



Odmiany miskanta chińskiego (*Miscanthus sinensis* Anderss.)

Fot. Sandra Cichorz

BIULETYN
INSTYTUTU HODOWLI
I AKLIMATYZACJI ROŚLIN
Nr 274/2014



Odmiany miskanta chińskiego (*Miscanthus sinensis* Anderss.). Fot. Sandra Cichorz

RADZIKÓW 2014
INSTYTUT HODOWLI I AKLIMATYZACJI ROŚLIN
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY — RADZIKÓW
05-870 BŁONIE pod WARSZAWĄ

INSTYTUT HODOWLI I AKLIMATYZACJI ROŚLIN
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dyrektor: Prof. dr hab. Edward Arseniuk

Komitet Redakcyjny:

Editorial Committee:

DANUTA BOROS (Przewodnicząca — Editor-in Chief)

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

KATARZYNA MIKOŁAJCZYK, WOJCIECH NOWACKI, BARBARA ZAGDAŃSKA

GABRIELA WODZYŃSKA-ŁAPIŃSKA (Sekretarz Redakcji — Editorial Secretary)

Redaktor Statystyczny — WIESŁAW MĄDRY

CZASOPISMO UKAZUJE SIĘ OD 1951 ROKU

Redaktor techniczny i skład komputerowy

GABRIELA WODZYŃSKA-ŁAPIŃSKA

Druk: CENTRUM POLIGRAFII Sp. z o.o.

DAMIAN GOŁĘBIEWSKI¹**BEATA KAMIŃSKA**¹**JANUSZ BUREK**²**DANUTA BOROS**^{*1}¹ Samodzielna Pracownia Oceny Jakości Produktów Roślinnych, IHAR — PIB, Radzików² Zakład Roślin Zbożowych, Oddział IHAR — PIB w Krakowie

Wpływ genotypu i miejscowości na cechy determinujące wartość browarną ziarna nowych linii jęczmienia jarego

Effect of genetic variation and environment on parameters that determine malting quality of new spring barley lines

Materiałem badawczym było ziarno 27 linii jęczmienia browarnego oraz 3 odmian wzorcowych Blask, Olympic, Suveren, pochodzące z doświadczeń wstępnych rozlokowanych w Bąkowie, Strzelcach i Radzikowie w 2013 roku. Badania wartości technologicznej ziarna tych linii oraz otrzymanego słoju i brzezki dokonano na podstawie masy 1000 ziaren, celności, zawartości białka ogółem i białka rozpuszczalnego słoju, liczby Kolbacha, kruchości, ekstraktywności i siły diastatycznej słoju, lepkości brzezki, zawartości w niej wysokocząsteczkowego (HM) β -glukanu oraz stopnia ostatecznego odfermentowania. Wyliczono współczynniki zmienności (CV%), a także współczynniki korelacji (r). W przypadku zawartości białka w słoju, ekstraktywności, lepkości brzezki, siły diastatycznej i zawartości HM- β -glukanu przeprowadzono dwuczynnikową analizę wariancji, jak również wyznaczono grupy jednorodne na podstawie testu Tukeya. Cechą najbardziej różnicującą badany materiał była zawartość β -glukanu wysokocząsteczkowego w brzezce, o współczynniku zmienności powyżej 44%. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, iż genotyp w większym stopniu niż środowisko wpływał na wartość technologiczną linii jęczmienia browarnego pochodzących ze zbioru 2013 roku.

Słowa kluczowe: jęczmień jary, wartość browarna, zmienność

Material for the study consisted of 27 breeding lines and three check varieties, Blask, Olympic, Suveren, of malt barley originated from preliminary field trials located at Bąków, Strzelce, Radzików in 2013. The malting quality was estimated on the basis of 1000 grain weight, grain plumpness, total and soluble malt protein, Kolbach index, malt friability, extractability and diastatic power, content of high molecular weight β -glucan in wort, wort viscosity and fermentability. For these parameters coefficients of variation (CV%) and coefficients of correlation (r) were calculated. Moreover, for total

* Autor do korespondencji

Redaktor prowadzący: Henryk J. Czembor

malt protein, extractability, wort viscosity, diastatic power and content of HM- β -glucan, two-way analysis of variance and Tukey's test were carried out, together with estimation of homogeny groups. Among the material tested the most discriminating parameter was the content of HM- β -glucan in wort, with coefficient of variation for this feature above 44%. The results show that genetic factor influenced the technological value in the highest degree of malt barley lines originated from the 2013 harvest year.

Key words: malting quality, spring barley, variability

WSTĘP

W hodowli jęczmienia selekcjonowanego w kierunku wysokiej wartości browarnej niezwykle ważna, poza wysokim plonowaniem i odpornością na choroby, jest wiedza na temat oddziaływania czynników genetycznych i agroklimatycznych na te cechy ziarna, które w głównej mierze są odpowiedzialne za wysoką przydatność ziarna do słodowania (Vanova i in., 2006). Wyznaczenie wyróżników jakościowych najkorzystniejszych z punktu widzenia wartości browarnej ziarna i słodu, które w największym stopniu są uwarunkowane genetycznie jest niezbędne w procesie hodowli jęczmienia browarnego. Najważniejszymi wyróżnikami w odniesieniu do ziarna są zawartość białka oraz masa tysiąca ziaren (MTZ) oraz sześć odnoszących się do słodu i brzezki, takich jak ekstraktywność, liczba Kolbacha, siła diastatyczna, odfermentowanie oraz lepkość brzezki i zawartość w niej β -glukanu (Kunze, 2010). Ten ostatni wyróżnik jakości jest wysoce zależny od ogólnej zawartości β -glukanu w ziarnie, wpływa także istotnie na inne wskaźniki jakości browarnej, w tym na najważniejszy z nich, ekstraktywność (Bamforth, 1982; Kunze, 2010). Uwzględnienie ich w procesie hodowlanym gwarantuje postęp hodowlany i w efekcie rejestrację nowych ulepszonych odmian jęczmienia browarnego (Marquez-Cedillo i in., 2000; Węgrzyn i Bichoński, 2001). Cechy warunkujące przydatność jęczmienia do słodowania mogą być w różnym stopniu modyfikowane warunkami środowiska, nawet przy zachowaniu właściwej dla danego genotypu jęczmienia browarnego technologii uprawy (Swanston i in., 2000; Pecio, 2002). Różne genotypy w różny sposób reagują na stresy abiotyczne. Z technologicznego punktu widzenia najkorzystniej byłoby, gdyby nowe linie jęczmienia kandydujące do badań rejestrowych odznaczały się szeroką adaptacją do zmiennych warunków środowiska cech determinujących wysoką przydatność ziarna do słodowania (Bertholdsson, 2004).

W ramach badań na rzecz postępu biologicznego w produkcji roślinnej przeprowadziliśmy w latach 2010–2013 monitoring zróżnicowania genetycznego ziarna nowych linii jęczmienia jarego pod względem przydatności browarnej. Wyniki ostatniego roku badań prezentujemy w niniejszej publikacji.

MATERIAŁ I METODY

Materiałem badawczym było ziarno 27 linii jęczmienia browarnego, a także 3 odmian wzorcowych (Blask, Olympic, Suweren) pochodzące z doświadczenia wstępnego przeprowadzonego w 2013 roku w Bąkowie, Strzelcach i Radzikowie. Kryteriami oceny wartości browarnej były w odniesieniu do ziarna: masa 1000 ziaren (MTZ), celność, zawartość białka ogółem, zawartość skrobi; w przypadku słodu: kruchość, zawartość białka

ogółem i rozpuszczalnego, liczba Kolbacha, siła diastatyczna, ekstraktywność; w odniesieniu do brzezki kongresowej: lepkość i stopień ostatecznego odfermentowania.

Słodowaniu poddano 500 gramowe próby ziarna o grubości powyżej 2,5 mm. Proces prowadzono w temperaturze 12°C, przez 7 dni łącznie z pochłanianiem wody przez ziarno. Postępowanie technologiczne w trakcie otrzymywania słodu z ziarna jęczmienia było zgodne z Polską Normą (1998) oraz metodyką przyjętą przez Europejską Unię Browarną (Analytica-EBC, 2004). Słód odkiełkowano i oznaczano jego kruchość na friabilimetrze. Oznaczenie białka przeprowadzono zgodnie z normą PN-A-79083-9 w aparacie Kjeltex Auto 1030 Analyser. Oznaczenie zawartości ekstraktu przeprowadzono w oparciu o metodykę podaną w normie PN-A-79083-6, przy użyciu gęstościomierza Anton Paar DMA 48. Siłę diastatyczną słodu wyznaczono wg normy PN-A-79083-10. Lepkość brzezki wyznaczono przy pomocy lepkościomierza Brookfield LVTDV-II z obracającym się walcem. Zawartość β -glukanu w brzezce oznaczono metodą fluorymetryczną z kalkofluorem (Analytica-EBC, metoda 8.13.2). Stopień ostatecznego odfermentowania oznaczono wg metody podanej w Analytica-EBC (metoda 8.6.1), przy użyciu gęstościomierza Anton Paar DMA 48. Największe znaczenie dla oceny browarności jęczmienia mają: liczba Kolbacha, siła diastatyczna, ekstraktywność słodu, lepkość i stopień ostatecznego odfermentowania. Te pięć cech jakościowych posłużyło następnie do obliczenia wskaźnika jakości Q, przyjmującego wartości w przedziale od 0 do 9 (Molina-Cano, 1987; Klockiewicz-Kamińska, 2005). Błąd każdej z analiz nie przekraczał 3%. Wyniki przedstawione w tabeli 2 są wartościami średnimi z trzech miejscowości, z których pochodziło ziarno do niniejszych badań.

W odniesieniu do wszystkich analizowanych wskaźników jakości browarnej wyliczono współczynniki zmienności oraz współczynniki korelacji liniowej Pearsona ($n = 30$). Obliczenia statystyczne wykonano w programie R z wykorzystaniem pakietów stats oraz multcomp. Istotność badanych czynników przeanalizowano testem F analizy wariancji (ANOVA). Istotność różnic pomiędzy średnimi sprawdzono metodą kontrastów Tukeya. Analizę komponentów wariancyjnych przeprowadzono metodą REML (Mądry i in., 2010).

WYNIKI I DYSKUSJA

Analiza wariancji wykazała istotne ($P < 0,0001$) różnice pomiędzy liniami w odniesieniu do zawartości białka w słodzie, ekstraktywności, siły diastatycznej, lepkości brzezki i zawartości w niej β -glukanu wysokocząsteczkowego (tab. 1). Stwierdzono także istotny ($P < 0,0001$) wpływ środowiska na wartości tych cech z wyjątkiem siły diastatycznej, a także istotną ($P < 0,0001$) interakcję GxE. Mimo obserwowanych różnic istotnych statystycznie, badane nowe linie jęczmienia jarego charakteryzowały się ogólnie małą zmiennością cech określających przydatność technologiczną ziarna do słodowania, z wyjątkiem zawartości β -glukanu wysokocząsteczkowego w brzezce oraz siły diastatycznej słodu (tab. 2). Zawartość β -glukanu wysokocząsteczkowego w brzezce była cechą najbardziej różnicującą badany zestaw linii jęczmienia ($C_v = 44,5\%$).

Tabela 1

Analiza wariancji cech składających się na indeks wartości browarnej nowych linii jęczmienia jarego uczestniczących w doświadczeniach wstępnych w 2013 roku
Analysis of variance of traits determining malting quality index of new spring barley lines participating in the preliminary field trials in 2013

Cecha Trait	Odmiana Variety		Miejsce uprawy Location		Interakcja G×E Interaction G×E	
	MS	P Value	MS	P Value	MS	P Value
Białko siodu Malt protein	1,678	<0,0001	3,795	<0,0001	0,113	<0,0001
Ekstraktywność Extractability	5,46	<0,0001	49,60	<0,0001	0,35	<0,0001
Lepkość brzezczki Wort viscosity	0,0055	<0,0001	0,0039	<0,0001	0,0025	<0,0001
β-glukan brzezczki Wort β-glucan	15775	<0,0001	6423	<0,0001	994	<0,0001
Siła diastatyczna Diastatic power	15634	<0,0001	350	0,179	602	<0,0001

MS — średnia kwadratów, P≤0,05; MS - mean square, P≤0.05

Tabela 2

Zmienność wartości browarnej nowych linii jęczmienia jarego uczestniczących w doświadczeniach wstępnych w 2013 roku
Variability of malting quality parameters in spring barley lines participating in the preliminary field trials in 2013

Linia / odmiana Line / variety	MTZ TGW [g]	Celność Plump- ness [%]	Kruchość siodu Friability [%]	Białko siodu Malt protein [% sm]	Białko rozpusz- czalne Malt soluble protein [% sm]	Liczba Kolbacha Kolbach index [%]	Ekstrakty wność Extracta- bility [% sm]	Lepkość brzezczki Wort viscosity [mPa.s]	Odfer- mento- wanie Fermenta- bility [%]	Siła diasta- tyczna Diastatic power [j. W-K]	β-glukan brzezczki Wort β- glucan [mg/l]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NAD-09040	42,2	97,8	61,2	11,3 ^{no}	5,61	49,5	83,0 ^{cde}	1,54 ^h	81,3	259 ^{gij}	143 ^{gij}
NAD-09181	42,3	94,8	69,3	10,6 ^{fi}	5,66	53,2	84,5 ^{hijo}	1,44 ^{bghi}	80,6	209 ^{bcd}	145 ^{ghk}
NAD-09510	46,0	98,5	70,2	10,5 ^g	5,90	56,0	83,4 ^{egi}	1,47 ^{hj}	79,6	184 ^{ac}	158 ^{gl}
NAD-09539	45,0	97,3	69,8	10,3 ^{fg}	5,97	58,1	83,5 ^{degm}	1,47 ^{hj}	80,0	141 ^a	167 ^{jl}
NAD-09541	45,2	98,0	70,9	10,2 ^{de}	5,75	56,6	83,5 ^{deg}	1,47 ^{hi}	81,4	162 ^{ab}	182 ^l
NAD-09573	43,0	97,2	69,1	10,8 ^{jk}	4,97	46,0	81,6 ^b	1,44 ^{cdef}	86,5	287 ^{jk}	94 ^a
POB-01/12A	45,8	98,4	82,8	11,1 ^{km}	6,11	54,9	83,2 ^{deg}	1,46 ^{cij}	85,8	271 ^{hijk}	93 ^{cf}
POB-02/12A	44,0	95,2	79,3	11,1 ^{no}	5,67	51,3	82,2 ^{cde}	1,47 ^{cij}	84,4	254 ^{hijk}	39 ^a
POB-06/11A	44,4	96,2	77,2	9,7 ^{bc}	4,95	50,8	82,6 ^{bd}	1,47 ^{di}	81,5	185 ^{bcd}	81 ^{de}
POB-2791/09	44,8	95,4	78,3	9,5 ^{ac}	4,95	52,3	83,3 ^{ghij}	1,46 ^{ci}	87,0	287 ^{hijk}	26 ^a
POB-2903/09	43,4	94,1	80,0	9,4 ^a	4,81	51,1	83,6 ^{gklm}	1,47 ^{ghi}	85,3	184 ^{bcd}	34 ^a
POB-2967/09	46,1	96,9	73,2	10,6 ^{fg}	5,97	56,3	84,0 ^{jlo}	1,48 ^h	83,0	229 ^{dg}	140 ^{fh}
POB-406/09	44,9	97,2	64,6	10,5 ^{fg}	5,34	50,8	83,6 ^{cgl}	1,50 ^{hi}	84,7	280 ^{hik}	111 ^{df}
POB-4214/09	42,8	97,0	79,9	10,6 ^{hkl}	5,64	53,0	83,3 ^{cgi}	1,47 ^{ci}	83,6	309 ^{ijkl}	69 ^{cde}
POB-4507/09	43,5	97,0	70,5	11,1 ^o	5,53	49,7	83,7 ^{fijklmn}	1,49 ^{ghi}	83,4	297 ^{jk}	173 ^{cde}
BKH-1/2013	46,0	96,7	70,3	11,1 ^{km}	5,55	49,9	84,0 ^{ko}	1,48 ^{bghi}	83,9	287 ^{hijk}	185 ^{ghk}
BKH-2/2013	43,8	98,7	74,7	10,3 ^{fg}	5,76	55,9	84,9 ^o	1,42 ^{af}	85,8	298 ^{ijk}	74 ^{gl}
RAH-16/10	40,0	95,7	77,1	10,3 ^{fg}	5,27	51,2	83,9 ^{egklm}	1,44 ^{def}	84,0	297 ^{kl}	97 ^{cde}
RAH-28/10	46,0	98,2	77,0	9,8 ^{bc}	4,98	51,1	83,9 ^{ijklmn}	1,47 ^{cdef}	85,5	233 ^{efgh}	108 ^{bc}
RAH-186/10	43,7	98,2	70,4	10,3 ^g	5,20	50,5	84,6 ^{ijklm}	1,47 ^{cdeg}	85,7	173 ^{bcd}	174 ^{ghk}

c.d. Tabela 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
STH-81413	41,4	97,1	68,5	11,0 ^{mo}	5,65	51,2	83,4 ^{egkl}	1,43 ^{ad}	86,6	291 ^{kl}	142 ^{gh}
STH-92788	41,0	97,6	71,1	10,3 ^{eg}	5,39	52,2	83,7 ^{eghi}	1,42 ^{ad}	86,6	347 ^j	60 ^{ab}
STH-92810	43,0	98,0	69,1	10,4 ^{eg}	5,96	57,5	84,6 ^{lo}	1,42 ^{bcde}	85,8	291 ^{gkl}	95 ^{cde}
STH-94194	43,3	97,2	73,4	10,4 ^{jk}	6,18	59,2	84,3 ^{gkin}	1,43 ^{def}	85,5	273 ^{kl}	116 ^{df}
STH-94195	39,3	97,7	76,0	10,5 ^{ij}	6,20	58,9	84,9 ^{ilo}	1,40 ^a	85,4	263 ^{gkl}	77 ^e
DM-2983/10	50,5	97,2	55,7	10,8 ^{lmn}	4,65	43,2	80,4 ^a	1,49 ^{ei}	82,4	212 ^{dg}	194 ^{ghj}
DM-3435/09	43,0	96,4	71,5	9,9 ^{bd}	5,04	50,9	83,0 ^{defg}	1,44 ^{cdef}	84,5	289 ^{hijk}	55 ^a
BLASK	41,9	96,4	70,3	10,8 ^{km}	5,29	49,1	83,7 ^{gkin}	1,49 ^{hi}	84,5	264 ^{hijk}	196 ^m
OLYMPIC	41,1	97,6	82,5	9,4 ^{ab}	5,11	54,1	84,4 ^{no}	1,42 ^{bcdef}	85,6	267 ^{hijk}	45 ^a
SUWEREN	43,1	95,4	60,7	10,3 ^{hij}	4,96	48,3	82,7 ^{bc}	1,51 ^{hi}	82,9	205 ^{cdf}	125 ^{fg}
Wartość średnia	43,7	97,0	72,2	10,4	5,47	52,4	83,5	1,46	84,1	250,9	113,3
Mean value											
CV	5,0	1,2	8,7	4,9	7,9	7,0	1,1	2,1	2,4	20,0	44,5

*Wartości w kolumnach opatrzone innymi literami różnią się istotnie statystycznie przy poziomie $P \leq 0,05$

Values with different letters are significantly different at levels $P \leq 0.05$

Średnia zawartość β -glukanu wysokocząsteczkowego w brzeczce wynosiła 113,3 mg/l. Najwyższą jego zawartość, 196 mg/l, stwierdzono w brzeczce uzyskanej z odmiany Blask, natomiast najniższą, 26 mg/l, w brzeczce uzyskanej z linii POB-2791/09. Na podstawie oceny komponentów wariancyjnych stwierdzono, iż genotyp w znacznie mniejszym stopniu wpływał na tę cechę (79,7%) niż środowisko. Podobną zmienność zawartości β -glukanu wysokocząsteczkowego w brzeczce obserwowaliśmy w naszych wcześniejszych badaniach dotyczących monitoringu wartości browarnej nowych linii jęczmienia browarnego (Gołębiewski i in., 2012; 2013). Ilość tych związków w brzeczce jest cechą charakteryzującą się na ogół dużą zmiennością, co wykazali w swoich badaniach także Czarnecki i in. (2004) oraz Ploch i in. (2005). Z punktu widzenia przydatności browarnej wysoki poziom β -glukanów w brzeczce jest niekorzystny, gdyż zwiększa prawdopodobieństwo tworzenia się żeli, co może wpłynąć na pogorszenie procesu filtracji brzeczki (Kunze, 2010). Z danych literaturowych wiadomo, że poziom β -glukanu wysokocząsteczkowego w brzeczce w największym stopniu zależy od zawartości β -glukanu ogółem w ziarnie, a także od aktywności glukanolitycznej samego ziarniaka (Bamforth, 1994). W badaniach Czarneckiego i in. (2004) zawartość β -glukanu w brzeczce była skorelowana na poziomie 0,80 z ich zawartością w ziarnie. Jako składnik ścian komórkowych bielma β -glukan ogranicza modyfikację skrobi poprzez utrudnianie penetracji enzymów amylolitycznych do ziaren skrobiowych (Kunze, 2010). Zawartość β -glukanu w ziarnie jęczmienia jest silnie uwarunkowana genetycznie, modyfikowana w znacznym stopniu warunkami agroklimatycznymi uprawy. Notowany jest w tym przypadku szczególnie duży wpływ rozkładu opadów i temperatury w całym okresie wegetacji (Aastrup, 1979; Perez-Vendrell i in., 1996). Pod względem zawartości β -glukanu zaobserwowano istotne interakcje genotypowo-środowiskowe wskazujące na odmienne reakcje odmian jęczmienia na zmienne warunki klimatyczne (Molina-Cano i in., 1997; Bertholdsson, 2004). Z powyższych względów ziarno jęczmienia o wysokiej wartości technologicznej powinno charakteryzować się bardzo niską zawartością β -glukanu ogółem (Bamforth, 1982; 1994). W zależności od odmiany zawartość β -glukanu ogółem mieści się

w szerokich granicach i wynosi od 2 do 8% (Henry, 1986; Perez-Vendrell i in., 1996; Kunze, 2010). Wartości progowe zawartości β -glukanu ogółem w ziarnie nie zostały dotychczas określone. Aktywność enzymatyczna ziarniaka, wyrażająca jego zdolność do przeprowadzania przemian skrobi w cukry proste w słodzie, była cechą w drugiej kolejności różnicującą badane linie. Współczynnik zmienności siły diastatycznej wynosił 20%. Średnia wartość siły diastatycznej słodów otrzymanych z ziarna badanych linii jęczmienia browarnego wynosiła 251 j.W-K, w zakresie od 141 j.W-K, w przypadku linii NAD-09539, do 347 j.W-K w odniesieniu linii STH-92788. Zmienność tej cechy w dużym stopniu kształtowana była przez genotyp (86,3%). Równie wysoką zmienność tej cechy prezentowali w swoich pracach Bichoński i Burek (2000), Węgrzyn i Bichoński (2001) oraz Ploch i in. (2005). Uzyskane w niniejszych badaniach wartości tej cechy u większości badanych linii jęczmienia wykraczały poza wartości typowe, które w przypadku słodów jasnych według Kunze (2010) mieszczą się w granicach od 240 do 260 j.W-K.

Najniższym współczynnikiem zmienności, 1,1%, charakteryzowała się ekstraktywność słodu. Wartość średnia tej cechy wynosiła 83,5%, w zakresie od 80,4% dla linii DM-2983/10, do 84,9% w przypadku linii BKH-2/2013. Zmienność ekstraktywności w zbliżonym stopniu zależna była od genotypu (45,1%), jak również od warunków środowiska (43,5%). Ekstraktywność jest najważniejszym wskaźnikiem jakości słodu, określającym ilość substancji wyekstrahowanych ze słodu do brzezki w procesie zacierania, a w efekcie wskazuje na objętość piwa możliwą do wyprodukowania z danej masy słodu (Kunze, 2010). W obowiązującej obecnie w Polsce ocenie jakościowej słodu jęczmiennego, cecha ta w 40% wpływa na wartość wskaźnika wartości browarnej Q (Klockiewicz-Kamińska, 2005). W celu wyhodowania genotypów o wysokiej wartości browarnej selekcja materiałów hodowlanych jęczmienia powinna skoncentrować się na cechach ziarna, które w największym stopniu wpływają na ekstraktywność. Cechami tymi są odpowiednia wielkość ziarniaków i odpowiednia zawartość w nich białka, wysoka z kolei ilość skrobi oraz niska β -glukanu (Molina-Cano i in., 1997).

Równie niską zmienność uzyskano u pozostałych cech wyznaczających przydatność ziarna jęczmienia do słodowania, takich jak lepkość brzezki, stopień ostatecznego odfermentowania oraz celność ziarna, odpowiednio 2,1%, 2,4% i 1,2%. Zbliżone wartości do powyżej wykazanej zmienności cech uzyskali Bichoński i Burek (2000), Węgrzyn i Bichoński (2001) oraz Ploch i in. (2005). Średnia lepkość brzeczek analizowanych w niniejszej pracy wynosiła 1,46 mPa·s, najmniejszą jej wartość, 1,40 mPa·s, zmierzono w przypadku brzezki otrzymanej z linii STH-94195, zaś największą, 1,54 mPa·s, z linii NAD-09040. Zmienność tej cechy w największym stopniu warunkowana była przez interakcję genotypowo-środowiskową (62,9%) Lepkość jest parametrem pozwalającym z dużym prawdopodobieństwem przewidzieć jak będzie przebiegało klarowanie i filtrowanie brzezki, a jej wartość prawidłowa w brzezce laboratoryjnej powinna być poniżej 1,63 mPa·s (Kunze, 2010). Wszystkie nowe linie jęczmienia jarego badane w niniejszej pracy wykazały znacznie niższą wartość tej cechy od wartości granicznej, zalecanej w odniesieniu do jęczmienia browarnego. Stopień ostatecznego odfermentowania określa intensywność fermentacji brzezki laboratoryjnej pod wpływem drożdży piwowskich.

Średnia wartość tego parametru wynosiła w niniejszych badaniach 84,1%, w zakresie od 80,0%, w przypadku linii NAD-09539, do 87,0% u linii POB-2791/09. Wg Molina-Cano (1987) wartość minimalna tego parametru powinna wynosić 78,8%, a więc badane linie jęczmienia jarego charakteryzowały się wartością tej cechy powyżej wartości progowej. Celność ziarna określa procentową masę ziarna pozostającą na sicie z otworami o średnicy 2,5 mm. Ziarno celne gwarantuje uzyskanie słodu o najwyższej ekstraktywności (Kunze, 2010). Analizowane ziarno jęczmienia z doświadczenia wstępnego z roku 2013 wykazało dobrą celność, wynoszącą średnio 97,0 %, w zakresie od 94,1% dla linii POB-2903/09, do 98,5 % w odniesieniu do linii NAD-09510.

Wyprodukowany sód cechował się także dobrą kruchością (72,2%) oraz odpowiednią zawartością białka, średnio 10,4% w zakresie od 9,4% do 11,3%, co przełożyło się korzystnie na liczbę Kolbacha. Średnia wartość tej cechy wynosiła 52,4%, w zakresie od 43,2% w przypadku linii DM-2983/10, do 59,2% dla linii STH-94194. Kruchość słodu, a także liczba Kolbacha, będąca procentowym udziałem białka rozpuszczalnego w białku całkowitym słodu, umożliwiają ocenę rozluźnienia słodu. Im lepsze jest rozluźnienie słodu, tym więcej substancji wysokocząsteczkowych ulegnie rozkładowi. Zbyt wysoka liczba Kolbacha, przekraczająca 41%, może jednak obniżyć stabilność smakową piwa, poprzez ryzyko tworzenia się związków Maillarda (Kunze, 2010).

Ogólnie badane linie i odmiany wzorcowe jęczmienia jarego ze zbioru 2013 roku charakteryzowały się dobrą wartością browarną. Pośród nich wyodrębniono sześć kategorii wartości browarnej (tab. 3). W grupie najlepszej kategorii wartości browarnej bardzo dobrej znalazła się linia BKH-2/2013, w kategorii dobrej do bardzo dobrej znalazły się 4 linie: STH-94195, STH-92810, STH-92788, STH-94194 i odmiana Olympic. Najwięcej linii (10) zostało zakwalifikowanych do kategorii dobrej: RAH-186/10, POB-01/12A, POB-2791/09, STH-81413, RAH-16/10, NAD-09181, RAH-28/10, POB-4214/09, POB-4507/09, BKH-1/2013. Siedem linii reprezentowało kategorię średnią do dobrej. Cztery linie i odmiana wzorcowa Suveren znalazły się w kategorii średniej, a jedna linia została sklasyfikowana jako niebrowarna.

Analiza wariancji wykazała, że warunki agroklimatyczne w sposób istotny modyfikowały wartość cech składających się na wskaźnik wartości browarnej Q, chociaż różnice pomiędzy miejscowościami w wartościach tych cech nie były zbyt duże (tab. 4). Na podstawie uzyskanych wyników nie można wskazać jednej miejscowości, w której warunki do produkcji ziarna do słodowania były najbardziej odpowiednie. Słody wyprodukowane z ziarna pochodzącego z warunków Strzelec charakteryzowały się istotnie wyższą ekstraktywnością i niższą lepkością otrzymanej brzezki, ale jednocześnie najwyższą zawartością β -glukanu wysokocząsteczkowego w porównaniu do wartości tych cech sładów otrzymanych z ziarna z pozostałych dwóch miejscowości. Przeciwnie wartości powyższych cech w sładach wyprodukowanych z ziarna pochodzącego z warunków agroklimatycznych Strzelec wskazują prawdopodobnie na ich wysoką aktywność enzymatyczną w procesie samego słodowania oraz zacierania brzezki (Bamforth, 1985).

Tabela 3

Klasy jakości i ranking wartości browarnej nowych linii jęczmienia jarego uczestniczących w doświadczeniach wstępnych w roku 2013 w stosunku do odmiany wzorcowej Blask
Malting quality categories and ranking of the malting value of new spring barley lines participating in preliminary trials in the year 2013 in relation to check variety Blask

Linia/odmiana Line/variety	Liczba Kolbach index	Ekstrak- tywność Extractability	Lepkość brzezki Wort viscosity	Odfermen- towanie Fermentability	Siła diasta- tyczna Diastatic power	Q	Kategoria wartości browarnej Classification of malt quality
BLASK	49,1	83,7	1,49	84,5	264		
BKH-2/2013	9	9	7	8	7	8,25	bardzo dobra/ very good
STH-94195	9	9	8	7	5	7,95	dobra do
STH-92810	9	8	7	8	6	7,70	bardzo dobrej
STH-92788	7	6	7	9	9	7,20	good to very good
STH-94194	9	7	7	7	5	7,00	(6,75-7,99)
OLYMPIC	8	7	7	7	5	6,85	
RAH-186/10	6	8	6	8	1	6,35	
POB-01/12A	9	5	6	8	5	6,20	
POB-2791/09	7	5	6	9	6	6,20	
STH-81413	6	5	7	9	6	6,20	dobra/ good
RAH-16/10	6	6	7	4	7	6,00	(5,50-6,74)
NAD-09181	8	8	7	1	2	5,90	
RAH-28/10	6	6	6	7	4	5,85	
POB-4214/09	8	5	6	3	7	5,60	
POB-4507/09	5	6	6	3	7	5,55	
BKH-1/2013	5	6	6	4	6	5,55	
POB-406/09	6	5	5	6	6	5,45	
POB-2967/09	9	6	6	2	3	5,40	
DM-3435/09	6	4	7	5	6	5,20	średnia do dobrej
POB-2903/09	6	5	6	7	1	5,00	average to good
NAD-09510	9	5	6	1	1	4,55	(4,25-5,49)
NAD-09539	9	5	6	1	1	4,55	
NAD-09541	9	5	6	1	1	4,55	
NAD-09573	3	1	7	9	6	4,15	średnia/ average
POB-02/12A	6	2	6	5	5	4,10	(3,00-4,24)
NAD-09040	5	4	5	1	5	4,00	
POB-06/11A	6	3	6	1	1	3,30	
SUWEREN	4	3	5	2	2	3,15	
DM-2983/10	1	1	6	1	3	2,05	niebrowarna/ non-malting (<3,00)

Na podstawie oceny komponentów wariancyjnych widać, że udział procentowy genotypu, środowiska oraz interakcji G×E w ogólnej zmienności pięciu cech składających się na wskaźnik jakości browarnej Q linii i odmian wzorcowych jęczmienia jarego ze zbioru 2013 roku rozkładał się bardzo nierównomiernie, w zakresie od 0 do 86% (tab. 5). Generalnie genotyp wpływał w większym stopniu na zmienność tych cech aniżeli środowisko. Jego udział był najwyższy w kształtowaniu zmienności siły diastatycznej (86,3%), następnie zawartości β-glukanu wysokocząsteczkowego w brzezce (79,7%) oraz zawartości białka w słodzie (68,5%). W odniesieniu do dwóch ostatnich cech oraz lepkości brzezki warunki środowiska nie miały prawie żadnego wpływu na ich zmienność. Lepkość brzezki była zależna w najwyższym stopniu od interakcji genotypowo-środowiskowej (62,9%). Relatywnie niska wartość wariancji genotypowej względem

wariancji interakcji G×E wskazuje, że zachowanie badanych linii jęczmienia jarego pod względem lepkości brzezki było niestabilne, co ogranicza możliwość prowadzenia skutecznej selekcji genotypów stabilnych i o szerokiej adaptacji tej cechy. Z kolei ekstraktywność niemal w równych proporcjach zależna była od genotypu (45,1%) oraz od warunków środowiska (43,5%).

