17: 117 — 127.
- Jakubas M., Kaczmarek Z., Gajewski P. 2010. Wpływ wzrastających dawek preparatu EM-A na właściwości gleb uprawnych. Cz. II. Właściwości chemiczne. J. Res. App. Agric. Eng. 55 (3): 128 — 132.
- Kaczmarek Z., Wolna-Maruwka A., Jakubis M. 2008. Zmiany liczebności wybranych grup drobnoustrojów glebowych oraz aktywności enzymatycznej w glebie inokulowanej Efektywnymi Mikroorganizmami (EM). J. Res. App. Agric. Eng. 53 (3): 122 — 125.
- Koziara W., Sulewska H., Panasiewicz K. 2006. Efekty stosowania stymulatorów odporności w wybranych roślinach rolniczych. J. Res. App. Agric. Eng. 51 (2): 82–87.
- Krasowicz S., Smagacz J., Dobosz M. 2008. Produkcyjno — ekonomiczne następstwa stosowania różnych systemów uprawy roli. Roczniki Naukowe Seria X, 3: 342 — 346.
- Maciejewski T., Rębarz K. 2011. Wpływ stosowania UGmax na rozwój i plonowanie ziemniaków i pszenicy ozimej. Doniesienie. Mat. Konf. Nauk.-Szkol. nt. Nasiennictwo i ochrona ziemniaka. Darłówek, 19–20 maja: 35.
- Piskier T. 2006. Reakcja pszenicy jarej na stosowanie biostymulatorów i absorbentów glebowych. J. Res. App. Agric. Eng. 51 (2): 136 — 138.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi w sprawie szczegółowych wymagań w zakresie jakości handlowej ziemniaków. 2003. (Dz. U. nr 194 poz. 1900 z 2003 roku).
- Trawczyński C. 2007. Wykorzystanie Użyźniacza Glebowego w uprawie ziemniaka. Ziemniak Polski, 3: 26 — 29.
- Trawczyński C., Bogdanowicz P. 2007. Wykorzystanie Użyźniacza Glebowego w aspekcie ekologicznej uprawy ziemniaka. J. Res. App. Agric. Eng. 52 (4): 94 — 97.
- Zarzecka K., Gugała M., Milewska A. 2011. Oddziaływanie Użyźniacza Glebowego UGmax na plonowanie ziemniaka i zdrowotność roślin. Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin 51 (1): 153 — 157.

KRYSTYNA ZARZECKA**MAREK GUGAŁA****HONORATA DOŁĘGA**

Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny, Siedlce

Regulacja stopnia zachwaszczenia ziemniaka z zastosowaniem herbicydów

Regulation of weed infestation degree in potato with the use of herbicides

Badania polowe przeprowadzono w latach 2005–2007. Doświadczenie założono jako dwuczynnikowe, metodą losowanych podbloków w trzech powtórzeniach. Badanymi czynnikami były: dwie odmiany ziemniaka — Irga i Balbina i cztery sposoby pielęgnacji z udziałem herbicydów: Plateen 41,5 WG, Racer 250 EC, Sencor 70 WG i obiekt kontrolny — pielęgnacja mechaniczna. Celem badań było określenie wpływu sposobów pielęgnacji ziemniaka na liczbę chwastów i plon handlowy dwóch odmian ziemniaka jadalnego. Najmniejszą liczbę chwastów określono przed zwarciem rzędów i przed zbiorem bulw stwierdzono na obiekcie opryskiwanym herbicydem Sencor 70 WG. Stwierdzono istotne ujemne zależności pomiędzy liczbą chwastów a wielkością plonu bulw.

Słowa kluczowe: herbicydy, plon handlowy, zachwaszczenie, ziemniak

A field experiment was carried out in 2005–2007. The experiment was designed as a two factor randomized block with three replicates. Factors examined in the experiment included two potato cultivars — Irga and Balbina and four weed control methods: application of herbicides: Plateen 41,5 WG, Racer 250 EC, Sencor 70 WG and control object – mechanical weeding. The work was aimed at evaluating the effectiveness of the weed control methods on the number of weeds and assessing their effects on yielding of two cultivars of table potato. The lowest number of weeds before closing of potato rows and before harvest of tubers was noted after treatment performed with the use of herbicide Sencor 70 WG. The results indicated significant negative relationships between the number of weeds and potato tuber yield.

Key words: herbicides, marketable yield, potato, weeds

WSTĘP

Plony bulw ziemniaka kształtują zabiegi agrotechniczne, uprawiane odmiany oraz warunki środowiskowe (Krasowicz i Nowacki, 2005; Rębarz i Borówczak, 2009; Zarzecka i in., 2004). Jednym z ważniejszych czynników ograniczających plonowanie jest

występowanie chwastów w zbiorowiskach pól uprawnych, w tym na polach ziemniaczanych (Gugała i Zarzecka, 2010; Praczyk i Skrzypczak, 2011). Chwasty cechują się największą potencjalną zdolnością do obniżania plonów, bo średnio o 34%, natomiast szkodniki — o 18%, a choroby — średnio o 16% (Fernandez-Quintanilla i in., 2008). Dlatego stosowanie chemicznej ochrony stało się niezbędnym i trwałym elementem w technologiach uprawy roślin rolniczych. Prawdłowo stosowane środki ochrony roślin umożliwiają osiągnięcie wysokich i jakościowo dobrych plonów bez uszczerbku dla chronionej rośliny (Kucharski, 2008).

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu wybranych herbicydów na liczebność chwastów oraz na plon handlowy bulw ziemniaka.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2005–2007 w układzie zależnym split-plot, w trzech powtórzeniach, jako dwuczynnikowe. Czynniki I rzędu stanowiły dwie odmiany ziemniaka jadalnego: Irga i Balbina, a czynnik II rzędu cztery sposoby pielęgnacji:

- pielęgnacja mechaniczna do wschodów i po wschodach roślin ziemniaka — obiekt kontrolny,
- pielęgnacja mechaniczno-chemiczna, tj. obredlanie połączone z bronowaniem i obredlanie, a tuż przed wschodami zastosowano herbicyd Plateen 41,5 WG w ilości $2,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$,
- pielęgnacja mechaniczno-chemiczna, tj. jednokrotne obredlanie i do 10 dni po posadzeniu bulw opryskiwanie herbicydem Racer 250 EC w dawce $3,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$,
- pielęgnacja mechaniczno-chemiczna, tj. obredlanie połączone z bronowaniem i obredlanie, a tuż przed wschodami herbicyd Sencor 70 WG w dawce $1,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Ziemniak uprawiano w stanowisku po pszenżycie ozimym. Jesienią stosowano nawożenie organiczne w postaci obornika w ilości $25,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ i nawożenie mineralne fosforowo-potasowe w ilości 39,6 kg P i 112,1 kg K na 1 ha. Wiosną, przed sadzeniem bulw wysiewano nawozy azotowe w dawce N — $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ziemniaki sadzono w trzeciej dekadzie kwietnia, a zbierano po osiągnięciu dojrzałości technologicznej w trzeciej dekadzie września i pierwszej dekadzie października.

Analizy zachwaszczenia poletek przeprowadzono metodą ramkową w dwóch terminach: 2 tygodnie po zastosowaniu herbicydów (przed zwarciem rzędów ziemniaka) i pod koniec wegetacji rośliny uprawnej (tuż przed zbiorem bulw). Określono liczbę chwastów na powierzchni 1 m^2 . Za plon handlowy przyjęto masę bulw o średnicy powyżej 40 mm oraz bez wad zewnętrznych i wewnętrznych. Wyniki poddano analizie wariancji, porównując średnie przy pomocy testu Tukeya przy poziomie istotności $p = 0,05$.

Warunki pogodowe w latach prowadzenia badań były zmienne (tab. 1). W 2005 roku w czerwcu (pobieranie prób chwastów) było wilgotno, ale chłodno, a w całym okresie wegetacji ziemniaka opady były mniejsze niż w okresie wieloletnim o 74,5 mm. W 2006 roku w czerwcu było mniej opadów, ale temperatury powietrza były wyższe, a podczas wegetacji opady były nierównomiernie rozłożone, a temperatury we wszystkich

miesiącach wyższe niż w latach 1981–1995. W 2007 roku opady były najobfitsze i było najcieplej. Sezon wegetacyjny 2007 roku odznaczał się najkorzystniejszymi warunkami meteorologicznymi — opady były równomiernie rozłożone, a temperatury zbliżone do średnich z wielolecia.

Tabela 1

Warunki meteorologiczne w okresie wegetacji ziemniaka w latach 2005–2007
(Stacja Meteorologiczna Zawady)
Weather conditions in potato vegetation period in the years 2005–2007
(Zawady Meteorological Station)

Lata Years	Miesiące — Months						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV–IX
Opady — Rainfalls (mm)							
2005	12,3	64,7	44,1	86,5	45,4	15,8	268,8
2006	29,8	39,6	24,0	16,2	228,1	20,9	358,6
2007	21,2	59,1	59,0	70,2	31,1	67,6	308,2
Średnia suma z wielolecia Mean sum in 1981–1995	52,3	50,0	68,2	45,7	66,8	60,7	343,7
Temperatura powietrza — Air temperature (°C)							
2005	8,7	13,0	15,9	20,2	17,5	15,0	15,0
2006	8,4	13,6	17,2	22,3	18,0	15,4	15,8
2007	8,6	14,6	18,2	18,9	19,9	13,1	15,4
Średnia z wielolecia Mean for 1981–1995	7,7	10,0	16,1	19,3	18,0	13,0	14,0

WYNIKI I DYSKUSJA

Liczba chwastów oznaczona w początkowym okresie wegetacji ziemniaka, tj. przed zwarcie rzędów, zależała istotnie od sposobów pielęgnacji i warunków pogodowych w latach prowadzenia badań, natomiast przed zbiorem bulw od wszystkich czynników eksperymentu (tab. 2, 3). W pierwszym terminie obserwacji największe zachwaszczenie odnotowano na obiekcie pielęgnowanym wyłącznie mechanicznie, natomiast najmniejsze — ponad dwukrotnie mniejsze — po opryskiwaniu plantacji herbicydem Sencor 70 WG. Również herbicyd Plateen 41,5 WG dobrze ograniczał liczebność chwastów — pod względem skuteczności był homologiczny w porównaniu do preparatu Sencor 70 WG. Najmniej efektywny z chemicznych środków ochrony roślin w ograniczaniu zachwaszczenia okazał się Racer 250 EC. Urbanowicz (2010) zwraca uwagę, że Sencor skutecznie ogranicza zachwaszczenie, ale u wrażliwych odmian powoduje fitotoksyczne uszkodzenia roślin oraz obniżenie plonu bulw ziemniaka. Ciesielska i in. (2011) stwierdzili, że Sencor 600 SC stosowany w mieszaninie z preparatami Titus 25 WG i Trend 90 EC niszczył obecne w łanie gatunki chwastów w 87–99%. Czynnikiem silnie modyfikującym liczebność chwastów były warunki meteorologiczne panujące podczas wegetacji. Największą ich liczbę stwierdzono w 2005 roku, w którym maj i czerwiec były wilgotne i chłodne, a to sprzyjało rozwojowi chwastów. Podobny wpływ warunków pogodowych na zachwaszczenie w początkowym okresie wegetacji obserwowała Sawicka i in. (2011).

Tabela 2

Liczba chwastów przed zwarciem rzędów ziemniaka
Number of weeds before potato row closing

Sposoby pielęgnacji Weed control methods	Liczba chwastów — Number of weeds (szt.·m ⁻²)					średnio mean
	odmiany — cultivars		lata — years			
	Irga	Balbina	2005	2006	2007	
Obiekt kontrolny — Control object	26,0	24,2	39,7	20,5	15,2	25,1
Plateen 41,5 WG	16,2	14,2	26,5	7,5	11,7	15,2
Racer 250 EC	21,9	21,8	32,0	19,7	13,9	21,9
Sencor 70 WG	12,0	10,7	20,7	6,7	6,7	11,4
Średnio — Mean	19,0	17,7	29,8	13,6	11,9	18,4
NIR _{0,05} — LSD _{0,05} dla — for: lat — years = 8,2;						
NIR _{0,05} — LSD _{0,05} dla — for: odmian — cultivars = r.n.-n.s.						
NIR _{0,05} — LSD _{0,05} dla — for: sposobów pielęgnacji — weed control methods = 4,9						

Tabela 3

Liczba chwastów przed zbiorem bulw ziemniaka
Number of weeds before harvest of the potato

Sposoby pielęgnacji Weed control methods	Liczba chwastów — Number of weeds (szt.·m ²)					średnio mean
	odmiany — cultivars		lata — years			
	Irga	Balbina	2005	2006	2007	
Obiekt kontrolny — Control object	51,6	36,9	28,8	52,0	52,0	44,3
Plateen 41,5 WG	28,9	17,2	18,7	31,2	19,3	23,1
Racer 250 EC	41,0	30,1	21,0	42,7	43,0	35,6
Sencor 70 WG	25,1	14,8	17,3	26,7	15,8	19,9
Średnio — Mean	36,7	24,8	21,5	38,2	32,6	30,7
NIR _{0,05} — LSD _{0,05} dla — for: lat — years = 7,7						
NIR _{0,05} — LSD _{0,05} dla — for: odmian — cultivars = 5,0						
NIR _{0,05} — LSD _{0,05} dla — for: sposobów pielęgnacji — weed control methods = 4,9						
NIR _{0,05} — LSD _{0,05} dla — for: interakcji — interaction: lata × odmiany — years × cultivars = 8,7						
NIR _{0,05} — LSD _{0,05} dla — for: interakcji — interaction: lata × sposoby pielęgnacji — years × weed control methods = 8,5						

Średnia liczba chwastów określona przed zbiorem bulw wynosiła 30,7 szt.·m⁻² i była prawie dwukrotnie większa niż przed zwarciem rzędów (tab. 3). Najmniejszą ilość chwastów stwierdzono na obiektach opryskiwanych herbicydami Sencor 70 WG i Plateen 41,5 WG, natomiast istotnie większą po zastosowaniu preparatu Racer 250 EC i zabiegów wyłącznie mechanicznych. Z uprawianych odmian bardziej zachwaszczona była Irga niż Balbina, odmiana o pokroju liściowym i której rośliny były wyższe. Również Sawicka i in. (2011) stwierdzili, że o liczbie chwastów w łanie ziemniaka decydowały właściwości odmianowe.

Układ wyników dotyczący liczby chwastów oznaczonej po zakończeniu wegetacji ziemniaka, w zależności od warunków wilgotnościowo-termicznych, był odmienny niż w trakcie wegetacji. Najmniejsze zachwaszczenie stwierdzono w 2005 roku, który odznaczał się niedostatkiem opadów, a największe w 2006 roku, o nierównomiernie rozłożonych opadach.

Według wielu autorów, stosowanie odpowiednich zabiegów uprawowych i pielęgnacyjnych decyduje o wielkości i jakości plonu ziemniaka (Gawęda, 2008; Krzysztofik i in., 2009; Różyło i Pałys, 2008; Zarzecka i in., 2004). Krasowicz i Nowacki (2005) stwierdzili,

że skuteczna kontrola zachwaszczenia intensyfikuje produkcję ziemniaka, a przy zachwaszczeniu powyżej 4–5 sztuk chwastów na 1 m² pola powinno się stosować system mechaniczno-chemiczny.

W przeprowadzonych badaniach plon handlowy bulw ziemniaka kształtowały istotnie sposoby pielęgnacji, uprawiane odmiany i warunki pogodowe panujące podczas wegetacji (tab. 4). Istotnie większe plony otrzymano z obiektów odchwaszczanych mechaniczno-chemicznie z zastosowaniem herbicydów (obiekty 2, 3, 4) w porównaniu do poletek kontrolnych, pielęgnowanych mechanicznie. Po opryskiwaniu plantacji preparatem Sencor 70 WG plon handlowy ziemniaka był prawie dwukrotnie większy niż na obiekcie kontrolnym, a decydowało o tym głównie zachwaszczenie, które było ściśle skorelowane z plonem bulw. Na obiekcie opryskiwanym herbicydem Plateen 41,5 WG plon był większy w odniesieniu do obiektu kontrolnego średnio o 8,03 t·ha⁻¹, a po zastosowaniu preparatu Racer 250 EC o 3,02 t·ha⁻¹. Obliczone współczynniki korelacji potwierdziły ścisłą zależność liniową pomiędzy plonem handlowym bulw a liczbą chwastów oznaczoną przed zwarcie rzędów ziemniaka ($r = -0,9824$) oraz między plonem bulw a liczbą chwastów określoną w drugim terminie ($r = -0,9993$) (tab. 5). Wskazują one także, że zachwaszczenie określone pod koniec wegetacji było silniej skorelowane z plonem handlowym niż oznaczone przed zwarcie rzędów. Różyło i Pałys (2008) prowadząc badania na glebie lekkiej i ciężkiej wykazali, że na glebie lekkiej wystąpiła ścisła zależność liniowa pomiędzy plonem a liczbą chwastów ogółem, natomiast na glebie ciężkiej — w drugim terminie oceny zachwaszczenia — plon bulw był istotnie ujemnie skorelowany w równym stopniu z powietrznie suchą masą chwastów oraz liczbą chwastów jednoliściennych.