Tabela 4

Wpływ miejsca uprawy na wartości wyróżników jakości browarnej linii jęczmienia jarego uczestniczących w doświadczeniach wstępnych w 2013 roku
Effect of location on malting quality indices of spring barley lines participating in the preliminary field trials in 2013

Cecha Trait	Bąków	Radzików	Strzelce	Zmienność Variability (%)
MTZ Thousand grain weight (g)	41,6	45,5	44,0	3,6
Celność Grain plumpness (%)	96,2	97,1	97,6	0,6
Kruchość Malt friability (%)	72,1	71,8	72,6	0,5
Białko słodu Malt protein (%)	10,56 ^b	10,58 ^a	10,14 ^c	2,0
Białko rozpuszczalne Malt soluble protein (%)	5,80	5,45	5,15	4,9
Liczba Kolbacha Kolbach index (%)	54,9	51,6	50,8	3,4
Ekstraktywność Extractability (%)	84,6 ^a	83,1 ^b	82,9 ^c	0,9
Lepkość brzezki Wort viscosity (mPa*s)	1,45 ^c	1,46 ^b	1,47 ^a	0,4
Odfermentowanie Fermentability (%)	82,9	84,1	85,3	1,2
Siła diastatyczna Diastatic power (°WK)	249 ^c	250 ^b	254 ^a	0,8
β-glukan brzezki Wort β-glucan (mg/L)	123 ^a	114 ^b	102 ^c	7,5

Wartości w rzędach opatrzone różnymi literami różnią się istotnie przy poziomie $P \leq 0,05$
 Values in rows with different letters differ significantly at the level $P \leq 0.05$

Tabela 5

Udział genotypu, środowiska i interakcji G×E w kształtowaniu się zmienności cech składających się na indeks wartości browarnej jęczmienia
Estimation of genotype, environment and interaction G×E shares in variance of traits determining the malting quality index of barley

Składowa Component	Białko słodu Malt protein	Ekstrakt maki Extractability	Lepkość brzezki Wort viscosity	β-glukan brzezki Wort β-glucan	Siła diastatyczna Diastatic power
Genotyp (G) Genotype	68,5%	45,1%	27,0%	79,7%	86,3%
Miejscowość (E) Location	16,1%	43,5%	0,4%	2,9%	0,0%
Interakcja G×E Interaction G×E	14,3%	7,3%	62,9%	14,8%	6,8%
Błąd	1,09%	4,1%	9,7%	2,5%	6,9%

Error

Znajomość zależności występujących pomiędzy cechami składającymi się na wartość browarną jęczmienia, szczególnie między cechami ziarna, a parametrami jakościowymi słodu i brzezki, może być pomocna w selekcji materiałów hodowlanych. W niniejszych badaniach (tab. 6) MTZ była istotnie dodatnio skorelowana z lepkością brzezki ($r = 0,473$; $P < 0,01$) oraz z β -glukanem wysokocząsteczkowym brzezki ($r = 0,363$; $P < 0,05$), a ujemnie z ekstraktywnością ($r = -0,482$; $P < 0,01$) oraz siłą diastatyczną ($r = -0,402$; $P < 0,05$).

Tabela 6

Współczynniki korelacji liniowej Pearsona pomiędzy cechami determinującymi wartość browarną jęczmienia

Pearson's linear correlation coefficients between malting quality indices of barley

Cecha Trait	MTZ Thousand grain weight	Celność Grain plumpness	Kruchość słodu Friability	Białko słodu Malt protein	Białko rozpuszcz- alne Malt soluble protein	Liczba Kolbacha Kolbach Index	Ekstrakt mąki Extractabi- lity	Lepkość brzezki Wort viscosity	Odfermen- towanie Fermenta- bility	Siła diastaty- czna Diastatic power
MTZ										
TGW										
Celność Grain plumpness	0,151									
Kruchość słodu Friability	-0,269	-0,093								
Białko słodu Malt protein	0,065	0,206	-0,396*							
Białko rozp. słodu Malt soluble protein	-0,157	0,401*	0,155	0,454*						
L. Kolbacha Kolbach Index	-0,215	0,310	0,432*	-0,176	0,797**					
Ekstraktywność Extractability	-0,482**	0,216	0,377*	-0,203	0,497**	0,685**				
Lepkość brzezki Wort viscosity	0,473**	-0,127	-0,440*	0,287	-0,252	-0,473**	-0,424*			
Odfementowanie Fermentability	-0,309	0,073	0,348	-0,166	-0,144	-0,051	0,201	-0,478**		
Siła diastatyczna Diastatic power	-0,402*	0,093	0,156	0,248	0,074	-0,087	0,121	-0,333	0,638**	
β -glukan brzezki Wort β -glucan	0,363*	0,271	-0,632**	0,508**	0,162	-0,160	-0,061	0,440*	-0,510**	-0,384*

*Korelacja istotna przy $P \leq 0,05$; **korelacja istotna przy $P \leq 0,01$

*Correlation significant at $P \leq 0.05$; **correlation significant at $P \leq 0.01$

Powyższe wyniki wskazują jak ostrożnie należy interpretować nawet istotne zależności, jak ważne jest wyrównanie ziarna z browarnego punktu widzenia i jak zmiana wielkości jednej cechy wpływa na zmianę kilku innych. Jako przykład linie DM-2983/10 i STH-94195 charakteryzujące się w obrębie badanych linii skrajnymi wartościami MTZ (50,5 g i 39,3 g) i skrajnym poziomem β -glukanu wysokocząsteczkowego w brzezce (194 mg/l i 77 mg/l). Wyniki powyższe wskazują na konieczność zwrócenia szczególnej uwagi w selekcji materiałów hodowlanych jęczmienia browarnego na zawartość β -glukanu, gdyż z

racji wyższej koncentracji tych związków w ścianach komórkowych bielma, ziarniaki lepiej wypełnione wykazują tendencję do wyższej ich zawartości.

WNIOSKI

1. Badane nowe linie jęczmienia jarego różniły się istotnie pod względem cech determinujących wartość browarną ziarna.
2. Stwierdzono istotnie większy wpływ genotypu, w porównaniu do środowiska, na zmienność wartości cech składających się na wskaźnik wartości browarnej Q, z wyjątkiem lepkości brzezki.
3. Szeroki zakres zmienności genotypowej zawartości β -glukanu wysokocząsteczkowego brzezki pozwala na prowadzenie w obrębie linii hodowlanych selekcji form o niskiej zawartości β -glukanu w ziarnie, prowadzącej do otrzymania odmian o wysokiej wartości browarnej.

LITERATURA

- Aastrup S. 1979. The relationship between the viscosity of an acid flour extract of barley and its β -glucan content. *Carlsberg Res. Commun.* 44: 289 — 304.
- Analytica-EBC, European Brewery Convention. 2004. Fachverlag Hans Carl Nurnberg.
- Bamforth C.W. 1982. Barley β -glucans. Their role in malting and brewing. *Brewers Digest*. 57: 22 — 27.
- Bamforth C. W. 1985. Biochemical approaches to beer quality. *J. Inst. Brew.* 91: 154 — 160.
- Bamforth C.W. 1994. β -glucan and β -glucanases in malting and brewing: Practical aspects. *Brewers Digest*. 69: 12 — 16.
- Bertholdsson N. O. 2004. The use of environmentally stable grain characteristics for selection of high extract yield and low β -glucan in malting barley. *Eur. J. Agron.* 20: 237 — 245.
- Bichoński A., Burek J. 2000. Zmienność i współzależność pomiędzy wybranymi cechami jakościowymi jęczmienia ozimego browarnego. *Biul. IHAR* 215: 161 — 166.
- Czarnecki Z., Czarnecka M., Śpiewak A. 2004. Zmiany wysokocząsteczkowych β -glukanów i aktywności β -glukanazy w procesie słodowania jęczmienia browarnego. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* 3(2): 137 — 146.
- Gołębiewski D., Myszk K., Burek J., Mańkowski D. R., Boros D. 2012. Badania zmienności genetycznej i wpływu środowiska na cechy determinujące wartość browarną ziarna rodów jęczmienia jarego włączonych do badań przedrejestrów w 2011 roku. *Biul. IHAR*. 263: 19 — 31.
- Gołębiewski D., Myszk K., Fraś A., Boros D., Burek J., Mańkowski D. R. 2013. Ocena zróżnicowania genotypowego i środowiskowego cech wartości browarnej rodów jęczmienia jarego z doświadczeń przedrejestrów z roku 2012. *Biul. IHAR*. 268: 47 — 58.
- Henry R.J. 1986. Genetic and environmental variation in the pentosan and beta-glucan contents of barley and their relation to malting quality. *J. Cereal Sci.* 4: 269 — 277.
- Klockiewicz-Kamińska E. 2005, Metody oceny wartości browarnej i klasyfikacja jakościowa odmian jęczmienia. *COBORU, Zeszyt* 80: 3 — 15.
- Kunze W. 2010. *Technology Brewing and Malting*. 4th updated edition. VLB, Berlin.
- Marquez-Cedillo L. A., Hayes P. M., Jones B. L., Kleinhofs A., Legge W. G., Rossnagel B. G., Sato K., Ullrich E., Wesenberg D. M. 2000. QTL analysis of malting quality in barley based on the doubled-haploid progeny of two elite North American varieties representing different germplasm groups. *Theor. Appl. Genet.* 101 (1/2): 173 — 184.
- Mądry W., Mańkowski D. R., Kaczmarek Z., Krajewski P., Studnicki M. 2010. Metody statystyczne oparte na modelach liniowych w zastosowaniach do doświadczeń, genetyki i hodowli roślin. *Monografie i Rozprawy Naukowe IHAR — PIB*. Nr 34. ISBN 83-900965-8-7.

- Molina-Cano J.L. 1987. The EBC Barley and Malt Committee Index for the evaluation of malting quality in barley and its use in breeding. *Plant Breeding*. 98: 249 — 256.
- Molina-Cano J. L., Francesch M., Perez – Vendrell A. M., Ramo T., Voltas J., Brufau J. 1997. Genetic and environmental variation in malting and feed quality of barley. *J. Cereal Sci.* 25: 37 — 47.
- Pecio A. 2002. Środowiskowe i agrotechniczne uwarunkowania wielkości i jakości plonu ziarna jęczmienia browarnego. *Fragm. Agron.* 4: 4 — 112.
- Perez-Vendrell A.M., Brufau J., Molina-Cano J.L., Francesch M., Guasch J. 1996. Effects of cultivar and environment on β -(1,3)-(1,4)-D-glucan content and acid extract viscosity of Spanish barleys. *J. Cereal Sci.* 23: 285-292.
- Ploch M., Cyran M., Kasztelowicz K., Boros D., Burek J. 2005. Zmienność i współzależność cech jakości jęczmienia browarnego ze zbioru w 2004 roku. *Komunikat. Biul. IHAR*. 235: 155-162.
- Polska Norma, PN-A-79083. 1998. Słód browarny. Metody badań. Oznaczanie zawartości ekstraktu, różnicy zawartości ekstraktów, czasu scukrzania, czasu spływu brzezki laboratoryjnej i klarowności (6); Oznaczanie lepkości brzezki laboratoryjnej (7); Oznaczanie białka ogólnego, azotu rozpuszczalnego i obliczanie liczby Kolbacha (9); Oznaczanie siły diastatycznej słodu (10).
- Swanston J. S., Ellis R. P., Rubio A., Perez-Vendrell A., Molina-Cano J.L. 1995. Differences in malting performance between barleys grown in Spain and Scotland. *J. Inst. Brew.* 101(4): 261 — 265.
- Swanston J. S., Newton A. C., Guy D. C. 2000. Malting performance of barley cultivar mixtures from the UK and Poland. *J. Inst. Brew.* 106 (4): 239 — 243.
- Váňová M., Palík S., Hajšlová J., Burešová I. 2006. Grain quality and yield of spring barley in field trials under variable growing conditions. *Plant Soil. Environ.* 52 (5): 211 — 219.
- Węgrzyn S., Bichoński A. 2001. Zróżnicowanie i genetyczne uwarunkowanie cech wartości technologicznej jęczmienia jarego browarnego. *Biul. IHAR*. 220: 153 — 160.
- Węgrzyn S., Kowalska M., Ruśniak L. 1982. Zmienność i genetyczne uwarunkowanie plonu oraz cech wartości browarnej jęczmienia jarego. *Hod. Rośl. Aklim. Nas.* 26 (1): 41 — 51.

PODZIĘKOWANIA

Pracownikom inżynieryjno-technicznym SPOJPR za zaangażowanie i pomoc w wykonaniu analiz chemicznych. Praca była wykonana ze środków MRiRW przyznanych na realizację tematu nr 43, w ramach badań na rzecz postępu biologicznego w produkcji roślinnej.

ALEKSANDRA PIETRUSIŃSKA

JERZY HENRYK CZEMBOR

Pracownia Genetyki Stosowanej

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy w Radzikowie

Struktura wirulencji populacji *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* występującej na terenie Polski w latach 2012–2013*

Virulence structure of the *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* population occurring in Poland across 2012–2013

Badana kolekcja 50 izolatów *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* wyosobnionych z porażonych liści pszenicy reprezentowała populację tego patogena występującą na terenie Polski w latach 2012–2013. Izolaty charakteryzowały się zróżnicowanym stopniem wirulencji w stosunku do genów odporności obecnych w zestawie odmian i linii różnicujących. Wszystkie izolaty były awirulentne w stosunku do genów odporności *Pm21*, *Pm36* oraz *Pm37*. W stosunku do genu *Pm29* wirulentny był tylko 1 izolat, a w stosunku do kombinacji genów *Pm1+2+4b+9* wirulentne były tylko 2 izolaty. Ponad 90% izolatów było wirulentnych w stosunku do genu *Pm2*, *Pm5* i kombinacji genów *Pm2+4b+8*, *Pm2+6* i *Pm4b+5*. Wszystkie badane izolaty były wirulentne w stosunku do odmiany podatnej Nimbus, która była jednocześnie wzorcem we wszystkich testach odpornościowych oraz do genów *Pm6*, *Pm8*, i kombinacji genów *Pm5+8*, *Pm4b+8*. Większość z badanych izolatów, było wirulentnych do 16 genów odporności lub ich kombinacji jednocześnie oraz w stosunku do 17 genów odporności lub ich kombinacji jednocześnie (łącznie 16 izolatów). Żaden z badanych izolatów nie był wirulentny w stosunku tylko do jednego genu odporności oraz w stosunku do mniej niż 8 genów jednocześnie. Ponadto, żaden z testowanych izolatów nie był wirulentny w odniesieniu do więcej niż 20 genów odporności lub ich kombinacji jednocześnie.

Słowa kluczowe: *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, geny odporności, pszenica ozima, struktura wirulencji

Collection of 50 isolates of *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* obtained from infected wheat leaves represented the population of this pathogen occurring in Poland in 2012–2013. Isolates were characterized by different level of virulence to the resistance genes present in the differential set of varieties and lines. All isolates were avirulent to the resistance genes *Pm21*, *Pm36* and *Pm37*. Only one isolate was virulent to the gene *Pm29* and 2 isolates to the combination of genes *Pm1+2+4b+9*. More

* Praca badawcza dofinansowana z programu PB w PR MRiRW, temat 9

than 90% of the isolates were virulent to the genes *Pm2* and *Pm5* and gene combinations *Pm2+4b+8+6* and *Pm2 Pm4b+5*. All isolates were virulent to the susceptible variety Nimbus, genes *Pm6* and *Pm8* and gene combinations *Pm5+8*, *Pm4b+8*. In total, 16 isolates were virulent to 16 genes or their combinations or to 17 resistance genes or a combination. None of them was avirulent only to one resistance gene, and none of them to less than 8 genes and to more than 20 genes, or their combinations. Moreover, none of the all isolates were avirulent to more than 20 resistance genes or their combination.

Key words: *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, resistance genes, winter wheat, virulence structure

WSTĘP

Mączniak prawdziwy pszenicy, powodowany przez grzyba *Blumeria graminis* (DC.) E. O. Speer f. sp. *tritici* Em. Marchal (syn. *Erysiphe graminis* DC. E. O. f. sp. *tritici*), jest chorobą, która obok rdzy brunatnej, należy do najgroźniejszych chorób pszenicy ozimej. W latach sprzyjających rozwojowi tego grzyba straty w plonach mogą sięgać nawet do 50% (Conner i in., 2003; Tratwal i Jakubowska, 2004; Jańczak i Pawlak, 2006; Mwale i in., 2014). W latach 1991–2008 występował on we wszystkich regionach Polski. Średnia wieloletnia na przełomie tych lat wynosiła 25,6% porażonych źdźbeł pszenicy ozimej (Walczak i in., 2009). W Wielkopolsce w 2004 roku, na niektórych polach, dynamika rozwoju choroby miała charakter epidemii (Jańczak i Pawlak, 2006).

Najskuteczniejszą metodą ograniczenia strat w produkcji zbóż jest wprowadzanie do współcześnie uprawianych odmian wrażliwych genów odporności, które są efektywne w stosunku do populacji patogena występującej na danym obszarze (Heun, 1987; Czembor i in., 2013 a, 2013 b; Jorgensen i in., 2013). Jednak odporność warunkowana pojedynczymi genami może być szybko przełamana przez nowe wirulentne rasy grzyba *B. graminis* (Parks i in., 2008). Średnio następuje to w ciągu kilku do kilkunastu lat i zależy od wielkości areału uprawy odmian z pojedynczymi genami odporności, występowania presji selekcyjnej na populację patogenu, zdolności reprodukcyjnych patogenu, możliwości szybkiego rozprzestrzeniania się nowych ras oraz sprzyjających warunków atmosferycznych (Vallavielle-Pope i in., 2000). Wykorzystanie w uprawie odmian o zróżnicowanej odporności w sposób istotny ogranicza rozprzestrzenianie się nowych ras (Czembor i Gacek, 1990, 1995; Finckh i in., 2000).

Badania nad strukturą populacji *B. graminis* powinny być prowadzone w sposób ciągły, ponieważ umożliwiają wskazanie genów odporności, których efektywność nie została jeszcze przełamana. Geny te powinny być wykorzystywane w bieżących programach hodowlanych nowych odmian lub programach, których celem jest podwyższenie odporności odmian wyhodowanych wcześniej. Piramidowanie genów odporności jest ważną strategią w hodowli odpornościowej (Hsam i Zeller, 2002). Obecność w jednym genotypie wielu efektywnych genów odporności sprzyja większej trwałości odporności (Parks, 2008).

Celem pracy było określenie struktury populacji *B. graminis* f. sp. *tritici* występującej na terenie Polski w latach 2012–2013 i wskazanie genów odporności efektywnych na tego patogena.

Wykonane badania oraz opracowanie wyników realizowane były w ramach programu PB w PR MRiRW (temat nr 9) w latach 2013–2014.

MATERIAŁY I METODY

Do badań mających na celu określenie struktury populacji grzyba *B. graminis* f. sp. *tritici* występującej na terenie Polski w latach 2012–2013 wykorzystano kolekcję 50 izolatów wyosobnionych z porażonych liści pszenicy w różnych rejonach Polski oraz zestaw 28 odmian i linii różnicujących o znanych genach odporności.

Przygotowanie kolekcji izolatów grzyba *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*

Próby liści z widocznymi objawami choroby kolekcjonowano w 4 lokalizacjach reprezentujących różne rejony Polski: Szelejewo (woj. wielkopolskie), Kraków i Polanowice (woj. małopolskie) oraz Radzików (woj. mazowieckie). W warunkach kontrolowanych wyosobniono jednozarodnikowe kultury grzyba (izolaty) według metodyki opisanej w pracy (Czembor i in., 2013 b). Następnie izolaty były namnażane na podatnej odmianie pszenicy — Nimbus.

Określenie genów wirulencji występujących w kolekcji izolatów *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*

W celu określenia genów wirulencji występujących w kolekcji izolatów jednozarodnikowych *B. graminis* f. sp. *tritici* wykorzystano zestaw 28 odmian i linii różnicujących o znanych genach odporności. Linie te i odmiany, są wykorzystywane również przez inne zespoły badawcze nad strukturą populacji tego patogena (tab. 1). Nasiona odmian i linii zestawu różnicującego wysiewano do doniczek z ziemią ogrodową (po 10–15 ziarniaków na doniczkę). Siewki rosły w izolacji przestrzennej w warunkach szklarniowych z dodatkowym sztucznym doświetlaniem przy długości dnia 16 h oraz temperaturze w zakresie 16–22°C. Dziesięć dni po wysiewie, gdy rośliny były w stadium w pełni rozwiniętego drugiego liścia, prowadzono zakażenia sztuczne każdym izolatem osobno. Zarodniki namnożone na roślinach odmiany podatnej Nimbus były równomierne strząsane nad roślinami odmian i linii zestawu różnicującego. Do izolacji przestrzennej wykorzystano namioty foliowe. Ocenę fenotypową stopnia porażenia odmian i linii poszczególnymi izolatami grzyba *B. graminis* f. sp. przeprowadzano po ok. 8 dniach wykorzystując pięciostopniową skalę (0–4) w której: 0 = brak widocznych objawów porażenia; 1 = niewielkie nekrozy; 2 = powiększające się nekrozy wraz ze skąpym zarodnikowaniem; 3 = chlorozy, grzybnia rozwinięta, lecz słabo zarodnikująca; 4 = dobrze rozwinięta grzybnia i zarodnikująca grzybnia (Mains i Dietz, 1930; Czembor, 2008). Odmiany/linie o reakcji 0–2, tworzyły grupę odpornych, rośliny o reakcji 3–4 grupę podatnych, (-) odmian/linii nie badano.

Tabela 1

Zestaw linii i odmian różnicujących posiadających znane geny odporności na *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* wykorzystanych do określenia genów wirulencji izolatów zebranych w latach 2012–2013 (Czembor i in., 2014)

Standard differential set of wheat with known powdery mildew resistance genes used to characterize virulence structure of the *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* population in 2012–2013 (Czembor et al., 2014)

Lp. No.	Odmiana / Linia Cultivar / Line	Gen odporności Resistance gene	Chromosom Chromosome	Pochodzenie Origin
1	Axminster	<i>Pm1a</i>	7AL	<i>Triticum aestivum</i>
2	Avalon	<i>Pm2</i>	5DS	<i>Aegilops tauschii</i>
3	Asosan	<i>Pm3a</i>	1AS	<i>Triticum aestivum</i>
4	Chul	<i>Pm3b</i>	1AS	<i>Triticum aestivum</i>
5	Sonora	<i>Pm3c</i>	1AS	<i>Triticum aestivum</i>
6	Kolibri	<i>Pm3d</i>	1AS	<i>Triticum aestivum</i>
7	Weihenstephan	<i>Pm4b</i>	2AL	<i>Triticum carthlicum</i>
8	Kormoran	<i>Pm5d</i>	7BL	<i>Triticum aestivum</i>
9	TP 114	<i>Pm6</i>	2B	<i>Triticum timopheevii</i>
10	Transec	<i>Pm7</i>	4BS/4BL-2RL	<i>Secale cereale</i>
11	Disponent	<i>Pm8</i>	1BL/1RS	<i>Secale cereale</i>
12	Maris Huntsman	<i>Pm2+6</i>		
13	Kadett	<i>Pm3d+4b</i>		
14	Boxer	<i>Pm4b+5</i>		
15	Sorbas	<i>Pm4b+6</i>		
16	Kronjuvel	<i>Pm4b+8</i>		
17	Grenado	<i>Pm5+8</i>		
18	Apollo	<i>Pm2+4b+8</i>		
19	Sappo	<i>Pm1+2+4b+9</i>		
20	Amigo	<i>Pm17</i>	1AL/1RS	<i>Secale cereale</i>
21	Yangmai5	<i>Pm21</i>	6VS/6AL	<i>Haynaldia villosa</i>
22	Virest	<i>Pm 22</i>	7AL	<i>Triticum aestivum</i>
23	Pova	<i>Pm 29</i>	7DL	<i>Aegilops ovata</i>
24	NC97BGtD7	<i>Pm 34</i>	5DL	<i>Aegilops tauschii</i>
25	NC96BGTD3	<i>Pm 35</i>	5DL	<i>Aegilops tauschii</i>
26	MG 29896	<i>Pm 36</i>	5BL	<i>Triticum diocoides</i>
27	NC99BGTAG11	<i>Pm 37</i>	7AL	<i>Triticum timopheevii</i>
28	Nimbus			

WYNIKI

Badana kolekcja 50 izolatów *B. graminis* f. sp. *tritici* wyosobnionych z porażonych liści pszenicy reprezentowała populację tego patogena występującego na terenie Polski w latach 2012–2013. Izolaty charakteryzowały się zróżnicowanym stopniem wirulencji w stosunku do genów odporności obecnych w zestawie odmian i linii różnicujących (tab. 2). Frekwencję izolatów wirulentnych do genów odporności obecnych w zestawie odmian i linii różnicujących przedstawiono na rysunku 1.

Wszystkie izolaty były awirulentne w stosunku do genów odporności *Pm21*, *Pm36* oraz *Pm37* (porażenia odmiany Yangmai5 i linii których odporność jest uwarunkowana tymi genami oceniono w zakresie 0–2). W stosunku do genu *Pm29* wirulentny był tylko 1 izolat, a w stosunku do kombinacji genów *Pm1+2+4b+9* wirulentne były tylko 2 izolaty. Udział izolatów wirulentnych w stosunku do kombinacji genów *Pm3d+4b* (Kadett) oraz genu *Pm1* nie przekraczał 20% natomiast udział izolatów wirulentnych w stosunku do

pozostałych genów lub ich kombinacji przekraczał 30%. Szesnaście izolatów było wirulentnych w stosunku do genu *Pm35* (32%) oraz 19 w stosunku do genów *Pm3b* i *Pm34* (38%). Frekwencja wirulencji w stosunku do genów *Pm17*, *Pm3a* oraz *Pm3d* wahała się w zakresie 52–58%, w stosunku do genów *Pm4*, *Pm3* oraz *Pm7* w zakresie 74–88%. Czterdzieści siedem izolatów (94%) było wirulentnych w stosunku do genu *Pm2*, 48 izolatów w stosunku do kombinacji genów *Pm2+4b+8* oraz 49 izolatów w stosunku do genu *Pm5* i kombinacji genów *Pm2+6* i *Pm4b+5*. Wszystkie badane geny, były wirulentne w stosunku do odmiany podatnej Nimbus, która była jednocześnie wzorcem we wszystkich testach odpornościowych oraz do genów *Pm6*, *Pm8*, i kombinacji genów *Pm5+8*, *Pm4b+8*.