Tabela 4

Plon handlowy bulw ziemniaka (t·ha⁻¹)
The marketable yield of tubers (t·ha⁻¹)

Sposoby pielęgnacji Weed control methods	Plon bulw — Yield of tubers (t·ha ⁻¹)					
	odmiany — cultivars		lata — years			średnio mean
	Irga	Balbina	2005	2006	2007	
Obiekt kontrolny — Control object	10,38	15,71	10,70	12,50	15,94	13,05
Plateen 41,5 WG	18,64	23,51	15,01	16,43	31,80	21,08
Racer 250 EC	14,13	18,00	12,21	14,41	21,58	16,07
Sencor 70 WG	22,29	28,40	18,08	22,14	35,81	25,35
Średnio — Mean	16,36	21,40	14,00	16,37	26,28	18,88
NIR _(0,05) — LSD _(0,05) dla — for: lat — years = 4,16						
NIR _(0,05) — LSD _(0,05) dla — for: odmian — cultivars = 2,71						
NIR _(0,05) — LSD _(0,05) dla — for: sposobów pielęgnacji — weed control methods = 2,67						
NIR _(0,05) — LSD _(0,05) dla — for: interakcji — interaction: lata × sposoby pielęgnacji — years × weed control methods = 2,90						

Z odmian uprawianych w doświadczeniu odmiana Balbina plonowała istotnie wyżej niż Irga. Na istotne różnice odmianowe w zakresie wielkości plonu bulw wskazują prace Krzysztofik i in. (2009), Zarzeckiej i in. (2004) oraz Zarzyńskiej (2010). Zróżnicowaną masę oraz liczebność chwastów w łanie uprawianych odmian obserwowała Sawicka i in. (2011). Autorzy ci zasugerowali, że ocena konkurencyjności istniejących odmian ziemniaka wobec chwastów powinna być włączona jako jedno z kryteriów oceny ich wartości gospodarczej, tak jak to jest w przypadku chorób i szkodników.

Tabela 5

Współczynniki korelacji pomiędzy zachwaszczeniem a plonem ziemniaka
Correlation coefficients between weed infestation and the yield of potato tubers

Elementy zachwaszczenia Elements of weed infestation	Plon handlowy bulw w t z 1 ha The marketable yield of tubers, t per 1 ha
Liczba chwastów na 1 m ² przed zwarciem rzędów Number of weeds per 1 m ² before closing of rows	-0,9824
Liczba chwastów na 1 m ² przed zbiorem bulw Number of weeds per 1 m ² before harvest of tubers	-0,9993

Plonowanie ziemniaka było istotnie zróżnicowane w poszczególnych latach prowadzenia doświadczenia. Największy średni plon handlowy (26,28 t·ha⁻¹) otrzymano w 2007 roku i był on o 60,5% większy niż w 2006 roku i o 87,7% większy od stwierdzonego w roku 2005. Tak duże różnice w plonowaniu wynikały głównie ze zróżnicowanej sumy opadów i ich rozkładu w poszczególnych miesiącach wegetacji. Najkorzystniejszy dla plonowania był sezon 2007 roku, w którym opady były równomiernie rozłożone. O istotnym oddziaływaniu warunków wilgotnościowo-termicznych na plon i jego strukturę donoszą prace Zarzeckiej i in. (2004), Gugąły i Zarzeckiej (2010), Zarzyńskiej (2010). Lahlou i in. (2003) stwierdzili, że susza występująca podczas wegetacji redukowałą plon bulw od 11 do 53%. Zdaniem Kalbarczyka (1999) ziemniak reaguje obniżeniem plonu zarówno przy niedostatecznym jak i nadmiernym uwilgotnieniu gleby w stosunku do potrzeb wodnych ziemniaka, a które według Kalbarczyka i Kalbarczyk (2009) są zróżnicowane w miesiącach gromadzenia plonu i wynoszą w lipcu 90 mm, sierpniu 75 mm i we wrześniu 60 mm.

WNIOSKI

1. Pielęgnacja mechaniczno-chemiczna z zastosowaniem herbicydu Sencor 70 WG najbardziej ograniczała zachwaszczenie na plantacji ziemniaka. Liczba chwastów była około dwukrotnie mniejsza niż na obiekcie kontrolnym pielęgnowanym mechanicznie.
2. Plon handlowy bulw ziemniaka był ściśle skorelowany z liczbą chwastów, a największy zebrano z obiektu najmniej zachwaszczonego, który pielęgnowano do wschodów mechanicznie, a tuż przed wschodami zastosowano Sencor 70 WG.
3. Na wielkość zebranego plonu handlowego istotnie oddziaływały uprawiane odmiany i warunki wilgotnościowo-termiczne podczas wegetacji.

LITERATURA

- Ciesielska A., Wysmulek A., Łęgowski Z. 2011. Skuteczność chwastobójcza herbicydów Sencor 600 SC + Titus 25 WG. Mat. Konf. Nauk.-Szkol. nt. Nasiennictwo i ochrona ziemniaka. Darłówko, 19–20 maja: 56.
- Gugąła M., Zarzecka K. 2010. Zachwaszczenie i plonowanie ziemniaka w zależności od sposobów pielęgnacji. Biul. IHAR 255: 59 — 65.
- Fernandez-Quintanilla C., Quadranti M., Kudsk P., Barberi P. 2008. Which future for weed science? Weed Res. 48: 297 — 301.
- Gawęda D. 2008. Plonowanie ziemniaka w warunkach zróżnicowanej uprawy roli. Acta Agroph. 11 (3): 623 — 632.

- Kalbarczyk R. 1999. Wpływ czynników agrometeorologicznych na plonowanie ziemniaków w województwie lubelskim. Zesz. Nauk. AR w Szczecinie 202, Agricultura 79: 91 — 98.
- Kalbarczyk R., Kalbarczyk E. 2009. Potrzeby i niedobory opadów atmosferycznych w uprawie ziemniaka średnio późnego i późnego w Polsce. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 3: 129 — 140.
- Krasowicz S., Nowacki W. 2005. Wpływ intensywności technologii na efektywność produkcji roślinnej. Pam. Puł. 140: 87 — 102.
- Krzysztofik B., Marks N., Baran D. 2009. Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych na ilościowe cechy plonu bulw ziemniaka. Inżynieria Rolnicza 5 (114): 123 — 129.
- Kucharski J. 2008. Regulacja zachwaszczenia — stan aktualny i potrzeby. Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin 48 (1): 20 — 24.
- Lahlou O., Ouattar S., Ledent J. F. 2003. The effect of drought and cultivar on growth parameters, yield and yield components of potato. Agronomie 23 (3): 257 — 268.
- Praczyk T., Skrzypczak G. 2011. Stan aktualny i kierunki rozwoju herbologii. Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin 51 (1): 354 — 363.
- Różyło K., Pałys E. 2008. Korelacje pomiędzy zachwaszczeniem łanu a plonem bulw ziemniaka i jego strukturą w zależności od systemów nawożenia oraz kategorii agronomicznej gleby. Acta Sci. Pol., Agricultura 7 (2): 125 — 132.
- Rębarz K., Borówczak F. 2009. Wpływ deszczowania, technologii uprawy i nawożenia azotem na zachwaszczenie ziemniaków. Fragm. Agron. 26 (4): 150 — 159.
- Sawicka B., Barbaś P., Dąbek-Gad M. 2011. Problem zachwaszczenia w warunkach stosowania bioregulatorów wzrostu i nawożenia dolistnego w uprawie ziemniaka. Nauka Przycz. Technol. 5 (2): 1 — 12.
- Urbanowicz J. 2010. Wpływ powschodowego stosowania metrybuzyny na plon wybranych odmian ziemniaka. Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin 50 (2): 837 — 841.
- Zarzecka K., Gugala M., Gąsiorowska B. 2004. Plonowanie wybranych odmian ziemniaka w warunkach zróżnicowanej ochrony przed chwastami. Biul. IHAR 232: 167 — 176.
- Zarzyńska K. 2010. Struktura plonu bulw ziemniaków uprawianych w systemie ekologicznym i integrowanym w różnych warunkach środowiskowych. J. Res. Appl. Agric. Eng. 55 (4): 181 — 184.

BARBARA LUTOMIRSKA
MARIANNA SZUTKOWSKA
WOJCIECH NOWACKI
MILENA PIETRASZKO
JOANNA JANKOWSKA

Zakład Agronomii Ziemiaka

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy

Oddział w Jadwisinie

Występowanie wad kształtu bulw w plonie odmian i zaawansowanych materiałów hodowlanych ziemniaka

The occurrence of tubers shape defects in potato cultivars and advanced breeding materials

Celem pracy było porównanie odmian znajdujących się w uprawie oraz zaawansowanych materiałów hodowlanych ziemniaka pochodzących z tych samych ośrodków krajowej hodowli, odnośnie występowania bulw z wadami kształtu w warunkach ich uprawy na glebie lekkiej, w naturalnych warunkach wilgotnościowych. W badaniach wykorzystano dane dotyczące występowania bulw spękanych i zdeformowanych w plonie odmian i zaawansowanych materiałów hodowlanych ziemniaka uzyskane podczas realizacji doświadczeń odmianowych oraz prowadzonych w ramach projektu badawczego finansowanego przez MRiRW. Wspomniane doświadczenia zostały wykonane latach 2008–2011, w IHAR — PIB, Zakład Agronomii Ziemiaka w Jadwisinie. Uwzględniono w nich łącznie 156 genotypów ziemniaka pochodzących z krajowych placówek hodowli tego gatunku. Zebrane dane eksperymentalne poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem programu SAS Enterprise Guide 4.3. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że plony nowych genotypów charakteryzowało średnio wyższe nasilenie występowania bulw zdeformowanych, natomiast udział bulw ze spękaniem był w tej grupie genotypów niższy niż u odmian zarejestrowanych wcześniej.

Słowa kluczowe: odmiany, wady kształtu bulw, zaawansowane materiały hodowlane, ziemniak

The main purpose of the presented study was to evaluate the occurrence of tuber shape defects in the potato cultivars and advanced breeding materials from the same potato breeding centers, that were grown on sandy soil in natural moisture conditions. The study used data on the occurrence of growth cracks and misshaped tubers of potato cultivars and advanced breeding materials which were collected during the varietal assessment experiments and a research project financed by Ministry of Agriculture.

Redaktor prowadzący: Stanisława Roztropowicz-Szkubel

The field experiment was performed in the years 2008–2011 at IHAR — PIB, Potato Agronomy Department in Jadwisin. The assessment included 156 potato genotypes. The obtained data were analyzed statistically with SAS Enterprise Guide 4.3. The results of study indicate that the yield of new genotypes was characterized by a higher occurrence of misshaped tubers, however, share of tubers with cracks was lower in new genotypes than in registered cultivars.

Key words: advanced breeding materials, cultivars, defects of tubers shape, potato

WSTĘP

Zapoczątkowana w latach 80. poprzedniego stulecia w krajach zachodnich, a obecnie stosowana niemal powszechnie także w Polsce zasada, że ziemniaki świeże oferowane konsumentowi wcześniej poddane zostają zabiegowi mycia sprawiła, że ich zewnętrzny wygląd stał się bardzo ważnym kryterium jakości. Tym samym stanowi on jedno z zagadnień ekonomicznych rynku ziemniaków jadalnych oraz przeznaczonych dla przemysłu spożywczego. Jest, zatem naturalne, że dążeniem producentów ziemniaka jest uzyskiwanie zbiorów, w których udział bulw wadliwych, o niekorzystnym wyglądzie będzie znikomy. Do takich wad, obok chorób i innych nieprawidłowości w stanie skórki, zaliczane są defekty kształtu, czyli deformacje i spękania. Występowanie w zbieranym plonie bulw niekształtnych może być spowodowana porażeniem przez patogeny — głównie przez *R. solani* (Hide i Horrocks, 1994; Stevenson i in., 2001; Lutomirska, 2010). Częściej, jednak jest to efekt reakcji roślin na niekorzystny stan czynników środowiska uprawy w okresie nagromadzania masy plonu, zaś skłonność do wykazywania takiej reakcji należy do cech odmianowych (Levy i Veilleux, 2007; Lutomirska i Jankowska, 2012; The Europ. Cult. Potato Data Base, 2012).

Celem badań było porównanie odmian znajdujących się w uprawie oraz zaawansowanych materiałów hodowlanych ziemniaka pochodzących z tych samych ośrodków krajowej hodowli, odnośnie występowania bulw z wadami kształtu w warunkach ich uprawy na glebie lekkiej, w naturalnych warunkach wilgotnościowych. Tym samym jest to próba oceny postępu hodowlanego odnośnie uzyskiwania genotypów o niskiej skłonności do tworzenia bulw z defektami kształtu warunkowanymi przez czynniki abiotyczne.

MATERIAŁ I METODY

W badaniach wykorzystano dane dotyczące występowania bulw spękanych i zdeformowanych w plonach odmian i zaawansowanych materiałów hodowlanych ziemniaka uzyskane w doświadczeniach odmianowych oraz doświadczeniach realizowanych w ramach projektu badawczego finansowanego przez MRiRW, przeprowadzonych w IHAR — PIB, Zakład Agronomii Ziemniaka w Jadwisinie, w latach 2008–2011. W kolejnych latach, w badaniach uwzględniano 35–45 nowych genotypów oraz podobną liczbę odmian wpisanych do Krajowego Rejestru. Ze względu na specyfikę projektu badawczego, nowe genotypy uczestniczyły w badaniach przez 1–3 lat, natomiast okres badania odmian to 1–4 lat. Wszystkie porównywane materiały to kreacje uzyskane przez krajowe hodowle ziemniaka (tab. 1).

W badaniach uwzględnionych zostało łącznie 156 genotypów, w tym 55, to odmiany krajowe zarejestrowane do czasu rozpoczęcia badań, tj. do roku 2008. Spośród 101 genotypów poddanych badaniom, jako zaawansowane materiały hodowlane, 20 uzyskało status odmiany w okresie realizacji badań (w dalszej części niniejszej pracy określono je, jako odmiany najnowsze). Oceniane materiały hodowlane jak i odmiany z KR reprezentowały wszystkie grupy wczesności wyróżniane w klasyfikacji odmian (Protocol UPOV, 2005).

Tabela 1

Liczba odmian i zaawansowanych materiałów hodowlanych ziemniaka ocenionych w latach badań
Number of cultivars and advanced breeding materials of potato evaluated in the years of investigation

Rok Year	Odmiany zarejestrowane do 2008 roku Cultivars registered to 2008	Zaawansowane materiały hodowlane Advanced breeding materials	Razem Total
2008	41	35	76
2009	44	36	80
2010	35	44	79
2011	32	45	77
Łącznie Total	55	101	156

Doświadczenia polowe, z których pobierano próby do oceny wymienionych cech jakości plonu, były corocznie zakładane na glebie lekkiej, bielicowej wytworzonej z piasków słabo gliniastych i gliniastych lekkich. Taki skład mechaniczny gleby sprawia, że warunki rozwoju roślin podlegają wyraźnie większym wahaniom niż na glebach zwięźlejszych, o bardziej stabilnych stosunkach powietrzno-wodnych. Tym samym oddziaływanie czynników stresowych dla roślin ziemniaka jest na takiej glebie znacznie częstsze i jak wskazują wieloletnie obserwacje, efekty genotypowych reakcji na stres abiotyczny są bardziej wyraźne. Uprawę ziemniaków prowadzono w technologii standardowej, z zachowywaniem jednolitego nawożenia i bardzo zbliżonego poziomu zabiegów agrotechnicznych w kolejnych latach realizacji doświadczeń. Ziemniaki sadzono w III dekadzie kwietnia, przestrzegając by różnica terminu sadzenia wszystkich porównywanych materiałów nie była większa niż 1 dzień. Zbiory, w czasie, których z każdego powtórzenia polowego pobierano próby bulw (o masie ok. 8 kg) do oceny cech jakości plonu, przeprowadzano w pełni dojrzałości roślin genotypów danej wczesności. W ocenie występowania bulw z defektami kształtu uwzględniano tylko bulwy o średnicy powyżej 35 mm.

Jako bulwy z wadami kształtu kwalifikowano:

- deformacje — bulwy dzieciuchowate, czyli z wtórnymi naroślami, bulwy o zniekształceniach wielokierunkowych, tj. bardzo nieregularne, zdecydowanie różniące się od typu kształtu danego genotypu i bulwy silnie nerkowate.
- spękania — bulwy z zabliźnionymi szczelinami przebiegającymi najczęściej od części wierzchołkowej do stolonowej stanowiącymi efekt pęknięcia tkanek skórki i miąższu.

Należy podkreślić, że wady kształtu charakterystyczne dla porażenia przez *R. solani* traktowane były jako odrębna kategoria wad. Wyniki wyrażane procentowym udziałem

bulw z wadą w masie próby, do przeprowadzenia obliczeń statystycznych przekształcano na skalę wg transformacji Bliss.

Zebrane dane poddano dwuczynnikowej analizie wariancji (program SAS, Guide 4,3- modele liniowe), do weryfikowania istotności różnic zastosowano test Tukeya.

WYNIKI

Układ czynników meteorologicznych w latach realizacji badań był dość korzystny dla rozwoju ziemniaka w warunkach glebowych, w jakich prowadzono doświadczenia (tab. 2).

Tabela 2

Warunki meteorologiczne sezonu wegetacji w latach badań
Meteorological conditions in vegetation period in the particular years of investigation

Rok Year	Suma opadów (mm) Total rainfall (mm)					Temperatura powietrza (°C) The temperature of air (°C)					Współczynnik Sielianinowa Sielianinow coefficient				
	miesiące — months					miesiące — months					miesiące — months				
	V	VI	VII	VIII	IX	V	VI	VII	VIII	IX	V	VI	VII	VIII	IX
2008	62,9	43,5	68,8	80,9	48,8	13,2	17,1	18,1	17,7	11,6	1,6	0,8	1,2	1,5	1,4
2009	80,8	72,4	85,6	83,1	18,8	12,4	16,4	21,3	17,4	14,8	2,1	1,4	1,3	1,5	0,4
2010	166,6	64,0	96,7	105,3	71,3	12,3	16,5	20,0	18,2	11,1	4,3	1,3	1,6	2,2	2,1
2011	33,1	44,8	278,1	57,1	18,5	13,6	17,5	17,0	17,5	13,7	0,8	0,9	5,3	1,2	0,5

Jedynie w roku 2010 odnotowano okresowe zalanie pola w początkowym okresie wegetacji (w maju). Nie miało to jednak wyraźnego wpływu na gromadzenie plonu.