Tabela 2

Wirulencja 50 izolatów *B. graminis* f. sp. *tritici* w stosunku do genów odporności obecnych w zestawie odmian i linii różnicujących

Virulence of 50 *B. graminis* f. sp. *tritici* isolates to the resistance genes present in the differential set of lines and cultivars

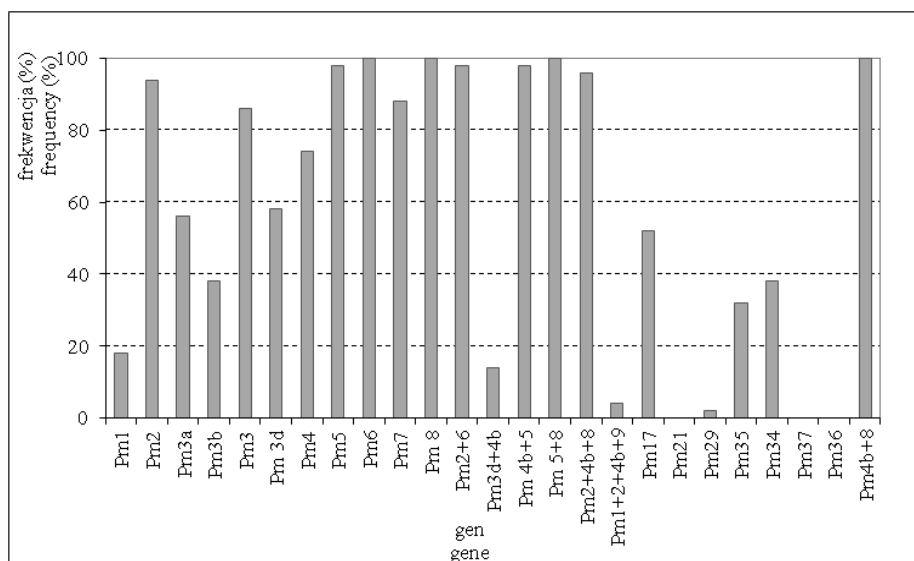
L.p.	L.p. — No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	izolaty isolates odmiany / linie cultivar / line	Bgt 1	Bgt 2	Bgt 3	Bgt 4	Bgt 5	Bgt 6	Bgt 7	Bgt 8	Bgt 9	Bgt 10	Bgt 11	Bgt 12	Bgt 13	Bgt 14	Bgt 15	Bgt 16	Bgt 17	Bgt 18	Bgt 19	Bgt 20	Bgt 21	Bgt 22	Bgt 23	Bgt 24	Bgt 25
1	Axmister Pm1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Avalon Pm2	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	Asosan Pm3a	4	0	1	2	0	0	2	0	0	4	4	2	2	4	4	4	4	4	4	0	0	0	4	0	4
4	Chul Pm3b	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	2	2	2	2	4	0	0	0	0	0	4
5	Sonora Pm3	0	4	0	4	0	4	4	4	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4
6	Kolibri Pm 3d	1	2	2	4	4	0	0	0	2	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	0	0	2	4	0
7	Weihenst Pm4	0	0	2	4	4	0	2	0	2	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2
8	Kormoran Pm5	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
9	TP 114 Pm6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
10	Transec Pm7	1	4	2	4	4	0	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4
11	Disponent Pm 8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
12	Maris .Hnt. Pm2+6	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
13	Kadett Pm3d+4b	1	0	2	2	0	0	0	0	2	0	0	0	2	2	2	4	2	2	2	0	0	0	0	2	2
14	Boxer Pm 4b+5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
15	Sorbas Pm4b+8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
16	Kronjuwel Pm	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
17	Granada Pm 5+8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
18	Apollo Pm2+4b+8	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
19	Sappo Pm1+2+4b+9	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	Amigo Pm17	4	0	0	4	2	0	0	0	0	4	4	4	4	4	2	4	4	2	4	4	0	0	0	0	2
21	Yangmai5 Pm21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	Virest Pm22	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	Pova Pm29	0	0	2	2	2	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
24	NC96BGTD3 Pm35	0	0	2	2	2	1	0	0	2	4	4	4	4	4	4	2	4	2	2	0	0	0	0	2	2
25	Nimbus	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
26	NC97BGTD7 Pm34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	4	4	4	4	0	4	4	4	0	0	0	0	0	4
27	NC99BGTAG11 Pm37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	MG 29896 Pm36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Wirulencja 50 izolatów *B. graminis* f. sp. *tritici* w stosunku do genów odporności obecnych w zestawie odmian i linii różnicujących

Virulence of 50 *B. graminis* f. sp. *tritici* isolates to the resistance genes present in the differential set of lines and cultivars

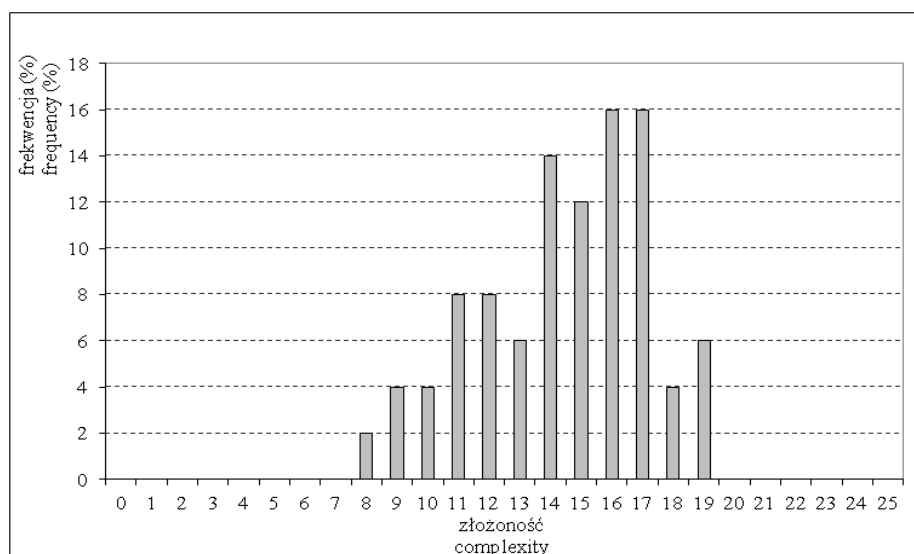
L.p.	L.p. — No.	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	Izolaty isolates	Bgt 26	Bgt 27	Bgt 28	Bgt 29	Bgt 30	Bgt 31	Bgt 32	Bgt 33	Bgt 34	Bgt 35	Bgt 36	Bgt 37	Bgt 38	Bgt 39	Bgt 40	Bgt 41	Bgt 42	Bgt 43	Bgt 44	Bgt 45	Bgt 46	Bgt 47	Bgt 48	Bgt 49	Bgt 50
	odmiany / linie cultivar / line																									
1	Axmister Pm1	2	4	4	0	0	4	4	2	2	4	2	4	2	4	0	2	0	2	0	2	0	0	0	0	0
2	Avalon Pm2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4	4	4
3	Asosan Pm3a	2	4	0	0	4	4	2	2	2	2	2	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4
4	Chul Pm3b	2	4	4	4	0	4	2	4	2	2	2	0	4	4	0	3	3	4	2	4	3	0	0	3	3
5	Sonora Pm3	0	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
6	Kolibri Pm 3d	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	0	3	3	2
7	Weihenst Pm4	4	4	4	4	0	4	2	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
8	Kormoran Pm5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
9	TP 114 Pm6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
10	Transec Pm7	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
11	Disponent Pm 8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
12	Maris .Hnt. Pm2+6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
13	Kadett Pm3d+4b	0	0	0	0	0	4	2	0	4	4	2	4	2	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
14	Boxer Pm 4b+5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4
15	Sorbas Pm4b+8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
16	Kronjuwel Pm	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
17	Granada Pm 5+8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
18	Apollo Pm2+4b+8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
19	Sappo Pm1+2+4b+9	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	4	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	Amigo Pm17	0	0	0	0	4	4	2	2	4	2	2	0	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
21	Yangmai5 Pm21	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	Virest Pm22	-	-	-	-	4	4	4	2	2	2	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	Pova Pm29	2	2	2	0	0	2	2	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	NC96BGTD3 Pm35	0	0	0	0	0	3	2	4	4	2	4	2	2	2	0	4	0	4	4	4	0	0	0	4	0
25	Nimbus	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
26	NC97BGtD7 Pm34	4	4	0	0	0	0	4	2	0	0	2	4	4	4	3	4	3	0	0	0	0	0	4	0	0
27	NC99BGTAG11 Pm37	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	MG 29896 Pm36	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0

Na rysunku 2 przedstawiono złożoność wirulencji izolatów reprezentujących populację *B. graminis* f. sp. *tritici* występującą na terenie Polski w latach 2012–2013. Większość z badanych izolatów było wirulentnych do 16 genów odporności lub ich kombinacji jednocześnie (8 izolatów, czyli 16% badanych) oraz w stosunku do 17 genów odporności lub ich kombinacji jednocześnie (8 izolatów). Siedem izolatów (14%) było wirulentnych w stosunku do 14 genów odporności lub ich kombinacji jednocześnie. Żaden z badanych izolatów nie był wirulentny w stosunku tylko do jednego genu odporności oraz żaden z nich w stosunku do mniej niż 8 genów jednocześnie oraz więcej niż 20 genów lub ich kombinacji jednocześnie.



Rys. 1. Liczba izolatów reprezentujących populację *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* występującą w Polsce w latach 2012–2013 wirulentnych do genów odporności obecnych w zestawie odmian i linii różnicujących

Fig. 1. Number of isolates representing *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* population occurring in Poland in 2012–2013 virulent to resistance genes present in the differential set



Rys. 2. Złożoność wirulencji populacji *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* występującej w Polsce w latach 2012–2013 reprezentowanej przez 50 izolatów i badanych na zestawie odmian i linii różnicujących

Fig. 2. Virulence complexity of 50 *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* isolates representing populations occurring in Poland in the years 2012–2013 and tested on wheat differential set

DYSKUSJA

Głównym kierunkiem produkcji rolniczej w Polsce jest uprawa pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum*). Powszechnie występujące choroby zbóż (m.in. mączniak prawdziwy) istotnie wpływają na wielkość uzyskanego plonu. W zależności od warunków pogodowych choroby występują zarówno na pszenicy jarej, jak i ozimej we wszystkich rejonach Polski. Odmiany pszenicy ozimej, uprawiane w Polsce oraz nowe, będące w badaniach rejestrowych, pod względem odporności na porażenie przez grzyb *B. graminis* f. sp. *tritici* oceniane są jako średnio podatne i podatne w stadium siewek, a w warunkach polowych, w zależności od roku, jako mniej lub bardziej wrażliwe. W warunkach szczególnie sprzyjających rozwojowi patogena dochodzi do znacznego spadku w wielkości i jakości plonów (Pietrusińska, 2009). Również uprawa na szeroką skalę odmian o podobnym profilu genetyczno-odpornościowym prowadzi do szybszego rozprzestrzeniania się chorób, a tym samym do spadku plonów. Rozwój rolnictwa proekologicznego sprawił, iż dzisiejsza produkcja roślinna ma na celu ograniczenie chemicznych środków ochrony roślin, przy jednoczesnym wzroście hodowli odmian odpornych (Czembor i Gacek, 1995; McDonald i Linde, 2002; Czembor, 2008). Dlatego też istotnym elementem strategii hodowli odpornościowej jest pozyskiwanie nowych, efektywnych źródeł odporności na *B. graminis* f. sp. *tritici*. Geny odporności, które są efektywne w stosunku do populacji patogena, występującej na danym obszarze mogą być wprowadzane do odmian już zarejestrowanych lub być wykorzystywane w nowych programach hodowlanych. Dlatego prace mające na celu poszukiwanie nowych źródeł odporności muszą być prowadzone równolegle z badaniami epidemiologicznymi, pozwalającymi na śledzenie struktury populacji. *B. graminis* f. sp. *tritici* posiada duże zdolności adaptacyjne, a dynamika pojawiania się nowych kombinacji wirulencji jest dodatnio skorelowana z dynamiką rozprzestrzeniania się uprawy odmian z określonymi genami odporności (Svec i in., 1998; Vallavielle-Pope i in., 2000; Parks i in., 2008). W wybranych doniesieniach literaturowych można znaleźć opis populacji *B. graminis* f. sp. *tritici* występującej na terenie wielu krajów (Vallavielle-Pope i in., 2000; Parks i in., 2008; Vechet, 2012). Dlatego celem bieżących badań była charakterystyka populacji tego patogenu występującej na terenie Polski w latach 2012–2013. Populację *B. graminis* f. sp. *tritici* reprezentowało 50 izolatów jednozarodnikowych wyosobnionych z prób porażonych liści pszenicy zebranych w 4 lokalizacjach. Do opisanie ich wirulencji wykorzystano zestaw linii i odmian ze znanymi, opisanymi w literaturze, genami odporności lub kombinacjami tych genów. Stwierdzono, że ponad 90% badanych izolatów *B. graminis* f. sp. *tritici* było wirulentnych w stosunku do genów *Pm2*, *Pm6*, *Pm5d* i *Pm8* oraz ich kombinacji *Pm2+4b+8*, *Pm2+6*, *Pm5+8*, *Pm4b+5*, *Pm4b+8*. W badaniach prowadzonych przez Czembor i in. (2014), w trakcie których scharakteryzowano 1402 izolaty *B. graminis*, pochodzące z próbek porażonych liści pszenżyta stwierdzono, że procent izolatów wirulentnych w stosunku do genu *Pm8*, w zależności od roku, był znacznie niższy i wahał się od 17 do 53%. Natomiast w badaniach Zeng i in. (2013) izolaty *B. graminis* f. sp. *tritici* nie wykazywały dużej wirulencji w stosunku do *Pm5d*. W bieżących badaniach wszystkie izolaty były awirulentne w stosunku do genów odporności *Pm21*, obecnego w odmianie Yangmai5, formy dzikiej *Haynaldia*

villosa, *Pm36*, obecnego w linii MG 29896 oraz *Pm37*, obecnego w linii NC99BGTAG11. Pozostałe efektywne geny odporności w stosunku do izolatów reprezentujących populację to gen *Pm29*, dla którego wirulentny był tylko 1 izolat. W stosunku do kombinacji genów *Pm1+2+4b+9* (odmiana Sappo) wirulentne były tylko 2 izolaty. Udział izolatów wirulentnych w stosunku do kombinacji genów *Pm3d+4b*, obecnej w odmianie Kadett, oraz do genu *Pm1*, obecnego w odmianie Axminster, nie przekraczał 20%. Badania prowadzone przez Zeng i in. (2013) wykazały brak wirulencji w stosunku do genu *Pm21* w populacji występującej na terenie Chin. Badania Czembor i in. (2014) w trakcie, których scharakteryzowano izolaty *B. graminis*, pochodzące z próbek porażonych liści pszenżyta, wykazały brak wirulencji w również stosunku do genu *Pm21* oraz kombinacji genów *Pm3d+4b*. Również liczba izolatów wirulentnych w stosunku do kombinacji genów *Pm1+2+4b+9* nie przekraczała 20%.

Podsumowując, można stwierdzić, że populacja *B. graminis* f. sp. *tritici* występująca na pszenicy w Polsce charakteryzuje się szerokim spektrum wirulencji. Większość izolatów reprezentujących tę populację jest wirulentnych w stosunku do większości genów odporności, powszechnie wykorzystywanych w programach hodowlanych. Dlatego, konieczne jest poszukiwanie nowych źródeł odporności, których źródłem mogą być formy oddalone. Nowe kombinacje genów odporności, wprowadzane do najlepszych odmian i rodów hodowlanych na drodze krzyżowań, mogą przyczynić się do spowolnienia procesu przełamывania odporności odmian na porażenie grzybem *B. graminis* f. sp. *tritici* (McDonald i Linde 2002; Pietrusińska i in. 2011, 2013). Piramidowanie genów odporności na mączniaka prawdziwego, w hodowli odpornościowej, jest strategią powszechnie używaną przez hodowców (Hsam i Zeller, 2002; Pietrusińska i in. 2011, 2013). Obecność wielu efektywnych genów odporności w nowych odmianach pszenicy znacząco zwiększa trwałość ich odporności na choroby w tym na mączniaka (Parks, 2008; Pietrusińska, 2009).

WNIOSKI

1. Populacja *B. graminis* f. sp. *tritici* występująca na pszenicy w Polsce charakteryzuje się szerokim spektrum wirulencji.
2. Większość z badanych izolatów *B. graminis* f. sp. *tritici* było wirulentnych w stosunku do 14, 16 lub 17 genów odporności lub ich kombinacji jednocześnie (łącznie 46%).
3. Ponad 90% badanych izolatów było wirulentnych w stosunku do genów *Pm2*, *Pm6*, *Pm5d* i *Pm8* oraz ich kombinacji *Pm2+4b+8*, *Pm2+6*, *Pm5+8*, *Pm4b+5*, *Pm4b+8*.
4. Wszystkie izolaty *B. graminis* f. sp. *tritici* były awirulentne w stosunku do genów odporności *Pm21*, *Pm36*, *Pm37*. W stosunku do genu *Pm29* wirulentny był tylko jeden izolat. Geny te powinny być wprowadzane do odmian już uprawianych, lub być wykorzystywane w nowych programach hodowlanych.

LITERATURA

- Conner R. L., Kuzyk A. D., Su H. 2003. Impact of powdery mildew on the yield of soft white spring wheat cultivars. Canada Journal of Plant Science 83: 725 — 728.

- Czembor H. J., Gacek E. S. 1990. System for increasing durability of diseases resistance in cereals. In: Arseniuk E., Góral T., Czembor P. Cz. (eds) Plant Resistance to Diseases, Pests and Unfavorable Environmental Conditions. IHAR Radzików, Poland: 39 — 48.
- Czembor H.J., Domeradzka O., Czembor J.H., Mańkowski D.R. 2014. Virulence structure of the powdery mildew (*Blumeria graminis*) population occurring on triticale (x *Triticosecale*) in Poland. Journal of Phytopathology 162: 499 — 512.
- Czembor H.J., Doraczyńska O., Czembor J.H. 2013a. Odporność odmian pszenżyta na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* ff. ssp.) występującego w Polsce. Biul. IHAR 267: 3 — 16.
- Czembor J.H., Doraczyńska O., Pietrusińska A., Czembor H.J. 2013b. Odporność na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*) odmian jęczmienia włączonych do badań rejestrowych w Polsce w roku 2012. Biul. IHAR 268: 35 — 45.
- Czembor, H.J. & Gacek E. 1995. Systems for increasing durability of disease resistance in cereals. In: Arseniuk, E., Góral T. & Czembor, P.C. (eds) Plant Resistance to Diseases, Pests and Unfavorable Environmental Conditions. IHAR Radzików, Poland. p. 39 — 48.
- Czembor, H.J. 2008. Odporność na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*) odmian jęczmienia włączonych do badań rejestrowych w Polsce w latach 2004–2006. Biul. IHAR 248: 33 — 42.
- Finckh M.R., Gacek E.S., Goyeau H., Lannou C., Merz U., Mundt CC., Munk L., Nadziak J., Newton A.C., de Vallavieille-Pope C., Wolfe M.S. 2000. Cereal variety and species mixtures in practice, with emphasis on disease resistance. Agronomie 20 (7): 813 — 837.
- Heun M. 1987. Virulence frequencies influenced by host resistance in the host-pathogen system wheat-powdery mildew. Journal of Phytopathology 118: 363 — 366.
- Hsam S.L.K., Zeller F.J. 2002. Breeding for powdery mildew resistance in common wheat (*Triticum aestivum* L.) In: The Powdery Mildews: a comprehensive treatise. Belanger R.R., Bushnell W. R., Aleid J. D., Carver T.L.W. USA: APS Press, St. Paul, MN, str. 219 — 238.
- http://www.ior.poznan.pl/aktualizacja/data/pliki/263_Stan_fitosanitarny_2007.pdf.
- Jańczak, C., Pawlak, A. 2006. Występowanie i szkodliwość mącznika prawdziwego (*Blumeria graminis*) w pszenicy ozimej w latach 2003–2005. Postępy w Ochronie Roślin 46(2): 538 — 542.
- Jorgensen L.N., Hovmøller M., S., Hansen J.G., Lassen P., Clark B., Bayles R., Rodemann B., Flath K., Jahn M., Goral T., Czembor J., Cheyrol P. 2013. IPM strategies and their dilemmas including an introduction to www.Eurowheat.org. Journal of integrative Agriculture 13(2): 265 — 281.
- Mains E. B., Dietz S. M. 1930. Physiologic forms of barley mildew, *Erysiphe graminis hordei* Marchal. Phytopathol. 20: 229 — 239.
- McDonald B., Linde C. 2002. Pathogen population genetics, evolutionary potential, and durable resistance. Annual Review of Phytopathology 40: 349 — 379.
- Mwale V.M., Chilembwe E.H.C., Uluko H.C. 2014. Wheat powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*): Damage effects and genetic resistance developed in wheat (*Triticum aestivum*). International Research Journal of Plant Science: 5(1) 1 — 16.
- Parks R., Carbone I., Murphy P. J., Marshall D., Cowger C. 2008. Virulence structure of the eastern U.S. wheat powdery mildew population. Plant Disease 92: 1074 — 1082.
- Pietrusińska A., Czembor J.H., Czembor P.Cz. 2011. Pyramiding of two resistance genes for leaf rust and powdery mildew resistance in common wheat. Cereal Research Communications. 39(4): 577 — 588.
- Pietrusińska A., Czembor P. Cz., Czembor J.H. 2013. *Lr39 + Pm21*: a new effective combination of resistance genes for leaf rust and powdery mildew in wheat. Czech J. Genet. Plant Breed. 49: 109 — 115.
- Pietrusińska, A. 2009. Wprowadzanie do pszenicy ozimej genów odporności *Lr41* na rdzę brunatną (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*) i *Pm21* na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*). Konferencja naukowa: Nauka dla Hodowli Roślin Uprawnych, Zakopane, str. 55.
- Svec M., Miklovicova M. 1998. Structure of populations of wheat powdery mildew (*Erysiphe graminis* DC. f. sp. *tritici* Marchal) in central Europe in 1993–1996: I. Dynamics of virulence. European Journal of Plant Pathology 104: 537 — 544.
- Tratwal, A., Jakubowska, M. 2004. Ocena przydatności systemów wspomaganie decyzji o ochronie pszenicy ozimej przed mączniakiem prawdziwym na terenie Wielkopolski. Postępy w Ochronie Roślin 44: 1169 — 1172.

- Vallavielle-Pope de C., Giosue S., Munk L., Newton A. C., Niks R. E., Ostergard H., Pons-Kuhnemann J., Rossi V., Sache I. 2000. Assessment of epidemiological parameters and their use in epidemiological and forecasting models of cereal airborne diseases. *Agronomie* 20: 715 — 727.
- Vechet L. 2012. Incidence and development of powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) in the Czech Republic in the years 1999–2010 and race spectrum of this population. *Journal of Life Sciences* 6: 786 — 793.
- Walczak, F., Gałęzewski, M., Jakubowska, M., Skorupska, A., Tratwal, A., Wojtowicz, A., Złotowski, J. 2009. Zespół Zakładu Metod Prognozowania i Rejestracji Agrofagów oraz Zespół Badania Gryzoni Polnych IOR w Poznaniu.
- Zeng F., Yang L., Gong S., Shi W., Zhang X., Wang H., Xiang L., Xue M., Yu D. 2013. Virulence and diversity of *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* population in China. *Journal of Integrative Agriculture* [http://211.155.251.135:81/Jwk_zgnykx/en/EN/10.1016/S2095-3119\(13\)60669-3](http://211.155.251.135:81/Jwk_zgnykx/en/EN/10.1016/S2095-3119(13)60669-3).

ELŻBIETA CZEMBOR
MAGDALENA MATUSIAK

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Radzików

Dynamika rozwoju fuzariozy kolb kukurydzy powodowanej przez *Fusarium graminearum* oraz akumulacji deoksyniwalenolu w ziarnie*

Kinetics of red ear rot of maize caused by *Fusarium graminearum* and deoxynivalenol accumulation in the grain

Czerwona i różowa fuzarioza kolb kukurydzy powodowane przez grzyby rodzaju *Fusarium* wpływają ujemnie na wielkość plonu oraz jego jakość, ponieważ metabolity wtórne wytwarzane przez te grzyby powodują groźne choroby ludzi i zwierząt. W ostatnich latach obserwuje się nasilenie tej choroby również na plantacjach w Polsce. Celem bieżącej pracy było określenie różnic stopnia odporności elitarnych linii wsobnych kukurydzy na tzw. czerwoną fuzariozę kolb powodowaną przez *F. graminearum* na podstawie dynamiki rozwoju choroby oraz dynamiki gromadzenia deoksyniwalenolu (DON) w ziarnie na przestrzeni czasu. Do badań włączono 7 linii wsobnych. Stopień odporności roślin zakażanych zawieszoną zarodnikami *F. graminearum* oraz tych, które rosły przy infekcji naturalnej oceniano w odstępach dziesięciodniowych (8 terminów), od fazy dojrzałości mlecznej do zbioru, używając skali 1–7. Zawartość DON oznaczono w próbach ziarna pobranych z linii najbardziej podatnej i charakteryzującej się wysoką odpornością, osobno w każdym terminie, metodą ELISA. Średnio, wraz z upływem czasu nasilenie choroby oraz zawartość DON w próbach ziarna rosło, a różnice pomiędzy terminami były istotne. Genotyp również miał istotny wpływ zarówno na rozwój choroby jak i na poziom skażenia DON. Średnio, po zakażeniach sztucznych nasilenie choroby było o 3 stopnie wyższe niż przy infekcji naturalnej a zakres zmienności stopnia porażenia kolb wahał się od 3,3 do 5,9. Na przykładzie większości linii (średnio podatne lub średnio odporne) można było stwierdzić, że pierwsze objawy choroby pojawiają się już 20 dni od daty kwitnienia kwiatostanów żeńskich (pierwszy termin oceny), a największe różnice w nasileniu choroby rozpoczynają się po upływie 50 dni od daty kwitnienia. Próby ziarna pobrane z linii najbardziej odpornej nie były skażone DON nawet po zakażeniach sztucznych. Na przykładzie linii najbardziej podatnej stwierdzono, że akumulacja DON w ziarnie rozpoczęła się już po upływie 20 dni od daty kwitnienia kwiatostanów żeńskich (pomiędzy pierwszym i drugim terminem) a największy wzrost zawartości tej toksyny zaobserwowano po upływie 50 dni od daty kwitnienia kwiatostanów żeńskich.

* Praca magisterska nr 135299 wykonana przez M. Matusiak na kierunku Rolnictwo pt. „Badanie odporności linii wsobnych kukurydzy na fuzariozę kolb i akumulację deoksyniwalenolu w ziarnie”; promotor dr hab. E. Kochańska-Czembor, prof. nadzw. IHAR-PIB, Radzików, 05-870 Błonie

Słowa kluczowe: deoxynivalenol, *Fusarium graminearum*, fuzarioza kolb, kukurydza, mikotoksyny

Red and pink ear rots caused by *Fusarium* spp. are important factors affecting the grain yield and quality, mainly because of contamination of the grain with mycotoxins produced by the fungi. In Poland, ear rot is commonly caused by *F. graminearum* producing deoxynivalenol (DON) and zearalenone and also by *F. verticillioides*, producing fumonisins. It was observed that during the last years contamination with those toxins increased also in Poland. The aim of this study was to determine differences among maize inbred lines for ear rot resistance based on the kinetics of the disease progress as well as on the kinetics of DON accumulation in the grain. Seven inbred lines were included into this study. Their resistance levels after inoculation using *F. graminearum* and under natural infection were scored every 10 days from the plants at milk stage till harvesting time using 1–7 scale. DON content was determined in the grain samples collected from the most resistant and the most susceptible lines using ELISA test. The differences in the level of ear rot resistance and the DON contamination in the grain sampled in different times were significant. Also, differences among lines in their level of resistance and the ability to accumulate DON in the grain was determined. After inoculation, severity of the disease was on average about 3 degrees higher than under natural infection and it increased over time. Resistance levels after inoculation ranged from 3.3 to 5.9. On average, it was possible to observe that the first symptoms of the disease occurred 20 days after flowering time, and the largest disease progress was observed 50 days after flowering time. Kernel samples collected from the most resistant inbred line were not contaminated with DON even after inoculation. Kinetics of DON accumulation was described using grain samples collected from the most susceptible line. Samples collected already 20 days after flowering were contaminated with the mycotoxin and the largest increase of contamination was observed 50 days after flowering time.

Key words: deoxynivalenol, *Fusarium graminearum*, ear rot, maize, mycotoxins

WSTĘP

Kukurydza należy do roślin o dużym znaczeniu gospodarczym zarówno w Polsce, jak i na całym świecie. Jest to roślina dająca wysoki plon zarówno przy uprawie na ziarno, jak i na kiszonkę. Wykorzystuje się ją również w przemyśle spożywczym, chemicznym, papierniczym, fermentacyjnym i farmaceutycznym. Stanowi surowiec do produkcji biopaliw, w związku z protokołem zawartym w Kioto mającym na celu ograniczeniem emisji gazów cieplarnianych.

Choroby w sposób istotny wpływają na wielkość i jakość plonu ziarna oraz zielonej masy kukurydzy. Do grupy najważniejszych z nich należy fuzarioza kolb powodowana przez grzyby rodzaju *Fusarium* spp. (Shephard i in., 1996; Perkowski 2000; Logrieco i in., 2002; Voss i in., 2006). W Polsce, w zależności od rejonu kraju i przebiegu warunków atmosferycznych, głównymi sprawcami tej choroby są gatunki: *Fusarium graminearum*, produkujący mykotoksyny deoksyniwalenol i zearalenon oraz *F. verticillioides*, produkujący fumonizyny (Czembor i in., 2012; Góral i in., 2014; Wit i in., 2007). Określono skład gatunkowy grzybów rodzaju *Fusarium* spp. oraz oceniono zagrożenie zanieczyszczenia ziarna kukurydzy tymi mykotoksynami w latach 2008–2013. Uwzględniono 14 lokalizacji położonych w 4 rejonach Polski: południowo-zachodnim, południowo-wschodnim, centralnym i zachodnim. Na uwagę zasługuje fakt, że badania te wykazały również, że w populacji *Fusarium* spp. zasiedlającej ziarno kukurydzy na terenie Polski występuje nowy gatunek, *F. temperatum*, zidentyfikowany po raz pierwszy w Belgii w 2011 roku przez Scauflaire i in. (2011, 2012). Zostało to opisane w pracy Czembor i in.

(2014). Mykotoksyny produkowane przez grzyby rodzaju *Fusarium* spp. w ilości przekraczającej normy określone dla krajów UE [(EC) No 1126/2007] dyskwalifikują ziarno do dalszego przetwórstwa, ponieważ stanowi to zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt. Wśród zwierząt gospodarskich szczególnie narażone na ich działanie są zwierzęta monogastryczne. Związki te gromadzone są w różnych tkankach powodując m. in. wymioty, uszkodzenia szpiku kostnego, anemie, zmiany w narządach wewnętrznych, zmniejszenie łaknienia, spadek masy ciała, zaburzenia rozwoju ciąży (Chełkowski i in., 1989; Logrieco i in., 2002, 2004; Perkowski, 2000; Rotter i in., 1996; Shepard i in., 1996; Ueno, 1980; Vincelli i Parker, 1995). Badania prowadzone na terenie Polski przez Państwową Inspekcję Sanitarną w latach 2004–2006 potwierdziły, że skażenie w wybranych produktach spożywczych przekroczyło dopuszczalne normy (Rybińska i in., 2008); potwierdziły to również badania Czembor i in. (2012).

Za najbardziej opłacalną i przyjazną środowisku metodę ochrony roślin przed czynnikami chorobotwórczymi uważa się wykorzystanie w uprawie odmian odpornych (Meissle i in., 2010; Zijlstra i in., 2011). Dlatego coraz większą wagę przywiązuje się do selekcji materiałów wyjściowych wykorzystywanych w hodowli pod względem odporności na fuzariozę kolb (Czembor i in., 2013a; Mesterhazy i in., 2012). O stopniu porażenia decyduje przede wszystkim stopień odporności rośliny, agresywność patogena oraz czynniki klimatyczne. Ważną rolę pełni morfologia roślin: wysokość, budowa ziarniaka, kolby (budowa osadki kolby, liczba liści okrywowych i ścisłość ich przylegania, odporność słupków na rozkład po infekcji, położenie kolby na łodydze, ilość związków polifenolowych) (Presello i in., 2011 a). Po zakażeniach sztucznych kolb zróżnicowanie materiału jest większe nawet przy mniej sprzyjających warunkach środowiskowych dla rozwoju patogena, co wpływa pozytywnie na efektywność selekcji (Clements i in., 2003; Czembor i in., 2005, 2011b, 2013b; Mesterhazy, 1989, 2002; Presello i in., 2005, 2011 b; Reid, 1996 a,b,c). Nadal dyskutowane jest zagadnienie, czy wysoka odporność danego genotypu na porażenie przez grzyby rodzaju *Fusarium* wiąże się również brakiem zdolności tego genotypu do gromadzenia mykotoksyn (Mesterhazy i in., 2012).

Celem pracy było określenie odporności elitarnych linii wsobnych kukurydzy na czerwoną fuzariozę kolb oraz określenie akumulacji toksyn fuzaryjnych w ziarnie poprzez zbadanie: (1) kinetyki rozwoju choroby oraz (2) kinetyki gromadzenia deoksyniwalenolu w ziarnie zarówno przy infekcji naturalnej, jak i po zakażeniach sztucznych *F. graminearum*.

MATERIAŁY I METODY

Kinetykę rozwoju choroby oraz akumulacji deoksyniwalenolu w ziarnie badano na 7 elitarnych liniach wsobnych kukurydzy przy infekcji naturalnej i po zakażeniach sztucznych zawiesiną wodną zarodników *F. graminearum*.

Materiał roślinny

W badaniach wykorzystano elitarne linie wsobne (poziom wsobności F₉) pochodzące spółek: Hodowla Roślin Smolice Sp. z o.o. — Grupa IHAR oraz Małopolska Hodowla Roślin Sp. z o.o. Linie te obejmowały trzy formy o ziarnie zębkształtnym (typu dent),

jedną formę o ziarnie szklistym (typu flint), jedną formę IDT, jedną formę SSS oraz jedną o nieznanym pochodzeniu.

Doświadczenia założono na polach doświadczalnych Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB w Radzikowie. Nasiona wysiewano w siewie rzędownym, średnio 20 roślin w rzędzie. Rozstawa pomiędzy roślinami w rzędzie wynosiła średnio 20 cm, a pomiędzy rzędami 75 cm; stosowane nawożenie to: 200 kg/ha N, 80 kg/ha P₂O₅, 120 kg/ha K₂O.

Przebieg warunków meteorologicznych

Dane dotyczące wysokości temperatury i wielkości opadów uzyskano ze stacji meteorologicznej w IHAR — PIB. Odczytu pomiaru dokonywano na wysokości 2 m od ziemi.

Patogen

Do badań wykorzystano jednozarodnikową kulturę *F. graminearum* należącą do kolekcji Pracowni Traw Pastewnych i Roślin Motylkowatych, IHAR — PIB w Radzikowie. Została wyosobniona z prób nasion kukurydzy pobranych z poletek doświadczalnych i scharakteryzowanych w trakcie wcześniejszych badań pod względem tempa wzrostu na pożywkach sztucznych i agresywności w warunkach polowych. Odkazone powierzchniowo ziarniaki wykładano na pożywkę PDA. Szalki inkubowano w ciemności, a następnie pod światłem UV w celu stymulacji zarodnikowania. Kultury o charakterystycznych cechach morfologicznych dla *Fusarium* spp. (barwa i kształt zarodników) izolowano na szalki z pożywką PDA i SNA, tak aby móc dokonać identyfikacji metodą mikroskopową i przygotować kulturę jednozarodnikową na wodnym agarze.

Do przygotowania inokulum wykorzystano izolat *F. graminearum* obficie zarodnikujący na pożywce PDA w warunkach laboratoryjnych. Izolat po odszczepieniu na szalki Petriego z pożywką PDA inkubowano przez okres 3–4 tygodni w temp. 20°–22°C. Następnie zarodniki zmywano i rozcieńczano płynną pożywką SNA (3 g agaru / 1 wody), kontrolując ilość zarodników w powstałym roztworze. Inokulację wykonano zawiesiną o stężeniu 5×10^5 zarodników / ml.

Test odpornościowy i ocena fenotypowa stopnia odporności na fuzariozę kolb

Zakażenia sztuczne przeprowadzono po mechanicznym uszkodzeniu ziarniaków 10–12 dni od daty kwitnienia kwiatostanów męskich (faza początkowej dojrzałości mleczej BBCH 73), poprzez iniekcję 1 ml zawiesiny zarodników *F. graminearum* na wysokości 1/3 od podstawy kolby wykorzystując do tego celu strzykawkę czterokanałową. Ocenę fenotypową stopnia odporności badanych linii wsobnych przeprowadzono w fazach dojrzałości mleczej, woskowej i pełnej — 8 terminów dla każdej linii w odstępach, co 10 dni od daty zakażeń sztucznych. Do oceny fenotypowej stopnia porażenia kolb wykorzystano skalę 1–7, w której odpowiednio: 1 = brak objawów porażenia; 2 = 1–3%, 3 = 4–10%; 4 = 11–25%; 5 = 26–50%; 6 = 51–75% i 7 = 76–100% (Reid i in., 1996).

Oznaczanie zawartości deoksyniwalenolu

Zebrane kolby suszono, a następnie młócono. Próby ziarna zmielono blenderem laboratoryjnym, a następnie domielono młynkiem laboratoryjnym IKA A 11 basic na mąkę i poddano analizie na obecność deoksyniwalenolu. Analizy dokonano za pomocą aparatu

RIDA QUICK SCAN (analiza na bazie testu immunoenzymatycznego ELISA). Pomiaru ilościowego dokonano w zakresie 250–5000 ppb. Naważono 4 g mąki, dodawano 40 ml roztworu buforującego, a następnie energicznie wytrząsano przez 4 min. Ekstrakt odstawiono na 4 min i z nad osadu mąki pipetą pobierano 4 ml roztworu który czyszczono na filtrze, jakim był sącze z bibuły. Do analizy wykorzystano 100µl przesącza, który pipetą przeniesiono na pasek testowy. Po 5 minutach odczytano wynik za pomocą aparatu RIDA QUICK SCAN. Jeżeli zawartość DON przekraczała 5000 ppb roztwór rozcieńczano buforem i prowadzono kolejne oznaczenie

Od pierwszej dekady lipca do pierwszej dekady sierpnia średnia temperatura powietrza wahała się w granicach 20°C. W drugiej dekadzie sierpnia temperatura powietrza wynosiła około 18°C i stopniowo spadała osiągając w trzeciej dekadzie września 10°C. Najmniejszą liczbą opadów charakteryzował się lipiec gdzie łączna suma opadów wyniosła około 23 mm. Największą ilość opadów odnotowano w drugiej dekadzie września i porównywalnie do niej w pierwszej dekadzie sierpnia. Znaczną ilość opadów odnotowano także w trzeciej dekadzie sierpnia i pierwszej dekadzie września.

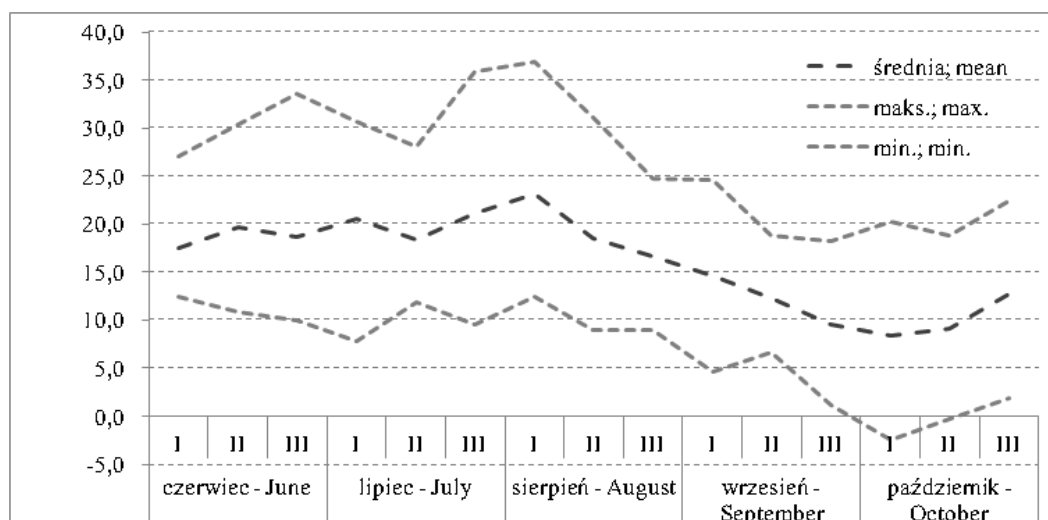
Analizy statystyczne

Doświadczenia zakładano w układzie losowanych bloków. Do oceny istotności różnic dla ocen stopnia odporności na fuzariozę kolb oraz zawartości DON w próbkach ziarna pobranych z linii wsobnych rosnących przy infekcji naturalnej oraz po zakażeniu sztucznym zastosowano dwuczynnikową analizę wariancji. Po odrzuceniu hipotezy, o braku różnic pomiędzy obiektami, dokonano szczegółowego porównania obiektów pod względem odporności na fuzariozę kolb, zgorzel podstawy łodygi oraz zawartości toksyn w próbkach ziarna przy użyciu testu Fishera najmniejszej istotnej różnicy. Analizę danych przeprowadzono za pomocą programu InfoStat.

WYNIKI

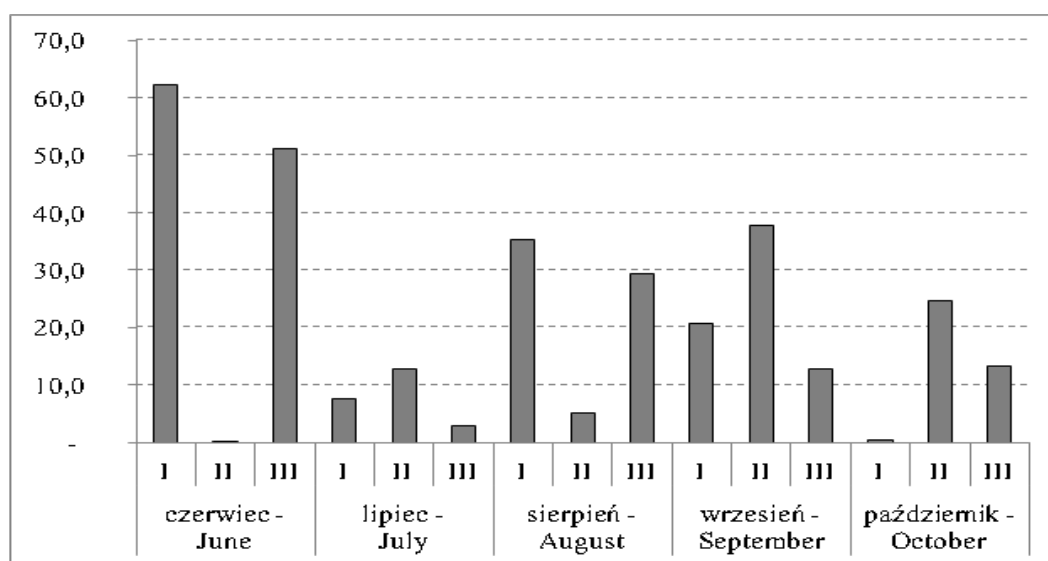
Przebieg warunków pogodowych

Dane meteorologiczne przedstawiono na wykresie, jako średnie dekadowe temperatur (rys. 1) i dekadowe sumy opadów (rys. 2). Od pierwszej dekady lipca do pierwszej dekady sierpnia średnia temperatura powietrza wahała się w granicach 20°C. W drugiej dekadzie sierpnia temperatura powietrza wynosiła około 18°C i stopniowo spadała osiągając w trzeciej dekadzie września 10°C. Najmniejszą liczbą opadów charakteryzował się lipiec gdzie łączna suma opadów wyniosła około 23 mm. Największą ilość opadów odnotowano w drugiej dekadzie września i porównywalnie do niej w pierwszej dekadzie sierpnia. Znaczną ilość opadów odnotowano także w trzeciej dekadzie sierpnia i pierwszej dekadzie września.



Rys. 1. Średnie, minimalne i maksymalne dekadowe temperatury powietrza w Radzikowie od czerwca do października w roku 2013

Fig. 1. Average, minimum and maximum decade temperatures in Radzików, from June to October 2013



Rys. 2. Dekadowe sumy opadów w Radzikowie od czerwca do października w roku 2013

Fig. 2. Total precipitation in Radzików in decades from June to October in 2013

Warunki pogodowe sprzyjały rozwojowi *F. graminearum* i dzięki temu można było śledzić zarówno rozwój choroby, jak i akumulację deoksyniwalenolu na przestrzeni czasu.

Metodą dwuczynnikowej analizy wariancji wykazano istotne różnice pomiędzy obiektami pod względem badanych cech (tab. 1).

Tabela 1

Dwuczynnikowa analiza wariancji dla stopnia odporności linii wsobnych na fuzariozę kolb oraz zdolności do gromadzenia DON w ziarnie przy infekcji naturalnej i po zakażeniach sztucznych *Fusarium graminearum*

Fixed model analysis of variance for ear rot resistance and DON accumulation in grain under natural infection and after inoculation *Fusarium graminearum*

Zmienna variable	Fuzarioza kolb — Ear rot						
	liczba stopni swobody df	zakażane sztucznie — inoculation			infekcja naturalna — natural infection		
		śr. kw. odchyłeń MS	wartość F F value	wartość P P value	śr. kw. odchyłeń MS	wartość F F value	wartość P P value
1	2	3	4	5	6	7	8
Termin — date	7	18,4	94,68	<0,0001	6,07	43,62	<0,0001
Linia — line	6	15,23	78,38	<0,0001	3,63	26,07	<0,0001
Termin*linia	42	0,69	3,56	<0,0001	0,43	3,06	<0,0001
Błąd — error	112	0,19			0,14		
DON							
Termin — date	7	519,51	6,56	0,0001	7,46	1,63	0,1627
Linia — line	1	3339	42,17	<0,0001	39,2	8,57	0,0063
Termin*linia	7	519,51	6,56	0,0001	7,46	1,63	0,1627
Błąd — error	32	79,17			4,57		

Ocena porażenia kolb zakażanych sztucznie oraz przy infekcji naturalnej

Stopień porażenia kolb wszystkich badanych linii wsobnych zależał w sposób istotny od terminu oceny i zbioru, przy czym po zakażeniach sztucznych nasilenie choroby było średnio o 3 stopnie wyższe a rozwój choroby był bardziej dynamiczny niż przy infekcji naturalnej (tab. 2). W zależności od terminu oceny, średni stopień porażenia kolb zakażanych sztucznie zawiesiną zarodników *F. graminearum* wahał się od 3,4 (termin 1, czyli 20 dni od daty kwitnienia kwiatostanów żeńskich, początek dojrzałości mleczej — BBCH 73) do 5,9 (termin 8, czyli 90 dni od daty kwitnienia kwiatostanów żeńskich, pełna dojrzałość — BBCH 89). Największe różnice dla tej cechy odnotowano pomiędzy terminami 2 i 3 oraz 3 i 4 (tab. 2).

Przy infekcji naturalnej zakres zmienności tej cechy wahał się od 1,4 (termin 1) do 2,9 (termin 8). Stwierdzono, że rozwój choroby na przestrzeni czasu w sposób istotny zależał od genotypu. W grupie siedmiu badanych linii wsobnych, linia 10U charakteryzowała się najwyższą odpornością (średni stopień porażenia we wszystkich terminach 3,5 przy zakresie zmienności od 2,9 do 4,0). Natomiast najbardziej podatną była linia 67D, której średni stopień odporności oceniono na 6,1. W pierwszym terminie (10 dni od daty kwitnienia kwiatostanów żeńskich) stopień odporności tej linii został oceniony na 3,4, w drugim terminie już na 5,0, w trzecim terminie na 5,7 a w następnych terminach powyżej 6,0. Również przy infekcji naturalnej linia ta była bardziej podatna niż pozostałe badane, a jej stopień odporności wahał się od 1,4 do 4,1 (w 8 terminie). Po zakażeniach sztucznych, średni stopień odporności pozostałych badanych linii wahał się w granicach 4,5–5,3 a przy infekcji naturalnej w granicach 1,7–2,3.

Tabela 2
Stopień porażenia kolb linii wsobnych przez *Fusarium graminearum* w poszczególnych fazach rozwoju roślin po zakażeniach sztucznych oraz przy infekcji naturalnej
Ear rot level caused by *Fusarium graminearum* after inoculation and under natural infection in subsequent phases of plant growth

Liczba dni od daty kwitnienia Days number from flowering time*	Linia wsobna Inbreed line												Średnia Mean
	10U			67D			29F			30IDT			90D
	zakażenie sztuczne inoculation	infekcja naturalna natural infection	zakażenie sztuczne inoculation	infekcja naturalna natural infection	zakażenie sztuczne inoculation	infekcja naturalna natural infection	zakażenie sztuczne inoculation	infekcja naturalna natural infection	zakażenie sztuczne inoculation	infekcja naturalna natural infection	zakażenie sztuczne inoculation	infekcja naturalna natural infection	
20 (1)	3,2 ^{ab}	1,3 ^{ab}	3,4 ^a	1,8 ^{ab}	3,4 ^a	1,1 ^a	3,6 ^a	1,6 ^a	3,3 ^a	1,6 ^a	3,3 ^a	1,4 ^a	3,3 ^a
30 (2)	3,1 ^{ab}	1,0 ^a	5,0 ^b	1,6 ^{ab}	3,9 ^a	1,0 ^a	3,8 ^{ab}	1,4 ^a	3,3 ^a	1,7 ^a	2,8 ^a	1,4 ^a	3,5 ^a
40 (3)	2,9 ^a	1,4 ^{ab}	5,7 ^c	1,4 ^a	5,2 ^b	1,9 ^{bc}	4,4 ^{bc}	1,8 ^a	4,2 ^b	2,0 ^{ab}	3,4 ^a	1,2 ^a	3,5 ^a
50 (4)	3,6 ^{bc}	1,6 ^{ab}	6,7 ^d	2,2 ^{abc}	5,7 ^b	1,7 ^b	4,7 ^c	1,6 ^a	4,3 ^b	2,1 ^{ab}	4,8 ^b	1,1 ^a	4,3 ^b
60 (5)	3,5 ^{abc}	1,7 ^b	6,8 ^{de}	2,7 ^{bc}	5,3 ^b	2,4 ^{de}	5,5 ^{de}	1,9 ^{ab}	4,3 ^b	2,3 ^{bc}	5,6 ^{bc}	1,9 ^c	4,8 ^{bc}
70 (6)	4,0 ^c	1,5 ^{ab}	7,0 ^e	3,0 ^{cd}	5,9 ^{bc}	2,6 ^e	4,9 ^{cd}	1,8 ^a	5,3 ^c	2,3 ^{bc}	5,8 ^{bc}	1,8 ^{bc}	5,1 ^{cd}
80 (7)	3,7 ^{bc}	1,4 ^{ab}	6,9 ^{de}	4,0 ^d	6,7 ^d	2,2 ^{cd}	5,8 ^e	2,3 ^{bc}	5,2 ^c	2,7 ^c	5,6 ^{bc}	2,6 ^d	5,3 ^{cd}
90 (8)	3,8 ^{bc}	1,8 ^b	7,0 ^e	4,1 ^d	6,6 ^{cd}	2,7 ^e	6,0 ^e	2,8 ^c	6,1 ^d	4,0 ^d	6,0 ^c	2,8 ^d	5,7 ^d
$\bar{x}$	3,47	1,46	6,07	2,62	5,34	1,96	4,83	1,91	4,51	2,32	4,61	1,73	4,62
S.D.	14,36	0,37	1,26	1,15	1,21	0,64	0,9	0,48	0,99	0,76	1,41	0,7	0,87
CV (%)	0,5	25,27	20,7	43,91	22,6	32,67	18,6	25,33	21,94	32,86	30,61	40,38	18,71
NIR													
LSD	0,717	0,585	0,263	1,140	0,778	0,371	0,693	0,4944	0,638	0,5069	1,1977	0,6051	0,7518
Fischer													
$\alpha=0,05$													

* Zakażenia sztuczne prowadzono 10 dni od daty kwitnienia kwiatostanów żeńskich — inoculation time 10 days after flowering time
 W nawiasach podano termin oceny i zbioru prób ziarna — scoring time and samples collection time are in the parenthesis

Na przykładzie większości linii (średnio podatne lub średnio odporne 29F, 30IDT, 32SSS, 68D) wykazano, że statystycznie istotne różnice dla stopnia porażenia kolb rozpoczynają się pomiędzy 2 i 3 terminem oceny (czyli po upływie 30 dni od daty kwitnienia kwiatostanów żeńskich), a największe zróżnicowanie rozpoczyna się pomiędzy 5 i 6 terminem (czyli po upływie 60 dni od daty kwitnienia kwiatostanów żeńskich) (tab. 2).

Kinetyka akumulacji DON w ziarnie

Kinetykę akumulacji deoksyniwalenolu w ziarnie kukurydzy na przestrzeni czasu badano wykorzystując próby pobrane z dwóch linii, o podwyższonej odporności i podatnej — po ocenie fenotypowej stopnia porażenia w każdym terminie osobno; wyniki zamieszczono w tabeli 3.

Tabela 3

Zawartość DON w próbach ziarna pobranych z linii wsobnych po zakażeniach sztucznych *Fusarium graminearum* i przy infekcji naturalnej w kolejnych fazach rozwoju roślin
Average DON contamination in grain samples collected from two inbred lines after inoculation by *Fusarium graminearum* and under natural infection in subsequent phases of plant development

Liczba dni od daty kwitnienia Number of days after flowering time *	Zawartość DON [ppm] DON accumulation [ppm]			
	linia wsobna 10U — inbred line 10U		linia wsobna 67D — inbred line 67D	
	zakażenie sztuczne inoculation	infekcja naturalna natural infection	zakażenie sztuczne inoculation	infekcja naturalna natural infection
20	0	0	0 ^a	0,0 ^a
30	0	0	0,83 ^a	0,0 ^a
40	0	0	3,81 ^a	0,91 ^{ab}
50	0	0	11,31 ^{ab}	6,13 ^b
60	0	0	12,05 ^{ab}	3,18 ^{ab}
70	0	0	18,61 ^{ab}	0,0 ^a
80	0	0	32,32 ^b	0,81 ^a
90	0	0	54,51 ^c	3,43 ^{ab}
Średnia Average	0	0	16680	1810
S.D.	0	0	20,65	3,3
CV (%)	0	0	123,69	182,71
NIR — LSD (Fischer $\alpha=0,05$)	Ni	Ni	21,781	5,235

* Zakażenia sztuczne 10 dni od daty kwitnienia kwiatostanów żeńskich

* Inoculation 10 days after flowering time

Jeden genotyp to opisana linia 10U o podwyższonej odporności na fuzariozę kolb i drugi genotyp to opisana linia 67D jako forma podatna. Różnice dla tej cechy pomiędzy terminami można było śledzić na linii podatnej 67D. W próbach ziarna pobranych z linii 10U, zarówno z kolb zakażanych sztucznie jak i pobranych z roślin rosnących przy infekcji naturalnej, nie stwierdzono występowania DON (poziom skażenia 0 ppm). Próby ziarna pobrane z linii 67D w 1 terminie (po upływie 20 dni od daty kwitnienia kwiatostanów żeńskich) również nie zawierały DON. Proces akumulacji rozpoczął się pomiędzy 1 i 2 terminem, i w próbach ziarna pobranych 30 dni od daty kwitnienia kwiatostanów żeńskich zawartość DON wynosiła 0,83 ppm, a następnie zawartości toksyny w ziarnie wzrosła do 3,81 w 3 terminie (40 dni od daty kwitnienia kwiatostanów żeńskich). Jednak różnice pomiędzy terminami 1, 2 i 3 były nieistotne statystycznie. Największe różnice pomiędzy

terminami wystąpiły pomiędzy 5 (12,05 ppm), 6 (18,61 ppm), 7 (32,32 ppm) i 8 (54,51 ppm) terminami zbioru. Poziom skażenie prób ziarna pobranych z roślin rosnących przy infekcji naturalnej był dużo niższy, i mało stabilny w porównaniu z próbami ziarna pobranymi z kolb zakażanych sztucznie. W pierwszym, drugim i szóstym terminie zawartość toksyny wyniosła 0 ppb, w 8 terminie 1,71 ppm. Średnia zawartość DON w próbach ziarna wyniosła 1,81 ppm.

DYSKUSJA

Bieżące badania prowadzono między innymi ze względu na fakt, że odporność roślin kukurydzy na porażenie przez grzyby *Fusarium* spp. nie jest równoznaczna z odpornością do akumulacji toksyn produkowanych przez te patogeny (Mesterhazy i in., 2012; Czembor, obserwacje własne).

Zakażenia sztuczne kolb prowadzone po mechanicznym uszkodzeniu ziarniaków były skuteczne, wyniki były powtarzalne i pozwoliły na zróżnicowanie badanego materiału. Potwierdza to dotychczasowe wyniki badań (Czembor i in., 2013 a; Reid i in., 1993; Mesterhazy i in., 2012). Dynamika rozwoju fuzariozy kolb po zakażeniach sztucznych *F. verticillioides* w warunkach Polski została opisana przez zespół Wit i in. (2010) oraz Waśkiewicz i in. (2012). Autorzy oceniali porażenie kolb w odstępach siedmiodniowych używając skali 0–5 (0 oznaczało brak objawów choroby). Nasilenie choroby było mniejsze, niż w bieżących badaniach. Wykazano, że średni stopień porażenia kolb po zakażeniach sztucznych wahał się od 1,0 do 1,8 od 7 do 21 dni od daty zakażeń sztucznych (które były prowadzone 5 dni po kwitnięciu kwiatostanów żeńskich) oraz w zakresie 2,1 do 2,8 od 28 do 56 dni prowadzenia badań.

W bieżących badaniach wykazano również, że rozwój choroby w sposób istotny zależał od genotypu. Świadczy to, że w warunkach Polski analiza objawów fenotypowych fuzariozy kolb po zakażeniach sztucznych *F. graminearum* umożliwia właściwe różnicowanie materiału, co zapewnia wysoką efektywność selekcji form odpornych. Selekcja z wykorzystaniem *F. graminearum* prowadzona jest również w warunkach klimatycznych innych krajów europejskich (Mesterhazy i in., 2012), jak również Kanady (Reid i in., 1993, 1996 a). Natomiast warunki atmosferyczne krajów Ameryki Południowej, a także Europy Południowej sprzyjają rozwojowi *F. verticillioides*; objawy choroby po zakażeniach sztucznych zawiesiną zarodników tego patogena w sposób bardziej właściwy różnicują materiał roślinny niż po zakażeniach *F. graminearum* (Presello i in., 2005, 2011 a, b).

Na przykładzie linii najbardziej podatnej stwierdzono, że akumulacja DON w ziarnie rozpoczęła się już po upływie 20 dni od daty kwitnienia kwiatostanów żeńskich (pomiędzy 1 i 2 terminem ocen), a największy wzrost zawartości tej toksyny zaobserwowano po upływie 50 dni od daty kwitnienia. Natomiast badania dotyczące dynamiki gromadzenia fumonizy FB₁ prowadzone przez Wit i in. (2010) wykazały, że istotny wzrost zawartości tej toksyny zaobserwowano w okresie późniejszym, po 35 dniu od zakażeń sztucznych *F. verticillioides*. Największy wzrost zawartości nastąpił, podobnie jak w bieżących badaniach — po upływie 49 dni. W pracy Wit i in. (2010) współzależności pomiędzy

stopniem porażenia kolb a poziomem skażenia prób ziarna fumonizynami były dodatnie. Również w bieżącej pracy współzależności pomiędzy stopniem porażenia linii podatnej przez *F. graminearum* a poziomem skażenia prób ziarna pobranych z tej linii DON były dodatnie; podobnie opisali Perkowski i in. (1991) dodatnie współzależności pomiędzy skażeniem ziarna pszenicy DON a liczbą ziaren porażonych przez *F. graminearum*.

Na zdolność akumulacji toksyn w ziarnie istotny wpływ ma genotyp. Również w bieżących badaniach próby ziarna pobrane z linii najbardziej odpornej nie były skażone DON nawet po zakażeniach sztucznych. Dlatego pomimo dodatnich współzależności pomiędzy objawami fenotypowymi choroby a zdolnością do akumulacji toksyn w ziarnie ocena fenotypowa może być podstawą selekcji w początkowych etapach poszukiwania źródeł odporności zarówno na fuzariozę kolb jak i na niższą zawartość toksyn. Jednak końcowy etap selekcji powinien być wspomagany oceną zdolności genotypu do akumulacji toksyn w ziarnie.

WNIOSKI

1. Wykazano istotną zależność pomiędzy terminem oceny oraz genotypem, a stopniem porażenia kolb kukurydzy przez *Fusarium graminearum*, wywołujące czerwoną fuzariozę kolb. Zarówno po zakażeniach sztucznych jak i przy infekcji naturalnej w miarę upływu czasu nasilenie choroby rosło.
2. Stwierdzono istotną zależność pomiędzy genotypem oraz terminem zbioru prób ziarna, a ilością deoksyniwalenolu na przestrzeni czasu.
3. Stopień odporności roślin na porażenie przez *Fusarium graminearum* jest ściśle związany z poziomem zawartości deoksyniwalenolu w próbach ziarna pobranych w poszczególnych terminach.

LITERATURA

- Clements M. J., Kleinschmidt C. E., Maragos C. E., Pataky J. K., White D. G. 2003. Evaluation of inoculation techniques for *Fusarium* ear rot and fumonisin contamination of corn. *Corn Dis.* 87: 147 — 153.
- Chełkowski, J. 1989. Mycotoxins associated with corn cob fusariosis. In: Chełkowski J. (ed.) *Fusarium — mycotoxins, taxonomy and pathogenicity*. Elsevier, Amsterdam: 53 — 62.
- Czembor E., Warzecha R., Adamczyk J., Kurczyk Z. 2005. Wytwarzanie materiałów wyjściowych kukurydzy o podwyższonej odporności na fuzariozę kolb i zgorzel podstawy łodygi. *Biul. IHAR* 236: 203 — 213.
- Czembor E., Presello D., Warzecha R., Adamczyk J., Wójcik K. 2011 b. Responses of pedigree selection for ear and stalk rot resistance in F₂, F₃ and F₄ generations of maize. *Book of Abstracts Conference "Sustainable use of pesticides and integrated pest management in East-Central Europe and the Baltics"*, Radzikow, Poland, 4-6. 09.2011: 63 p.
- Czembor E., Ochodźki P., Sowa S., Grelewska K., Adamczyk J., Wójcik K. 2012. *Fusarium* complex, Mycotoxins and Biomass Content in Grain Samples Collected in Poland Across 2008–2011. *Proc. Mycored North America*, Ottawa, Kanada, 2012, 24-28.06.2012.
- Czembor E., Matusiak M., Ochodźki P. 2013 a. Odporność mieszańców kukurydzy na fuzariozę kolb przy infekcji naturalnej i po zakażeniach sztucznych *Fusarium graminearum* i *F. verticillioides* w Polsce w latach 2008 – 2009. *Biul. IHAR*: 270: 55 — 73.
- Czembor E., Matusiak M., Warzecha R. 2013 b. Poszukiwanie źródeł odporności kukurydzy na fuzariozę kolb i zgorzel podstawy łodyg metodą rodowodową. *Biul. IHAR* 269: 123 — 139.

- Czembor E., Stępień Ł., Waśkiewicz A. 2014. *Fusarium temperatum* as a new species causing ear rot in Poland. Plant Disease, <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-11-13-1184-PDN>.
- Góral T., Czembor E., Ochodźki P., Walentyn-Góral D., Matusiak M. 2014. Monitoring zmian składu gatunkowego w populacji *Fusarium* spp. oraz ocena zagrożenia skażeniem ziarna pszenicy i kukurydzy mikotoksynami fuzaryjnymi. In: Ulepszanie Roślin dla Zrównoważonych AgroEkoSystemów, Wysokiej Jakości Żywności i Produkcji Roślinnej na Cele Nieżywnościowe. Monografie i Rozprawy Naukowe IHAR. Red. Edward Arseniuk, Nr 48 (całość 408 s.): 279 — 290.
- Logrieco A., G. Mule, A. Moretti, A. Bottalico, 2002: Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with maize ear rot in Europe. Eur. J. Plant Pathol. 108: 597 — 609.
- Logrieco A., Visconti A. 2004. An Overview on Toxigenic Fungi and Mycotoxins in Europe. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Meissle M., Mounon P., Musa T., Bigler F., Pons X., Vasileiadis V.P., Otto S., Antichi D., Kiss J., Pálincás Z., Dorner Z., van der Weide R., Groten J., Czembor E., Adamczyk J., Thibord J.-B., Melander B., Cordsen Nielsen G., Poulsen R.T., Zimmermann O., Verschwele A., Oldenburg E., 2010. Pests, pesticide use and alternative options in European maize production: current status and future prospects, Journal of Applied Entomology, 134 (5): 357 — 375.
- Mesterhazy A. 1989. Progress in breeding of wheat and corn genotypes not susceptible to infection by *Fusaria*. In: J. Chelkowski (ed.) *Fusarium Mycotoxins, Taxonomy and Pathogenicity*. Elsevier, Amsterdam: 357 — 386.
- Mesterhazy A. 2002. Role of deoxynivalenol in aggressiveness of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* and in resistance to *Fusarium* head blight. Eur. J. Plant Pathol. 108: 675 — 684.
- Mesterhazy A., Lemmens M., Reid L. M. 2012. Breeding for resistance to ear rot caused by *Fusarium* spp. in maize — a review. Plant Breeding, 131: 1 — 19.
- Perkowski J., Chelkowski J., Błażczak P., Snijders C.H., Wakuliński W. 1991. A study of the correlation between the amount of deoxynivalenol in grain of wheat and triticale and percentage of *Fusarium* damaged kernels. Mycotoxin Research 7 (2): 102 — 114.
- Perkowski J. 2000. Nutritional aspects and health consequences of mycotoxins occurrence. In: Mycotoxins and dioxins and the environment. Bydgoszcz: 29 — 38.
- Presello D. A., Reid L.M., Butler G., Mather D. E. 2005. Pedigree selection for *Gibberella* ear rot resistance in maize populations. Euphytica 143: 1 — 8.
- Presello D.A., Fauguel C.M., Rodríguez, Giomi, Sampietro D.A., Iglesias J., Fernández. 2011a. Traits associated to ear rot and mycotoxin contamination caused by *Fusarium* spp. Book of Abstracts ISM Conference Strategies to reduce the impact of mycotoxins in a global context.
- Presello D. A., Pereyra A. O., Iglesias J., Fauguel C. M., Sampietro D. A., Eyherabide G. H. 2011 b. Responses to selection of S5 inbreds for broad-based resistance to ear rots and grain mycotoxin contamination caused by *Fusarium* spp. in maize. Euphytica 178: 23 — 29.
- Reid L.M., Spaner D., Mather D.E., Bolton A.T., Hamilton R.I. 1993. Resistance of maize hybrids and inbred lines following silk inoculation with Tyree isolates of *Fusarium graminearum*. Plant Disease, 77: 1248 — 1251.
- Reid L.M., Hamilton R. I., Mather D. E. 1996 a. Screening maize for resistance to *Gibberella* ear rot. Technical Bulletin 1996- 5E. Eastern Cereal and Oilseed Research Centre. Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Canada: 40 pp.
- Reid L. M., Hamilton R.I. 1996 b. Effects of inoculation position, timing, macroconidial concentration and irrigation on resistance of maize to *Fusarium graminearum* infection through kernels. Can. J. Plant. Pathol. 18: 279 — 285.
- Reid L. M., Hamilton R.I., Mather D. E. 1996 c. Screening maize for resistance to *Gibberella* ear rot. Agriculture and Agri-Food Canada Technical Bulletin., Publication: 196-205.
- Rotter B. A., Prelusky D. B., Pestka J. J. 1996. Toxicology of deoxynivalenol (vomitoxin). Journal of Toxicology and Environmental Health 48 (1): 1 — 34.
- Rybińska K., Postupolski J., Ledzion E., Kurpińska-Jaworska J., Szczesna M. 2008. Programy monitoringowe realizowane przez Państwową Inspekcję Sanitarną w zakresie zanieczyszczenia wybranych środków spożywczych mikro toksynami. Roczn. PZH 59 (1): 1 — 7.