Porównanie poziomu plonowania w kolejnych latach pozwala stwierdzić, że warunki środowiskowe sprzyjały wykorzystaniu potencjału plonotwórczego genotypów uwzględnionych w badaniach (tab. 3). Można zatem przyjąć, że sprzyjały one również ujawnieniu się genetycznych możliwości determinujących rozwój bulw w tym skłonność lub odporność do powstawania wad kształtu.

Tabela 3

Plonowanie odmian i zaawansowanych materiałów ziemniaka w latach badań
Yielding of potato cultivars and advanced breeding materials in the years of investigation

Status genotypów Genotype status	Średni plon w roku — Mean of yield in year			
	2008	2009	2010	2011
Odmiany zarejestrowane Cultivars	47,2	53,2	46,3	56,1
Zaawansowane materiały hodowlane Advanced breeding materials	48,1	54,6	51,8	57,7

Analiza zebranych danych wykazała, że występowanie bulw zdeformowanych było istotnie uwarunkowane zarówno przez warunki lat badań jak i cechy odmianowe (tab. 4).

Najniższy udział bulw zdeformowanych odnotowano w roku 2009, był to również jedyny w trakcie badań rok, w którym różnice udziału bulw zdeformowanych w plonach odmian i materiałów hodowlanych były nieznaczne. Latami, w których zebrane plony

okazały się istotnie gorsze, co do występowania bulw o niewłaściwym kształcie, były: rok 2008 i rok 2010 (tab. 4).

Tabela 4

Występowanie deformacji bulw w plonach odmian i zaawansowanych materiałów hodowlanych ziemniaka w latach badań
The occurrence of misshaped tubers in the yield of cultivars and advanced breeding materials of potato in the years of investigation

Rok badań Year of investigation	Udział bulw zdeformowanych (% masy) Share of misshaped tubers (% weight)			NIR $p=0,05$ LSD $p=0,05$
	odmiany cultivars	materiały hodowlane breeding materials	średnio mean	
2008	9,0	20,4	14,2	1,6
2009	11,6	11,2	11,4	
2010	13,5	17,6	15,6	
2011	11,0	13,7	12,4	
Średnio — Mean	11,2	15,7	13,5	x
NIR $p=0,05$ — LSD $p=0,05$	1,1		x	x

Należy też zauważyć, że w roku 2008 udział bulw zdeformowanych w plonach odmian był najniższy, ponad dwukrotnie mniejszy niż w plonach materiałów hodowlanych.

Udział bulw ze spękaniem we wszystkich latach badań a także u porównywanych grup genotypów okazał się wyraźnie niższy niż udział bulw zdeformowanych. Nie stwierdzono też istotnego wpływu wymienionych czynników na tę cechę (tab. 5).

Tabela 5

Występowanie spękań bulw w plonach odmian i zaawansowanych materiałów hodowlanych ziemniaka w latach badań

The occurrence of tubers with cracks on the surface in the yield of cultivars and advanced breeding materials of potato in the years of investigation

Rok badań Year of investigation	Udział bulw ze spękaniem [% masy] Share of tubers with cracks on surface [% weight]			NIR $p=0,05$ LSD $p=0,05$
	odmiany cultivars	materiały hodowlane breeding materials	średnio mean	
2008	1,9	2,9	2,4	Nie istot. Not sign.
2009	2,9	1,2	2,1	
2010	2,5	2,4	2,4	
2011	3,3	2,9	3,1	
Średnio — Mean	2,6	2,4	2,5	x
NIR $p=0,05$ — LSD $p=0,05$	1,1		x	x

Uwzględnione w badaniach genotypy różniły się pod względem udziału bulw z ocenianymi wadami w plonach. Rezultaty analiz statystycznych przeprowadzonych z wykorzystaniem testu Tukeya, wskazują, że stanowią one 13 klas jednorodnych, co do występowania bulw zdeformowanych w plonie oraz 3 jednorodne klasy, co do występowania bulw ze spękaniem (tab. 6).

Zgodnie ze wspomnianymi wynikami, zakresy udziału bulw wadliwych (tj. zdeformowanych bądź spękanych) dla każdej z wydzielonych klas są znaczne, natomiast różnice pomiędzy wartościami granicznymi kolejnych klas — niewielkie (tab. 6).

Tabela 6

Wyniki klasyfikacji Tukeya — wartości graniczne udziału bulw zdeformowanych i bulw ze spękaniem w plonach u genotypów przynależnych do kolejnych klas

The Tukey classification results — the limit share of misshaped tubers and tubers with cracks in the yield of genotypes that belong to the following categories

Zróżnicowanie genotypów pod względem występowania bulw zdeformowanych Genotypes differentiation in terms the occurrence of misshaped tubers		
klasy genotypów wydzielone w grupowaniu Tukeya category of genotypes in Tukey's classification	zakres udziału bulw zdeformowanych u genotypów przynależnych do klasy range of share of misshaped tubers of genotypes within the category	wartości wyrażone w stopniach Bliss'a values expressed in Bliss degree
1 I — genotypy o najniższym udziale bulw zdeformowanych I — genotypes with the lowest share of misshaped tubers	0,82 — 3,66	2,0 — 22,2
2 II	1,36 — 4,21	3,0 — 23,7
3 III	1,81 — 4,60	3,5 — 24,3
4 IV	1,98 — 4,81	4,3 — 25,1
5 V	2,06 — 4,91	5,0 — 26,0
6 VI	2,26 — 5,10	5,9 — 26,8
7 VII	2,36 — 5,20	7,9 — 28,7
8 VIII	2,50 — 5,35	8,3 — 29,2
9 IX	2,53 — 5,38	8,5 — 29,5
10 X	2,67 — 5,50	9,4 — 30,4
11 XI	2,73 — 5,56	10,2 — 31,1
12 XII	3,07 — 5,91	14,4 — 35,4
13 XIII — genotypy o najwyższym udziale bulw zdeformowanych XIII — genotypes with the highest share of misshaped tubers	3,24 — 6,09	17,5 — 38,4
Zróżnicowanie genotypów pod względem występowania bulw ze spękaniem Genotypes differentiation in terms the occurrence of tubers with cracks		
klasy genotypów wydzielone w grupowaniu Tukeya category of genotypes in Tukey's classification	zakres udziału bulw ze spękaniem u genotypów przynależnych do klasy range of share of tubers with cracks of genotypes within the category	wartości wyrażone w stopniach Bliss'a values expressed in Bliss degree
1 I — genotypy o najniższym udziale bulw ze spękaniem I — genotypes with the lowest share of tubers with cracks	0 — 3,06	0 — 11,2
2 II	1,43 — 4,52	3,2 — 20,8
3 III — genotypy o najwyższym udziale bulw ze spękaniem III — genotypes with the highest share of tubers with cracks	1,58 — 4,69	4,2 — 22,1

Taki efekt badania może budzić pewne zastrzeżenia, czy przyjęty sposób opracowania danych jest poprawny, a uzyskane wyniki stanowią odpowiednie kryterium klasyfikacji dla porównywanych genotypów. A zatem czy jego zastosowanie znajduje uzasadnienie. Wydaje się jednak, że wobec charakteru analizowanego materiału jak i założonego celu badań powyższe dane są wystarczające dla dokonania oceny poszczególnych genotypów. Tym samym możliwym staje się porównanie pod względem występowania bulw zde-

formowanych w plonie interesujących nas grup, tzn. odmian wpisanych do rejestru w okresie wcześniejszym oraz nowych kreacji hodowlanych.

W tabeli 7 zestawiono liczebność genotypów należących do porównywanych grup w odpowiednich klasach udziału bulw z deformacjami.

Tabela 7

Liczby genotypów i ich procentowy udział w poszczególnych klasach występowania bulw zdeformowanych w plonie
The number of genotypes and their percentage in each category of the occurrence of misshaped tubers in the yield

Klasa udziału bulw z deformacjami w grupowaniu Tukeya Tukey's class of share of misshaped tubers	Łączna liczba genotypów w klasie Total number of genotypes in category	Genotypy zależne od klasy wydzielonej w grupowaniu Tukeya według ich statusu Genotypes depending on category in Tukey's grouping					
		odmiany zarejestrowane do roku 2008 cultivars registered to 2008		odmiany najnowsze (oceniane w grupie zaawansowanych materiałów hodowlanych) newest cultivars (evaluated in the advanced breeding materials group)		zawansowane materiały hodowlane (nowe genotypy, które nie zostały zarejestrowane) advanced breeding materials (new genotypes, never registered)	
		liczba number	% ocenianej grupy % of evaluated group	liczba number	% ocenianej grupy % of evaluated group	liczba number	% ocenianej grupy % of evaluated group
1 I	90	45	82	10	50	35	43
2 II	125	52	95	17	85	63	78
3 III	139	55	100	19	95	65	80
4 IV	142	55	100	20	100	67	83
5 V	142	53	96	20	100	69	85
6 VI	143	51	93	20	100	72	89
7 VII	146	50	91	20	100	76	94
8 VIII	143	47	85	20	100	76	94
9 IX	141	46	84	20	100	75	93
10 X	131	40	73	20	100	71	88
11 XI	127	38	69	18	90	61	75
12 XII	89	29	53	15	75	45	56
13 XIII	81	23	42	14	70	44	54

Wspomniany szeroki zakres wartości cechy dla poszczególnych klas sprawia, że liczebność genotypów w każdej z nich jest duża (tab. 7). W najliczniejszej z nich (kl. VII), obejmującej odmiany i materiały hodowlane, u których bulwy zdeformowane stanowiły 7,9–28,7% znalazło się 146 genotypów, czyli 94% ich ogólnej liczby. Wyraźnie mniej liczne są klasy obejmujące kreacje hodowlane o najniższym (kl. I) oraz bardzo wysokim (kl. XII i XIII) udziale bulw o niewłaściwym kształcie. Wszystkie odmiany zarejestrowane wcześniej i będące w uprawie znalazły się w niniejszej klasyfikacji już w klasie III tzn., że udział bulw zdeformowanych u odmiany o najgorszym poziomie tej cechy nie był wyższy jak 24,3%, podczas gdy wartość ta dla odmiany ostatnio wpisanej do rejestru to 25,1% — mieści się ona dopiero w zakresie przedziałów kl. IV (tab. 6 i 7). Dla

genotypu obarczonego największym nasileniem deformacji, a więc zaliczonego do klasy XIII wartość ta to 38,4%. Należy, zatem stwierdzić, że odmiany zarejestrowane w latach wcześniejszych charakteryzowała niższa, w porównaniu do pozostałych genotypów, skłonność do wydawania bulw o niewłaściwym kształcie. Potwierdzeniem tego jest także znacznie większy udział nowych kreacji hodowlanych w klasach obejmujących genotypy o wysokim udziale bulw zdeformowanych. Jest to szczególnie wyraźne w przypadku najnowszych odmian, spośród których aż 70% znalazło się również w klasie XIII tzn. tej, którą tworzą genotypy o najwyższym (17,5–38,4%) udziale bulw z omawianą wadą (tab. 6 i 7).

Spośród wydzielonych stosownie do wyników grupowania Tukeya, trzech klas genotypów obejmujących kreacje hodowlane o nieodróżnionym udziale bulw ze spękaniem najbardziej liczną okazała się klasa I. Obejmuje ona 153 odmiany i zaawansowane materiały hodowlane (tab. 8). Udział bulw ze spękaniem w plonach kreacji hodowlanych przynależnych do tej klasy wynosił od 0 do 11,3%, podczas kiedy zakresy udziału bulw z w/w wadą dla kolejnych klas to: 3,2–20,8% oraz 4,2–22,1% (tab. 8).

Tabela 8

Liczby genotypów i ich procentowy udział w poszczególnych klasach występowania bulw ze spękaniem w plonie

The number of genotypes and their percentage in each category of the occurrence of tubers with cracks in the yield

Wyszczególnienie Specification	Klasy klasyfikacji zależnie od występowania bulw ze spękaniem Class depending on occurrence of tubers with cracks					
	klasa I — udział bulw ze spękaniem 0–11,2% category I — share of tubers with cracks 0–11,2%		klasa II — udział bulw ze spękaniem 3,2–20,8% category II — share of tubers with cracks 3,2–20,8%		klasa III — udział bulw ze spękaniem 4,2–22,1% category III — share of tubers with cracks 4,2–22,1%	
	liczba number	% ocenianej grupy % of evaluated group	liczba number	% ocenianej grupy % of evaluated group	liczba number	% ocenianej grupy % of evaluated group
Ogólna liczba genotypów w grupie Total genotypes in the group	153	99	33	21	27	18
odmiany zarejestrowane do roku 2008 registered cultivars to 2008	55	100	13	24	9	16
w tym: odmiany najnowsze including: newest cultivars	20	100	2	10	2	10
zaawansowane materiały hodowlane advanced breeding materials	78	99	17	22	16	20

Zgodnie z przedstawionymi wynikami, 98% wszystkich ocenianych pod względem występowania bulw ze spękaniem w plonie genotypów, przynależy do kl. I. Tym samym tylko u 3, spośród 156 uwzględnionych w badaniach genotypów, bulwy z omawianą wadą stanowiły ponad 11,2% (tab. 6 i 8). Warto jednak zauważyć, że chociaż wszystkie zarejestrowane odmiany znalazły się we wspomnianej klasie I, to 9 (16%) odmian

zarejestrowanych wcześniej oraz 2 (10%) z grupy odmian najnowszych należało zakwalifikować także do klasy III. Bulwy ze spękaniem stanowiły ponad 4,2% ich plonu (tab. 8). Tym samym można stwierdzić, że odmiany nowo zarejestrowane, pod względem występowania spękań bulw, okazały się korzystniejsze niż odmiany wyhodowane wcześniej. Porównanie odpowiednich danych charakteryzujących występowanie bulw ze spękaniem w grupie odmian starszych oraz zaawansowanych materiałów hodowlanych, które nie uzyskały statusu odmiany wskazuje na brak wyraźnych różnic pomiędzy tymi grupami (tab. 8).

PODSUMOWANIE

Zróznicowany okres badania poszczególnych genotypów spowodował, że liczba charakteryzujących je danych była niejednakowa. Zmienne, przede wszystkim, co do układu czynników meteorologicznych były również warunki lat, w których następowało wiązanie i akumulacja plonu poddawanego ocenie. Wydaje się jednak, że dane te stanowiły wystarczający materiał badawczy dla dokonania ogólnej oceny rezultatów krajowej hodowli ziemniaka.

I tak w świetle zebranych wyników należy odnotować, że:

- zaawansowane materiały hodowlane ziemniaka charakteryzuje średnio wyższy potencjał plonowania niż odmiany zarejestrowane w latach wcześniejszych,
- genotypy będące zaawansowanymi materiałami hodowlanymi, bądź nowo zarejestrowanymi odmianami wyróżniały się średnio wyższym nasileniem występowania bulw zdeformowanych w plonie,
- występowanie spękań bulw powstałych w okresie ich wzrostu w plonach odmian i zaawansowanych materiałów hodowlanych nie było istotnie zróżnicowane, ale u tych genotypów, które wpisano do KR w okresie badań cecha ta kształtowała się na korzystniejszym poziomie.

Tym samym słuszny wydaje się stwierdzenie, że efektem prac hodowlanych nad ziemniakiem na obecnym etapie, jest dalsze zwiększenie potencjału plonotwórczego nowych genotypów a także pewne ograniczenie skłonności bulw do powstawania spękań. Niestety ta tendencja poprawy morfologii bulw dotyczy wady, która występuje rzadziej. Stanowiąca częstszy problem jakości plonu, skłonność genotypów do tworzenia bulw zdeformowanych w wyniku wystąpienia stresu abiotycznego zaznaczała się zdecydowanie wyraźniej w grupie zaawansowanych materiałów hodowlanych. Tym samym, wobec wzrastających wymagań szerokiej praktyki, w hodowli ziemniaka konieczne jest zwrócenie większe uwagi na tę cechę.

LITERATURA

- Hide G. A., Horrocks J. K. 1994. Influence of stem canker (*Rhizoctonia solani* Kühn) on tuber yield, tuber size, reducing sugars and crisp colour in cv. Record. Potato Res. 37: 43 — 49.
- Levy D., Veilleux R. E., 2007. Adaptation of potato to high temperatures and salinity — a review. Amer. J. Potato Res. 87: 487 — 506.

- Lutomirska B. 2010. Wpływ ospowatości sadzeniaków ziemniaka na akumulację plonu oraz występowanie objawów porażenia *Rhizoctonia solani* na roślinach i bulwach potomnych. Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin 50 (1): 665 — 670.
- Lutomirska B., Jankowska J. 2012. Występowanie deformacji i spękań bulw ziemniaka w zależności od warunków meteorologicznych i odmiany. Biul. IHAR 266: 131 — 142.
- Protocol for distinctness, uniformity and stability tests *Solanum tuberosum* L. POTATO UPOV Species Code: SOLAN_TUB. 2005.
- Stevenson W. R., Loria R., Franc G. D., Weingartner D. P. 2001. Compendium of potato diseases. Second Edition, St. Paul, USA: 144.
- The Europ. Cult. Potato Data Base. 2012. http://www.europotato.org/display_character.php?char_no=43&character=Growth%20cracking.
- http://www.cpvo.europa.eu/documents/TP/agricoles/TP_023-2_SOLANUM_TUBEROSUM.pdf.