- Scauflaire J., Gourgue M., Munaut F. 2011. *Fusarium temperatum* sp. nov. from maize, an emergent species closely related to *Fusarium subglutinans*. Mycologia 103, 586–597.
- Scauflaire J., Godet M., Gourgue M., Lienard C., Munaut F. 2012. A multiplex real-time PCR method using hybridization probes for the detection and the quantification of *Fusarium proliferatum*, *F. subglutinans*, *F. temperatum* and *F. verticillioides*. Fungal Biology, 116: 1073 — 1080.
- Shephard G. S., Thiel P. G., Stockenstrom S., Sydenham E. W. 1996. Worldwide survey of fumonisin contamination of corn and corn-based products. J. AOAC Int. 79: 671 — 687.
- Ueno Y. 1980. Toxicological evaluation of trichothecene mycotoxins. Natural toxins. Eaker D., Wadstrm T. (eds), Pergamon Press, Oxford, New York: 663 — 671.
- Vincelli P., Parker G. 1995. Mycotoxins in corn produced by fusarium fungi. University of Kentucky, College of Agriculture, ID-121.
- Voss K. A., Gelineau-van Waes J.B., Riley R. T. 2006. Fumonisions: current research trends in developmental toxicology. Mycotoxin Res. 22: 61 — 69.
- Waśkiewicz A., Wit M., Goliński P., Chełkowski J., Warzecha R., Ochodzki P., Wakuliński W. 2012. Kinetics of fumonisin B₁ formation in maize ears inoculated with *Fusarium verticillioides*. Food Addit. Cont. 29 (11): 1752 — 1761.
- Wit M., Ochodzki P., Warzecha R., Wakuliński W. 2007. Znaczenie *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg w etiologii fuzariozy kolb kukurydzy. Biul. IHAR. 245: 171 — 180.
- Wit M., Waśkiewicz A., Goliński P., Chełkowski J., Warzecha R., Ochodzki P., Wakuliński W. 2010. Występowanie fumonizyny w ziarniakach i rdzeniach kolb kukurydzy inokulowanych *Fusarium verticillioides*. Prog. Plant Protection/ Post. Ochr. Roślin, 50 (4): 1832 — 1836.
- Zijlstra C., Lund, I., Justesen A., Nicolaisen M., Bianciotto V., Posta K., Balestrini R., Przetakiewicz A., Czembor E., van de Zande J. 2011. Combining novel monitoring tools and precision application technologies for integrated high-tech crop protection in the future (a discussion document). Pest Manag. Sci. 67: 616 — 625.

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

Niektóre aspekty statystyczne planowania doświadczeń nieortogonalnych typu split-split-plot

Some statistical aspects of the planning of non-orthogonal experiments of split-split-plot type

Celem pracy jest zaprezentowanie pewnej metody konstrukcji układów niekompletnych typu split-split-plot dla doświadczeń nieortogonalnych z co najmniej trzema czynnikami. W literaturze znanych jest wiele metod konstrukcji układów niekompletnych. Często wykorzystuje się w nich bogatą teorię układów blokowych. Wybierając jeden z nich lub więcej z takich układów do wygenerowania na przykład, niekompletnego układu split-split-plot, szczególny nacisk należy położyć, między innymi, na optymalne wykorzystanie materiału doświadczalnego. Należy również zwrócić uwagę na ewentualność zastosowania obiektów kontrolnych lub wzorca dla jednego lub więcej czynników oraz możliwość takiego zaplanowania doświadczenia, aby najbardziej interesujące dla eksperymentatora kontrasty obiektowe były estymowane z największą precyzją (efektywnością). W pracy powyższe rozważania zilustrowano opisując nowy układ niekompletny typu split-split-plot na przykładzie doświadczenia z pszenicą ozimą. Przedstawiono statystyczne konsekwencje planowania doświadczeń w takim układzie. W analizie statystycznej zastosowano techniki właściwe dla tak zwanych doświadczeń wielowarstwowych oraz korzystano z teorii kontrastów bazowych.

Słowa kluczowe: doświadczenie nieortogonalne, efektywność układu, układ blokowy częściowo zrównoważony, układ split-split-plot

The aim of this paper is to present a method of constructing incomplete split-split-plot type designs for non-orthogonal experiments with at least three factors. Many methods of constructing incomplete designs are known from the literature, often drawing on the rich theory of block designs. When choosing one or more such designs to generate, for example, an incomplete split-split-plot design, special attention must be paid, inter alia, to the optimal use of the experimental material. Consideration should also be given to the possibility of using control or standard treatments for one or more factors, and the possibility of planning the experiment so that the treatment contrasts most interesting to the researcher are estimated with the greatest precision (efficiency). In this paper, the above considerations are illustrated with reference to a new incomplete split-split-plot design for an experiment with winter

wheat. The statistical consequences of planning an experiment with such a design are described. The statistical analysis uses techniques appropriate to multi-stratum experiments, as well as the theory of basic contrasts.

Key words: design efficiency, non-orthogonal experiment, partially balanced block design, split-split-plot design

WSTĘP

Wiele doświadczeń rolniczych, biochemicznych lub z zakresu ochrony roślin zakłada się i analizuje w układzie kompletnym (tutaj także ortogonalnym) typu split-split-plot (SSP). Stosowany jest wtedy zagnieżdżony system jednostek (poletek) doświadczalnych I, II i III rzędu w obrębie materiału doświadczalnego. Doświadczenia takie są co najmniej trójczynnikowe, w których ważna jest kolejność czynników, przy czym trzeci z nich jest na ogół najważniejszy dla doświadczalnika. Jest to związane z niejednakową precyzją estymacji parametrów obiektowych. Największa precyzja estymacji ma miejsce dla efektów poziomów czynnika zastosowanego na poletkach III rzędu pod warunkiem, że doświadczenie zostało poprawnie założone (zob. np. Ambroży i Mejza, 2012).

W statystycznych terminach, każdy układ doświadczalny ortogonalny jest „najlepszy”. Ortogonalność układu SSP ułatwia optymalne (z pełną efektywnością) oszacowanie efektów obiektowych wszystkich czynników oraz interakcji różnego rzędu między nimi i pozwala na proste wykonywanie testów zarówno hipotez ogólnych, jak i hipotez szczegółowych. Układ taki wymaga jednak spełnienia pewnych założeń. Do najważniejszych z nich należy zapewnienie jednorodności poletek doświadczalnych (materiału doświadczalnego) wewnątrz bloków. W wypadku znacznej liczby poziomów czynników, pojemność bloków szybko wzrasta. Mogą być trudności z wyznaczeniem jednorodnych bloków. Jednym ze sposobów uniknięcia tej niedogodności jest rezygnacja z kompletności układu, tzn. zaplanowanie doświadczenia z blokami mniejszymi niż liczba kombinacji poziomów czynników. Wtedy wybrany ostatecznie układ jest układem niekompletnym (nieortogonalnym) split-split-plot (SSP) w tym sensie, że nie wszystkie kombinacje obiektowe występują w każdym bloku (zob. np. Ambroży i Mejza, 2013). Planując doświadczenie nieortogonalne typu SSP należy wziąć pod uwagę wiele elementów. Pomijając jednak aspekt techniczny, należy zastanowić się jak skonstruować układ niekompletny SSP przy określonych warunkach materiału doświadczalnego, żeby strata na precyzji estymacji parametrów obiektowych była jak najmniejsza. Zagadnienie to przedstawimy dla jednej z sytuacji niekompletności układu SSP i zilustrujemy przykładem z pszenicą ozimą.

Celem pracy jest przedstawienie pewnej metody konstrukcji układów SSP niekompletnych tylko ze względu na dwa pierwsze czynniki. Dodatkowo założono, że każdy z nich ma jeden poziom zwany standardem. Rozważane są głównie aspekty statystyczne planowania będące konsekwencją niekompletności układu SSP, natomiast aspekty praktyczne tego typu doświadczeń nie ulegają zmianie. Pod uwagę są brane następujące właściwości statystyczne: **ortogonalna struktura blokowa** (orthogonal block structure, OBS), **ogólne zrównoważenie układu** (general balance, GB), **estymowalność**

kontrastów obiektowych w warstwach, efektywność układu względem kontrastów, zapewnienie istnienia testów dokładnych hipotez ogólnych. Powyższe pojęcia statystyczne dotyczące układów blokowych zostały, między innymi, opisane w monografii Calińskiego i Kageyamy (2000), zobacz też, np. Ambroży i Mejza (2006, 2012). W zastosowanej metodzie konstrukcji wykorzystano iloczyn Kroneckera macierzy oznaczanym symbolem $\otimes$. Jako układy generujące wybrano dwa różne układy blokowe z klasy ortogonalnie rozszerzonych częściowo zrównoważonych pod względem efektywności układów blokowych z co najwyżej $(m + 1)$ – klasami efektywności (zob. np. Nigam i Puri, 1982, Ambroży i Mejza, 2006).

ZAŁOŻENIA I NOTACJA

Rozważmy doświadczenie trójczynnikowe typu $s \times t \times w$. Przyjmujemy następujące oznaczenia dla czynników i ich poziomów (obiektów): $A: A_1, A_2, \dots, A_s$; $B: B_1, B_2, \dots, B_t$ oraz trzeci czynnik $C: C_1, C_2, \dots, C_w$. Zakładamy, że materiał doświadczalny może być podzielony na b bloków o jednakowej pojemności, czyli o jednakowej liczbie jednostek w każdym bloku. Dalej każdy blok można podzielić na k_A poletek I rzędu o jednakowej pojemności, następnie każde z nich dzielone jest na k_B poletek II rzędu o jednakowej pojemności i dalej na k_C poletek III rzędu. Zgodnie z metodyką układu SSP obiekty czynnika A są losowo rozmieszczone na k_A poletkach I rzędu (wewnątrz każdego bloku), następnie obiekty czynnika B są losowo rozmieszczone na k_B poletkach II rzędu (wewnątrz każdego poletka I rzędu) oraz obiekty czynnika C na k_C poletkach III rzędu (wewnątrz każdego poletka II rzędu), zob. rys. 1. Jeżeli $k_A = s$, $k_B = t$ i $k_C = w$, to układ SSP jest kompletny.

METODA KONSTRUKCJI NIEKOMPLETNEGO UKŁADU SSP

Rozważamy sytuację, gdy $k_A < s$, $k_B < t$, $k_C = w$. Niech D oznacza układ SSP postaci $D = d_A \otimes d_B \otimes d_C$, gdzie d_C to układ bloków losowanych kompletnych (z j. ang. RCBD), a pozostałe układy d_A , d_B są układami generującymi w konstrukcji układu SSP. Przyjęto dla nich następujące oznaczenia parametrów: $d_A(v_A = s, b_A, k_A, \mathbf{r}_A)$, gdzie v_A , b_A , k_A określają kolejno, liczbę obiektów czynnika A , liczbę bloków i ich pojemność w podukładzie d_A , $\mathbf{r}_A$ — wektor replikacji obiektów czynnika A . Podobnie drugi układ generujący $d_B(v_B = t, b_B, k_B, \mathbf{r}_B)$, gdzie v_B , b_B , k_B określają liczbę obiektów czynnika B , liczbę bloków i ich pojemność w podukładzie d_B oraz $\mathbf{r}_B$ oznacza wektor replikacji obiektów czynnika B . Dodatkowo założono, że $s = s_1 + 1$ i $t = t_1 + 1$, czyli każdy z czynników A i B ma jeden poziom (obiekt) zwany standardem. Przyjęto też, że s_1 to obiekty testowe czynnika A , które są rozmieszczone w podukładzie blokowym $\tilde{d}_A$ częściowo zrównoważonym pod względem efektywności (z j. ang. PEB) z co najwyżej m_1

— klasami efektywności z macierzą incydencji $\tilde{\mathbf{N}}_A (s_1 \times b_A)$. Pojęcie zrównoważenia układu pod względem efektywności zostało opisane w wielu pracach (zob. np. Nigam i Puri, 1982, Caliński i Kageyama, 2000, Ambroży i Mejza, 2006). Dokładniej przedstawimy je również w przykładzie tej pracy. Podobnie t_1 , obiekty testowe czynnika B występują w podukładzie blokowym $\tilde{d}_B$ częściowo zrównoważonym pod względem efektywności (PEB) z co najwyżej m_2 — klasami efektywności z macierzą incydencji $\tilde{\mathbf{N}}_B (t_1 \times b_B)$. Szczegóły konstrukcji przedstawiono w pracy Ambroży i Mejzy (2013).

Uwzględniając obiekty standardowe, uzyskujemy następujące macierze incydencji układów PEB z co najwyżej, odpowiednio, $(m_1 + 1)$ – i $(m_2 + 1)$ — klasami

efektywności dla układów generujących: $\mathbf{N}_A = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{N}}_A \\ \mathbf{1}'_{b_A} \end{bmatrix}$, $\mathbf{N}_B = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{N}}_B \\ \mathbf{1}'_{b_B} \end{bmatrix}$. Wtedy macierz

incydencji względem bloków układu SSP ma postać $\mathbf{N}_1 = \mathbf{N}_A \otimes \mathbf{N}_B \otimes \mathbf{1}_w$ z parametrami: $v = stw$, $b = b_A b_B$, $k = k_A k_B w$, $\mathbf{r} = \mathbf{r}_A \otimes \mathbf{r}_B \otimes \mathbf{1}_w$, które oznaczają kolejno liczbę kombinacji obiektowych, liczbę bloków, liczbę poletek w bloku i wektor replikacji. W wyniku uzyskamy układ SSP, który jest niekompletny (nieortogonalny), właściwy (czyli z jednakową pojemnością bloków), z niejednakowymi replikacjami kombinacji obiektowych i z ortogonalną strukturą blokową.

Ortogonalna struktura blokowa pozwala na zastosowanie do analizy wariancji metody zaproponowanej przez Nelder (1965) odpowiedniej dla doświadczeń wielowarstwowych. Analizę w warstwach ułatwiają, tak zwane, kontrasty bazowe wprowadzone przez Pearce'a i in. (1974). Są to kontrasty ortogonalne i unormowane względem replikacji kombinacji obiektowych (zob. np. Ambroży i Mejza, 2006, 2013). W układzie SSP rozróżniamy 5 warstw: warstwę ogólną (zerową), związaną jedynie z estymacją średniej eksperymentu oraz cztery warstwy główne, w których może być wykonywana analiza statystyczna, czyli warstwę (1) — **międzyblokową**, warstwa (2) — **między poletkami I rzędu**, warstwa (3) — **między poletkami II rzędu**, warstwa (4) — **między poletkami III rzędu** (zob. Ambroży i Mejza, 2012, 2013). Ważną rolę w analizie odgrywają warstwowe macierze informacji dla kombinacji obiektowych oznaczanych nierzadko jako $\mathbf{A}_f$, gdzie f oznacza numer warstwy, czyli $f = 0, 1, 2, 3, 4$. Dokładne postacie macierzy $\mathbf{A}_f$, zostały przedstawione w pracy Ambroży i Mejzy (2013). Wyznaczone odpowiednio (względem replikacji kombinacji obiektowych w układzie) wartości własne macierzy $\mathbf{A}_f$, są nazywane **warstwowymi współczynnikami efektywności** układu SSP względem kontrastów estymowanych w tych warstwach. Jeśli taki współczynnik jest równy 1, to cała informacja o danym bazowym kontraście jest zawarta tylko w jednej odpowiedniej dla niego warstwie. Jeśli jest mniejszy niż 1, to informacja o takim kontraście pojawi się w więcej niż jednej warstwie.

W pracy rozważamy następujące bazowe kontrasty: pomiędzy efektami głównymi czynnika A w tym: między obiektami testowymi (A^T) oraz między grupą obiektów

testowych i obiektem standardowym tego czynnika (A^T vs. A^{SD}), pomiędzy efektami głównymi czynnika B w tym: między obiektami testowymi (B^T) oraz między grupą obiektów testowych i obiektem standardowym tego czynnika (B^T vs. B^{SD}), między efektami głównymi czynnika C oraz między efektami interakcji różnego stopnia.

Warstwowe współczynniki efektywności dla układu SSP uzyskanego zgodnie z podaną metodą konstrukcji są wyrażone przez wartości własne $\varepsilon_j^A, j = 0, 1, \dots, m_1$ oraz $\varepsilon_l^B, l = 0, 1, \dots, m_2$, macierzy informacji z kolei dla układów generujących oznaczanych odpowiednio $\mathbf{C}_A$ i $\mathbf{C}_B$, gdzie $\mathbf{C}_A = \mathbf{r}_A^\delta - k_A^{-1} \mathbf{N}_A \mathbf{N}_A'$, $\mathbf{C}_B = \mathbf{r}_B^\delta - k_B^{-1} \mathbf{N}_B \mathbf{N}_B'$, oraz $\mathbf{r}_A^\delta$ i $\mathbf{r}_B^\delta$ są macierzami diagonalnymi, w których na przekątnej są replikacje obiektowe, odpowiednio czynnika A i czynnika B . Warstwowe współczynniki efektywności pozwalają na proste oszacowanie efektywności konstruowanego układu SSP względem pewnych grup kontrastów przy znajomości znanych właściwości statystycznych z teorii układów blokowych. Szczegóły są podane w pracy Ambroży i Mejzy (2013).

PRZYKŁAD

Celem eksperymentu było zbadanie reakcji $s = 7$ genotypów pszenicy ozimej (czynnik A) na $t = 5$ różnych dawkach nawożenia azotem (czynnik B) i na chemiczny preparat — regulator wzrostu (czynnik C) ($w = 2$). Stąd $v = stw = 70$ oznacza liczbę kombinacji obiektowych. Genotypy obejmowały sześć nowych odmian ($s_1 = 6$; $A_1, \dots, A_6$) nazywanych obiektami testowymi oraz jedną odmianę standardową (A_7) nazywaną obiektem standardowym (wzorcem) czynnika A . Obiekty testowe czynnika B były definiowane przez wzrastające dawki nawożenia B_1, B_2, B_3, B_4 ($t_1 = 4$) oraz B_5 (brak nawożenia) oznaczał obiekt standardowy (kontrola). Obiekty czynnika C odpowiadały aplikacji (C_1) lub nie (C_2) chemicznego preparatu. Materiał doświadczalny związany z nowymi odmianami był limitowany, stąd eksperyment założono w niekompletnym układzie SSP z macierzą incydencji postaci $\mathbf{N}_1 = \mathbf{N}_A \otimes \mathbf{N}_B \otimes \mathbf{1}_2$.

Niech $\tilde{\mathbf{N}}_A$ i $\tilde{\mathbf{N}}_B$ są macierzami incydencji układów o blokach niekompletnych o grupach podzielnych typów, odpowiednio, S1 i SR1 (podukłady $\tilde{a}_A$ i $\tilde{a}_B$) (zob. Clatworthy, 1973). Wtedy

$$\mathbf{N}_A = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{N}}_A \\ \mathbf{1}'_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{i} \quad \mathbf{N}_B = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{N}}_B \\ \mathbf{1}'_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Blok 1														
A_5			A_7			A_4			A_2			A_1		
B_1	B_5	B_2	B_2	B_5	B_1	B_1	B_2	B_5	B_2	B_1	B_5	B_5	B_1	B_2
C_1	C_2	C_1	C_2	C_1	C_2	C_2	C_1	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1

Blok 2														
A_4			A_1			A_7			A_2			A_5		
B_3	B_5	B_4	B_4	B_5	B_3	B_4	B_3	B_5	B_5	B_4	B_3	B_5	B_3	B_4
C_2	C_1	C_1	C_2	C_2	C_1	C_2	C_1	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1

Rys. 1. Losowe rozmieszczenie obiektów czynników A, B, C w dwóch blokach z tabeli 1
 Fig. 1. Random arrangement of the treatments of factors A, B, C in two blocks from table 1

Tabela 2 z kolei, przedstawia dane o rozbiściu informacji o kontrastach różnego typu między warstwy przy wykorzystaniu właściwości algebraicznych układów generujących i podaje współczynniki efektywności układu SSP w warstwach względem tych kontrastów. Warto zauważyć, że pewne grupy kontrastów, stanowiące ten sam typ (w jednej linii tabeli) są estymowane z różną efektywnością. Dotyczy to niektórych kontrastów między efektami głównymi czynnika A i czynnika B oraz pewnych kontrastów między efektami interakcji związanych z tymi czynnikami. Na przykład, w pierwszym wierszu tabeli 2 trzy kontrasty typu A^T między efektami obiektów testowych czynnika A (odmiany testowe) są estymowane z pełną efektywnością ($= 1$) w warstwie 2 (układ SSP jest ortogonalny w tej warstwie dla tej grupy kontrastów), natomiast pozostałe dwa kontrasty typu A^T są estymowane w dwóch warstwach z różnymi współczynnikami efektywności, 0,2 i 0,8 (układ SSP jest zrównoważony ze względu na efektywność w tych warstwach dla tej grupy kontrastów). Liczba wszystkich kontrastów typu A^T równa 5 oznacza jednocześnie liczbę stopni swobody w analizie wariancji dla odmian testowych. Można też zauważyć, że hipoteza szczegółowa związana z obiektami typu A^T jest testowalna jedynie w warstwie 2, gdyż w tej warstwie są estymowane wszystkie kontrasty tego typu (choć z niejednakową efektywnością). Jeżeli dalej rozważymy kontrast typu A^T vs. A^{SD} z następnego wiersza tabeli 2, który jest także estymowany z pełną efektywnością ($= 1$) w warstwie 2, to w tej warstwie (między poletkami I rzędu) można testować hipotezę ogólną dotyczącą czynnika A ze stopniami swobody równymi 6.

Tabela 2

Warstwowe współczynniki efektywności w przykładzie
Stratum efficiency factors in the example

Typy kontrastów Types of the contrasts	Liczba kontrastów Number of the contrasts	Warstwy / Strata			
		1	2	3	4
A^T	3		1		
	2	0,2	0,8		
A^T vs. A^{SD}	1		1		
B^T	1			1	
	2	0,333		0,667	
B^T vs. B^{SD}	1			1	
$A^T \times B^T$	5			1	
	6		0,333	0,667	
	4	0,066	0,267	0,667	
$(A^T$ vs. $A^{SD}) \times B^T$	1			1	
	2		0,333	0,667	
$A^T \times (B^T$ vs. $B^{SD})$	5			1	
$(A^T$ vs. $A^{SD}) \times (B^T$ vs. $B^{SD})$	1			1	
C	1				1
$A^T \times C$	5				1
$(A^T$ vs. $A^{SD}) \times C$	1				1
$B^T \times C$	3				1
$(B^T$ vs. $B^{SD}) \times C$	1				1
$(A^T \times A^T) \times C$	15				1
$A^T \times (B^T$ vs. $B^{SD}) \times C$	5				1
$(A^T$ vs. $A^{SD}) \times B^T \times C$	3				1
$(A^T$ vs. $A^{SD}) \times (B^T$ vs. $B^{SD}) \times C$	1				1

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

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W rozdziale 4 podano przykład, który ilustruje efektywność w warstwach układu niekompletnego SSP uzyskanego w wyniku zastosowanej metody konstrukcji. Wygenerowany układ jest ortogonalny w warstwach względem pewnych grup kontrastów (współczynnik efektywności = 1). Wynika to po pierwsze, z metody konstrukcji (ortogonalnie rozszerzone układy blokowe, jako układy generujące dla czynników A i B

oraz układ RCB dla czynnika C) i po drugie, z natury układu SSP (zagnieżdżony system jednostek). Z pełną efektywnością jest, między innymi, estymowane porównanie między efektami głównymi czynnika C (aplikacji lub nie regulatora wzrostu) oraz wszystkie kontrasty interakcyjne z tym czynnikiem. Także niektóre porównania między efektami głównymi odmian testowych (A^T) lub efektami głównymi nawożenia azotem (B^T) oraz porównania wszystkich testowych obiektów z wzorcem obu tych czynników są estymowane tak jak w układzie kompletnym SSP. We wnioskowaniu statystycznym o kontrastach, które są estymowalne w dwóch lub trzech warstwach (np. 10 kontrastów typu $A^T \times B^T$, można zastosować dwa podejścia. Jedno z nich polega na wykorzystaniu w analizie informacji o kontrastach z odpowiedniej jednej warstwy tylko (w tym wypadku nr 3, w której jest około 67% informacji). Drugie podejście opiera się na zastosowaniu metod kombinowania estymatorów i testów, w których brana jest pod uwagę informacja z wszystkich tych warstw, w których wybrane kontrasty są estymowane (zob. np. Caliński i Kageyama, 2000, Ambroży i Mejza, 2006).

LITERATURA

- Ambroży K., Mejza I. 2006. Doświadczenia trójczynnikiowe z krzyżową i zagnieżdżoną strukturą poziomów czynników. Wyd. PTB i PRODRUK, Poznań.
- Ambroży K., Mejza I. 2012. Modelowanie danych z doświadczeń trójczynnikiowych zakładanych w układach zależnych o różnych strukturach blokowych. Biul. IHAR 264: 23 — 31.
- Ambroży K., Mejza I. 2013. A method of constructing incomplete split — split — plot designs supplemented by whole plot and subplot standards and their analysis. *Colloquium Biometricum*, 43: 59 — 72.
- Caliński, T., Kageyama, S. 2000. Block Designs. A Randomization Approach, Volume I. Analysis. Lecture Notes in Statistics 150, Springer-Verlag, New York.
- Clatworthy W. H. 1973. Tables of two associate classes partially balanced designs. NBS App. Math. Ser. 63, Department of Commerce.
- Nelder J. A. 1965. The analysis of randomized experiments with orthogonal block structure. *Proc. of the Royal Society of London, Ser. A*, 283: 147 — 178.
- Nigam A. K., Puri P. D. 1982. On partially efficiency balanced designs—II. *Commun. Statist.- Theor. Meth.* 11 (24): 2817 — 2830.
- Pearce S., Caliński T., Marshall T. F. de C. 1974. The basic contrasts of an experimental design with special reference to the analysis of data. *Biometrika* 54: 449 — 460.

KATARZYNA AMBROŻY-DERĘGOWSKA¹**TADEUSZ ŁUCZKIEWICZ²****KATARZYNA MARCZYŃSKA¹****IWONA MEJZA¹****STANISŁAW MEJZA¹**¹ Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych² Katedra Genetyki i Hodowli Roślin

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Porównanie metod selekcji genotypów jęczmienia jarego na podstawie doświadczeń jednopowtórzeniowych*

Comparison of methods for selection of spring barley genotypes based on non-replicated experiments

Praca dotyczy metodyki analizowania doświadczeń genetyczno-hodowlanych jednopowtórzeniowych z wykorzystaniem obiektów wzorcowych. Celem takiej analizy jest, między innymi, selekcja genotypów do dalszych badań. W literaturze istnieje wiele propozycji metod selekcji genotypów. W pracy dokonujemy porównań wybranych z literatury sześciu metod selekcji z metodą proponowaną przez autorów opartą na teorii powierzchni reakcji. Powyższych metod nie można porównać analitycznie. Jedynym sposobem jest porównanie rankingów genotypów uzyskanych wszystkimi rozważanymi metodami na podstawie tego samego doświadczenia. Porównania tego dokonujemy na podstawie doświadczenia z jęczmieniem jarym. W pracy rekomendujemy metodę selekcji opartą na teorii powierzchni reakcji z wykorzystaniem poletek kontrolnych.

Słowa kluczowe: hodowlane doświadczenia polowe, doświadczenia jednopowtórzeniowe, metody badania powierzchni reakcji, poletka z wzorcem, selekcja genotypów,

The paper deals with the methodology of inference from non-replicated breeding experiments using standard treatments (check plots). The selection of genotypes for further breeding is one of the important problems of this methodology. In the literature, there are many proposals of genotype selection methods. It is impossible to compare analytically those methods. Hence, we propose to compare six selection methods known from a literature with the method proposed by the authors. The last method is based on the theory of response surface. We compare the rankings of genotypes obtained

* Praca została częściowo wykonana w ramach projektu badawczego nr rej.: N N310 111 740 finansowanego przez NCN

Redaktor prowadzący: Wiesław Mądry

by the all methods on the basis of the experiment with spring barley. We can see that the rankings are completely different. In the paper we recommend the selection methods based on the response surface methodology with proper using check plots.

Key words: breeding field experiments, check plots, genotypes selection, non-replicated experiments, response survey methodology

WSTĘP

W programach hodowlanych, zwłaszcza w początkowym stadium, zachodzi potrzeba porównania wielu genotypów (niekiedy kilkaset), spośród których wybieramy zazwyczaj 20%–30% do dalszych etapów hodowli. Wybór ten możemy dokonać dwoma sposobami. W pierwszym z nich, na podstawie fenotypu roślin na poletku, decydujemy o ich dalszym losie. W tym wypadku nie potrzebujemy żadnych narzędzi naukowych potrzebnych do eliminacji lub zachowania do dalszej hodowli określonego genotypu (poletka). Zazwyczaj jednak, do podjęcia decyzji o wyborze konkretnego genotypu do dalszych etapów hodowli, stosujemy obiektywne narzędzie badawcze. Zwykle jest to wnioskowanie statystyczne przeprowadzone na podstawie doświadczenia polowego, w którym porównujemy wszystkie badane genotypy.

We wstępnym etapie programu hodowlanego dysponujemy często niewielką ilością materiału siewnego, który wystarcza jedynie na założenie doświadczenia jednopowtórzeniowego (z jedną replikacją obiektów). Przy planowaniu takich doświadczeń niezmiernie ważne są możliwości wnioskowania statystycznego oraz wybór układu doświadczenia, który umożliwiłby wnioskowanie statystyczne.

W doświadczeniach jednopowtórzeniowych liczba parametrów do estymacji jest większa od liczby obserwacji. Zwykle nie ma możliwości oszacowania błędu doświadczenia, niezbędnego do przeprowadzenia poprawnej analizy statystycznej. Wobec tego do układu należy dodać jakiś element, który spowoduje, że na podstawie rozszerzonego doświadczenia będzie możliwe poprawne wnioskowanie statystyczne. W praktyce tym dodatkowym elementem jest pewna odmiana (genotyp) uznawana za wzorcową (lub kilka takich odmian). Wzorzec rozmieszcza się losowo lub systematycznie w doświadczeniu w zależności od przewidywanej struktury zmienności glebowej pola doświadczonego.

W doświadczeniach jednopowtórzeniowych efekt środowiska (warunki glebowe) jest uwikłany z efektem genotypu. Zatem w tych doświadczeniach chodzi głównie o to, aby w uzyskanej obserwacji oddzielić składnik zmienności glebowej (efekt środowiska) od składnika działania genotypu (efekt genotypu). Wtedy selekcji genotypów dokonujemy wyłącznie na podstawie ocen efektów genotypowych. To oddzielenie można uczynić pod warunkiem, że dodatkowo założymy formę struktury zmienności glebowej.

Większość dotychczas proponowanych w literaturze metod zakłada liniowy trend zmienności glebowej. Podobnie, strukturę zmienności zakłada się także w proponowanych metodach geostatystycznych. To jest główną wadą istniejących metod wnioskowania opartego na doświadczeniach jednopowtórzeniowych. Wybór metody wnioskowania (selekcji) w dużej mierze zależy od szczęśliwego (lub nie) założenia, dotyczącego struktury zmienności glebowej.

W pracy Mejza i Mejza (2013) proponujemy metodę wnioskowania wolną od jakichkolwiek ograniczeń dotyczących struktury zmienności glebowej. Strukturę tę estymujemy i następnie wykorzystujemy do "poprawiania" obserwacji. Odejmując od obserwacji część zmienności pochodzącej z warunków glebowych, uzyskujemy ocenę efektu genotypu. Ocenę tę, jak i ocenę wariancji uzyskaną na podstawie poletek kontrolnych, wykorzystujemy w procesie selekcji.

Dokładniej, do wnioskowania opartego na doświadczeniach jednopowtórzeniowych zaproponowaliśmy metodykę opartą na **teorii powierzchni reakcji** (krótko MPR), (zob. np. Khuri, 2006; Montgomery, 2005; Box i Draper, 2007). Za pomocą metody MPR proponujemy estymowanie struktury zmienności glebowej na podstawie odpowiednio rozmieszczonego wzorca. Następnie dysponując tym oszacowaniem prognozujemy obserwacje dla wszystkich pozostałych poletek (na których występują porównywane genotypy). Umożliwia to oszacowanie składnika (efektu) badanej cechy, np. plonu, którego wielkość zależy od żyzności gleby oraz efektu genotypu, który chcemy oszacować. Możemy wtedy porównać badane genotypy na podstawie ocen ich efektów.

W cytowanej wyżej pracy zaproponowano różne przestrzenne rozmieszczenie obiektu wzorcowego w zależności od częstości występowania wzorca. Proponujemy tam systematyczne rozmieszczanie obiektu wzorcowego w jednym lub w kilku kierunkach. Dotychczas stosowane rozmieszczenia (np. co 5–7 wierszy), z punktu widzenia kontroli zmienności środowiska nie są najlepsze. Wtedy znaczne obszary pola doświadczalnego nie podlegają żadnej kontroli poprzez obiekt wzorcowy. Zatem właściwym rozmieszczeniem obiektów wzorcowych (check plots) jest rozmieszczenie systematyczne o gęstości wybranej przez badacza (zob. Mejza S., Marczyńska K., 2011; Sebolei i in., 2005; Marczyńska i in., 2010).

Ambroży i in. (2008 a,b) dokonali przeglądu zwykle stosowanych metod selekcji w rozważanych typach doświadczeń ze względu na cztery kryteria. W kryterium pierwszym jako miary skuteczności użyli stosunku średniej wariancji porównań międzyobiektowych w układzie losowanych bloków do tej samej średniej wariancji w rozważanej metodzie. Drugie kryterium oparte było na zasadzie, że prawdopodobieństwo optymalnej selekcji jest tym większe, im większa jest wariancja w populacji badanych genotypów w stosunku do wariancji błędu. Łatwiej bowiem tworzy się ranking w zbiorze charakteryzującym się dużym zróżnicowaniem genotypów. W kryterium trzecim za lepszą uznaje się tę metodę, która wybiera genotypy do dalszej selekcji bardziej równomiernie z pola doświadczalnego. Kryterium czwarte oparte jest na minimalizacji różnic między ocenami efektów obiektowych w doświadczeniu jednopowtórzeniowym i wielopowtórzeniowym. Autorzy (Ambroży i in., 2008 b) na podstawie analizy pięciu doświadczeń z pszenicą jarym, jęczmieniem jarym i pszenicą ozimą, rekomendują metody M2, M5, a przede wszystkim metodę M7 jako skuteczne w zagadnieniu selekcji genotypów na podstawie doświadczeń jednopowtórzeniowych.

W niniejszej pracy dokonujemy porównań metod selekcji na podstawie wybranych z literatury 6 metod (z dyskutowanych w pracy Ambroży i in., 2008 a,b) z metodą selekcji genotypów proponowaną w pracy Mejza i Mejza, 2013. Metod tych nie można porównać analitycznie. Jedynym sposobem jest porównanie rankingów genotypów uzyskanych

wszystkimi rozważanymi metodami na podstawie tego samego doświadczenia. Porównania tego dokonamy na podstawie doświadczenia z jęczmieniem jarym.

METODY

Obecnie krótko opiszemy rozważane metody selekcji na podstawie doświadczeń jednopowtórzeniowych.

Metoda MPR — Mejza i Mejza (2013)

Analizę statystyczną przeprowadza się w dwóch etapach. Na początku poszukuje się estymatora funkcji reakcji zmienności środowiska na podstawie obserwacji z poletek wzorcowych. Korzysta się tutaj z bogatej metodyki powierzchni reakcji (zob. np. Khuri, 2006; Montgomery, 2005; Box i Draper, 2007). Dokładność dopasowania powierzchni reakcji charakteryzującej zmienność środowiska (głównie zmienność glebową) zależy w dużej mierze od rozmieszczenia obiektów wzorcowych na polu doświadczalnym. Preferowane jest w tym zagadnieniu systematyczne i równomierne ich rozmieszczenie. Dodatkowo, można kontrolować stopień dopasowania oceny powierzchni reakcji do obserwacji. Pewną niedogodnością tej metody jest brak systematycznego sposobu poszukiwania formy powierzchni reakcji. Pozostaje więc tak zwana metoda prób i błędów.

W następnym etapie, na podstawie uzyskanej oceny, oblicza się wszystkie prognozy dla poletek, na których występują badane genotypy. Dla każdego genotypu wyznacza się ocenę jego efektu jako różnicy obserwacji na poletku i prognozy. Na podstawie tych różnic ustala się ranking genotypów. Z analizy wariancji przeprowadzonej dla powierzchni reakcji uzyskujemy ocenę wariancji błędu. Metodę tę nazwiemy MPR — metoda powierzchni reakcji.

Opisy pozostałych metod podajemy za Ambroży i in. (2008 a). Nie dokonujemy obliczeń metodą M5. Stosuje się ją dla doświadczeń zakładanych w układach blokowych. Nasze doświadczenie nie spełnia tego wymogu. Numerację metod stosujemy taką jak w wyżej cytowanej pracy.

Metoda M0

W tej metodzie ranking genotypów oparty jest bezpośrednio na uporządkowanych "niepoprawionych" obserwacjach uzyskanych w doświadczeniu.

Metoda M1 — Kempton i Fox (1997)

Rozpatrzmy ciąg poletek, z genotypami rozmiaru s pomiędzy dwoma wzorcami W_1 i W_2 . Wtedy za ocenę efektu i -tego obiektu τ_i , występującego na i -tym kolejnym poletku po wzorcu W_1 , przyjmujemy

$$\tau_i = y_i - \left[W_1 \left(1 - \frac{i}{s+1} \right) + W_2 \left(\frac{i}{s+1} \right) \right]$$

gdzie y_i oznacza obserwację badanej cechy, dotyczącą genotypu występującego na poletku i . W tym wypadku "poprawianie" zależy od odległości od obiektów wzorcowych.

Metoda M2 — analiza wariancji

Metoda ta oparta jest na analizie wariancji dla doświadczeń zakładanych w układzie całkowicie losowym, w układzie losowanych bloków lub w układzie kolumnowo — wierszowym. Ocenę wariancji uzyskujemy wyłącznie z analizy wariancji (zob. np. Woś i in., 2010, Adamska i in., 2012, Kaczmarek i in., 2013).

Metoda M3 — Kempton i Fox (1997)

W metodzie tej "poprawione" obserwacje (oceny efektów) dla genotypu uzyskujemy biorąc odchylenie obserwacji dla tego genotypu od wartości średniej dla odmian wzorcowych (poletki kontrolnych), występujących w tym samym pasie (kolumnie) co analizowany genotyp. Ocenę wariancji obliczamy z obserwacji uzyskanych na poletkach wzorcowych.

Metoda M4 — ważony indeks środowiskowy

Metoda ta może być zastosowana do genotypów, występujących w układzie kolumnowo — wierszowym. Ocenę efektu genotypu (g) oblicza się jako odchylenia od „indeksu środowiska”, który to indeks obliczany jest jako średnia ważona z najbliższych obiektów wzorcowych W według poniższego schematu

$$\begin{array}{r} 1/8 W \dots\dots\dots 1/8 W \\ 1/4 W g g g g g 1/4 W \\ 1/8 W \dots\dots\dots 1/8 W \end{array}$$

Trudno jest podać uzasadnienie takiej reguły. Z powodzeniem można podać więcej reguł ważenia (indeksu środowiska). Nieznana jest struktura zmienności środowiska (gleby) właściwa dla tej metody.

Metoda M6 — check plots (Utz, 1997)

Metodę tę stosujemy do doświadczeń genetyczno-hodowlanych, w których celowo wprowadza się poletka z obiektem wzorcowym. Proponowana metoda jest dwuetapowa. Najpierw wyznacza się efekty przestrzenne na podstawie obserwacji uzyskanych dla poletek wzorcowych. W drugim etapie efekty przestrzenne wykorzystuje się w analizie kowariancji do wyeliminowania niejednorodności poletek i do uzyskania rankingu genotypów opartego na końcowych ocenach ich efektów.

Metoda M7 — moving average (Utz, 1997)

Metoda ta jest pewnym uogólnieniem metody M4, czyli porównywania genotypu z pewnym indeksem środowiskowym. Zakładamy, że poletka występują w pasach i w tych pasach porównujemy genotypy. W metodzie M7 obserwację dla badanego genotypu porównujemy z wartością średnią z pewnej ustalonej liczby ($2k$) genotypów występujących na k poletkach, poprzedzających poletko z badanym genotypem i k poletek występujących za poletkiem z genotypem w danym pasie. Oczywiście, sami musimy ustalić liczbę k . Nie ma żadnych naukowych przesłanek w jakiej sytuacji, w wypadku jakiej struktury zmienności glebowej, metoda ta umożliwi właściwy ranking genotypów.

Wymienione metody porównamy na podstawie przykładu doświadczenia z jęczmieniem jarym, przy czym metodę MPR uznajemy za podstawową i preferowaną. Zatem konfrontować będziemy rankingi uzyskane za pomocą powyższych metod z rankingiem uzyskanym za pomocą metody MPR.

PRZYKŁAD I WNIOSKI

Doświadczenie z jęczmieniem jarym przeprowadzono w stacji doświadczalnej Modzurów w sezonie 2005/2006. Obserwowano plon ziarna (w kg/ poletko) z 333 poletek doświadczalnych, przy czym 270 genotypów było jeden raz replikowanych oraz jeden genotyp (wzorzec) wystąpił na 63 poletkach (63 razy replikowany). Poletka rozmieszczone były w 37 wierszach i 9 kolumnach (zob. tab. 1), (zob. Mejza i Mejza, 2013). W cytowanej pracy wykorzystano jedynie część większego doświadczenia genetyczno-hodowlanego.

Tabela 1

Rozmieszczenie genotypów jęczmienia jarego na polu
Arrangement of spring barley genotypes in the field

4813	4948	5069	5204	5325	5460	5581	5654	5775
4814	4947	5070	5203	5326	5459	5582	5653	5776
4815	4946	5071	5202	5327	5458	5583	5652	5777
4816	4945	5072	5201	5328	5457	5584	5651	5778
4817	4944	5073	5200	5329	5456	5585	5650	5779
4818	4943	5074	5199	5330	5455	5586	5649	5780
4819	4942	5075	5198	5331	5454	5587	5648	5781
4820	4941	5076	5197	5332	5453	5588	5647	5782
4821	4940	5077	5196	5333	5452	5589	5646	5783
4822	4939	5078	5195	5334	5451	5590	5645	5784
4823	4938	5079	5194	5335	5450	5591	5644	5785
4824	4937	5080	5193	5336	5449	5592	5643	5786
4825	4936	5081	5192	5337	5448	5593	5642	5787
4826	4935	5082	5191	5338	5447	5594	5641	5788
4827	4934	5083	5190	5339	5446	5595	5640	5789
4828	4933	5084	5189	5340	5445	5596	5639	5790
4829	4932	5085	5188	5341	5444	5597	5638	5791
4830	4931	5086	5187	5342	5443	5598	5637	5792
4831	4930	5087	5186	5343	5442	5599	5636	5793
4832	4929	5088	5185	5344	5441	5600	5635	5794
4833	4928	5089	5184	5345	5440	5601	5634	5795
4834	4927	5090	5183	5346	5439	5602	5633	5796
4835	4926	5091	5182	5347	5438	5603	5632	5797
4836	4925	5092	5181	5348	5437	5604	5631	5798
4837	4924	5093	5180	5349	5436	5605	5630	5799
4838	4923	5094	5179	5350	5435	5606	5629	5800
4839	4922	5095	5178	5351	5434	5607	5628	5801
4840	4921	5096	5177	5352	5433	5608	5627	5802
4841	4920	5097	5176	5353	5432	5609	5626	5803
4842	4919	5098	5175	5354	5431	5610	5625	5804
4843	4918	5099	5174	5355	5430	5611	5624	5805
4844	4917	5100	5173	5356	5429	5612	5623	5806
4845	4916	5101	5172	5357	5428	5613	5622	5807
4846	4915	5102	5171	5358	5427	5614	5621	5808
4847	4914	5103	5170	5359	5426	5615	5620	5809
4848	4913	5104	5169	5360	5425	5616	5619	5810
4849	4912	5105	5168	5361	5424	5617	5618	5811

Poletka oznaczone **boldem** i *italikiem* oznaczają obiekt wzorcowy — Plot numbers in **bold** and *italics* mark the standard objects

W tabeli 1 przedstawiono rozmieszczenie wzorca i badanych genotypów. Poletka oznaczone **boldem** i *italikiem* oznaczają obiekt wzorcowy. Widzimy, że obiekt wzorcowy występował w co 7 wierszu.

Praca ma charakter metodyczny i nie jest ważny rodzaj cechy, według której prowadzony jest ranking. Zatem przyjmijmy, że ze względu na pewną cechę najlepsze genotypy będą na początku rankingu a najgorsze na końcu.

Pełny ranking genotypów obliczono dla wszystkich omawianych w pracy metod. Jak już wspomniano wcześniej, metoda MPR jest rekomendowaną w tej pracy, zatem wszelkie porównania przeprowadzono w stosunku do niej. W tabeli 2, pierwszej kolumnie, zamieszczono jedynie ranking 20 genotypów skrajnych (powiedzmy najlepszych i najgorszych) z rankingu uzyskanego za pomocą metody MPR. W kolejnych kolumnach tabeli 2 podano miejsca jakie uzyskały genotypy wyselekcjonowane za pomocą metody MPR w rankingach uzyskanych za pomocą pozostałych metod. Natychmiast zauważamy bardzo duże zróżnicowanie w pozycjach genotypów w różnych rankingach. Dodatkowo, zauważamy duży stopień "poprawiania" surowych obserwacji (Metoda M0) przez wszystkie pozostałe metody. Wskazuje to na znaczącą rolę "poprawiania", którego celem jest wyeliminowanie wpływu zmienności środowiskowej (zmienności glebowej).

Zaprezentowana różnorodność rankingów oznacza, że proponowane metody "poprawiały" obserwacje w różny sposób. Wynika to z tego, że metody M1–M7 zakładają z góry pewną strukturę zmienności glebowej i względem tej struktury dokonują "poprawiania". Niestety ta prawdziwa struktura nie jest znana. Być może jakaś z tych metod prowadzi do rzeczywistego rankingu, ale my o tym nie wiemy. Ten argument wyraźnie preferuje metodę MPR. W pierwszym etapie tej metody identyfikujemy strukturę zmienności glebowej i ją estymujemy. W drugim etapie uzyskana ocena struktury zmienności glebowej stanowi podstawę do "poprawiania" obserwacji. W rozważanym przykładzie dopasowanie powierzchni reakcji do obserwacji uzyskanych dla wzorca mierzone współczynnikiem determinacji wynosiło 74 %. Oznacza to, że uzyskana ocena w 74% opisuje, wyjaśnia zmiany zmienności glebowej i w co najmniej o rząd tej wielkości "poprawia" obserwacje z poletek. Rozmieszczenie obiektu wzorcowego w tym przykładzie nie jest korzystne dla metody MPR, co powoduje brak kontroli zmienności glebowej pomiędzy poletkami z wzorcem. Prawidłowe rozmieszczenie wzorca jest niezmiernie ważne dla uzyskania pełnej kontroli i oceny tej zmienności glebowej. Zmienność glebową łatwiej kontrolować w wypadku rozmieszczenia wszystkich poletek w jednym wierszu (pasie), rozmieszczając obiekt wzorcowy co któreś poletko (np. co 5–7). Wtedy jednak warunki brzegowe mogą w pewnym stopniu wpływać na obserwacje na poletkach. (zob. np. Kempton, 1981).

Wydaje się, że wpływ ten jest mniejszy, gdy doświadczenie założymy w układzie kolumnowo-wierszowym. Wtedy poprawne rozmieszczenie obiektów wzorcowych (zob. Mejza i Mejza, 2013) pozwoli zarówno dokładniej kontrolować zmienność glebową, jak i precyzyjniej ją estymować. W takiej sytuacji proponowana metoda MPR będzie najlepszą.

Tabela 2

Rankingi genotypów jęczmienia jarego uzyskane rozważanymi metodami
Rankings of spring barley genotypes obtained by the used methods

MPR	Nr genotypu Genotype number	M0	M1	M2	M3	M4	M6	M7
1	4844	1	1	1	1	1	1	1
2	5653	138	242	27	27	179	171	107
3	5652	135	221	25	25	172	165	81
4	5356	4	2	2	2	2	2	2
5	5651	132	174	23	23	165	159	80
6	5650	146	143	34	34	195	190	85
7	5778	141	194	50	50	193	191	61
8	5776	176	259	117	117	242	241	196
9	4845	6	7	7	7	6	7	11
10	5582	196	258	83	83	239	239	188
11	5326	90	109	38	38	49	58	18
12	5649	177	158	77	77	234	228	125
13	5583	204	249	94	94	245	245	182
14	5584	195	235	82	82	237	237	148
15	5172	7	151	10	10	27	13	12
16	5459	160	243	40	40	205	208	91
17	5357	20	5	6	6	21	33	24
18	5644	148	74	43	43	35	28	39
19	4838	12	16	15	15	18	29	5
20	5779	173	207	103	103	236	232	140
...	...	...	...	...	...	...	...	...
251	5433	265	208	243	243	233	233	247
252	5077	96	228	195	195	223	220	228
253	5810	180	134	121	121	99	71	157
254	4840	157	264	265	265	268	268	269
255	5809	211	187	171	171	156	128	218
256	4929	103	202	225	225	227	223	245
257	5447	269	155	253	253	221	230	235
258	5086	107	219	228	228	238	240	240
259	5175	150	270	269	269	265	264	267
260	4944	108	240	235	235	244	246	258
261	5092	120	254	255	255	252	254	259
262	5097	124	261	256	256	264	265	263
263	4940	97	229	200	200	229	229	232
264	5082	115	252	237	237	243	242	261
265	4923	140	263	261	261	267	267	266
266	4913	121	253	257	257	260	261	262
267	4848	183	268	270	270	269	269	270
268	4921	178	269	268	268	270	270	268
269	5785	193	100	143	143	114	117	135
270	5336	179	184	244	244	192	189	190

Rankingi uzyskane za pomocą metod M2 i M3 są identyczne. Wynika to z tego, że system blokowy, sztucznie wprowadzony do rozważanego doświadczenia (aby umożliwić wykonanie obliczeń metodą M2) był nieefektywny. Bloki nie eliminowały żadnej zmienności i stąd identyczny jego ranking z rankingiem uzyskanym za pomocą metody M3.

Podsumowując zauważamy, że niektóre genotypy miały podobne miejsca w rankingu, niezależnie od zastosowanej metody. Są to wartościowe genotypy i tym należy poświęcić więcej uwagi (np. genotypy 4844, 5356, 4845).

Podstawową rolę w skuteczności rankingów pełnią obiekty wzorcowe. Z punktu widzenia efektywności metod statystycznych jeden dobrze rozmieszczony obiekt wzorcowy zapewni dobre oszacowanie zmienności glebowej, co w konsekwencji prowadzi do efektywnej selekcji genotypów. Często jednak, do tego typu doświadczeń wprowadza się różne wzorce charakteryzujące się różnymi właściwościami. Wtedy niejako, umożliwia się porównanie badanych genotypów z wszystkimi wzorcami a także z każdym indywidualnie. Z punktu widzenia efektywności metod statystycznych nie jest to najlepsze rozwiązanie. Do zmienności środowiskowej wprowadza się dodatkową zmienność pomiędzy wzorcami. Jeśli zamierzamy skorzystać z metody MPR, to wzorce powinniśmy rozmieścić systematycznie na polu doświadczalnym z dużą częstością. Umożliwiłoby to porównanie badanych genotypów z każdym z wzorców niezależnie. Jeśli wzorce są celowo zróżnicowane, to nie wiemy, czy jest sens porównywać wszystkie genotypy z jakimś "przeciętnym" wzorcem, będącym funkcją (np. średnią) z wszystkich lub niektórych wzorców.

LITERATURA

- Adamska E., Kaczmarek Z., Woś H. 2012. Estimates of winter rapeseed hybrids on the basis of series unreplicated experiments with standards. *Plant Breeding for Future Generations Proceedings of the 19th EUCARPIA General Congress 2012*, Zoltán Bedő and László Láng (Eds), Hungary: 323.
- Ambroży K., Bakinowska E., Bocianowski J., Budka A., Pilarczyk W., Zawieja B. 2008 a. Statystyczne wspomaganie decyzji selekcyjnych na wczesnych etapach hodowli zbóż. Część I. Metody oceny efektów obiektowych. *Biul. IHAR* 250: 21 — 28.
- Ambroży K., Bakinowska E., Bocianowski J., Budka A., Pilarczyk W., Zawieja B. 2008 b. Statystyczne wspomaganie decyzji selekcyjnych na wczesnych etapach hodowli zbóż. Część II. Empiryczne porównanie metod oceny efektów obiektowych. *Biul. IHAR* 250: 29 — 39.
- Box G. E. P., Draper N. 2007. *Response surfaces, mixtures, and ridge analyses*. Second Edition, Wiley, New York.
- Kaczmarek Z., Adamska E., Mejza I., Woś H., Trzeciak R. 2013. Evaluation of parental forms on the basis of series of unreplicated experiments with their hybrids and standard varieties. *Applied Statistics* 2013, Abstracts, p. 70. (<http://conferences.nib.si/AS2013/AS2013-Abstracts.pdf>).
- Kempton R. A. 1981. Adjustment for competition between varieties in plant breeding trials. *J. Agric. Sci., Camb.* 98: 599 — 611.
- Kempton R. A., Fox P. N. 1997. *Statistical methods for plant variety evaluation*. Chapman & Hall.
- Khuri A. I. 2006. *Response surface methodology and related topics*. World Scientific, Singapore.
- Marczyńska K., Mejza S., Mikulski W. 2010. Doświadczenia jednopowtórzeniowe we wczesnych stadiach hodowlanych. *Colloquium Biometricum*, 40: 63 — 72.
- Mejza S., Marczyńska K. 2011. Check plot density in estimation of soil fertility. *Proceedings: Biometric Methods and Models in Current Science and Research*, D. Hampel, J. Hartmann, J. Michalek, (eds) Central Institute of Supervising and Testing in Agriculture, Brno: 167 — 172.
- Mejza S., Mejza I. 2013. Check plots in field breeding experiments. *Biometrical Letters* Vol. 50, No 2: 137 — 149.
- Montgomery D. C. 2005. *Design and Analysis of Experiments: Response surface method and designs*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.

- Sebolai B., Pedersen J. F., Marx D. B., Boykin D. L. 2005. Effect of control plot density, control plot arrangements, and assumption of random or fixed effects on nonreplicated experiments for germplasm screening using spatial models. *Crop Sci.*: 1978 — 1980.
- Utz H. F. 1997. A computer program for statistical analysis of plant breeding experiments. Version 2N. Institute of Plant Breeding, Seed Science and Population Genetics. University of Hohenheim. Germany.
- Woś H., Adamska E., Kaczmarek Z. 2010. Metody statystyczne dla oceny mieszańców i ich linii rodzicielskich na podstawie serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami. *Rośliny Oleiste*: 243 — 256.

JERZY OSOWSKIInstytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Radzików
Zakład Nasiennictwa i Ochrony Ziemniaka w Boninie

Zróżnicowanie ospowatości bulw ziemniaka powodowanej przez *Rhizoctonia solani* w zależności od odmiany i warunków meteorologicznych

Diversity of black scurf symptoms caused by *Rhizoctonia solani* on potato tubers depending on cultivar and meteorological conditions

W doświadczeniach polowych prowadzonych w latach 2011–2013 w IHAR — PIB Zakładzie Nasiennictwa i Ochrony Ziemniaka w Boninie oceniano wpływ warunków meteorologicznych panujących w okresie wegetacji na poziom porażenia ospowatością bulw 29 wybranych odmian ziemniaka podzielonych na trzy grupy wczesności odmian: 1 — bardzo wczesne i wczesne; 2 — średnio wczesne oraz 3 — średnio późne i późne. Uzyskane wyniki pokazują, że istnieje duże zróżnicowanie poziomu porażenia ospowatością pomiędzy grupami wczesności badanych odmian w latach prowadzenia oceny. Najniższe wartości porażenia stwierdzono dla każdej z grup wczesności w roku 2011 (bardzo wczesne i wczesne 3,6%, średnio wczesne — 15,5%, średnio późne i późne — 5,9%).

Słowa kluczowe: ospowatość bulw, *Rhizoctonia solani*, ziemniak, warunki meteorologiczne

The impact of meteorological conditions on the level of black scurf was examined for 29 selected potato varieties, coming from three groups of earliness: 1 — very early and early; 2 — medium early and 3 — medium late and late. Field experiments were conducted during growing seasons between 2011–2013 in Bonin (IHAR — PIB, Department of Potato Protection and Seed Sciences). A great diversity of black scurf infection level was observed between the groups of earliness for tested cultivars. The lowest infection level for each earliness group occurred in 2011 (very early and early 3.6%, on average, medium early — 15.5%, medium late and late — 5.9%).

Key words: black scurf, *Rhizoctonia solani*, meteorological conditions, potato

WSTĘP

W ostatnich latach obserwujemy duże zmiany w zakresie spożywania ziemniaków. Według danych Rynku Ziemniaka (2013), zmalało o ponad 25% w porównaniu do roku 2000, spożycie ziemniaków nieprzetworzonych w przeliczeniu na 1 mieszkańca, a w tym samym okresie wzrosło spożycie ziemniaków przetworzonych o ponad 40%. Wzrost zainteresowania rynku ziemniakami przetworzonymi oraz mytymi i paczkowanymi wymusza na producentach dbałość o jakość bulw i estetyczny wygląd skórki oferowanego towaru.

Jedną z poważniejszych przyczyn obniżania jakości bulw, a szczególnie skórki jest rizoktonioza ziemniaka. Rizoktonioza — zespół objawów, wywoływany przez grzyba *Rhizoctonia solani* Kühn należy do najgroźniejszych chorób ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.) we wszystkich rejonach jego uprawy. Gnicie kielków i próchnienie podstawy łodygi powodują duże straty nie tylko w obsadzie roślin na plantacji, ale także mają negatywny wpływ na ilość i jakość plonu bulw potomnych. Trzecia z form chorobowych rizoktoniozy — ospowatość bulw do niedawna była jedynie postrzegana jako jedno z najważniejszych źródeł przenoszenia choroby na sezon następny, często nawet na duże odległości. Obecnie jednak ospowatość bulw staje się coraz większym problemem jako czynnik obniżający jakość bulw sprzedawanych po umyciu.

Celem prac prowadzonych w latach 2011–2013 było określenie wpływu warunków meteorologicznych na poziom porażenia bulw ospowatością 29 wybranych odmian.

MATERIAŁ I METODY

W doświadczeniach polowych prowadzonych w latach 2011–2013 w IHAR — PIB Zakładzie Nasiennictwa i Ochrony Ziemniaka w Boninie (woj. zachodniopomorskie) oceniano wpływ warunków meteorologicznych panujących w okresie wegetacji na poziom porażenia ospowatością bulw 29 wybranych odmian ziemniaka podzielonych na trzy grupy wczesności odmian: 1 — bardzo wczesne i wczesne; 2 — średnio wczesne oraz 3 — średnio późne i późne (tab. 1).

Doświadczenie zakładano każdego roku w 3 powtórzeniach na poletkach o liczebności 40 roślin. Ziemniaki wysadzano w każdym z lat oceny w okresie 3 dekady kwietnia, w rozstawie $0,32 \times 0,75$ m na glebie lekkiej (podgrupa granulometryczna II piasek gliniasty), natomiast zbioru dokonywano po osiągnięciu pełnej dojrzałości bulw. W trakcie okresu wegetacji, w każdym z lat oceny, prowadzono chemiczne zwalczanie chwastów (2 zabiegi — 1 po uformowaniu redlin Plateen 41,5 WG w dawce 2,0 kg/ha, drugi przed zwieraniem roślin w rzędach Titus 25 WG w dawce 60 g/ha) oraz zwalczanie stonki ziemniaka (1 zabieg insektycyd Actara 25 WG w dawce 80 g/ha). Ochrony chemicznej przeciwko zarazie ziemniaka nie wykonywano ze względu na jednoczesne prowadzenie na tych odmianach oceny podatności części nadziemnej na sprawcę zarazy.

Ocenę poziomu porażenia bulw ospowatością prowadzono po zbiorach, po okresie 6 tygodni przechowywania, na próbach o wielkości około 5 kg z każdego powtórzenia. Wyniki wyrażano indeksem porażenia (zgodnie z metodą Townsenda i Heubergera, 1943).