ZBIGNIEW CZERKO
JOANNA JANKOWSKA

Zakład Agronomii

Zakład Przechowywalnictwa i Przetwórstwa Ziemniaka

IHAR — PIB Radzików, Oddział Jadwisin

Wpływ odmiany, temperatury przechowywania i warunków pogodowych podczas wegetacji na straty przechowalnicze 11 odmian ziemniaka badanych w latach 2009–2011

Influence of cultivar, temperature of storage and weather conditions during vegetation period on storage losses of 11 potato varieties tested in years 2009–2011

Celem doświadczenia była ocena wielkości strat przechowalniczych nowych odmian jadalnych (Aruba, Cyprian, Elanda, Finezja, Flaming, Justa, Zagłoba) i skrobiowych (Kuras, Sekwana, Tukan, Zuzanna), 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 przechowalniczych 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 zbliżonym poziomie (8,3% i 7,4%). Ziemniaki przechowywane w wyższej temperaturze 8°C miały istotnie wyższe ubytki naturalne (9,8%) niż przechowywane w temperaturze 3°C i 5°C. Średnie straty spowodowane rozwojem chorób przechowalniczych wynosiły dla poszczególnych odmian od 0,60% do 4,60%. Warunki klimatyczne w czasie wegetacji miały wpływ na straty masy bulw oraz choroby w czasie przechowywania. Początek kiełkowania zależał od odmiany, temperatury przechowywania i warunków pogodowych podczas wegetacji. Rozpoczęcie kiełkowania ziemniaków przechowywanych w 8°C zależało od odmiany i nastąpiło w 1 dekadzie listopada (Flaming) a najpóźniej w 1 dekadzie lutego (Finezja). Kiełkowanie ziemniaków przechowywanych w 5°C powodowało opóźnienie rozpoczęcia kiełkowania o 6 dekad w porównaniu do przechowywania w 8°C.

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

The main of experiment was the evaluation of the storage losses and sprouting dates in different storage temperatures (3°C, 5°C, 8°C). New table: (Aruba, Cyprian, Elanda, Finezja, Flaming, Justa, Zagłoba) and starch (Kuras, Sekwana, Tukan, Zuzanna) potato cultivars were assessed depending on

weather factors in vegetation period. After storage at temperatures of 3°C, 5°C, 8°C, natural losses, diseases losses, sprouting dates and mass of sprouts were estimated. The natural losses of potato varieties stored at 3°C, and 5°C were on the similar level (8.3% and 7.4%). Only potatoes stored in higher temperature (8°C) had higher natural losses (9.8%), than stored in temperature 3°C and 5°C. The average of potato losses caused by diseases amounted from 0.6% to 4.60%. Sprouting date depended on cultivar, on the storage temperature and vegetation conditions. Potatoes stored at temperature 8°C begun sprouting from 1st decade of November (Flaming) till 1st decade of February (Finezja), depending on cultivar. The storage at 5°C caused delay in the beginning of sprouting about 6 decades in relation to storage at 8°C. Vegetation conditions had an influence on sprouting date, natural losses and amount of diseases during storage.

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

WSTĘP

W przechowywaniu cenione są odmiany, które charakteryzują się niskim poziomem ubytków naturalnych, chorób przechowalniczych oraz długim okresem spoczynku (Sowa-Niedziałkowska, 2000 i 2004 a).

Ubytki naturalne powstają głównie w wyniku transpiracji wody ze skórki i procesu oddychania ziemniaków. Intensywność transpiracji wody z bulwy zależy od odmiany, stopnia skorkowacenia skórki, stopnia zablokowania uszkodzeń oraz od warunków przechowywania (temperatura, wilgotność).

Intensywność oddychania ziemniaków zależy głównie od temperatury przechowywania. Najniższa intensywność występuje w ziemniakach przechowywanych w temperaturze 5°C. Ziemniaki przechowywane w wyższej jak i niższej temperaturze oddychają intensywniej (Frydecka-Mazurczyk, 1978; Kubicki, 1988). Ta cecha ziemniaków zadecydowała, że zalecana temperatura przechowywania ziemniaków jadalnych powinna wynosić 5°C. Dla przetwórstwa, ze względu na potrzebę ograniczenia 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: zaraza ziemniaka, mokra zgnilizna, sucha zgnilizna oraz mieszana zgnilizna zależą głównie od odmiany, warunków wegetacji i warunków termiczno-wilgotnościowych podczas przechowywania (Kuźniewicz, 1982; Pringle i in., 1991; Sowa-Niedziałkowska, 2000; Czerko, 2009). W wyższej temperaturze przechowywania zwykle powstają wyższe straty przechowalnicze. Wysoka temperatura przechowywania (6°C–10°C), wilgotność względna powietrza powyżej 95% oraz słabe przewietrzenie przyzmy sprzyja gniciu ziemniaków w wyniku rozwoju mokrej zgnilizny a także mieszanej zgnilizny zwłaszcza, 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, jednocześnie intensywniej wietrzonej (Langerfeld ,1979; Desjardinis i in., 1992). Zdarzają się przypadki, że w niskiej temperaturze przechowywania następuje wzrost porażenia bulw tą chorobą (Kuźniewicz, 1982).

Intensywność kiełkowania bulw podczas przechowywania zależy głównie od odmiany i przebiegu temperatury w przechowalni. W wyższej temperaturze przechowywania kiełkowanie następuje szybciej i jest intensywniejsze. Przechowywanie ziemniaków w niskiej temperaturze wydłuża okres uśpiania oraz ogranicza intensywność wzrostu kiełków (Sowa-Niedziałkowska, 2004 b; Czerko, 2008; Czerko, 2011).

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 przechowywania sadzeniaków wynosi 3°C. Wyjątkiem są odmiany, które ze względu na długi okres spoczynku mogą być przechowywane w 5°C (Sowa-Niedziałkowska, 2002 b; Czerko, 2011).

W praktyce przechowalniczej jak i w doświadczeniach ścisłych zauważa się dużą zmienność strat w poszczególnych latach, mimo utrzymywania takich samych warunków termiczno-wilgotnościowych w przechowalni. Duży wpływ lat uprawy na straty przechowalnicze przedstawiono w pracy Sowy-Niedziałkowskiej, (2000). Lata „mokre” sprzyjają rozwojowi bakteryjnych chorób przechowalniczych. Na intensywność kiełkowania mają wpływ także warunki wegetacji, tj. przebieg temperatury powietrza i rozkład opadów (Sowa-Niedziałkowska, 2002 a; Czerko, 2009). Także Zarzyńska (2004) oceniła, że w roku suchym ziemniaki charakteryzowały się krótszym okresem spoczynku niż w latach wilgotnych.

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

MATERIAŁ I METODY

Badaniami objęto 11 odmian ziemniaka (7-jadalnych i 4-skrobiowych), które rozmnażano na polu doświadczalnym w IHAR — PIB Oddział Jadwisin w latach 2009–2011. Do sadzenia wykorzystano materiał kwalifikowany w stopniu CA lub CB. Odmiany uprawiano na glebie pseudobielicowej, wytworzonej z piasków gliniastych lekkich pylistych, kompleksu przydatności rolniczej od żyniego dobrego do żyniego słabego. Przedplonem pod ziemniaki była pszenica ozima. Pod ziemniaki stosowano nawożenie organiczne w postaci przyoranej słomy pszennej w dawce 4–5 t·h⁻¹ z dodatkiem azotu mineralnego (1 kg na 100 kg słomy) przyoranej podorywką oraz poplon ścierniskowy z gorczycy białej przyorany jesienią orką przedzimową. Stosowano następujące nawożenie mineralne: N — 100 kg·h⁻¹, P — 50 kg·h⁻¹, K — 150 kg·h⁻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 zarazie ziemniaka, wykorzystując do 2 pierwszych zabiegów preparaty systemiczne.

Dodatkowo przeprowadzono selekcję negatywną usuwając rośliny i bulwy porażone chorobami (czarna nóżka, silne objawy porażeniem wirusami i rizoktoniozą) w dwóch terminach: w fazie kiedy rośliny osiągnęły 20 cm wysokości; trzy tygodnie później. 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, ilością opadów (tab. 1).

Tabela 1

Temperatura i opady w okresie wegetacji w latach 2008, 2009, 2010
Temperature and precipitation in vegetation period in years 2008, 2009, 2010

Lata Years	Dekada Decade	Maj May		Czerwiec June		Lipiec July		Sierpień August		Wrzesień September		Średnia temp. Average temp. (°C)	Suma opadów Sum of precipitation (mm)
		temp. temp. (°C)	opady precipitation (mm)	temp. temp. (°C)	opady precipitation (mm)	temp. temp. (°C)	opady precipitation (mm)	temp. temp. (°C)	opady precipitation (mm)	temp. temp. (°C)	opady precipitation (mm)		
2008	1	11,5	36,8	18,2	0,0	17,4	20,2	18,3	26,8	17,4	21,6	15,6	304,9
	2	12,7	12,8	15,5	21,0	17,6	38,2	19,2	37,8	8,4	10,3		
	3	15,5	13,3	17,5	22,5	19,3	10,4	15,7	16,3	9,0	16,9		
	x	13,6	62,9	17,1	43,5	18,1	68,8	17,6	80,9	11,6	48,8		
2009	1	12,0	8,8	12,6	30,2	21,1	36,8	18,7	12,5	15,8	8,2	16,3	340,7
	2	11,4	13,3	16,0	17,5	21,5	20,5	16,9	48,5	14,4	4,7		
	3	13,3	58,7	20,7	24,7	21,3	28,3	16,6	22,1	12,5	5,9		
	x	12,3	80,8	17,3	72,4	21,3	85,6	17,3	83,1	14,2	18,8		
2010	1	10,7	36,5	18,1	37,0	17,4	43,5	19,4	27,8	10,9	50,7	15,6	506,1
	2	12,7	70,4	15,7	11,0	23,4	12,3	20,1	31,7	11,6	6,7		
	3	13,6	59,9	15,6	16,0	19,3	40,9	16,0	45,8	10,7	13,9		
	x	12,4	166,8	16,5	64,0	20,0	96,7	18,2	105,3	11,1	71,3		

Badania przechowalnicze prowadzono przez 3 sezony przechowalnicze w następujących warunkach:

- w okresie przygotowawczym trwającym 1 miesiąc przez pierwsze dwa tygodnie po zbiorze utrzymywano temperaturę na poziomie 15°C, przy wilgotności względnej powietrza około 90%, a przez następne 2 tygodnie temperaturę stopniowo obniżano aż do osiągnięcia 3°C, 5°C i 8°C,
- 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%, (odmiany jadalne przechowywano w temperaturze 3°C, 5°C i 8°C, a skrobiowe w temperaturze 3°C, 5°C,
- obserwacje początku kiełkowania i intensywność wzrostu kiełków oceniano na bulwach wszystkich 11 odmian przechowywanych w skrzynkach z foremkami (każda z 30 bulw leżała oddzielnie) 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 kiełki (2 mm),
- po okresie przygotowawczym próby zostały przeważone i oceniono ubytki naturalne,

— straty za cały okres przechowywania (ubytki naturalne, choroby, kielki) oceniano po 6 miesiącach przechowywania.

Oceniając wpływ warunków wegetacji na poszczególne rodzaje strat przechowalniczych w 3 sezonach 2008/09, 2009/10, 2010/11 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

Warunki pogodowe podczas wegetacji ziemniaków w 3 badanych sezonach 2008, 2009 i 2010 różniły się między sobą. Szczególnie rok 2010 wyróżniał się dużymi opadami we wszystkich miesiącach wegetacji. Średnie opady za 5 miesięcy (maj-wrzesień) w roku 2010 wynosiły 506,1 mm wobec 304,9 mm w roku 2008 i 340,7 mm w roku 2009 (tab. 1). Warunki w czasie zbioru ziemniaków (3 dekada września) w roku 2009 charakteryzowały się małymi opadami i wysoką temperaturą. W pozostałych 2 latach (2008 i 2009) temperatura podczas zbioru była niższa i było więcej opadów.

Początek kielkowania i długość kielków

Temperatura przechowywania w zakresie 3–8°C miała duży wpływ na początek kielkowania i intensywność wzrostu kielków.

Tabela 2

Początek kielkowania i długość kielków po przechowywaniu w temperaturach 3°C, 5°C, 8°C Beginning of sprouting and length of sprouts after storage at temperatures 3°C, 5°C and 8°C

Odmiany Cultivars	Temperatura przechowywania — Storage temperature					
	3°C		5°C		8°C	
	początek kielkow. beginning of sprouting	długość kielków length of sprouts	początek kielkow. beginning of sprouting	długość kielków length of sprouts	początek kielkow. beginning of sprouting	długość kielków length of sprouts
Justa	1 d IV	4,0	1 d III	8,7	2 d I	27,7
Elanda	3 d III	6,3	2 d II	15,0	1 d I	29,3
Cyprian	2 d IV	4,0	3 d III	5,7	1 d II	30,7
Finezja	3 d IV	3,0	3 d III	6,0	1 d II	35,0
Zagłoba	3 d III	6,7	1 d II	13,7	3 d XII	53,3
Aruba	1 d IV	4,0	1 d III	9,7	2 d I	86,7
Flaming	2 d I	26,7	2 d XII	54,3	1 d XI	148,3
Średnio — Average	3 d III	7,8	3 d II	16,2	1 d I	58,7
Sekwana (s)	2 d IV	3,0	1 d III	11,3	2 d I	22,0
Zuzanna (s)	1 d V	2,0	1 d IV	5,5	1 d II	27,0
Tucan (s)	1 d V	0,0	1 d III	7,5	1 d I	30,0
Kuras (s)	2 d IV	3,0	2 d III	6,7	2 d I	43,0
Średnio — Average	2 d IV	3,0	2 d III	7,8	1 d I	30,7
2008/09	1 d III	10,9	3 d I	22,7	3 d XII	71,0
2009/10	2 d IV	3,7	1 d III	9,6	1 d I	48,0
2010/11	1 d V	3,0	1 d IV	6,9	1 d II	26,4
Średnia dla odmian Average for cultivars	1 d IV	5,8	1 d III	13,1	2 d I	48,5

Odmiany jadalne przechowywane w 8°C rozpoczynały kiełkowanie średnio w 1 dekadzie stycznia (od 1 dekady listopada — Flaming do 1 dekady lutego — Finezja) i długość kielków po przechowywaniu wynosiła średnio 58,7 mm (tab. 2). Odmiany skrobiowe przechowywane w tej temperaturze początek kiełkowania miały także w 1 dekadzie stycznia, ale średnia długość kielków była mniejsza i wynosiła 30,7 mm.

Odmiany jadalne przechowywane w temperaturze 5°C rozpoczęły kiełkowanie w 3 dekadzie lutego i było ono opóźnione średnio o 6 dekad w stosunku do bulw przechowywanych w temperaturze 8°C. Średnia długość kielków wyniosła 16,2 mm. Odmiany skrobiowe kiełkowanie rozpoczęły 2 dekady później i kielki miały mniejszą długość 7,8 mm.

W temperaturze przechowywania 3°C (zalecanej dla sadzeniaków) kiełkowanie ziemniaków jadalnych rozpoczęło się w 3 dekadzie marca, a odmian skrobiowych w 2 dekadzie kwietnia. Długość kielków odmian skrobiowych wynosiła 3 mm a jadalnych 7,8 mm przy czym odmiana Flaming istotnie różniła się od odmian pozostałych (długość kielków wynosiła 26,7 mm).

W badanej grupie odmian termin rozpoczęcia kiełkowania jak i intensywność kiełkowania różniły się między sobą. Najkrótszy okres uśpienia miała odmiana Flaming, która w najniższej temperaturze (3°C) rozpoczęła kiełkowanie w 1 dekadzie stycznia i po przechowaniu długość kielków wyniosła 26,7 mm. Pozostałe odmiany rozpoczynały kiełkowanie po 3 dekadzie marca. Najdłuższy okres uśpienia miały odmiany Zuzanna, Tucan, których kiełkowanie w 3°C rozpoczęło się w 1 dekadzie maja. Dla przechowywania sadzeniaków najkorzystniejsza jest temperatura w której okres uśpienia trwa do połowy marca. Dla sadzeniaków odmian: Cyprian, Finezja, Kuras, Zuzanna najkorzystniejsze jest przechowywanie w temperaturze 5°C, a dla odmian: Justa, Sekwana, Tucan w zakresie temperatur 3–5°C. Odmiana intensywnie kiełkująca taka jak Flaming powinna być przechowywana w najniższej dopuszczalnej temperaturze dla sadzeniaków 2–3°C.

Terminy kiełkowania w badanych latach znacznie różniły się między sobą, mimo utrzymywania stałej temperatury w przechowalni. Najwcześniejsze kiełkowanie badanych odmian przechowywanych w temperaturze 8°C miało miejsce w sezonie 2008/2009 (3 dekada grudnia) a najpóźniej wystąpiło w sezonie 2010/2011 (w 1 dekadzie lutego). Podobna kolejność rozpoczęcia kiełkowania wystąpiła podczas przechowywania w 3°C i w 5°C. Okres wegetacji 2010, z którego zbioru ziemniaki miały najdłuższy okres spoczynku charakteryzował się największymi opadami (506,1 mm za maj-wrzesień) przy średniej temperaturze wegetacji 15,6°C, natomiast rok 2008 charakteryzował się najniższą sumą opadów (304,9 mm za maj-wrzesień) (tab. 1, 2).

Analiza statystyczna przeprowadzona oddzielnie dla odmian jadalnych i skrobiowych (ze względu na różne temperatury przechowywania) wykazała największą zależność między terminem rozpoczęcia kiełkowania a ilością opadów. Dla odmian jadalnych współczynnik korelacji Pearsona wynosił $r = 0,51$, a dla skrobiowych $r = 0,89$ (tab. 8, 9).