Tabela 1

Odmiany ziemniaka badane w latach 2011–2013 w Boninie
Potato cultivars tested in 2011–2013 in Bonin

Grupy wczesności — Maturity group											
1. Bardzo wczesne i wczesne Very early and early				2. Średnio wczesne Medium early				3. Średnio późne i późne Medium late and late			
Eersteling				Almera				Danuta			
Escort				Ametyst				Gustaw			
Ingrid				Bintje				Medea			
Irys				Bursztyn				Robijn			
Viviana				Gawin				Sárpo Mira			
Arielle				Legenda				Zenia			
Etola				Promyk				Kuras			
Gloria				Raja				Pokusa			
Michalina				Sagitta				Soplica			
				Stasia							
				Wiarus							

Tabela 2

Warunki meteorologiczne w okresie wegetacji w latach 2011–2013
Meteorological conditions in vegetation periods in 2011–2013

Miesiąc Month	Dekada Decade	2011				2012				2013			
		T	O	Wsp.	Tgl	T	O	Wsp.	Tgl	T	O	Wsp.	Tgl
Kwiecień April	I	8,9	12,4	1,4	7	3,4	19,2	5,7	4,1	1,1	2,0	1,8	0,6
	II	7,5	6,6	0,9	7,2	7,1	7,6	1,1	6,6	9,5	13,4	1,4	6,6
	III	13,8	0,6	0,1	11,6	12,4	11	0,9	9,8	9,3	1,2	0,1	8,7
Maj May	I	9,3	2,6	0,3	10,1	12,4	13,8	1,1	10,9	12,7	5,8	0,5	10,2
	II	14,0	38,0	2,7	13,5	12,2	7,2	0,6	10,8	16,3	0,6	0,1	13,3
	III	15,5	15,4	1,0	14,5	15,0	0,0	0,0	13,3	13,0	31,2	2,4	12,9
Czerwiec June	I	17,9	7,8	0,4	16,8	12,8	3,6	0,3	11,6	13,5	7,0	0,5	14,8
	II	15,3	46,8	3,1	17,2	16,0	23,8	1,5	14,4	18,0	4,0	0,2	16,3
	III	16,4	8,2	0,5	18,3	15,7	91,2	5,8	15,5	16,4	42,2	2,6	16,7
Lipiec July	I	17,2	30,4	1,8	18,2	18,8	39,6	2,1	18,9	17,1	13,2	0,8	16,0
	II	18,0	40,0	2,2	18,4	14,9	92,6	6,2	16,7	17,0	12,6	0,7	16,1
	III	16,5	50,6	3,1	17,3	19,2	15,2	0,8	17,7	20,1	36,2	1,8	17,8
Sierpień August	I	18,0	30,4	1,7	17,8	17,5	55,6	3,2	18,0	21,0	10,0	0,5	19,1
	II	16,7	47,6	2,9	16,2	17,3	17,6	1,0	16,9	17,2	33,6	1,9	17,1
	III	16,9	19,0	1,1	16,6	16,7	34,2	2,1	16,7	16,2	1,2	0,1	16,0
Wrzesień September	I	14,9	41,2	2,8	15,5	15,3	5,0	0,3	15,4	15,2	27,4	1,8	14,7
	II	14,5	16,6	1,2	15,1	14,1	31,0	2,2	14,6	12,5	37,0	3,0	13,8
	III	13,1	1,4	0,1	13,5	12,3	44,8	3,7	12,8	9,4	11,8	1,3	11,3

T — Temperatura Temperature (°C)

O — Opady Rainfal (mm)

Wsp. — Współczynnik Sielanianowa; Sielanianov's coefficient

Tgl — Temperatura Temperature (°C)

Dane meteorologiczne z sezonów wegetacyjnych dotyczące: średniej temperatury powietrza, średniej temperatury gleby oraz sumy opadów atmosferycznych gromadzono korzystając z własnej stacji meteorologicznej oddalonej od pola doświadczalnego o 0,5 do 1,0 km w linii prostej (tab. 2). Na podstawie otrzymanych wyników w celu

charakteryzowania warunków pogodowych, wyliczono wartość współczynnika hydrotermicznego Sielianiowa według wzoru:

$$K = \frac{P}{\sum T_p \times 0,1}$$

gdzie: K — wartość współczynnika Sielianiowa,

P — suma miesięcznych opadów (mm),

$\sum T_p$ — suma miesięcznych średnich temperatur dobowych powietrza (°C)

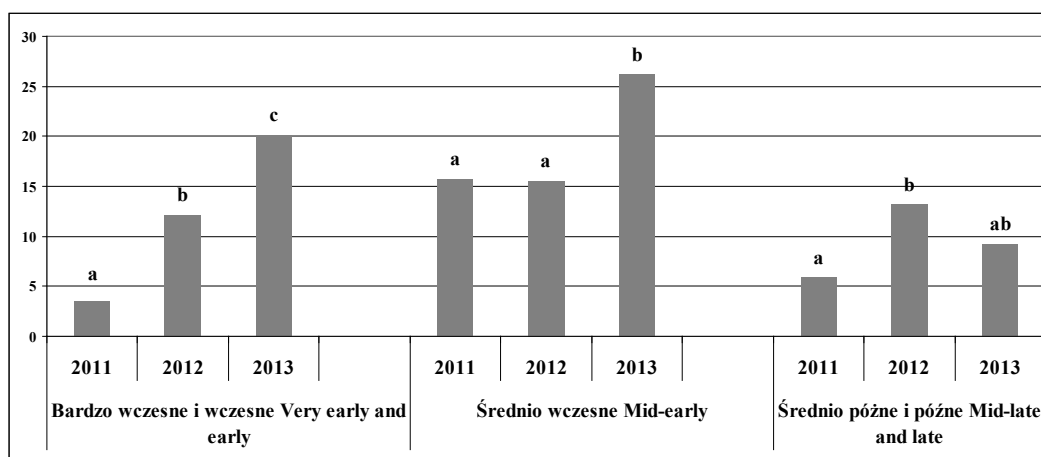
Interpretację współczynnika hydrotermicznego prowadzono według Molgi (1986).

Analizę statystyczną danych transformowanych wg Blissa dla porażenia ospowatością wykonywano za pomocą dwuczynnikowej analizy wariancji.

WYNIKI

Wyniki przedstawione w tabeli 2 pokazują jak zróżnicowane były warunki meteorologiczne w okresie wegetacji w każdym z lat oceny. Średnia temperatura powietrza za okres IV–IX w okresie prowadzenia doświadczenia nie różniła się między sobą. Współczynniki hydrotermiczne Sielianiowa wykazały, że rokiem o najwyższych wartościach tego parametru był rok 2012. Wartości dla pozostałych lat oceny różniły się nieznacznie między sobą. Średnia temperatura gleby na głębokości 10 cm w okresie wegetacji wahała się w zakresie od 14,6°C (lata 2012 i 2013) do 15,6°C w roku 2011.

Średnie wyniki porażenia bulw odmian badanych w latach 2011–2013 wykazały, że istnieje istotne zróżnicowanie w porażaniu się ospowatością (rys. 1).



Rys. 1. Średnie porażenie bulw ospowatością w zależności od grupy wczesności w latach 2011–2013.

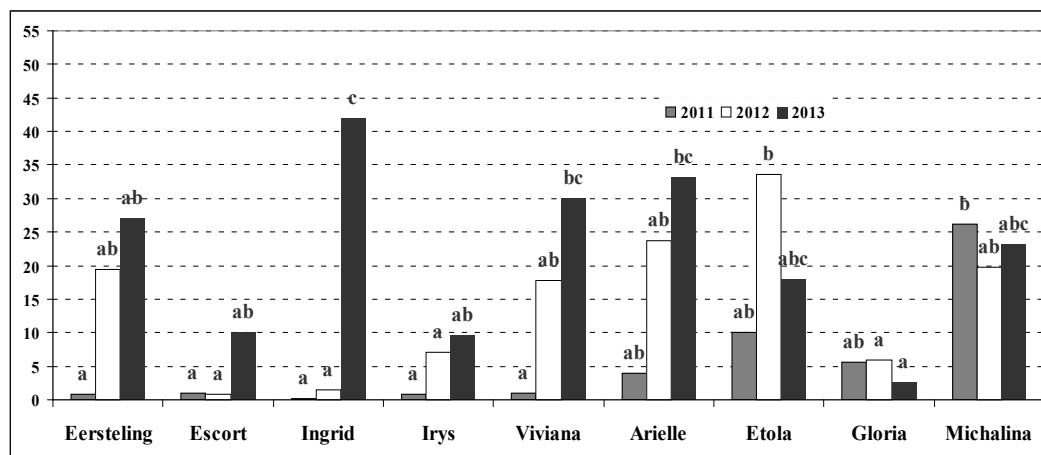
Wartości średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie między sobą

Fig. 1. Average infection of black scurf depending on maturity group in 2011–2013. Values designated with the same letters are not significantly different from each other

W grupie odmian bardzo wczesnych i wczesnych obserwowano narastanie porażenia bulw ospowatością w miarę trwania doświadczenia, przy czym odnotowane różnice były

istotne statystycznie. Średnie porażenia dla odmian średnio wczesnych w latach 2011 i 2012 były, na tym samym poziomie a istotnie wyższe porażenie odnotowano w roku 2013. Dla odmian późnych istotne różnice stwierdzono tylko pomiędzy latami 2011 i 2012.

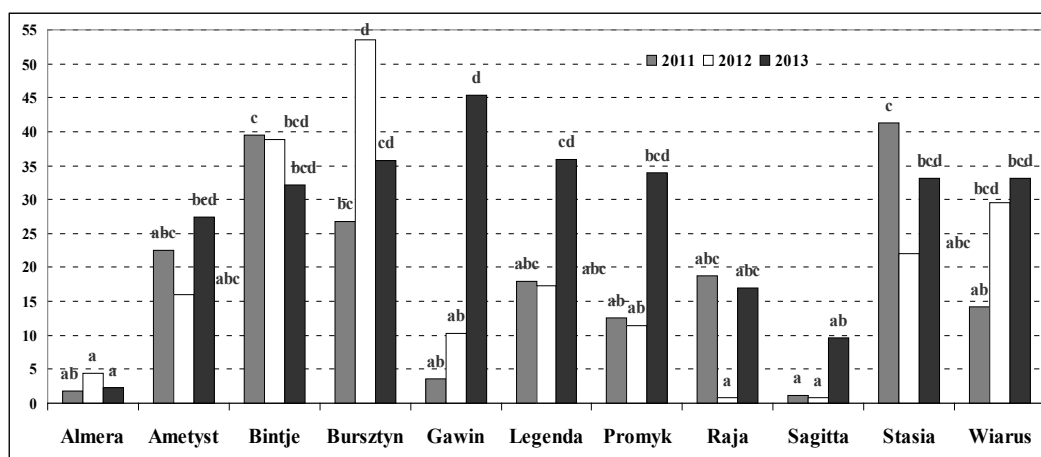
Wartości porażenia bulw odmian bardzo wczesnych i wczesnych przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Średnie porażenie ospowatością bulw odmian bardzo wczesnych i wczesnych w latach 2011–2013. Wartości średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie między sobą
Fig. 2. Average black scurf infection of very early and early cultivars in 2011–2013. Values designated with the same letters are not significantly different from each other

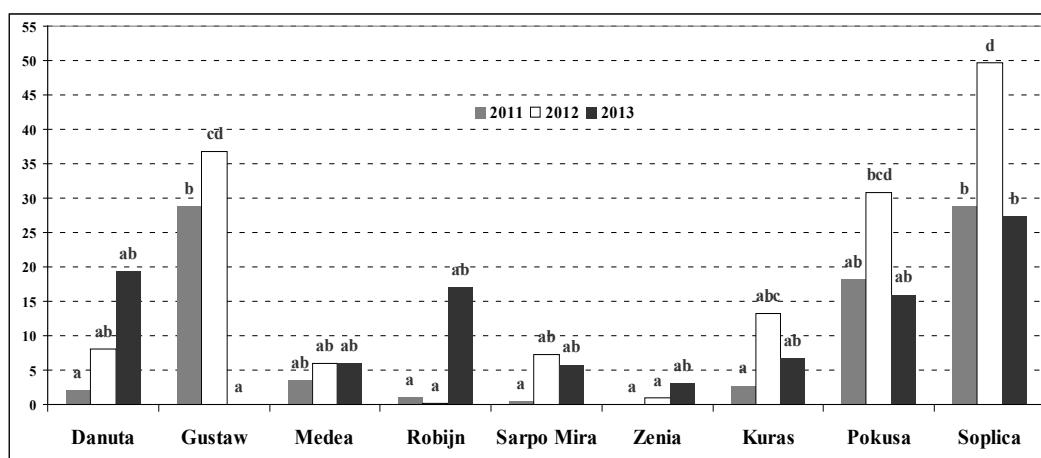
Spośród 9 odmian ocenianych w grupie 1 najniższe porażenie stwierdzono u Glori, Irysa, Escorta oraz Eerstelinga. Najbardziej zróżnicowane porażenie odnotowano dla odmiany Ingrid, której bulwy w roku 2013 uległy porażeniu w największym stopniu. Porażenie odmian średnio wczesnych (rys. 3) było zróżnicowane w zależności od roku prowadzenia oceny. Najmniejszą skłonnością do osadzania się sklerot grzyba *Rhizoctonia solani* charakteryzowały się odmiany Almera i Sagitta a największą Wiarus, Stasia, Bintje oraz Bursztyn.

W grupie 3 (odmiany średnio późne i późne) ocenie do skłonności osadzania się sklerocji grzyba poddano 9 odmian (rys. 4). Najniższy poziom porażenia ospowatością w latach 2011–2013 stwierdzono u odmiany Zenia, a największy u Soplisy.



Rys. 3. Średnie porażenie ospowatością bulw odmian średnio wczesnych w latach 2011–2013. Wartości średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie między sobą

Fig. 3. Average black scurf infection of mid-early cultivars in 2011–2013. Values designated with the same letters are not significantly different from each other



Rys. 4. Średnie porażenie ospowatością bulw odmian średnio późnych i późnych w latach 2011–2013. Wartości średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie między sobą

Fig. 4. Average black scurf infection of mid-late and late cultivars in 2011–2013. Values designated with the same letters are not significantly different from each other

DYSKUSJA

Rizoktonioza ziemniaka wywoływana przez grzyb *Rhizoctonia solani* jest chorobą występującą we wszystkich rejonach uprawy ziemniaków, a straty przez nią powodowane

zaliczają ją do chorób o znaczeniu ekonomicznym (Lees i in., 2002; Woodhall i in., 2008; Atkinson i in., 2010). Na ziemniaku sprawca choroby wywołuje objawy we wszystkich stadiach rozwoju roślin (Atkinson i in., 2010).

Głównym źródłem przenoszenia się choroby na sezon następny, nawet na duże odległości, są bulwy z objawami ospowatości (Tsrer i in., 2001; Tsrer, Perez-Alon 2005).

Rozwój choroby w okresie badań był zróżnicowany w zależności od roku oceny oraz grupy wczesności. Najniższe porażenie bulw ospowatością stwierdzono w roku 2011, a najwyższe w roku 2013. Według badań Campion i in. (2003) oraz Justesen i in. (2003) nasilenie objawów rizoktoniozy na bulwach jest uzależnione nie tylko od ilości inokulum, jakie znajduje się na bulwach i w glebie, ale także duże znaczenie dla występowania choroby mają lokalne warunki klimatyczne. W ocenianym okresie współczynniki hydrotermiczne Sielanianowa wykazywały zróżnicowanie pomiędzy latami oceny. Rok 2012 okazał się rokiem o największym uwilgotnieniu (zakres od 2,1 do 3,0), a rok 2013 rokiem o najmniej sprzyjających warunkach wilgotnościowych (zakres od 0,8 do 1,1).

Badania przeprowadzone przez Ritchie i in. (2006 i 2009) wykazały, że na rozwój *Rhizoctonia solani* mają wpływ temperatura powietrza i gleby, woda, typ gleby oraz pH gleby. Lutomirska (2007) oraz Lutomirska i Jankowska (2013) wykazały, że osadzaniu się sklerocjów na bulwach sprzyjały okresy długotrwałego optymalnego nawilgotnienia gleby.

Agrios (2005) zwraca uwagę na temperaturę w relacjach pomiędzy rośliną gospodarzem, a patogenem. Za optymalną temperaturę do rozwoju roślin Sneh i in. (1996) uważa 20–25°C, a patogenu 10–15°C. Kiedy temperatura jest optymalna dla rozwoju roślin następuje zahamowanie rozwoju patogena i odwrotnie, kiedy temperatury są niskie rozwój roślin jest zahamowany a wzrasta częstotliwość występowania choroby (Agrios 2005; Beukema i Van der Zaag, 1990; Rowe i in., 1993).

Innym czynnikiem, który jest także rozpatrywany jako sprzyjający rozwojowi choroby jest pH gleby. Ritchie i in. (2009) w badaniach prowadzonych w Szkocji wykazali, że optymalne pH gleby dla rozwoju grzybni *Rhizoctonia solani* zawiera się w granicach od 5 do 6. Z tego też względu jako jeden ze sposobów zalecanych do ograniczania rozwoju rizoktoniozy zaleca się tam utrzymywanie gleb poniżej tego poziomu pH. Jednak, ze względu na zmieniające się wzorce pogodowe trudno jest kontrolować temperaturę w warunkach terenowych, przewidywać jej wysokość oraz ilość opadów na skutek obserwowanych zmian klimatycznych na świecie (Norby i Luo, 2004).

WNIOSKI

1. Stwierdzono zróżnicowanie poziomu porażenia bulw ospowatością w zależności od przebiegu warunków meteorologicznych w poszczególnych sezonach wegetacyjnych roślin.
2. Spośród ocenianych odmian najniższe wartości indeksu porażenia stwierdzono w grupie odmian bardzo wczesnych i wczesnych u Irys, Gloria i Escort; średnio wczesnych: Almera, Sagitta oraz średnio późnych i późnych: Robijn, Zenia.

LITERATURA

- Agrios G. N. 2005. Plant Pathology. Academic Press INC, London.
- Atkinson D., Thornton M. K., Miller J. S. 2010. Development of *Rhizoctonia solani* on stems, stolons and tubers of potatoes. I. effect of inoculum source. American Journal of Potato Research 87: 374 — 381.
- Beukema H. P., Van der Zaag 1990. Introduction to potato production. Agriculture University, Wageningen.
- Campion C., Chatot C., Perraton B., Andrivon D. 2003. Anastomosis groups pathogenicity and sensitivity to fungicides of *Rhizoctonia solani* isolates collected on potato crops in France. European Journal of Plant Pathology 109: 983 — 992.
- Dzwonkowski W., Szczepaniak I., Zdziarska T., Mieczkowski M. 2013. Popyt na ziemniaki Rozdz. IV. W: Rynek Ziemniaka Stan i Perspektywy 40. IERiGŻ-PIB Warszawa: 16 — 25.
- Justesen A. F., Yohalem D., Bay A., Nicolaisen M. 2003. Genetic diversity in potato field populations of *Thanatephorus cucumeris* AG-3, revealed by ITS polymorphism and RAPD markers. Mycological Research 107: 1323 — 1331.
- Lees A. K., Cullen D. W., Sullivan L., Nicholson M.J. 2002. Development of conventional and quantitative real-time PCR assays for the detection and identification of *Rhizoctonia solani* AG-3 in potato and soil. Plant Pathology 51: 293 — 302.
- Lutomirska B. 2007. Wpływ odmiany i czynników meteorologicznych okresu wegetacji na ospowatość bulw ziemniaka. Postępy w Ochronie Roślin, 47 (2): 173 — 177.
- Lutomirska B., Jankowska J. 2013. Ospowatość bulw zaawansowanych materiałów hodowlanych ziemniaka. Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin 53 (4): 789 — 795.
- Molga M. 1986. Meteorologia Rolnicza PWRiL, Warszawa: 447 — 460.
- Norby R. J., Luo Y. 2004. Evaluating ecosystem response to rising atmospheric CO₂ and global warming in a multi-factor world. New Phytologist 162: 281 — 293.
- Ritchie F., McQuilken M. P., Bain R. A. 2006. Effect of water potential a mycelial growth, sclerotial production, and germination *Rhizoctonia solani* from potato. Mycological Research 110: 725 — 733.
- Ritchie F., Bain R. A., McQuilken M. P. 2009. Effect of nutrient status, temperature and pH on mycelial growth, sclerotial production of *Rhizoctonia solani* from potato. Journal of Phytopathology 91: 589 — 596.
- Rowe R.G., Curwen D., Ferro D.N., Loria R., Secor G.A. 1993. Potato Mangement. The American Phytopathological Society, USA.
- Sneh B., Jabaji-hare S., Neate S., Dijkstra G. 1996. *Rhizoctonia* species: taxonomy, molecular, biology, ecology, pathology and disease control. Kluwer Academic Publishers, London.
- Townsend G. R., Heuberger J. W. 1943. Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments. Plant Dis. Rep. 24: 340 — 343.
- Tsror L., Balak R., Sneh B. 2001. Biological control of black scurf on potato under organic amendment. Crop. Prot., 20: 145 — 150.
- Tsror L., Perez-Alon I. 2005. The influence of the inoculum source of *Rhizoctonia solani* on development of black scurf on potato. Journal of Phytopathology 153: 240 — 244.
- Woodhall J. H., Lees A. K., Edwards S. G., Jenkinson P. 2008. Infection of potato by *Rhizoctonia solani*: effect of anastomosis group. Plant Pathology 57: 897 — 905.

ZBIGNIEW CZERKO**MAGDALENA GRUDZIŃSKA**

Zakład Przechowalnictwa i Przetwórstwa Ziemniaka

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Oddział Jadwisin

Wpływ siły ściskania bulw ziemniaka w czasie przechowywania na wielkość strat przechowalniczych

Influence of compression forces of potato tubers during storage on storage losses

Celem doświadczenia była ocena strat przechowalniczych i przyrostu nekroz pouszkodzeniowych na przechowywanych bulwach poddanych sile ściskania. Przed przechowywaniem bulwy 3 odmian: Flaming, Elanda, Almera zostały umieszczone w rurach o średnicy 6 cm i wysokości 60 cm w następujących kombinacjach: uszkodzone bez zabliźnień — bez ściskania; uszkodzone bez zabliźnień — siła ściskania 60 N; uszkodzenia zabliźnione — siła ściskania 60 N. Rury umieszczono w komorze przechowalni, w temperaturze 8°C. Po 6 miesiącach przechowywania oceniane były: powierzchnia uszkodzeń ciśnieniowych, ubytki naturalne, długość i liczba kielków, wielkość uszkodzeń zewnętrznych i wewnętrznych. Uszkodzenia ciśnieniowe obserwowane były na bulwach wszystkich badanych odmian. Średnia powierzchnia odcisku wynosiła 382 mm². Wpływ na wielkość uszkodzeń ciśnieniowych miały warunki termiczno-wilgotnościowe występujące podczas wegetacji. Wielkość uszkodzeń ciśnieniowych powstałych na bulwach istotnie różniła się między badanymi odmianami. Sposób zabliźniania bulw nie miał wpływu na wielkość uszkodzeń ciśnieniowych. Nekrozy na bulwie, powstałe po uszkodzeniach zewnętrznych i wewnętrznych powiększyły się na wszystkich odmianach po przechowywaniu. Powierzchnia nekroz istotnie różniła się między odmianami — u odmiany Almera wynosiła 31,8 mm², a u odmiany Flaming 73,4 mm². Uszkodzenia w postaci zmiażdżenia miąższu spowodowały przyrost grubości nekroz po przechowywaniu od 1,2 mm w odmianie Almera i do 4,1 mm w odmianie Flaming. Na grubość nekrozy nie miała wpływu siła ściskania bulw, a tylko sposób zabliźniania skaleczeń. Poziom ubytków naturalnych był wyższy w ziemniakach nie ściskanych, które nie przeszły okresu gojenia bulw. Siła ściskania bulw wpływała na przebieg kiełkowania podczas przechowywania. Po przechowywaniu większą ilość kielków zaobserwowano w ziemniakach ściskanych nie zabliźnionych niż ściskanych ale zabliźnionych.

Słowa kluczowe: przechowywanie, straty, uszkodzenia ciśnieniowe, ziemniak

The aim of the experiment was to evaluate the storage losses and increase of after damaged necrosis on stored tubers subjected to compression forces. Before storing the tubers of 3 varieties: Flaming, Eland and Almera were placed in tubes with a diameter of 6 cm and a height of 60 cm in the following

combinations: damaged, no healing, without compression; damaged without healing, compression force of 60 N; damaged, with healing, compression force of 60 N. Tubers were placed in storage at 8°C. After 6 months of storage following parameters were evaluated: surface of pressure-bruise, natural losses, the length and number of sprouts, the size of the external and internal damages. Pressure-bruises were observed on tubers of all tested varieties. The average area of pressure-bruise was 382 mm². Thermal and moisture conditions effected on the amount of pressure — bruise. The pressure — bruise occurred on tubers were significantly different between studied cultivars. Way of tuber healing had no effect on the pressure — bruise. Tuber necroses, caused by internal and external damaged have increased in all varieties after storage. Necrosis area significantly differed between varieties — in the variety Almera was 31.8 mm², in variety Flaming 73.4 mm². The thickness of necrosis caused of crushing of tubers after storage was from 1.2 mm in a cultivar Almera to 4.1 mm in cultivar Flaming. The thickness of necrosis did not depend on compression force but only on the way of wound healing. The level of natural losses was higher in potatoes not compressed, which were not subjected to the healing period. Compression force had an effect on tuber sprouting. After storing more sprouts were observed in potatoes not healed and compressed than in compressed but healed.

Key words: damaged, potato, pressure-bruise, storage losses

WSTĘP

Jakość ziemniaków dostarczanych do konsumenta zależy od wielu czynników, wśród których najważniejszymi są: dobór odpowiedniej odmiany, warunki klimatyczne w okresie wegetacji, technologia uprawy i przechowywania (Marks, 1998; Gruczek, 2001; Nowacki, 2007; Czerko, 2011; Krzysztofik, 2012). Jakość ziemniaków jadalnych po zbiorze może zostać oceniona na podstawie wielkości uzyskanego plonu handlowego. Plon handlowy ziemniaka jadalnego w polskich warunkach uprawy zazwyczaj nie przekracza 70% całkowitego plonu, pozostałe 30% to bulwy z różnego rodzaju wadami (Nowacki, 2006 a, 2006 b). Wśród bulw wadliwych dużą pozycję stanowią bulwy uszkodzone mechanicznie podczas zbioru, przechowywania i konfekcjonowania.

Uszkodzenia mechaniczne bulw mogą występować w postaci uszkodzeń zewnętrznych np.: otarcie skórki, rany cięte, punktowe, pęknięcia, zmiążdżenia miąższu. Uszkodzenia wewnętrzne nie są bezpośrednio widoczne z zewnątrz, lecz dopiero po obraniu skórki. Mają postać zmiążdżonego miąższu objawiającego się ciemnieniem lub nekrozą pouszkodzeniową (Marks, 2009).

Podczas przechowywania ziemniaków dochodzi do różnych rodzajów uszkodzeń mechanicznych w wyniku oddziaływania maszyn obróbczych na bulwy w momencie załadunku, rozładunku sortowania i konfekcjonowania, a także w wyniku ściskania bulw w wysokich pryzmach ziemniaków.

Do przechowywania ziemniaków wykorzystywane są dwa typy przechowalni: do składowania w paletach skrzyniowych i do składowania luzem. W przechowalniach do składowania luzem wysokość pryzmy dochodzi do 5 m, chociaż w większości przechowalni nie przekracza 3,5 m (Kubicki, 1980; Czerko, 2010). W okresie przechowywania następuje równomierne osiadanie pryzmy wynoszące przykładowo 80 cm po 7 miesiącach przechowywania dla pryzmy o wysokości 5,0 m (Czerko, 2003).

W dolnej części pryzmy siła naporu jest znaczna i powoduje w różnym stopniu odkształcenie bulw i uszkodzenia ciśnieniowe. Na bulwach uwidoczniają się wgłębienia w

formie "odcisku". Na niektórych odmianach ziemniaków pod odciskiem może wystąpić ciemna plamistość w wyniku pęknięcia komórek miąższu i utleniania fenoli do melaniny (Dunkan, 1973; Burton i in., 1992; Dean, 1993; Mathew i Hyde, 1997; Schorling, 2000). Ziemniaki składowane luzem w wyniku dużej siły ściskającej mają zwiększoną powierzchnię styku z sąsiednimi bulwami. Zmniejszona wolna powierzchnia, z której następuje bezpośrednie odparowanie wody z bulwy przyczynia się tym samym do mniejszych ubytków naturalnych (Czerko, 2003).

Celem doświadczenia była ocena strat przechowalniczych i ocena przyrostu nekroz pouszkodzeniowych na przechowywanych bulwach poddanych jednocześnie sile ściskania.

MATERIAŁ I METODY

W doświadczeniu ziemniaki umieszczane były w rurach o średnicy 6 cm, długości 60 cm i ściskane tłokiem obciążonym ciężarkiem siłą 60 N. Dziewięć bulw o wymiarach dopasowanych do średnicy rury (6 cm) ułożono jedna na drugiej i zamknięto od góry tłokiem obciążonym ciężarkiem. Taki sposób ułożenia i ściskania bulw powodował, że na każdą bulwę działała zbliżona siła. Do określenia dokładnej wartości siły ściskającej w górnej, środkowej i dolnej strefie rury wykonano pomiary miernikiem elektronicznym MPS-60 tzw. bulwą elektroniczną (Czerko i Nowacki, 2005).

„Bulwa elektroniczna” została umieszczona w rurze pomiędzy ściskanymi ziemniakami na trzech poziomach. Przy ściskaniu ziemniaków w rurze o długości 60 cm siłą 65 N uzyskano następujące siły ściskające: 63 N w warstwie górnej, 60 N w warstwie środkowej i 58 N w warstwie dolnej. Różnica siły ściskania na całej długości rury nie przekraczała 10%, więc przyjęto średnią siłę ściskania 60 N odzwierciedlającą siłę w przyzbie o wysokości 3,0 m.

W roku 2010 przeprowadzono wstępne pomiary sześciu odmian (Wiarus, Aruba, Elanda, Zagłoba, Almera, Flaming) w celu wybrania odpowiednich odmian, które będą charakteryzowały się różną reakcją na powstawanie nekroz pouszkodzeniowych po przechowywaniu bulw. Bulwy zostały uszkodzone w różny sposób: przecięcie miąższu, uszkodzenie warstwy korkowej, uderzenie bez przerywania skórki oraz odkształcenie ciśnieniowe. Bulwy ściśnięte siłą 60 N po 6 miesiącach przechowywania w temperaturze 8°C zostały ocenione pod względem reakcji na uszkodzenia mechaniczne.

Na podstawie oceny powstałych uszkodzeń do dalszych badań wybrano 3 odmiany: Almera — mała powierzchnia odcisku i mała powierzchnia nekroz pouszkodzeniowych; Flaming — mała powierzchnia odcisku, ale duża powierzchnia nekroz pouszkodzeniowych i Elanda — duża powierzchnia odcisku i dość duża wrażliwość na powstawanie nekroz pouszkodzeniowych (tab. 1).

Odmiany ziemniaka uprawiano w systemie konwencjonalnym na polu doświadczalnym w Jadwisinie. Odmiana Flaming: bardzo wczesna, bulwy o kształcie owalnym, zawartość suchej masy 19,8%. Odmiana Almera średnio wczesna, o kształcie podłużno owalnym, zawartość suchej masy 17,3%. Elanda, średnio wczesna, o kształcie owalnym, zawartość suchej masy 17,9%.

Do głównego doświadczenia wybrano zdrowe bulwy 3 odmian (Flaming, Elanda, Almera) o jednakowym kształcie mieszczące się w rurze o średnicy 6 cm. Bulwy zostały uszkodzone: bolcem kwadratowym o wymiarach 5×5 mm, cięcie nożem na głębokość 10 mm, oraz uderzenie bolcem w kształcie kuli o średnicy 20 mm bez skaleczenia skórki (spadek ciężarka 2 kg z wysokości 40 cm).

Ziemniaki po uszkodzeniu zostały umieszczone w perforowanych rurach (umożliwiających wentylację) o wysokości 60 cm i zostały poddane ścisłaniu w następujących kombinacjach:

- ziemniaki po uszkodzeniu zostały bezpośrednio poddane ścisłaniu siłą 60 N,
- ziemniaki po uszkodzeniu przeszły okres gojenia w temperaturze 15°C i po 10 dniach zostały poddane ścisłaniu siłą 60 N,
- ziemniaki bezpośrednio po uszkodzeniu umieszczone zostały w rurze, bez siły ścisłającej.

Rury z ziemniakami zostały wstawione do przechowalni w temperaturze 15°C i w okresie jednego miesiąca temperatura została obniżona do 8°C. W okresie długotrwałego przechowywania trwającego 5 miesięcy ziemniaki przechowywano w 8°C. Łącznie po 6 miesiącach przechowywania ziemniaki zostały ocenione pod względem:

- ubytków naturalnych — przez pomiar masy każdej bulwy przed i po przechowywaniu,
- ilości, długości i masy kielków,
- powierzchni odcisku (mm²) — powierzchnia wyliczona przez pomiar długości i szerokości zagłębienia i obliczoną powierzchnię elipsy,
- grubości (mm) nekrozy pouszkodzeniowej po przecięciu nożem,
- powierzchni nekrozy po uszkodzeniu bolcem kwadratowym — (powierzchnia nekrozy po prostym przecięciu bulwy przez środek uszkodzenia),
- głębokości ciemnej plamy (mm) po uszkodzeniu bolcem kulowym bez przerywania perydermy — mierzoną grubością ciemnej plamy w mm po przekrojeniu bulwy.

Wyniki doświadczeń opracowano przy zastosowaniu trzyczynnikowej analizy wariancji. Istotność różnic testowano testem T-Studenta (na poziomie istotności $p < 0,05$). Istotność interakcji testowano za pomocą testu „F” Snedecora dla modelu stałego w układzie niezależnym (Elandt, 1964).

WYNIKI I DYSKUSJA

Wstępne pomiary przeprowadzone w 2010 roku, miały na celu ocenę reakcji sześciu odmian ziemniaka w postaci uszkodzeń ciśnieniowych na siły ścisłające bulwy podczas przechowywania. Wykazano, że badane odmiany ziemniaka po sześciu miesiącach przechowywania różniły się między sobą powierzchnią powstałych odcisków ciśnieniowych na bulwie oraz wielkością nekroz powstałych po uszkodzeniach mechanicznych. Największą powierzchnią odcisku charakteryzowały się odmiany; Aruba, Wiarus, Elanda, a najmniejszą Zagłoba, Almera, Flaming (tab. 1). Wielkość nekroz po uszkodzeniach mechanicznych podczas których dochodziło do przerywania perydermy zależała od odmiany.