Czerko już w 2010 roku opublikował podobne wyniki (wskazujące, że termin rozpoczęcia kiełkowania ziemniaków przechowywanych w tych samych warunkach bardziej zależał od ilości opadów niż od przebiegu temperatury w okresie wegetacji). Natomiast w pracy Ittersuma (1993), w której były symulowane ściśle warunki wzrostu ziemniaków przedstawiono wyniki,

wskazujące, że zróżnicowanie długości okresu spoczynku bulw zależało od wahań temperatury (maksymalna-minimalna) w okresie wegetacji, a nie od przebiegu średniej temperatury.

Straty przechowalnicze

Poziom ubytków naturalnych badanych odmian (tab. 3 i 4) był wyższy od średnich wieloletnich (7,5%).

Tabela 3

Straty przechowalnicze (%) odmian ziemniaków jadalnych po przechowywaniu w różnych temperaturach (2008–2011)

The storage losses (%) of table potato cultivars after storage at different temperatures (2008–2011)

Temperatura przechowywania Temperature of storage	Odmiany Cultivars	Ubytki Natural losses	Choroby Diseases	Kiełki Sprouts	Suma strat Sum of losses
3°C	Aruba	7,8	0,8	0,01	8,6
	Cyprian	7,7	1,1	0,02	8,8
	Elanda	7,5	0,6	0,02	8,2
	Finezja	9,3	2,2	0,00	11,1
	Flaming	7,8	0,9	0,11	8,8
	Justa	8,6	1,9	0,00	10,5
	Zagłoba	9,4	3,0	0,01	12,4
5°C	Aruba	6,3	0,2	0,07	6,6
	Cyprian	6,9	1,1	0,04	8,0
	Elanda	7,6	1,1	0,05	8,8
	Finezja	6,3	0,0	0,00	6,3
	Flaming	6,8	0,5	0,68	8,0
	Justa	9,0	4,6	0,02	13,6
	Zagłoba	9,0	3,4	0,15	12,6
8°C	Aruba	9,3	1,1	1,13	11,5
	Cyprian	8,3	0,3	1,18	9,8
	Elanda	8,4	0,7	0,84	9,9
	Finezja	9,4	0,8	0,48	10,7
	Flaming	11,3	0,4	5,69	17,4
	Justa	11,7	4,0	1,01	16,7
	Zagłoba	9,9	2,4	1,07	13,4
Średnio dla odmian Average for cultivars	Aruba	7,8	0,7	0,40	8,9
	Cyprian	7,7	0,8	0,41	8,9
	Elanda	7,8	0,8	0,30	8,9
	Finezja	8,4	1,0	0,16	9,6
	Flaming	8,6	0,6	2,16	11,4
	Justa	9,7	3,5	0,34	13,5
	Zagłoba	9,5	2,9	0,32	12,7
Średnio dla temperatur Average for temperatures	średnio — average	8,5	1,5	0,6	10,6
	NIR — LSD	1,4	1,5	0,50	2,6
	3°C	8,3	1,5	0,03	9,8
	5°C	7,4	1,6	0,14	9,1
	8°C	9,8	1,4	1,62	12,8
	średnio — average	8,5	1,5	0,6	10,6
	NIR — LSD	0,9	1,0	0,4	1,7
Średnio dla lat Average for years	2008/09	8,0	0,4	0,90	9,4
	2009/10	7,9	0,8	0,50	9,1
	2010/11	9,6	3,3	0,31	13,2
	średnio — average	8,5	1,5	0,6	10,6
	NIR — LSD	0,9	1,0	0,4	1,7

Tabela 4

**Straty przechowalnicze odmian skrobiowych (%) po przechowywaniu w różnych temperaturach
(2008–2011)**

The storage losses of starch potatoes (%) after storage at different temperatures (2008–2011)

Temperatura przechowywania Temperature of storage	Odmiany Cultivars	Ubytki Natural losses	Choroby Diseases	Kiełki Sprouts	Suma strat Sum of losses
3°C	Kuras	11,7	1,4	0,01	13,1
	Sekwana	14,4	4,7	0,01	19,2
	Tucan	8,3	2,1	0,00	10,4
	Zuzanna	8,9	1,0	0,00	10,0
5°C	Kuras	9,0	1,7	0,02	10,7
	Sekwana	11,5	4,4	0,04	15,9
	Tucan	6,7	3,1	0,01	9,9
	Zuzanna	8,5	1,8	0,00	10,0
Średnio dla odmian Average for cultivars	Kuras	10,3	1,6	0,02	11,9
	Sekwana	12,9	4,6	0,03	17,6
	Tucan	7,5	2,6	0,01	10,1
	Zuzanna	8,7	1,4	0,00	10,0
	średnio — average	9,9	2,6	0,01	12,5
	NIR — LSD	1,6	1,6	0,01	3,1
Średnio dla temperatur Average for temperatures	3°C	10,8	2,3	0,01	13,2
	5°C	8,9	2,8	0,02	11,6
	średnio — average	9,9	2,6	0,01	12,5
	NIR — LSD	1,1	1,1	0,01	2,2
Średnio dla lat Average for years	2008/09	7,2	0,4	0,03	7,6
	2009/10	10,6	2,1	0,01	12,7
	2010/11	11,7	5,1	0,01	16,8
	średnio — average	9,9	2,6	0,01	12,5
	NIR — LSD	1,4	1,4	0,01	2,7

Największy średni poziom ubytków, po przechowywaniu bulw w temperaturze 3°C i 5°C osiągnęły odmiany skrobiowe, Sekwana — 12,9% i Kuras — 10,3% (tab. 4). Najniższy poziom (średnio z 3°C, 5°C, 8°C) ubytków naturalnych uzyskały odmiany: Tucan, Cyprian, Aruba, Elanda (tab. 3). Najwyższe ubytki naturalne wystąpiły w ziemniakach odmian jadalnych przechowywanych w temperaturze 8°C (9,8%) i istotnie różniły się od ubytków powstałych u odmian po przechowywaniu w 3°C (8,3%) jak i w 5°C (7,4%).

Na ubytki naturalne w sezonie przechowalniczym składają się ubytki w okresie przygotowawczym trwającym 1 miesiąc i w długotrwałym okresie przechowywania, gdy ziemniaki przechowywane są już w zalecanych temperaturach. W okresie przygotowawczym ubytki naturalne są stosunkowo duże, gdyż w bulwach zachodzą jeszcze procesy korkowacenia skórki i zabiżniania uszkodzeń.

Najniższe ubytki w pierwszym okresie przechowywania miały odmiany: Finezja (2,1%), Tucan (2,3%) i Elanda (2,4%) a najwyższe odmiany: Kuras (3,0%), Sekwana (3,0%), Cyprian 3,1%).

Analizę wpływu sezonów przechowalniczych na ubytki naturalne (tab. 5) przeprowadzono na 5 odmianach (Aruba, Cyprian, Elanda, Finezja, Flaming) które charakteryzowały się małym porażeniem chorobami przechowalniczymi (poniżej 1%). Pozostałe odmiany charakteryzujące się wyższym porażeniem chorobami nie analizowano, gdyż poprzez zgniłe ziemniaki z których odparowała woda mogły zniekształcić wynik.

Przedstawione w tabeli 5 współczynniki korelacji między temperaturą, opadami i współczynnikiem Sielianinowa a ubytkami naturalnymi wskazują na mały wpływ lat na poziom ubytków naturalnych podczas przechowywania.

Tabela 5

Wpływ warunków pogodowych w okresie wegetacji (średnia za maj-wrzesień) na ubytki naturalne po przechowywaniu — współczynnik korelacji dla odmian jadalnych (bez Justa, Zagłoba)
Influence of weather conditions in vegetation period (average: May-September) on natural losses and diseases after storage — correlation coefficient for table cultivars (without Justa and Zagłoba)

Lata Years	Temperatura Temperature (°C)	Opady Precipitation (mm)	Współczynnik Sielianinowa Coefficient of Sielianinov	Ubytki naturalne Natural losses (%)
2008	15,6	304,9	1,29	8,1
2009	16,3	340,7	1,38	7,7
2010	15,6	506,1	2,15	8,4
Współczynnik korelacji — temperatura Correlation coefficient — temperature				-0,33
Współczynnik korelacji — opady Correlation coefficient — precipitation				0,25
Współczynnik korelacji — współczynnik Sielianinowa Correlation coefficient — coefficient of Sielianinov				0,26

Choroby przechowalnicze

Wpływ temperatury przechowywania (3°C, 5°C, i 8°C) na straty spowodowane rozwojem chorób przechowalniczych badanych odmian przedstawiono w tabeli 3 i 4. Średnie straty wyniosły 1,5%; najwyższe wystąpiły u odmian: Sekwana — 4,6%, Justa — 3,5%, Zagłoba — 2,9% i Tucan — 2,6%, a najniższe nie przekraczające 1,0% posiadały odmiany Flaming, Aruba, Cyprian, Elanda. W tabeli 6 i 7 przedstawiono procent porażenia bulw chorobami przechowalniczymi z podziałem na choroby grzybowe i bakteryjne (sucha zgnilizna, mokra zgnilizna, mieszana zgnilizna). Najwięcej było bulw porażonych mokrą zgnilizną szczególnie u odmian Justa i Zagłoba.

Temperatura przechowywania nie miała istotnego wpływu na rozwój poszczególnych chorób przechowalniczych ziemniaków odmian jadalnych i skrobiowych. W grupie odmian jadalnych podczas przechowywania w 5°C nie obserwowano bulw porażonych suchą zgnilizną, ale już w grupie odmian skrobiowych sucha zgnilizna w tej temperaturze wystąpiła. Natomiast stwierdzono bardzo duży wpływ warunków wegetacji na rozwój chorób. Okres wegetacji 2010 charakteryzował się największymi opadami (i współczynnikiem Sielianinowa) i ziemniaki w tym sezonie przechowalniczym 2010/2011 były najbardziej porażone chorobami przechowalniczymi tak w grupie ziemniaków odmian jadalnych jak i w skrobiowych. Natomiast w sezonie 2008/2009 charakteryzującym się najmniejszymi opadami i współczynnikiem Sielianinowa porażenie chorobami przechowalniczymi było najniższe.

Tabela 6

Porażenie chorobami przechowalniczymi ziemniaków odmian jadalnych (%) po przechowywaniu w różnych temperaturach (2008–2011)

The storage diseases of table potato cultivars (%) after storage at different temperatures (2008–2011)

Temperatura przechowywania Temperature of storage	Odmiany Cultivars	Sucha zgnilizna Dry rot	Mokra zgnilizna Soft rot	Mieszana zgnilizna Mix rot
3°C	Aruba	0,00	0,53	0,00
	Cyprian	0,08	0,99	0,00
	Elanda	0,00	0,55	0,00
	Finezja	0,33	1,87	0,00
	Flaming	0,00	0,75	0,14
	Justa	0,00	1,88	0,00
	Zagłoba	0,00	3,03	0,00
5°C	Aruba	0,00	0,13	0,10
	Cyprian	0,00	0,90	0,22
	Elanda	0,00	0,84	0,26
	Finezja	0,00	0,00	0,00
	Flaming	0,00	0,42	0,14
	Justa	0,00	4,59	0,00
	Zagłoba	0,00	2,75	0,62
8°C	Aruba	0,00	1,09	0,00
	Cyprian	0,00	0,30	0,00
	Elanda	0,00	0,66	0,00
	Finezja	0,40	0,19	0,22
	Flaming	0,00	0,36	0,00
	Justa	0,48	3,57	0,00
	Zagłoba	0,41	1,50	0,53
Średnio dla odmian Average for cultivars	Aruba	0,00	0,58	0,03
	Cyprian	0,03	0,73	0,07
	Elanda	0,00	0,69	0,09
	Finezja	0,24	0,69	0,07
	Flaming	0,00	0,51	0,09
	Justa	0,16	3,35	0,00
	Zagłoba	0,14	2,42	0,38
	średnio — average	0,08	1,28	0,10
	NIR — LSD	0,22	1,29	0,26
Średnio dla temperatur Average for temperatures	3°C	0,06	1,37	0,02
	5°C	0,00	1,38	0,19
	8°C	0,18	1,10	0,10
	średnio — average	0,08	1,28	0,10
	NIR — LSD	0,15	0,84	0,17
Średnio dla lat Average for years	2008/09	0,06	0,36	0,02
	2009/10	0,15	0,28	0,29
	2010/11	0,03	3,20	0,01
	średnio — average	0,08	1,28	0,10
	NIR — LSD	0,15	0,84	0,17

Odnutowano wysoki współczynnik korelacji między rozwojem chorób przechowalniczych a opadami w okresie wegetacji ($r = 0,50$ dla ziemniaków jadalnych i $r = 0,68$ dla skrobiowych, tab. 8 i 9). Nie wykazano wpływu temperatury w okresie wegetacji na rozwój chorób przechowalniczych. Podobne zależności między wpływem zwiększonych opadów w okresie wegetacji na wzrost chorób przechowalniczych uzyskano w badaniach z inną serią odmian (Czerko, 2011).

Tabela 7

Porażenie chorobami przechowalniczymi (%) ziemniaków odmian skrobiowych po przechowywaniu w różnych temperaturach (2008–2011)

The storage diseases of starch potato cultivars (%) after storage at different temperatures (2008–2011)

Temperatura przechowywania Temperature of storage	Odmiany Cultivars	Sucha zgnilizna Dry rot	Mokra zgnilizna Soft rot	Mieszana zgnilizna Mixed rot
3°C	Kuras (s)	0,00	1,29	0,10
	Sekwana (s)	0,47	4,25	0,00
	Tucan (s)	0,00	2,14	0,00
	Zuzanna (s)	0,00	1,04	0,00
5°C	Kuras (s)	0,21	0,57	0,90
	Sekwana (s)	0,14	4,15	0,11
	Tucan (s)	0,00	3,14	0,00
	Zuzanna (s)	0,00	1,75	0,00
Średnio dla odmian Average for cultivars	Kuras (s)	0,10	0,93	0,52
	Sekwana (s)	0,31	4,20	0,06
	Tucan (s)	0,00	2,64	0,00
	Zuzanna (s)	0,00	1,40	0,00
	Średnio — Average	0,20	2,29	0,15
	NIR — LSD	0,36	1,35	0,66
Średnio dla temperatur Average for temperatures	3°C	0,12	2,18	0,03
	5°C	0,09	2,40	0,26
	Średnio — Average	0,10	2,29	0,15
	NIR — LSD	0,26	0,95	0,46
Średnio dla lat Average for years	2008/09	0,00	0,44	0,00
	2009/10	0,31	1,30	0,43
	2010/11	0,00	5,13	0,00
	Średnio — Average	0,10	2,29	0,15
	NIR — LSD	0,31	1,17	0,57

Tabela 8

Wpływ warunków pogodowych w okresie wegetacji (średnia za maj-wrzesień) na początek kiełkowania bulw i choroby po przechowywaniu — współczynnik korelacji dla odmian jadalnych

Influence weather conditions in vegetation period (average: May-September) on date of sproutings, on natural losses and diseases after storage — correlation coefficient for table cultivars

Lata Years	Temperatura Temperature (°C)	Opady Precipitation (mm)	Współczynnik Sielianinowa Coefficient of Sielianinov	Początek kiełkowania — numer dekady * Beginning of sprouting number of decade *	Choroby Diseases (%)
2008	15,6	304,9	1,29	2. dekada stycznia — 11,1	0,44
2009	16,3	340,7	1,38	3. dekada lutego — 14,9	0,75
2010	15,6	506,1	2,15	3. dekada marca — 16,8	3,25
Współczynnik korelacji — temperatura Correlation coefficient — temperature				0,12	-0,22
Współczynnik korelacji — opady Correlation coefficient — precipitation				0,51	0,50
Współczynnik korelacji — współczynnik Sielianinowa Correlation coefficient — coefficient of Sielianinov				0,48	0,58

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

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

Tabela 9

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

Lata Years	Temperatura Temperature (°C)	Opady Precipitation (mm)	Współczynnik Sielianinowa Coefficient of Sielianinov	Początek kiełkowania — numer dekady * Beginning of sprout- number of decade *	Choroby Diseases (%)
2008	15,6	304,9	1,29	2. dekada lutego — 14,3	0,44
2009	16,3	340,7	1,38	1. dekada marca — 16,1	2,05
2010	15,6	506,1	2,15	1. dekada kwietnia — 19,3	5,13
Współczynnik korelacji — temperatura Correlation coefficient — temperature				-0,16	-0,12
Współczynnik korelacji — opady Correlation coefficient — precipitation				0,89	0,68
Współczynnik korelacji — współczynnik Sielianinowa Correlation coefficient — coefficient of Sielianinov				0,88	0,67

*1=1 dekada października, 19 = 1 dekada kwietnia

*1=1 decade of October, 19= 1 decade of April

Suma strat

Na całkowite straty podczas przechowywania składają się ubytki naturalne, bulwy porażone chorobami oraz masa kiełków. Suma strat zależała głównie od odmiany i temperatury przechowywania, istotny wpływ miały także warunki wegetacji.

Warunki wegetacji w badanych latach wpłynęły na sumę strat. Większe opady w okresie wegetacji wpłynęły głównie na wzrost porażenia chorobami przechowalniczymi a pośrednio także na wzrost ubytków naturalnych. Po mokrym okresie wegetacji kiełkowanie było późniejsze i mniej intensywne, ale dla sumy strat znaczenie kiełkowania było minimalne.

WNIOSKI

1. Stwierdzono wysoki współczynnik korelacji między rozwojem chorób przechowalniczych a opadami w okresie wegetacji. W latach o dużych opadach wystąpiło zwiększone porażenie bulw ziemniaka chorobami przechowalniczymi.
2. Większy rozwój chorób przechowalniczych wystąpił w wyższej temperaturze przechowywania (8°C). Średnio najniższe porażenie chorobami przechowalniczymi (<1,0%) wystąpiło u odmian: Flaming, Elanda, Finezja, Cyprian, a najwyższe (>1,0%) u odmian: Aruba, Justa i Zagłoba.
3. W temperaturze 5°C mogą być przechowywane sadzeniaki odmian: Cyprian, Finezja, Kuras, Zuzanna a w temperaturze przechowywania pomiędzy 3°C a 5°C odmiany: Aruba, Justa, Sekwana, Tucan. Odmiany Elanda, Zagłoba w temperaturze 3°C, a odmiana intensywnie kiełkująca Flaming powinna być przechowywana w temperaturze 2–3°C.
4. Najmniejszymi stratami przechowalniczymi charakteryzowały się odmiany: Aruba, Cyprian, Elanda, Finezja (tab. 3 i 4). Największe straty wystąpiły u odmiany Sekwana.

Istotnie wyższe straty wystąpiły w wyższej temperaturze przechowywania 8°C. Straty ziemniaków przechowywanych w temperaturze 3°C i w 5°C nie różniły się istotnie między sobą tak dla ziemniaków jadalnych jak i dla skrobiowych.

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. 77: 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.
- Czerko Z. 2011. Przechowywalność sześciu odmian ziemniaka uprawianych w latach 2007–2009. Biul. IHAR 262: 127 — 139.
- Desjardinis A., Christ E., McCornick S., Secor G. A. 1992. Heritability and other characteristics of thiabendazole-resistance in *Fusarium sambucinum* from dry rotted potato tubers. Phytopathology 83: 164 — 170.
- Frydecka-Mazurczyk A. 1978. Oddychanie bulw ziemniaka w zależności od warunków termicznych w czasie przechowywania, Biul. Inst. Ziem. 22: 113 — 124.
- Ittersum van M. K. 1992. Dormancy and growth vigour of seed potatoes. Doctoral thesis. Wageningen Agricultural University: 187 ss.
- Kubicki K. 1988. Biologiczne i techniczne uwarunkowania przechowywania ziemniaków. PWN, Warszawa, 206 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 Resistenz Verhaltens von Kartoffelsorten Gegenüber *Fusarium coeruleum* (Lib.) Sacc. Potato Res. 22: 107 — 122.
- 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. Nachrichtenblatt 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 pp.
- 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.

PAWEŁ SKONIECZEK**MIROSŁAW NOWAKOWSKI**

Zakład Technologii Produkcji Roślin Okopowych

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Oddział w Bydgoszczy

Występowanie sprawców zgorzeli siewek buraka na stanowiskach z uprawą buraka cukrowego

Occurrence of the root rot beet pathogens in sugar beet cultivation sites

Z plantacji buraka cukrowego na terenie województw: kujawsko-pomorskiego, pomorskiego i warmińsko-mazurskiego dostarczono w 2010 roku do IHAR — PIB w Bydgoszczy 11 prób porażonych korzeni buraka cukrowego i gleby celem zbadania występowania grzybów, w tym *Rhizoctonia solani*. W próbach gleby oceniono zawartość makroskładników pokarmowych, zasolenie i pH. Glebę umieszczono w kuwetach i wysiano w nich nasiona buraka cukrowego. Na porażonych młodych roślinach buraka stwierdzono obecność grzybów z rodzaju: *Fusarium*, *Aphanomyces*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Verticillium*, *Cladosporium* i *Alternaria*. *Rhizoctonia solani* wykryto w glebie pochodzącej z miejscowości Minikowo i Sypniewo (woj. kujawsko-pomorskie) oraz Wandowo (woj. pomorskie). W wymienionych glebach wykazano następujące porażenie siewek buraka przez *R. solani*: 15,3% (średnio dla odmian buraka cukrowego: Janosik i Jenna) 7,9% (Janosik) i 15,7% (Janosik). Na preparatach z porażoną tkanką buraka obserwowano wielokrotnie jednocześnie występowanie wielu grzybów, wśród których dominowały rodzaje: *Aphanomyces*, *Fusarium*, *Pythium*, *Verticillium* i *Rhizoctonia*. Badania nadesłanych prób korzeni i gleby potwierdziły w 3 przypadkach obecność *R. solani* w glebie i na roślinie.

Słowa kluczowe: burak cukrowy, porażenie, występowanie *Alternaria*, *Aphanomyces*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia solani*, *Verticillium*

The IHAR — PIB in Bydgoszcz received in 2010 eleven samples of infected sugar beet roots and soil. The samples were taken from areas of the following provinces: Kujawy-Pomerania, Pomerania and Warmia-Masuria. The main purpose of the tests was to examine the occurrence of *Rhizoctonia solani*. The content of macronutrients, salinity and pH were evaluated in the samples of the soil. First, the soil was placed on trays and then sugar beet seeds were sown. The occurrence of various fungi genera, including *Fusarium*, *Aphanomyces*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Verticillium*, *Cladosporium* and *Alternaria* was noted. *R. solani* was detected in the soil obtained from Minikowo and Sypniewo areas (Kujawy-Pomerania) and also from Wandowo area (Pomerania). After growth in the mentioned soils the following *R. solani* infection rates on the sugar beet seedlings were found: 15.3% (on average for Janosik and Jenna sugar beet cultivars), 7.9% (Janosik) and 15.7% (Janosik). Frequent observations and examinations of the microscopic specimen of infected sugar beet tissue showed simultaneous

occurrence of many fungi, among which fungi such as genera *Aphanomyces*, *Fusarium*, *Pythium*, *Verticillium* and *Rhizoctonia* dominated. The studies of received roots and soils samples confirmed that in three cases *R. solani* was present in the soil as well as on the plant.

Key words: infection, occurrence of *Alternaria*, *Aphanomyces*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia solani* and *Verticillium*, sugar beet

WSTĘP

Rhizoctonia solani Kühn jest jednym z groźniejszych patogenów, ograniczającym istotnie plonowanie wielu ważnych gospodarczo upraw rolniczych. Grzyb ten występuje powszechnie w glebie, w postaci grzybni bądź sklerocjów, przyczyniając się do rozkładu materii organicznej (Domsch i in., 1980; Windels i Lamey, 1998). Jako pasożyt okolicznościowy, wywołuje choroby nie tylko buraka cukrowego, ale także ziemniaka, kukurydzy, rzepaku, zbóż, pomidora, kapusty, szeregu traw, a nawet krzewów i drzew (Führer Ithurrart i in., 2004). Roślinami żywicielskimi dla *R. solani* są również chwasty (Zellner i in., 2002).

W początkowym okresie wzrostu roślin, przy wysokiej temperaturze i dużej wilgotności gleby *R. solani* bywa sprawcą zgorzeli siewek buraka cukrowego. Grzyb jest odporny na fungicydy i w następstwie tego powoduje dosyć często zamieranie pojedynczych roślin buraka lub części rzędów, przyczyniając się do istotnych strat w obsadzie roślin. Poraża on także w drugiej połowie okresu wegetacji starsze buraki, co objawia się rozwojem brunatnej zgnilizny korzeni. Na styku tkanki zdrowej i chorej tworzy się wówczas na korzeniu wyraźna granica (Windels i Lamey, 1998; Harveson i in., 2002; Borodynko i in., 2011). Mocno porażone korzenie ulegają pęknięciom i wtórnym zakażeniom przez inne mikroorganizmy glebowe. Grzyb może przyczyniać się do spowolnienia rozwoju roślin, także poprzez wydzielanie toksyn (Moliszewska, 2009). Rośliny porażone, które nie zamarły w czasie wegetacji dają plon korzeni znacznie niższy, o gorszej jakości przerobowej. Chore korzenie są bardzo podatne na gnicie i nie nadają się do przechowywania na polu.

Rhizoctonia solani staje się coraz większym problemem na plantacjach buraka cukrowego, także w Polsce. Z informacji udostępnianych przez działy surowcowe przemysłu cukrowniczego wynika, że rizoktonioza stwarza w Europie co roku poważne problemy na około 50 tysiącach hektarów uprawy buraka cukrowego (Dircks i in., 2011). Rozwojowi choroby w Polsce sprzyja duży udział w płodozmianach buraka cukrowego, kukurydzy i rzepaku oraz kwaśny odczyn i wadliwa struktura gleby będąca następstwem uproszczeń uprawy oraz stosowania ciężkich maszyn.

Celem pracy było przeprowadzenie wstępnej oceny występowania grzybów, w tym *R. solani* na stanowiskach z uprawą buraka cukrowego.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w trakcie realizacji zadania pt. „Monitorowanie zmian w populacjach patogena *Rhizoctonia solani* — sprawcy rizoktoniozy korzeni buraka

cukrowego” w programie wieloletnim „Ulepszanie roślin dla zrównoważonych agroekosystemów, wysokiej jakości żywności i produkcji roślinnej na cele nieżywnościowe”.

Z różnych rejonów uprawy buraka cukrowego w województwie kujawsko-pomorskim (Bydgoszcz — IHAR, Minikowo, Radłówek, Stablewice i Sypniewo), pomorskim (Wandowo) i warmińsko-mazurskim (Bałcyny) dostarczone zostały w 2010 roku przez inspektoraty Państwowej Inspekcji Ochrony Roślin i Nasiennictwa, cukrownie i Oddział Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB w Bydgoszczy próby korzeni buraka cukrowego oraz gleby z 11 plantacji, na których wystąpiły objawy porażenia zbliżone do tych powodowanych przez *R. solani*. Na korzeniach pochodzących z Minikowa, Sypniewa i Wandowa, wykazano obecność *R. solani*.

Przeprowadzono także ocenę potencjału infekcyjnego dostarczonych prób gleby, ze szczególnym uwzględnieniem *R. solani*. Próby gleby z 11 plantacji umieszczono w kuwetach (45×35×8 cm) i wysiano do nich po 100 nieotoczonych i niezaprawianych nasion buraka cukrowego odmiany Janosik (odmiana nietolerancyjna na *R. solani*), a w przypadku miejscowości, z których przywieziono większe ilości gleby do testów, przeprowadzono badania wysiewając dodatkowo odmianę Jenna (odmiana tolerancyjna na *R. solani*). Badania wykonano w trzech powtórzeniach. Kuwety umieszczono w komorze klimatycznej ze stałą temperaturą 22°C. Podlewano je w celu utrzymania stałej wilgotności, w zakresie 60–65% polowej pojemności wodnej. Zastosowano sztuczne oświetlenie lampami typu Fluora przez 12 godzin dziennie. Po siedmiu dobach od siewu policzono wschody i wyrażono je w procentach. Od początku wschodów rejestrowano rośliny chore i zamierające. Fragmenty porażonych siewek układano na agar wodny celem namnożenia i identyfikacji patogenów grzybowych. Po 72 godzinach inkubacji w temperaturze 25°C określano mikroskopowo mikroflorę. Dla roślin, które weszły określono procent porażenia ogółem. Przyjmując ilość porażonych roślin (% porażenia ogółem) jako 100% obliczono udział procentowy porażenia wywołanego przez poszczególne rodzaje grzybów. Doświadczenie zakończono po 42 dniach od momentu siewu.

Określono także wybrane właściwości chemiczne badanych gleb, aby zinterpretować ich wpływ na stan zdrowotności roślin. Oznaczono zawartość podstawowych makroskładników pokarmowych, odczyn i zasolenie gleby. Wyniki opracowano statystycznie metodą analizy wariancji, a istotność różnic weryfikowano testem t-studenta.

OMÓWIENIE I DYSKUSJA WYNIKÓW

Nie wykazano istotnych statystycznie różnic pomiędzy wschodami buraka cukrowego określonymi w 11 próbach gleb pochodzących z różnych rejonów uprawy (tab. 1). W trakcie badań potencjału infekcyjnego gleb ogólny udział porażonych siewek oscylował w granicach od 13,8 do 92,0%. Na przygotowanych preparatach z tkanką porażonych siewek, obserwowano często jednoczesne występowanie kilku patogenów, wśród których przeważały grzyby z rodzaju *Fusarium*, *Aphanomyces*, *Pythium*, *Verticillium* i *Rhizoctonia*. Z tego względu suma udziałów porażen wywołanych przez poszczególne rodzaje grzybów przekraczała dla niektórych gleb 100%.

Dominującą grupę grzybów izolowanych z porażonych tkanek korzeni stanowili przedstawiciele rodzaju *Fusarium* (12,6–53,3% roślin porażonych; największe porażenie w Wandowie) (tab. 2). Należą do niego zarówno niebezpieczne patogeny wielu gatunków roślin, ale także grzyby nieszkodliwe, a nawet pożyteczne, które przyczyniają się do rozkładu materii organicznej gleby i jednocześnie ograniczają występowanie innych chorobotwórczych grzybów (Orlikowski, 1989; Nitschke i Varrelmann, 2008). Z porażonych tkanek buraka udało się wyizolować w badaniach własnych, podobnie jak w doświadczeniach Martyn i in. (1989), *F. oxysporum* i *F. oxysporum* f. sp. *betae*. *Fusarium oxysporum* jest znanym i powszechnie występującym patogenem korzeni, jednak niektóre prace nie potwierdzają jego wysokiej patogeniczności w stosunku do buraka (MacDonald i Leach, 1976). Stosunkowo niedużą szkodliwość *F. oxysporum* wobec siewek buraka obserwowała Moliszewska (1999). Dużą patogeniczność niektórych izolatów *F. oxysporum* f. sp. *betae* w stosunku do siewek buraka cukrowego zanotowała Kowalik (1983), jednak analogicznie jak w przypadku opisanych w niniejszej pracy testów zagrożenie ze strony patogena w odniesieniu do starszych roślin wyraźnie malało. Brak jest doniesień o dużej szkodliwości *Fusarium* spp. w uprawie buraka cukrowego na terenie Polski.

Z rodzaju *Aphanomyces* wyizolowano *Aphanomyces cochlioides*, który jest jednym z najgroźniejszych i najbardziej rozpowszechnionych patogenów powodujących zgorzel siewek. Uzyskane, własne wyniki potwierdziły, że *Aphanomyces* bywa bardzo często sprawcą zgorzeli siewek (8,7–68,4% roślin porażonych) (tab. 1). Najsilniejsze porażenie grzybem wystąpiło w Minikowie i Stablewicach. Grzyb ten podobnie jak *R. solani* atakuje zarówno młode siewki jak i starsze rośliny w drugiej połowie okresu wegetacji, przyczyniając się do zgnilizn korzeni. Uszkodzenia spowodowane przez tego grzyba ułatwiają wnikanie i wtórne infekowanie buraka przez inne mikroorganizmy glebowe, zwłaszcza z rodzaju *Fusarium* (Borodynsky i in., 2011). Stąd też w trakcie przeprowadzania doświadczeń laboratoryjnych z glebami pochodzącymi z różnych pól wykrywano w porażonych tkankach różne gatunki grzybów. Zbliżone uwarunkowania, sprzyjające mieszanym infekcjom na buraku cukrowym opisała Moliszewska (2009).

Oprócz *Aphanomyces cochlioides* często sprawcami infekcji siewek buraka były także grzyby z rodzaju *Pythium* (1,7–33,3% roślin porażonych; największe porażenie w Minikowie). Na współistnienie w glebie wymienionych mikroorganizmów wskazują Williams i Asher (1996) oraz Piszczek (2004). W przeprowadzonych badaniach stwierdzono obecność na porażonych tkankach siewek *P. ultimum*. Nie obserwuje się w praktyce rolniczej szkodliwego wpływu grzybów z rodzaju *Pythium* na rozwój buraka cukrowego w późniejszych fazach rozwojowych (Piszczek, 2004).

Do grupy grzybów powodujących zgorzel siewek zalicza się także *Rhizoctonia solani*. Przyczynił się on do porażenia siewek mieszczącego się w granicach od 7,9 do 16,5%. Gleba, w której wykryto *R. solani* pochodziła z miejscowości Minikowo i Sypniewo (woj. kujawsko-pomorskie) oraz Wandowo (woj. pomorskie). Istotne porażenie badanych siewek przez *R. solani* (15,7%) wystąpiło na glebie pobranej z miejscowości Wandowo. W Sypniewie *Rhizoctonia* miał udział w 7,9% wszystkich infekcji.

Tabela 1

Badanie potencjału infekcyjnego gleb pochodzących z różnych plantacji buraka cukrowego
The examination of infectious potential of the soil from different sugar beet fields

Miejscowość Locality	% wzrostów Emergence %	% porażenia ogółem, po wzrostach Percentage of infected plants total, past emergence	Procent siewek porażonych przez rodzaj Percentage of infected seedlings by genus						
			<i>Fusarium</i>	<i>Aphano- myces</i>	<i>Pythium</i>	<i>Rhizocto- nia</i>	<i>Verticil- lium</i>	<i>Cladospo- rium</i>	<i>Alternaria</i>
Bałcyny M (Ja)	82	77,5	34,0	10,2	18,1	0,0	9,4	1,6	7,9
Bałcyny P (Ja)	77	49,5	29,1	17,4	10,2	0,0	15,9	1,1	6,8
Bydgoszcz (Ja)	69	60,0	44,5	25,4	19,3	0,0	31,8	11,4	1,1
Minikowo 1 (Ja)	88	85,7	33,6	68,4	33,3	16,5	21,0	0,0	9,1
Minikowo 1 (Je)	80	79,0	35,0	56,7	25,9	14,0	18,8	0,0	6,4
Minikowo 2 (Ja)	73	32,3	30,6	8,7	1,7	0,0	31,3	17,4	1,7
Radłów (Ja)	94	13,8	45,0	38,2	15,6	0,0	34,4	6,3	6,0
Stablewice (Ja)	98	92,0	41,2	48,1	18,0	0,0	6,2	0,0	1,0
Stablewice (Je)	89	72,0	40,2	41,8	12,0	0,0	8,0	0,0	1,5
Sypniewo 1 (Ja)	93	88,3	43,4	18,1	8,0	0,0	6,3	0,0	0,0
Sypniewo 2 (Ja)	87	75,3	12,6	14,8	5,3	7,9	5,3	1,3	11,0
Sypniewo 3 (Ja)	87	34,0	45,0	12,4	9,4	0,0	6,3	25,0	12,5
Wandowo (Ja)	90	80,7	53,3	9,1	21,2	15,7	15,2	15,2	15,2
NIR _(0,05) ; LSD _(0,05)	n.i.	7,9	8,5	6,8	3,4	0,8	4,1	2,3	0,7

(Ja) — odmiana buraka cukrowego Janosik; sugar beet cultivar Janosik

(Je) — odmiana buraka cukrowego Jenna; sugar beet cultivar Jenna

n.i. — różnica nieistotna; no significant difference

Silną patogeniczność *R. solani* zaobserwowano na plantacji buraka cukrowego w Minikowie, gdzie stwierdzono w zasiedlonej grzybem części pola 100% zniszczenie plonu (rys. 1). Badania potencjału inokulum gleb potwierdziły występowanie na tym polu *R. solani* zarówno na siewkach buraka cukrowego odmiany Janosik (16,5%) jak i Jenna (14,0%). Odmiana Jenna, tolerancyjna na *R. solani*, wykazała większą odporność na infekcje powodowane przez *R. solani* (w Minikowie), *Aphanomyces* sp. (w Minikowie), przez *Pythium* sp. (w Minikowie i Stablewiczach) oraz *Alternaria* sp. (w Minikowie).

W badaniach Kowalik (1983), zarejestrowano zróżnicowane porażenie siewek buraka przez *R. solani* w zależności od odmiany buraka, jak i od szczepu patogena. Występowanie *R. solani* wśród sprawców zgorzeli siewek buraka cukrowego w Polsce wykazali Moliszewska (2000), Szymczak-Nowak i in. (2001, 2002), Moliszewska i Burgiel (2002) oraz Szymczak-Nowak (2005). Potwierdzili oni różnorodność reakcji badanych odmian buraka na różne izolaty *R. solani*. Zarówno w badaniach laboratoryjnych jak i polowych Moliszewska i Schneider (2002) udowodnili bardzo silną agresywność niektórych izolatów *R. solani* w stosunku do młodych roślin buraka cukrowego.

W badaniach własnych zaobserwowano także objawy infekcji siewek spowodowane przez grzyby z rodzaju *Verticillium* (5,3–34,4% roślin porażonych; największe porażenie w Radłowie), *Cladosporium* (0–25,0% roślin porażonych; największe porażenie w Sypniewie „3”) i *Alternaria* (0–15,2% roślin porażonych; największe porażenie w Wandowie).



Rys. 1. Silne porażenie przez *R. solani* plantacji buraka cukrowego w Minikowie
Fig. 1. Sugar beet plantation in Minikowo with manifestations of severe *R. solani* infection

Biorąc pod uwagę przedziały zasobności opracowane przez Gutmańskiego i in. (2000) nie stwierdzono szkodliwych dla roślin zawartości makroskładników i zasolenia (tab. 2). Niesprzyjający rozwojowi roślin buraka kwaśny odczyn gleby wystąpił na stanowiskach w Bałczynach i Wandowie.

Nie zarejestrowano wyraźnych zależności pomiędzy odczynem, zasoleniem i zasobnością gleby w makroskładniki a występowaniem porażenia buraków cukrowych spowodowanym przez *R. solani* oraz przez pozostałe badane grzyby. Jedynie na stanowisku w Wandowie, które charakteryzowało się kwaśnym odczynem oraz niską zasobnością P, K i Mg, wykazano istotne porażenie roślin buraka przez *R. solani* oraz *Fusarium* sp. Takie relacje pomiędzy niekorzystnymi właściwościami chemicznymi gleby, a nasilonym porażeniem przez *R. solani* obserwowane były wcześniej w innych badaniach (Pisarek i Moliszewska, 1999; Skonieczek i Nowakowski, 2011).

Tabela 2

Zawartość składników pokarmowych, zasolenie i pH badanych gleb
Content of nutrients, salinity and pH of investigated soils

Pole Field	pH KCL		Zasolenie Salinity	N-NO ₃		P		K		Mg	
			(mg·dm ⁻³)								
Bałcyny M	5,1	k	0,80 s	42	bw	70	s	30	bn	25	bn
Bałcyny P	5,5	k	0,80 s	45	bw	75	w	35	bn	30	bn
Bydgoszcz	7,7	z	0,16 bn	40	w	118	bw	53	bn	25	bn
Minikowo 1	7,2	o	0,60 s	55	bw	70	s	35	bn	28	bn
Minikowo 2	7,0	o	0,50 s	53	bw	93	w	33	bn	35	n
Radłów	7,7	z	0,30 n	58	bw	100	bw	28	bn	27	bn
Stablewice	5,7	lk	0,10 bn	29	s	38	n	75	n	52	s
Sypniewo 1	6,2	lk	0,27 n	48	bw	67	s	80	n	32	n
Sypniewo 2	6,0	lk	0,30 n	42	bw	85	w	65	n	25	bn
Sypniewo 3	5,9	lk	0,35 n	50	bw	94	w	84	n	30	bn
Wadowo	5,5	k	0,41 s	60	bw	32	n	82	n	35	n

Odczyn gleby; soil reaction: k — kwaśny; acid, lk — lekko kwaśny; slightly acid, o — obojętny; neutral, z — zasadowy; alkaline

Ocena zawartości składnika/ zasolenia; nutrient content class / salinity:

bw — bardzo wysoka; very high, w — wysoka; high, s — średnia; middle

n — niska; low, bn — bardzo niska; very low

WNIOSKI

1. Analiza potencjału infekcyjnego 11 prób gleby wykazała w 3 miejscowościach, położonych w północnej części Polski, obecność grzyba *Rhizoctonia solani*, porażającego rośliny buraka cukrowego.
2. W przeprowadzonych badaniach zgorzel siewek buraka cukrowego powodowały najczęściej grzyby z rodzaju *Fusarium*, *Aphanomyces* i *Pythium*.
3. W warunkach silnego i wczesnego porażenia przez *R. solani* straty w obsadzie roślin i plonie buraka cukrowego mogą wynosić do 100% na części pola zasiedlonej wymienionym patogenem.

LITERATURA

- Borodynko N., Moliszewska E., Wiśniewski W. 2011. Choroby buraka cukrowego. Biuletyn Agrotechniczny KWS nr 1/2011 (10): 1 — 22.
- Dircs Ch., Behn A., Varrelmann M. 2011. Optimization of sugar beet *Rhizoctonia solani* resistance test in field trials by irrigation and fleece cover. Abstracts presented at the 2011 General Meeting of the ASSBT. Journal of Sugar Beet Research. Vol. 48 Nos. 1-2: 82 — 83.
- Domsch K. H., Gams W., Anderson T. H. 1980. Compendium of soil fungi. Academic Press, London: 859 pp.
- Führer Ithurrart M. E., Büttner G., Petersen J. 2004. *Rhizoctonia* root rot in sugar beet (*Beta vulgaris* ssp. *altissima*) — Epidemiological aspects in relation to maize (*Zea mays*) as a host plant. J. Plant Dis. Prot., 111: 302 — 312.
- Gutmański I., Nowakowski M., Mikita J. 2000. Possibilities of balanced sugar beet nutrition in Poland. Proc. of Reg. Workshop of Beta Research Institute, WPI, IPI: Balanced plant nutrition in sugar beet cropping systems for high yield and quality. Budapest, 1-2.09.1999: 120 — 130.

- Harveson R. M., Hein G. L., Smith J. A., Wilson, R. G., Yonts C. D. 2002. An integrated approach to cultivar evaluation and selection for improving sugar beet profitability: a successful case study for the Central High Plains. *Plant Disease* 86 (3): 192 — 204.
- Kowalik M. 1983. Patogeniczność wybranych szczepów grzybów zgorzelowych buraka cukrowego. *Zesz. Nauk. AR Krak.* 179, *Ogrodn.* 12: 157 — 168.
- MacDonald J. D., Leach J. D. 1976. The association of *Fusarium oxysporum* f. sp. *betae* with nonprocessed and processed sugarbeet seed. *Phytopathology* 66: 868 — 872.
- Martyn, R. D., Rush, C. M., Biles, C. L., Baker, E. H. 1989. Etiology of a root rot disease of sugar beet in Texas. *Plant Disease* 73: 879 — 884.
- Moliszewska E. B. 1999. Wpływ wybranych herbicydów na zdrowotność siewek buraka cukrowego, praca doktorska, Uniwersytet Opolski — Akademia Rolnicza w Krakowie: 129 ss.
- Moliszewska E. B. 2000. The influence of some herbicides on species variation of fungi associated with rotted tissue of sugar beet seedlings. *Phytopathologia Polonica* 20: 85 — 95.
- Moliszewska E. B. 2009. Etiologia wybranych chorób korzeni buraka cukrowego, Uniwersytet Opolski, *Studia i monografie* nr 412, Opole 2009: 131 ss.
- Moliszewska E. B., Burgiel Z. J. 2002. Badania wybranych szczepów grzyba *Rhizoctonia solani* Kühn wyizolowanych z zamierających siewek buraka cukrowego. *Z. Nauk. AR w Krakowie* 82: 101 — 104.
- Moliszewska E. B., Schneider J. H. M. 2002. Studies on pathogenic properties of *Rhizoctonia solani* against sugar beet seedlings, *Plant Protection Science* 38 (Special Issue 2): 322 — 324.
- Nitschke E., Varrelmann M. 2008. *Fusarium* vs. sugar beet — characterization of pathogenicity and colonization patterns of different *Fusarium* species. In: Abstract of Papers of 71st IIRB Congress, Brussels: 87.
- Orlikowski L. 1989. Mechanizm oporności gleb na formy specjalne *Fusarium oxysporum*. *Post. Nauk Roln.* 4: 41–56.
- Pisarek I., Moliszewska E. B. 1999. Badanie wpływu właściwości fizyko-chemicznych gleb na populację *Rhizoctonia solani* Kühn w obecności wybranych herbicydów. *Zesz. Probl. Postępu Nauk Rolniczych* 467: 579 — 585.
- Piszczek J. 2004. Occurrence of root rot of sugar beet cultivars. *Journal of Plant Protection Research* 44 (4): 341 — 345.
- Skonieczek P., Nowakowski M. 2011. Rizoktonioza, choroba zagrażająca uprawie buraka cukrowego. *Polski Cukier* 4 (9) 2011: 24 — 25.
- Szymczak-Nowak J. 2005. Wrażliwość wybranych odmian buraka cukrowego na *Rhizoctonia solani* Kühn. *Progress in Plant Protection / Postępy w Ochronie Roślin*, Poznań, 45 (2): 1141 — 1144.
- Szymczak-Nowak J., Nowakowska H., Pańczyk T., Sitarski A., Wąsacz E., Skibowska B. 2001. Ocena wrażliwości materiałów hodowlanych buraka cukrowego na *Cercospora beticola* Sacc. i *Rhizoctonia solani* Kühn. *Progress in Plant Protection / Postępy w Ochronie Roślin*, Poznań, 41 (2): 779 — 782.
- Szymczak-Nowak J., Nowakowska H., Sitarski A., Wąsacz E. 2002. Patogeniczność izolatów grzyba *Rhizoctonia solani* Kühn dla kilku odmian buraka cukrowego. *Progress in Plant Protection / Postępy w Ochronie Roślin*, Poznań, 42 (2): 913 — 916.
- Williams G. E., Asher M. J. C. 1996. Selection of rhizobacteria for the control of *Pythium ultimum* and *Aphanomyces cochlioides* on sugar-beet seedlings. *Crop Protection* 15 (5): 479 — 486.
- Windels C. E., Lamey H. A. 1998. Identification and control of seedling diseases, root rot and Rhizomania on sugar beet. BU-7192-S. North Dakota State University: 1142 pp.
- Zellner M., Hügl A., Büttner P., Opitz K. 2002. Monitoren Ergebnisse zum Befall mit *Rhizoctonia solani* an Rüben, Mais und Unkräutern. — *Mitt. Biol. BundAnst. Ld.- u. Forstw. H.* 390: 346 — 347.

ZBIGNIEW BODZON

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy w Radzikowie

Dziedziczenie cechy wiechowatości kwiatostanów lucerny mieszańcowej (*Medicago x varia* T. Martyn)

Inheritance of spontaneous panicle inflorescence mutation in alfalfa (*Medicago x varia* T. Martyn)

Obiektem badań była spontaniczna mutacja lucerny, polegająca na wyrastaniu dodatkowych gron w miejscu kwiatów. Kwiatostan zmutowanych form przybiera kształt wiechy (*pi* — *panicle inflorescence*) złożonej z kilkunastu rozgałęzień, na których wyrastają kwiaty. Liczba kwiatów w wiechach, w porównaniu z gronami, ulega zwielokrotnieniu osiągając liczbę kilkudziesięciu. Wykorzystanie tej cechy w hodowli lucerny stwarza nowe możliwości zwiększenia jej potencjału plonowania nasiennego. Celem badań, wykonanych w latach 2005–2010, było określenie sposobu dziedziczenia cechy wiechowatości kwiatostanów. Ocenę ekspresji tej cechy przeprowadzono w obrębie potomstw S_1 i S_2 , pochodzących z samozapylenia rośliny zmutowanej oraz mieszańców F_1 , F_2 i F_3 , uzyskanych ze skrzyżowania roślin wytwarzających typowe kwiatostany (grona) z roślinami zmutowanymi. Analiza stosunków rozszczepień fenotypowych, przeprowadzona z użyciem testu chi-kwadrat, wykazała, że cecha wiechowatości kwiatostanów lucerny dziedziczy się jednym genem w układzie czterech alleli recesywnych (*pi pi pi pi*).

Słowa kluczowe: cecha recesywna, dziedziczenie, geny recesywne, kwiatostan, lucerna, mutacja spontaniczna, wiechowatość kwiatostanów

The aim of research was to explain mode of inheritance of the lucerne mutation that causes the formation of panicles instead of racemes on stems. Panicles on mutant plants consisted of a lot of branches that caused several fold increase of flower numbers in inflorescences. Application of this character in lucerne breeding creates new opportunities to increase its seed yield potential. The inheritance of this character was studied in S_1 and S_2 progenies obtained by selfing a mutant plant, as well as in F_1 , F_2 and F_3 generations of hybrids obtained by crossing plants that produce racemes with S_2 mutant progenies. The analysis of segregation in the selfed progenies of the mutant plants and in F_1 – F_3 progenies of the hybrids showed that the character of panicle inflorescence is controlled by single gene in the configuration of four recessive alleles *pi pi pi pi* (*pi* — panicle inflorescence).

Key words: alfalfa, inheritance, lucerne, panicle inflorescence, recessive gene, recessive trait, spontaneous mutation

WSTĘP

Lucerna, obok koniczyny czerwonej, ma podstawowe znaczenie w krajowej produkcji rolniczej. Jednym z priorytetowych kierunków hodowli nowych odmian, obok ulepszania parametrów jakościowych, zdrowotności i odporności roślin na czynniki stresowe, jest zwiększenie poziomu plonowania nasiennego. W IHAR — PIB prowadzone są badania nad zwiększeniem produktywności nasiennej lucerny poprzez wykorzystanie genów warunkujących cechy determinujące tworzenie nasion oraz nad poszerzeniem zakresu zmienności poprzez wykorzystanie, poza zmiennością rekombinacyjną, także mutacji.

Obiektem badań była spontaniczna mutacja kwiatostanów, polegająca na wyrastaniu dodatkowych gron w miejscu kwiatów, wyodrębniona w badaniach własnych (rys. 1). Kwiatostan zmutowanych form przybiera kształt wiechy złożonej z kilkunastu rozgałęzień, na których wyrastają kwiaty, dlatego też cechę tę nazwano *wiechowatością kwiatostanów* (*panicle inflorescence* — *pi*). Liczba kwiatów w wiechach, w porównaniu z gronami, ulega z wielokrotnieniu osiągając liczbę kilkudziesięciu. Występowanie różnych form rozgałęzienia gron lucerny opisali Dudley i Wilsie (1956, 1957), Childers (1966) oraz Mariani i in. (1976), jednak dotychczasowe badania tej mutacji nie doprowadziły do uzyskania formy przydatnej w hodowli. Wykorzystanie tej cechy w hodowli lucerny stworzyłoby nowe możliwości zwiększenia jej potencjału plonowania nasiennego. W programach hodowli lucerny najbardziej przydatne są cechy warunkowane przez pojedyncze geny dziedziczące się w sposób prosty (Hill i in., 1988; Rumbaugh i in., 1988; Staszewski i in., 1989, 1992; Staszewski i Bodzon, 2002; Bodzon, 2007). Z tego względu celem przeprowadzonych badań było określenie sposobu dziedziczenia cechy wiechowatości kwiatostanów lucerny.

MATERIAŁ ROŚLINNY I METODY BADAŃ

Materiał do badań stanowiły:

- linie wsobne S_1 i S_2 mutantu *pi*. Spontaniczna mutacja *pi* została wyodrębniona w pokoleniu F_2 mieszańców uzyskanych ze skrzyżowania roślin polskiej odmiany Radius i francuskiej Baralix,
- rośliny odmiany Radius, które użyto jako formy mateczne w krzyżowaniach z liniami S_2 mutantu *pi*.

Badania genetyczne przeprowadzono w latach 2005–2010.

Analizę sposobu dziedziczenia cechy wiechowatości kwiatostanów przeprowadzono na roślinach potomstw S_1 i S_2 , pochodzących z samozapylenia mutantu oraz pokolenia F_1 , F_2 i F_3 uzyskanych ze skrzyżowania roślin odmiany Radius, wytwarzających typowe kwiatostany (grona) z roślinami zmutowanymi. Samozapylenia i krzyżowania wykonano ręcznie w szklarni. Rośliny wysadzone pojedynczo w wazonach o pojemności 8 l, doświetlano w fazie kwitnienia, zawiązywania i dojrzwania strąków lampami sodowymi, utrzymując temperaturę na poziomie 24–26°C w dzień i 13–15°C w nocy, przy wilgotności względnej powietrza ok. 75%. Uzyskane nasiona posłużyły do przygotowania rozsąd z których założono doświadczenia polowe. Rozsadę przygotowywano w szklarni, w

doniczkach torfowych o pojemności 0,2 l, napełnionych substratem torfowym, do których wysiewano pojedynczo nasiona. Sześciotygodniowe rośliny sadzono na poletkach stosując szeroką rozstawę rzędów, wynoszącą 0,7 m i obsadę 8 roślin na m², zapewniając tym samym dobre warunki do maksymalnego wzrostu i rozwoju poszczególnym roślinom. Doświadczenia założono w Radzikowie na glebie bielicowej wytworzonej z glin zwałowych, zaliczanej do III klasy bonitacyjnej. Obserwacje ekspresji cechy wiechowatości przeprowadzono w doświadczeniach w jednym powtórzeniu, w pierwszym roku wegetacji, oceniając rośliny w fazie pełnego kwitnienia.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Obserwacje ekspresji cechy wiechowatości przeprowadzone w obrębie potomstwa S₁, uzyskanego z samozapylenia mutantu *pi*, wykazały że wszystkie rośliny wytwarzały kwiatostany wiechowate (tab. 1). Spośród 263 przebadanych roślin pokolenia S₂, otrzymanego również poprzez samozapylenie roślin S₁, tylko jedna roślina nie tworzyła wiech. Analiza z zastosowaniem testu chi-kwadrat wykazała, że stwierdzone odchylenie jest nieistotne i mogło być spowodowane błędem przypadkowym.

Tabela 1

Segregacja cechy wiechowatości kwiatostanów (*pi*)
Panicle inflorescence (*pi*) segregation

Wariant krzyżowania Crossing variant	Obserwowane fenotypy Observed phenotypes		Przewidywany stosunek genotypów Theoretical ratio of genotypes		Chi- kwadrat Chi- square	
	<i>pi</i>	<i>Pi</i>	<i>pi</i>	<i>Pi</i>	wartość value	p
Mutant <i>pi</i> - samozapylenie (selfed) → S ₁	98	0	98	0	0	1
S ₁ - samozapylenie (selfed) → S ₂	262	1	263	0	0,004	0,95
Radius (<i>Pi</i>) x S ₂ → F ₁	6	1193	0	1199	0,030	0,86
F ₁ (<i>pi</i>) - samozapylenie (selfed) → F ₂	31	1166	33,25	1163,75	0,157	0,69
F ₂ (<i>pi</i>) x F ₂ (<i>pi</i>) → F ₃	1094	6	1100	0	0,033	0,85

Ocenie poddano także mieszańce uzyskane ze skrzyżowania roślin odmiany Radius, wytwarzających typowe kwiatostany (grona), z roślinami tworzącymi wiechy, wybranymi z potomstwa S₂ mutantu. Ogółem opisano 1199 roślin pokolenia F₁ stwierdzając, że pod względem typu kwiatostanu nie różniły się one od odmiany Radius. Wyjątek stanowiło sześć roślin z gronami w niewielkim stopniu rozgałęzionymi, jednak test chi-kwadrat potwierdził wysokie prawdopodobieństwo zgodności uzyskanego rozkładu tej cechy z rozkładem przewidywanym ($p = 0,86$), a zatem pojawienie się w badanej populacji sześciu roślin tworzących wiechy mogło być spowodowane czynnikami przypadkowymi.

Obserwacje ekspresji wiechowatości kwiatostanów mieszańców pokolenia F_2 wykazały znaczne zróżnicowanie roślin pod względem tej cechy. Wśród 1197 ocenionych roślin wyodrębniono 31 wytwarzających kwiatostany rozgałęzione. Obserwowane stosunki rozszczepień fenotypów były zgodne z rozkładem teoretycznym wynoszącym 1 : 35 ($p = 0,69$).

Badaniami objęto także potomstwa F_3 , pochodzące z krzyżowań siostrzanych roślin tworzących wiechy, wybranych w pokoleniu F_2 . W analizowanym materiale roślinnym wyodrębniono jedynie 6 roślin wytwarzających grona, co stanowiło zaledwie 0,5% całej przebadanej populacji. Pozostałe rośliny tworzyły kwiatostany wiechowate. Analiza statystyczna potwierdziła wysoką zgodność uzyskanego rozkładu z rozkładem teoretycznym.

Stosunki rozszczepień, obserwowane w potomstwach S_1 i S_2 rośliny zmutowanej dowodzą, że rośliny wytwarzające wiechy są homozygotyczne pod względem tej cechy.

Mieszańce F_1 , otrzymane w wyniku skrzyżowania roślin odmiany Radius z homozygotycznymi roślinami zmutowanymi, odtwarzały fenotyp z gronami, a zatem analizowana cecha ma charakter recesywny.

Rozszczepienia cech obserwowane w grupie mieszańców F_2 , otrzymanych w drodze samozapylenia roślin F_1 , były charakterystyczne dla genotypów *duplex* rozpatrywanych w jednym *locus*, co świadczy o monogenicznym uwarunkowaniu tej cechy.

Brak dalszych rozszczepień w pokoleniu mieszańców F_3 potwierdza, że cecha wiechowatości kwiatostanów dziedziczy się jednym genem w układzie czterech recesywnych alleli (*pipipipi*). Prosty sposób dziedziczenia tej cechy umożliwia wykorzystanie jej w hodowli form o zwiększonym potencjale plonowania nasiennego.

Gałęzistość gron badali m.in. Dudley i Wilsie (1956, 1957), stwierdzając, że cecha ta warunkowana jest czterema dominującymi genami, z których dwa dziedziczą się niezależnie w sposób tetrasomiczny, a dwa pozostałe, określone jako geny zduplikowane, disomiczny. Skomplikowany sposób dziedziczenia był przyczyną zaniechania przez nich prac nad tą cechą. Podobną mutację opisali Childers (1966) i Mariani i in. (1976), wykazując, że rozgałęzienie gron warunkowane jest jednym genem w układzie czterech alleli recesywnych. Wyniki badań uzyskane w niniejszej pracy potwierdzają wnioski tych autorów. Rozgałęzieniu gron opisywanemu przez w/w autorów, towarzyszył jednak niepełny rozwój i zniekształcenie kwiatów, uniemożliwiające praktyczne wykorzystanie tej cechy w hodowli. Rośliny zmutowane, będące obiektem badań prezentowanych w niniejszej pracy, wykształcały w pełni rozwinięte i nie zdeformowane kwiaty (rys. 1), stwarzając tym samym możliwość wykorzystania cechy wiechowatości w hodowli lucerny.

Dotychczas opisano szereg genów, głównie recesywnych, warunkujących cechy morfologiczne lucerny. Na uwagę zasługują badania prowadzone przez Barnes (1966), który opisał geny warunkujące różne zabarwienie płatków korony kwiatowej. Cechami warunkowanymi pojedynczymi genami są także: karłowatość roślin (Talbert i Bingham, 1990), jasnozielona barwa liścieni (Childers i McLennan, 1961), żółta barwa liści, poprzeczna pasiastość liści (tzw. zebrowatość liści) (Childers, 1962; Stanford, 1956), złożenie liści wzdłuż nerwu (Stanford i Cleveland, 1954), zwijanie się blaszek liściowych (Odland i Lepper, 1939), plamistość liści (Azizi i Barnes, 1977), postrzępienie liści

(Baenziger, 1977), występowanie wąskich blaszek liściowych (Brick i in., 1984). Prowadzone badania dowiodły, że również cechy związane z budową tkanek mechanicznych korzeni oraz zdolność do regeneracji, występująca w przypadku mechanicznych uszkodzeń tkanek łodygi, dziedziczone są przez pojedyncze geny (Brick i Barnes, 1981, 1982; Elgin i in., 1971).



Rys. 1. Mutacja wiechowatości kwiatostanów lucerny

Fig. 1. The panicle inflorescence mutation of alfalfa

Opisane wyżej cechy nie zostały jednak dotychczas wykorzystane w hodowli lucerny. Interesującą mutacją, która znalazła takie wykorzystanie, jest cecha długiej osadki kwiatostanowej. Zmutowana forma lucerny, opisana przez Staszewskiego (1986), odznaczała się ok. dwukrotnie dłuższymi osadkami kwiatostanowymi i ok. dwukrotnie

większą liczbą kwiatów w kwiatostanach w porównaniu z roślinami wzorcowymi o typowych, krótkich gronach. Cecha ta, dziedzicząca się jednym recesywnym genem (Bodzon, 1998), została wykorzystana do utworzenia nowej polskiej odmiany lucerny, charakteryzującej się wyższym poziomem plonowania nasiennego w porównaniu z wzorcami (Staszewski i Bodzon, 2002), którą zarejestrowano na liście odmian COBORU w 2004 roku pod nazwą Ulstar.

WNIOSKI

1. Cecha wiechowatości kwiatostanów lucerny ma charakter dziedziczny i warunkowana jest jednym genem w układzie czterech alleli recesywnych.
2. Prosty sposób dziedziczenia tej cechy stwarza możliwość wykorzystanie jej w hodowli form o zwiększonym potencjale plonowania nasiennego.

LITERATURA

- Azizi M. R., Barnes D. K. 1977. Characterization and inheritance of a spotted leaf trait in alfalfa. *Crop Sci.* 17: 126 — 132.
- Baenziger H. 1977. Inheritance of the torn — leaf mutation in alfalfa. *Can. J. Plant Sci.* 57: 47 — 50.
- Barnes D. K. 1966. Flower colour inheritance in diploid and tetraploid alfalfa: a reevaluation. *Tech. Bull. No. 1353. Agricultural Research Service USDA.*
- Bodzon Z. 1998. Inheritance of spontaneous long peduncle mutation in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Pant Breed. Seed Sci.* 42/1: 3 — 9.
- Bodzon Z. 2007. Wykorzystanie mutacji genowych do ulepszania produktywności nasiennej lucerny (*Medicago sativa* L.). *Biul. IHAR* 244: 239 — 248.
- Brick M. A., Barnes D. K. 1981. Inheritance and anatomy of a lobed-cambium trait in alfalfa roots. *J. Hered.* 72: 419 — 422.
- Brick M. A., Barnes D. K. 1982. Inheritance and anatomy of root bark area in alfalfa. *Crop Sci.* 22: 747 — 752.
- Brick M. A., Barnes D. K., Dobrenz A. K. 1984. Inheritance and anatomy of a narrow leaflet trait in alfalfa. *Crop Sci.* 24: 787 — 790.
- Childers W. R. 1962. The nature and inheritance of a yellow-leaf character in *Medicago sativa* L. *Can. J. Bot.* 40: 89 — 93.
- Childers W. R. 1966. Branched raceme in alfalfa. *Cand. J. Plant Sci.* 45: 99 — 104.
- Childers W. R., McLennan H. A. 1961. The inheritance and histology of a chlorophyll deficient character in *Medicago sativa* L. *Can J. Bot.* 39: 847 — 853.
- Dudley J. W., Wilsie C. P. 1956. Inheritance of branched inflorescence and vestigial flower in alfalfa, *Medicago sativa* L. *Agron J.* 48: 47 — 50.
- Dudley J. W., Wilsie C. P. 1957. Inheritance of branched raceme and vestigial flower in alfalfa. *Agron. J.* 49: 320 — 323.
- Elgin J. H., Barnes D. K., Kreitlow K. W. 1971. Description and inheritance of a tumor trait on stem cuttings of alfalfa. *J. Hered.* 62: 189 — 192.
- Hill R. R. jr., Shenk J. S., Barnes R. F. 1988. Breeding for yield and quality. In: *Alfalfa and alfalfa improvement.* Hanson A. A., Barnes D. K., Hill R. R. jr. (eds.), Monograph. 29 Am. Soc. Agron.: 809 — 825.
- Mariani A., Ceccarelli S., Lorenzzi F. 1976. Inheritance of spontaneous "cauliflower" mutant in *Medicago sativa* L. *Z. Pflanzenzucht.* 77: 16 — 22.
- Odland T. E., Lepper R. 1939. A crinkled leaf mutation in alfalfa. *J. Am. Soc. Agron.* 31: 128 — 130.
- Rambauhg M. D., Caddel J. L., Rowe D. E. 1988. Breeding and quantitative genetics. In: *Alfalfa and alfalfa improvement.* Hanson A. A., Barnes D. K., Hill R. R. jr. (eds.), Monograph. 29 Am. Soc. Agron.: 777 — 808.

- Stanford E. H. 1956. The zebra leaf character in alfalfa and its dosage-dominance relationship. *Agron. J.* 51: 274 — 277.
- Stanford E. H., Cleveland R. W. 1954. The inheritance of two leaf abnormalities in alfalfa. *Agron. J.* 48: 203 — 206 .
- Staszewski Z. 1986. Long peduncle *lp* mutation — a promise for seed yield improvement of alfalfa. Rep. of the XXXth North American Alfalfa Improvement Conference. University of Minnesota: 75
- Staszewski Z., Bodzon Z. 2002. Przydatność genu *lp* do zwiększenia plonowania nasiennego lucerny siewnej (*Medicago sativa* L.). *Biul. IHAR* 221: 167 — 173.
- Staszewski Z., Jagodziński J., Bodzon Z. 1989. Ocena przydatności w hodowli mutacji *lp* lucerny o długiej szypułce kwiatostanu. *Biul. IHAR* 171/172: 297 — 301.
- Staszewski Z., Staszewski L., Osiński R. 1992. Top flowering — spontaneous mutation of *Medicago sativa* L. The future of lucerne. Proc. of the Xth Eucarpia Meeting of the Group Medicago. Lodi.: 392 — 395.
- Talbert L., Bingham E. T. 1990. Tetrasomic inheritance of an irregular dwarf trait in tetraploid alfalfa. *J. Hered.* 81: 397 — 399.

SPIS TREŚCI — CONTENTS

Henryk J. Czembor Olga Doraczyńska Jerzy H. Czembor	Odporność odmian pszenżyta na mączniaka prawdziwego (<i>Blumeria graminis</i> ff. ssp.) występującego w Polsce Resistance of triticale cultivars to powdery mildew (<i>Blumeria graminis</i> ff. ssp.) occurring in Poland	3
Sebastian Gasparis Anna Nadolska-Orczyk	Genetyczne uwarunkowania twardości ziarna pszenicy i pszenżyta Genetic background of wheat and triticale grain hardness	17
Alicja Sobkowiak Jarosław Szczepanik Paweł Sowiński	Molekularne podstawy adaptacji kukurydzy do różnych warunków klimatycznych Molecular framework of maize adaptation to various climatic factors	31
Alicja Sobkowiak Jarosław Szczepanik Paweł Sowiński	Molekularne podłoże udomowienia kukurydzy Molecular background of maize domestication	41
Emil Stefańczyk Jadwiga Śliwka	Wpływ fotoperiodu na biologię ziemniaka Effect of photoperiod on potato biology	57
Anna Płaza Barbara Gąsiorowska Artur Makarewicz Milena Anna Królikowska	Plonowanie ziemniaka nawożonego wsiewkami międzyplonowymi w integrowanym i ekologicznym systemie produkcji The yielding of potato fertilized with undersown crops in integrated and organic production system	71
Anna Płaza	Wpływ wsiewek międzyplonowych na plonowanie ziemniaka jadalnego uprawianego w integrowanym systemie produkcji The influence of undersown crops on yield of table potato cultivated in integrated production system	79
Cezary Trawczyński	Ocena zawartości azotu mineralnego w glebie po zbiorze bulw ziemniaka Assessment of mineral nitrogen content in the soil after harvest of potato tubers	87
Michał Kostiw Kazimierz Jabłoński	Wpływ nawożenia azotem na plon i jakość bulw odmian jadalnych ziemniaka uprawianych na glebie średniej The impact of nitrogen fertilization on the tuber yield and quality of table potato varieties cultivated on medium soil	97
Krystyna Zarzecka Marek Gugąła	Wpływ użyźniacza glebowego UGmax na plon ziemniaka i jego strukturę The effects of soil fertilizer UGmax on yield of potato tubers and its structure	107
Krystyna Zarzecka Marek Gugąła Honorata Dołęga	Regulacja stopnia zachwaszczenia ziemniaka z zastosowaniem herbicydów Regulation of weed infestation degree in potato with the use of herbicides	113

Barbara Lutomirska Marianna Szutkowska Wojciech Nowacki Milena Pietraszko Joanna Jankowska	Występowanie wad kształtu bulw w plonie odmian i zaawansowanych materiałów hodowlanych ziemniaka The occurrence of tubers shape defects in potato cultivars and advanced breeding materials	121
Zbigniew Czerko Joanna Jankowska	Wpływ odmiany, temperatury przechowywania i warunków pogodowych podczas wegetacji na straty przechowalnicze 11 odmian ziemniaka badanych w latach 2009–2011 Influence of cultivar, temperature of storage and weather conditions during vegetation period on storage losses of 11 potato varieties tested in years 2009–2011	131
Paweł Skonieczek Mirosław Nowakowski	Występowanie sprawców zgorzeli siewek buraka na stanowiskach z uprawą buraka cukrowego Occurrence of the root rot beet pathogens in sugar beet cultivation sites	145
Zbigniew Bodzon	Dziedziczenie cechy wiechowatości kwiatostanów lucerny mieszańcowej (<i>Medicago x varia</i> T. Martyn) Inheritance of spontaneous panicle inflorescence mutation in alfalfa (<i>Medicago x varia</i> T. Martyn)	153