Tabela 1

Wielkość różnego rodzaju uszkodzeń bulw po przechowywaniu (6 miesięcy) ziemniaków ściśniętych siłą 60 N

Size of different damages of tubers after storage (6 months) of potatoes compressed by 60 N force

Odmiana Variety	Rodzaj uszkodzenia/wielkość nekrozy Kind of damage/size of necrosis			
	powierzchnia odcisku area of the pressure- bruising (mm ²)	uszkodzenie zewnętrzne (powierzchnia, mm ²) external damage (area, mm ²)	uszkodzenie wewnętrzne- (grubość nekrozy, mm) internal damage (thickness of necrosis, mm)	ciemna plamistość pouszkodzeniowa (głębokość, mm) Blackspot (depth, mm)
Wiarus	403,5 a	31,1 c*	0 c	1,8 a
Aruba	423,2 a	44,0 b	0 c	0,4
Elanda	400,8 a	45,0 b	1,5 b	0,7 c
Zagłoba	280,2 c	40,0 b	1,4 b	0,3 d
Almera	316,0 bc	29,1 c	0 c	0,6 c
Flaming	338,0 b	74,4 a	2,6 a	1,1 b
Średnio Average	360,2	43,9	0,9	0,8
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	46,9	5,2	0,5	0,3

* Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

* Values marked with the same letters do not differ significantly

W wielu badaniach zostało udowodnione, że odmiany ziemniaka charakteryzują się różną wrażliwością na powstawanie mechanicznych uszkodzeń zewnętrznych, jak i wewnętrznych (Roztropowicz i Czernik, 1985; Zgórska, 1989; Marks, 1998; Lutomirska, 2000). Po przechowywaniu nekrozy pouszkodzeniowe powiększyły się na bulwach wszystkich odmian. Największe powiększenie nekroz wystąpiło w odmianie Flaming, a najmniejsze w odmianach Almera i Wiarus.

Do głównych badań przeprowadzonych w latach 2011–2012 wybrano 3 odmiany Etiuda, Flaming i Almera. Analiza po 2 latach badań pokazuje, że poziom ubytków naturalnych był istotnie wyższy w ziemniakach z zabliźnionymi uszkodzeniami i nie poddanych sile ściskającej, w porównaniu do bulw ściskanych z zabliźnionymi uszkodzeniami jak i bulw ściskanych z uszkodzeniami nie zabliźnionymi (tab. 2).

W stosunku do bulw nie zabliźnionych po uszkodzeniu i ściskanych siłą 60 N różnice nie były istotne. Porównując bulwy, których uszkodzenia nie były zabliźnione, stwierdzono mniejszy poziom ubytków naturalnych w bulwach ściskanych niż nie ściskanych. Potwierdza się to co było przedstawione w innych badaniach (Czerko, 2003), gdzie bulwy ściśnięte i tym samym bardziej odkształcone o większej powierzchni styku między bulwami miały mniejsze ubytki naturalne niż bulwy nieściśnięte. Można to zjawisko wytłumaczyć zmniejszoną wolną powierzchnią bulw poza punktem ich styku a tym samym mniejszą transpiracją wody.

Na poziom ubytków naturalnych w przechowalni miał wpływ przebieg pogody w okresie wegetacji. Ubytki naturalne w sezonie 2011/12 były istotnie wyższe niż w 2010/11. Odmiana Elanda charakteryzowała się najniższym poziomem ubytków naturalnych, 5,3%. Najwyższymi ubytkami 7,6% charakteryzowała się odmiana Flaming.

Tabela 2

Ocena strat przechowalniczych bulw uszkodzonych i poddanych ścisaniu siłą 60 N
Estimation of storage losses of tubers damaged and compressed by 60 N force

Kombinacja Treatment	Odmiana Variety	Rok Year	Ubytki naturalne Natural losses (%)	Kielki — Sprouts		
				liczba number	długość length (mm)	masa bulwy (g/ mass of tuber (g/)
Uszkodzenia zabliźnione/bulwy ściskane (60 N). Healed wounds / compressed tubers (60 N)	Flaming	2010/11	4,5	3,9	36,7	1,96
		2011/12	10,0	5,6	14,3	1,04
	Elanda	2010/11	3,5	0,9	15,9	0,30
		2011/12	4,7	1,6	20,9	0,53
	Almera	2010/11	5,3	0,3	1,1	0,02
2011/12		5,5	2,0	5,0	0,05	
Uszkodzenia bez zabliżeń/bulwy nie ściskane Wounds not healed/ tubers not compressed	Flaming	2010/11	7,9	3,3	38,7	1,49
		2011/12	9,4	6,3	18,9	1,69
	Elanda	2010/11	8,3	1,1	17,6	0,47
		2011/12	4,6	2,1	12,1	0,29
	Almera	2010/11	6,8	0,1	1,4	0,02
2011/12		5,7	0,6	1,7	0,01	
Uszkodzenia bez zabliżeń/bulwy ściskane (60 N) Wounds not healed/ compressed tubers (60 N)	Flaming	2010/11	5,0	4,4	38,1	2,01
		2011/12	8,9	7,9	22,9	2,10
	Elanda	2010/11	5,3	1,1	6,0	0,12
		2011/12	5,1	3,0	13,1	0,44
	Almera	2010/11	6,2	0,7	4,1	0,07
2011/12		6,8	1,9	12,1	0,26	
Uszkodzenia zabliźnione/bulwy ściskane (60 N). Healed wounds / compressed tubers (60 N)			5,6 b*	2,4 b	15,6 a	0,65 a
Uszkodzenia zabliźnione/bulwy nie ściskane Healed wounds/ tubers not compressed			7,1 a	2,3 b	15,1 a	0,66 a
Uszkodzenia bez zabliżeń/bulwy ściskane (60 N) Wounds not healed / compressed tubers (60 N)			6,2 b	3,2 a	16,1 a	0,84 a
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}			0,9	0,6	5,4	0,28
Flaming			7,6a	5,2a	28,3a	1,71a
Elanda			5,3b	1,6b	14,3b	0,36b
Almera			6,1b	0,9c	4,3c	0,07c
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}			0,9	0,6	5,4	0,28
2010/11			5,9a	1,8a	17,8a	0,72a
2011/12)			6,8b	3,4b	13,5a	0,71a
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}			0,8	0,5	4,4	0,23

* Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

* Values marked with the same letters do not differ significantly

Tabela 2 a

Interakcja między badanymi czynnikami a parametrami określającymi straty przechowalnicze bulw
The interaction between the studied factors and the parameters defining the storage losses of tubers

Interakcja Interaction	Ubytki naturalne Natural losses	Ilość kielków/ bulwę Number of sprouts/ tuber	Długość kielków Length of sprouts	Masa kielków (g/bulwę) Mass of sprouts (g/tuber)
Odmiana × uszkodzenia Variety × damage	-	-	-	-
Odmiana × lata Variety × years	++	++	++	-
Uszkodzenia × lata Damage × years	++	-	-	-
Uszkodzenia × odm. × lata Damage × variety × years	-	-	-	-

+ Istotność na poziomie, $p \leq 0,05$; Significant at $p \leq 0,5$ — ++ Istotność na poziomie $p \leq 0,01$; Significant at $p \leq 0,1$

Siła ściskania bulw miała wpływ na kiełkowanie. Większą ilość kiełków po przechowywaniu zaobserwowano w ziemniakach, które po uszkodzeniach nie były zabliźnione i ściskane siłą 60 N, niż w ziemniakach uszkodzonych bez zabliźniania, ale nie poddanych sile ściskającej. W literaturze można znaleźć dane wskazujące, że uszkodzenia jako bodziec traumatyczny często przyspiesza kiełkowanie bulw (Listowski, 1974; Ittersum, 1992).

Różny przebieg wegetacji w 2 latach badań istotnie wpłynął na liczbę kiełków na bulwie w poszczególnych odmianach. W sezonie 2010/11 zanotowano średnio tylko 1,8 kiełków na jednej bulwie, natomiast w sezonie 2011/12 odpowiednio 3,4 kiełków. Okres wegetacji w 2010 charakteryzował się większą sumą opadów — 504 mm niż w roku 2011 — 432 mm, przy zbliżonej średniej temperaturze miesięcznej w okresie wegetacji (15,6°C w 2010 roku i 15,8°C w roku 2011).

Po 6 miesiącach przechowywania wielkość powierzchni uszkodzeń ciśnieniowych (odcisków) i nekroz pouszkodzeniowych powstałych w wyniku uszkodzeń zewnętrznych bulw zabliźnionych i nie zabliźnionych, ściskanych siłą 60 N, nie różniła się istotnie (tab. 3). Największe odkształcenia ciśnieniowe wystąpiły na odmianie Elanda i miały powierzchnię — 405 mm², a najniższe na odmianie Flaming — 352 mm².

W prezentowanych badaniach na bulwach badanych odmian nie zaobserwowano ciemnienia miąższu pod uszkodzeniami ciśnieniowymi. Także w innych badaniach w których użyto innych odmian na bulwach ściskanych (Czerko, 2003 i 2006) nie zauważono powstawania ciemnych plam pod odciskami. Według Meijersa, 1981 i Lulaia, 1996 jedną z przyczyn ciemnienia miąższu pod odciskami, które ujawniają się po wyjęciu ziemniaków z przechowalni jest „odprężenie” zgniecionej tkanki i dostanie się do uszkodzonych komórek tlenu powodującego ciemnienie. W badaniach własnych turgor ziemniaków po przechowywaniu nie był wysoki (ubytki naturalne 5,6–6,2%), co mogło zadecydować, że nie powstały wewnętrzne mikropęknięcia miąższu pod uszkodzeniami ciśnieniowymi. Bulwy o większych ubytkach naturalnych są bardziej elastyczne i mniej podatne na wewnętrzne mikropęknięcia miąższu. Jednak w praktyce przechowalniczej poziom ubytków naturalnych nie może być wysoki, gdyż może przyczynić się do zwiększonego ciemnienia fizjologicznego bulw (Meijers, 1981). W wykonywanym doświadczeniu ciemnienie fizjologiczne bulw nie wystąpiło.

Grubość nekroz pouszkodzeniowych po przecięciu bulwy nożem zależała głównie od odmiany i zawierała się od 1,6 mm dla Almary do 4,8 mm dla Flaminga. Zabieg zabliźniania uszkodzeń bulw przed przechowywaniem z jednoczesnym ściskaniem bulw siłą 60 N nie miał wpływu na wielkość nekroz pouszkodzeniowych. Istotnie grubsze nekrozy po przecięciu wystąpiły w sezonie 2010–2011 charakteryzującym się większymi opadami w okresie wegetacji.

Powierzchniowe zniszczenie perydermy (kwadratowym bolcem) spowodowało wzrost powierzchni nekrozy pouszkodzeniowej po przechowywaniu we wszystkich kombinacjach (w porównaniu do wartości początkowej — 25 mm²). Istotne różnice dotyczyły tylko poszczególnych odmian, gdzie u odmiany Almera powierzchnia nekroz wynosiła 31,8 mm², a u odmiany Flaming 73,4 mm².

Tabela 3

Wielkość różnego rodzaju uszkodzeń bulw po przechowywaniu (6 miesięcy) ziemniaków ściśniętych siłą 60 N

Size of different damages of tubers after storage (6 month) of potatoes compressed by 60 N force

Kombinacja Treatment	Odmiana Variety	Rok Year	Powierzchnia odcisku Area of the pressure- bruising (mm ²)	Uszkodzenie wewnętrzne (grubość nekrozy, mm) Internal damage (thickness of necrosis, mm)	Uszkodzenie zewewnętrzne (powierzchnia, mm ²) External damage (area, mm ²)	Ciemna plamistość pouszkodzenio- wa głębokość Blackspot-depth (mm)
Uszkodzenia zabliźnione/bulwy ściskane (60 N). Wounds healed / compressed tubers (60 N)	Flaming	2010/11	373	5,1	72,0	4,1
		2011/12	274	3,4	71,9	7,7
	Elanda	2010/11	469	1,7	34,9	0,4
		2011/12	370	0,9	35,0	0,7
	Almera	2010/11	455	1,7	30,1	0,1
		2011/12	391	1,3	32,9	2,6
Uszkodzenia bez zabliźnień/bulwy nie ściskane Wounds not healed / tubers not compressed	Flaming	2010/11	0	8,3	74,9	2,1
		2011/12	0	3,3	72,3	3,6
	Elanda	2010/11	0	1,6	39,1	0,3
		2011/12	0	0,7	36,1	0,6
	Almera	2010/11	0	1,3	26,4	0
		2011/12	0	1,1	35,7	2,0
Uszkodzenia bez zabliźnień/bulwy ściskane (60 N) Wounds not healed / tubers compressed (60 N)	Flaming	2010/11	427	6,4	80,4	2,9
		2010/12	333	2,4	69,0	4,4
	Elanda	2010/11	340	1,6	38,9	0,1
		2011/12	443	0,3	36,9	0
	Almera	2010/11	408	1,3	29,3	0,1
		2011/12	293	1,3	36,4	2,1
Uszkodzenia zabliźnione/ bulwy ściskane (60 N) Wounds healed/tubers compressed (60 N)			389 a	2,4 a	46,1 a	2,6 a
Uszkodzenia bez zabliźnień/ bulwy nie ściskane Wounds not healed/ tubers not compressed (0 N)			0 b	2,7 a	47,4 a	1,4 b
Uszkodzenia bez zabliźnień/ bulwy ściskane (60 N) Wounds not healed/ tubers compressed (60 N)			374 a	2,2 a	48,5 a	1,6 ab
NIR _{0,05} — LSD _{0.05}			42	0,8	8,4	1,2
Flaming			352 b	4,8a	73,4a	4,1a
Elanda			405 a	1,1b	36,8b	0,4b
Almera			387 ab	1,3b	31,8b	1,2b
NIR _{0,05} — LSD _{0.05}			52	0,8	8,4	1,2
2010/11			412a	3,2	47,3	1,1
2011/12			351b	1,6	47,4	2,6
NIR _{0,05} — LSD _{0.05}			42	0,7	6,9	1,0

* Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

* Values marked with the same letters do not differ significantly

Powierzchnia widocznych nekroz pouszkodzeniowych była największa na bulwach zabliźnionych bezpośrednio po uszkodzeniu. Prawdopodobnie ciemnienie mięszu w wyniku uszkodzeń wewnętrznych, które powstało w wyższej temperaturze, objawiło się maksymalną głębokością w krótkim czasie (2–3 dni) i w takim stanie pozostawało do końca przechowywania. Natomiast ciemna plamistość pouszkodzeniowa bulw uszkodzonych i wstawionych do niższej temperatury mogła zostać ograniczona tylko do tkanki mocno zmiażdżonej.

Tabela 3 a

**Interakcja między badanymi czynnikami a parametrami określającymi odporność bulw
na uszkodzenia**

The interaction between the studied factors and the parameters defining resistance to damage tubers

Interakcja Interaction	Powierzchnia odcisku Area of the pressure- bruising	Uszkodzenie wewnętrzne-(grubość nekrozy, mm) Internal damage	Uszkodzenie zewewnętrzne (powierzchnia, mm ²) External damage	Ciemna plamistość pouszkodzeniowa Blackspot
Odmiana × uszkodzenia Variety × damage	+	-	-	-
Odmiana × lata Variety × years	-	++	-	-
Uszkodzenia × lata Damage × years	-	-	-	-
Uszkodzenia × odm. × lata Damage × variety × years	+	-	-	-

+ Istotność na poziomie $p \leq 0,05$; Significant at $p \leq 0.5$

++ Istotność na poziomie $p \leq 0,01$ Significant at $p \leq 0.1$

Odnotowano wpływ warunków wegetacji na wzrost głębokości nekroz powstałych w wyniku zmiżdżenia perydermy. Warunki pogodowe występujące w roku 2011 wpłynęły na większą powierzchnię odkształceń bulw i na wzrost nekroz w wyniku przecięcia bulwy. Natomiast warunki wegetacji roku 2011 wpłynęły na zmniejszenie ciemnej plamistości pouszkodzeniowej.

WNIOSKI

1. Podczas dłuższego przechowywania powstałe nekrozy pouszkodzeniowe powiększają się, dlatego też należy unikać wczesnej obróbki ziemniaków.
2. Siła ściskająca bulwy w czasie przechowywania nie ma wpływu na powiększanie się nekroz pouszkodzeniowych.
3. Ograniczenie ubytków naturalnych ziemniaków można uzyskać wykorzystując etap gojenia bulw.
4. Warunki okresu wegetacji mają wpływ na takie parametry przechowywania jak: poziom ubytków naturalnych, liczbę i długość kielków na bulwie, uszkodzenia ciśnieniowe, uszkodzenia wewnętrzne i ciemną plamistość pouszkodzeniową.

LITERATURA

- Burton W. G., Es van A., Hartmans K. L. 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.
- Czerko Z. 2003. Reakcja bulw ziemniaka na ściskanie podczas przechowywania przy składowaniu luzem. Biul. IHAR 228: 275 — 281.
- Czerko Z., Nowacki W. 2005. Monitorowanie maszyn do obróbki ziemniaków za pomocą „bulwy elektronicznej” PMS-60. Inż. Rol. 1: 49 — 55.
- Czerko Z. 2006. Straty po przechowywaniu bulw poddanych sile ściskania. Zeszyty Prob. Post. Nauk Rol. Z 511: 531 — 537.
- Czerko Z. 2010. Zasady budowy i eksploatacji przechowalni ziemniaków. IHAR — PIB Jadwisin. ss. 67

- Czerko Z. 2011. Wpływ mechanizacji prac przechowalniczych na uszkodzenia mechaniczne bulw ziemniaka. *Ziemn. Pol.* 1: 1 — 5.
- Dean B. B., Jackowiak N., Nagel M., Pavek J., Corsini D. 1993. Blackspot pigment development of resistant and susceptible *Solanum tuberosum* L. genotypes at harvest and during storage measured by three methods of evaluation. *Am. Potato J.* 70: 201 — 217.
- Duncan H. J. 1973. Rapid bruise development in potatoes with oxygen under pressure. *Potato Research*. 16: 306 — 310.
- Elandt R. 1964. Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczeń rolniczych. PWN, Warszawa.
- Gruczek T. 2001. System pielęgnowania ziemniaka a jakość plonu. *Fragm. Agronom.* 2: 37 — 51.
- Krzysztofik B. 2012. Wpływ wybranych czynników na wartość indeksu mechanicznych uszkodzeń bulw ziemniaka przeznaczonego do przetwórstwa spożywczego. *Biul. IHAR* 266: 235 — 243.
- Kubicki K. 1980. Biologiczne i techniczne uwarunkowania przechowywania ziemniaków. PWN, Warszawa: 207 ss.
- Ittersum van M. K. 1992. Dormancy and growth vigour of seed potatoes. Doctoral thesis. Wageningen Agricultural University: 187 ss.
- Listowski A. 1974. Biologia ziemniaka. W: *Ziemniak*. Pod redakcją W. Gabriela. PWRiL, Warszawa: 15 — 60.
- Lulai E. C. 1996. Cellular changes and physiological responses to tuber pressure-bruising. *Am. Potato J.* 73: 197 — 209.
- Lutomirska B. 2000. Odporność polskich i zagranicznych odmian ziemniaka na uszkodzenia mechaniczne bulw. *Biul. IHAR* 214: 183 — 194.
- Marks N. 1998. Wpływ techniki uprawy na plon i cechy jakościowe bulw ziemniaka. *Inż. Rol.* 2: 175 — 187.
- Marks N. 2009. Mechaniczne uszkodzenia bulw ziemniaka. *Pol. Tow. Inż. Rol.* Kraków: 117 ss.
- Mathew R., Hyde G. M. 1997. Potato impact damage thresholds. *Trans. ASAE*. 40: 705 — 709.
- Meijers C. P. 1981. Diseases and defects liable to affect potatoes during storage. In: Rastovski A., Van Es A., Hartmans K. J., Buitelaar N., Haan P. H. D., Majers C. P., Schild J. H. W. V. D., Sijbring P. H., Sparenberg H., Zwol B. H. V. *Storage of potatoes*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen: 138 — 166.
- Nowacki W. 2006 a. Straty w plonie handlowym czynnikiem determinującym efektywność ekonomiczną produkcji ziemniaków jadalnych. *Rocz. Nauk. Stow. Ekon. Rol. i Agrobiznesu* 8 (1): 133 — 136.
- Nowacki W. 2006 b. Udział plonu handlowego w plonie ogólnym jadalnych odmian ziemniaka. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 511: 429 — 440.
- Nowacki W. 2007. Plon handlowy i straty przechowalnicze ziemniaka jadalnego uprawianego w systemie ekologicznym i integrowanym. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* vol. 52 (4): 5 — 9.
- Roztropowicz S., Czernik L. 1985. Wstępne uszeregowanie 30 odmian ziemniaka pod względem odporności na uszkodzenia mechaniczne. *Biul. Inst. Ziem.* 33: 19 — 26.
- Schorling E. 2000. Ursachen für das unterschiedliche Auftreten von Lagerdruckstellen. *Kartoffelbau* 51 (8): 332 — 336.

KAROLINA PYCIA**LESŁAW JUSZCZAK**

Katedra Analizy i Oceny Jakości Żywności

Wydział Technologii Żywności

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

Charakterystyka reologiczna modelowych emulsji typu o/w stabilizowanych maltodekstrynami ziemniaczanymi

Rheological characterization of model emulsions o/w stabilized with potato maltodextrins

Emulsje typu o/w są zdyspergowanymi układami złożonymi z fazy olejowej rozproszonej w fazie wodnej. Układy dyspersyjne mają tendencję do ulegania termodynamicznej destabilizacji. Aby przeciwdziałać temu niekorzystnemu zjawisku stosuje się w tego typu układach jako fazę rozproszoną roztwory hydrokoloidów takich jak maltodekstryny. Substancje te nie tylko wpływają na stabilność układów, ale także na ich właściwości reologiczne. Celem pracy była analiza wybranych właściwości reologicznych modelowych emulsji typu o/w, w których fazę rozproszoną stanowiły roztwory maltodekstryn ziemniaczanych o trzech stopniach scukrzenia oraz w różnych stężeniach. Emulsje z dodatkiem roztworu maltodekstryny zostały przygotowane na drodze homogenizacji. Analizy reologiczne obejmowały pomiar właściwości lepkościowych emulsji oraz wyznaczenie krzywych lepkości przy użyciu reometru oscylacyjnego. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono istotny wpływ stopnia scukrzenia maltodekstryn oraz ich stężenia na lepkość pozorną i właściwości lepkościowe modelowych emulsji typu o/w na bazie maltodekstryn ziemniaczanych. Lepkość pozorna badanych emulsji malała w miarę wzrostu stopnia scukrzenia maltodekstryn zastosowanych do stabilizacji układu. Przy czym w obszarze tego samego stopnia scukrzenia maltodekstryn wartość lepkości pozornej układu wzrastała w miarę zwiększania stężenia hydrolizatu w roztworze tworzącym fazę wodną układu. Analizowane układy emulsyjne w zależności od stopnia scukrzenia maltodekstryny zastosowanej do ich stabilizacji, zachowywały się jak ciała sprężystolepkie z dominacją cech sprężystych w przypadku zastosowania maltodekstryny o DE 6, lub jak układy lepkościowe z dominującym udziałem cech lepkich w przypadku gdy zastosowano maltodekstryny o stopniu scukrzenia 11 lub 16.

Słowa kluczowe: emulsja typu o/w, maltodekstryna, właściwości reologiczne

O/W emulsions are dispersed systems composed of an oil phase in an aqueous phase. Dispersions of this type are thermodynamically instable. Therefore, in order to counteract this instability, solutions

of hydrocolloids such as maltodextrins are used as a dispersed phase. These substances affect not only the stability of systems, but also their rheological properties. The aim of this study was to analyze selected rheological properties of model emulsions o/w based on solutions of potato maltodextrins with three degrees of saccharification and at different concentrations. The emulsions with maltodextrin solutions were prepared using homogenization. Rheological analysis included measurement of viscoelastic properties of the emulsions and determination of viscosity curves by use of an oscillatory rheometer. A significant effect of the degree of maltodextrin saccharification and maltodextrin concentration on the apparent viscosity and viscoelastic properties of model o/w emulsions based on potato maltodextrins was found. Apparent viscosity of the emulsions was decreasing with increasing degree of maltodextrins saccharification. However, within the same degree of maltodextrin saccharification, the value of apparent viscosity increased with increasing concentration of the hydrolyzate in the aqueous phase of system. The analyzed emulsions behaved like viscoelastic body with dominance of the elastic or viscous characteristics for maltodextrin with DE 6, and maltodextrin with DE 11 or 16, respectively.

Key words: emulsion of o/w type, maltodextrin, rheological properties

WPROWADZENIE

Maltodekstryny są produktami enzymatycznej hydrolizy skrobi. Uniwersalnym parametrem charakteryzującym maltodekstryny jest równoważnik glukozowy DE (dextrose equivalent), który odpowiada udziałowi cukrów redukujących w przeliczeniu na czystą glukozę, w suchej masie produktu. Przyjęto, że mianem maltodekstryny określa się jedynie te hydrolizaty, których wartość DE nie przekracza 20 (Wang i Wang, 2000; Tur i in., 2004). Maltodekstryny ze względu na interesujące właściwości funkcjonalne oraz reologiczne chętnie stosowane są przez producentów jako składniki żywności. Wykorzystuje się je jako czynniki stabilizujące, wypełniające, regulujące wilgotność, polepszające smakowość (Wang i Wang, 2000; Przetaczek-Rożnowska i Fortuna, 2010). Ponadto hydrolizaty te mają szczególne znaczenie jako komponenty w układach emulsyjnych, gdyż mogą być stosowane jako zamienniki tłuszczu (Lewandowicz i in., 2005). Emulsje typu o/w są zdyspergowanymi układami złożonymi z fazy olejowej rozproszonej w fazie wodnej. Tego typu układy dyspersyjne mają tendencję do ulegania termodynamicznej destabilizacji na skutek zachodzenia takich procesów jak flokulacja oraz koalescencja. Z tego powodu stosuje się polisacharydy jako czynniki regulujące problem stabilności emulsji głównie poprzez oddziaływanie na właściwości reologiczne tego typu układów (Udomrati i in., 2013). Maltodekstryny tworzące fazę ciągłą w emulsji spożywczej nie tylko wpływają na stabilność takich układów, ale także na ich właściwości reologiczne (Dokic-Baucal i in., 2004). Dodatkowo maltodekstryny mogą tworzyć słabe żełe na skutek interakcji pomiędzy skręconymi w postaci helis, fragmentami łańcuchów amylozy i/lub łańcuchami amylopektyny. Tego typu tendencja jest szczególnie silna w przypadku hydrolizatów o niskim stopniu scukrzenia, w których występują długie fragmenty łańcuchów skrobi (Dokic-Baucal i in., 1998; 2004). Dlatego zdolność do tworzenia żeli wykorzystywana jest w badaniach nad stabilnością reologiczną emulsji z ich udziałem. Pomimo faktu, że właściwości reologiczne emulsji spożywczych są uzależnione od wielu czynników takich jak sposób ich przygotowania oraz interakcje pomiędzy składnikami (Dokic-Baucal i in., 2004), w modelowych układach emulsyjnych decydujący

wpływ mają właściwości maltodekstryn jako czynnika zwiększającego lepkość fazy ciągłej układu. Maltodekstryny ze względu na fakt, że nie są substancjami powierzchniowo-czynnymi pełnią rolę stabilizatora emulsji głównie poprzez zwiększanie lepkości fazy wodnej (Klinkesorn i in., 2004). Czynnikiem mającym decydujący wpływ na właściwości emulsji są stopień scukrzenia maltodekstryny oraz jej stężenie w fazie rozpraszającej. Według Udomrati i in. (2013) zwiększanie stężenia hydrokoloidów w fazie wodnej emulsji wpływa korzystnie na hamowanie flokulacji fazy olejowej głównie poprzez zmniejszenie interakcji pomiędzy zdyspergowanymi kuleczkami oleju. Jak podają Klinkesorn i in. (2004) właściwości reologiczne emulsji na bazie maltodekstryn są funkcją ich pochodzenia botanicznego, stężenia w układzie oraz długości łańcuchów polisacharydowych pośrednio wyrażanych poprzez wartość stopnia scukrzenia DE.

Maltodekstryny jako produkty enzymatycznej degradacji skrobi są często stosowane w przemyśle spożywczym głównie ze względu na właściwości stabilizujące, wypełniające oraz zagęszczające. Jednak zastosowanie tego typu hydrolizatów jest determinowane ich właściwościami fizykochemicznymi takimi jak stopień scukrzenia. Stąd, celem pracy była ocena wpływu stopnia scukrzenia oraz stężenia roztworów laboratoryjnych maltodekstryn ziemniaczanych na wybrane właściwości reologiczne modelowych emulsji typu o/w. Właściwości reologiczne badanych układów dyspersyjnych opisano za pomocą krzywych lepkości oraz parametrów modelu potęgowego zastosowanego do opisu wyznaczonych zależności. Na podstawie zależności lepkości pozornej od zastosowanej szybkości ścinania (krzywe lepkości) można stwierdzić czy lepkość zależy od szybkości ścinania lub czy jest stała, co pozwala na określenie charakteru cieczy. Porównanie krzywych lepkości emulsji stabilizowanych różnymi roztworami analizowanej maltodekstryny posłużyło ocenie wpływu stopnia scukrzenia maltodekstryny oraz stężenia jej roztworu na właściwości reologiczne układu dyspersyjnego.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Materiałem badawczym były modelowe emulsje typu o/w składające się z fazy olejowej oraz fazy wodnej. Fazę rozproszoną emulsji tworzył olej słonecznikowy a fazę rozpraszającą stanowiły wodne roztwory maltodekstryn ziemniaczanych w trzech różnych stopniach scukrzenia odpowiednio o DE 6, 11 lub 16 oraz o różnych stężeniach w zakresie od 30–70%. W przypadku maltodekstryn o stopniu scukrzenia DE 6 oraz DE 11 i 16 stosowano roztwory o stężeniach odpowiednio w zakresie 30–50% oraz 50–70%. Maltodekstryny zastosowane jako stabilizator modelowych emulsji zostały otrzymane metodą laboratoryjną polegającą na enzymatycznej hydrolizie naturalnej skrobi ziemniaczanej Superior Standard (WPPZ, Luboń) pod wpływem enzymu α -amylazy bakteryjnej (BAN 480L, Novozymes, Dania). Przygotowanie modelowych emulsji typu o/w polegało na zmieszaniu wodnego roztworu maltodekstryn ziemniaczanych o różnych stężeniach w zależności od stopnia scukrzenia. Stosunek ilościowy fazy olejowej do fazy wodnej w badanych emulsjach wynosił 1:4. Do homogenizacji układu zastosowano homogenizator Ultra-Turrax T 25 IKA-WERKE Labortechnik, Niemcy. Emulsje homogenizowano w czasie 2 min, przy obrotach głowicy homogenizatora rzędu 9500 rpm.

Następnie tak przygotowaną, jednorodną emulsję наносono na element pomiarowy reometru. Badania właściwości reologicznych wykonano przy użyciu reometru oscylacyjnego Mars II (Thermo-Haake, Niemcy). Spektra mechaniczne modelowych emulsji wyznaczono w temperaturze $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ w układzie pomiarowym stożek-płytką (średnica stożka 35 mm, kąt 2° , rozmiar szczeliny 0,105 mm). Pomiary w zakresie liniowej lepkości wyznaczono przy stałej amplitudzie odkształcenia wynoszącej 0,01 oraz prędkości kątowej w zakresie od 1 do 100 rad/s. Krzywe lepkości wyznaczono przy użyciu reometru oscylacyjnego Mars II w układzie pomiarowym stożek-płytką o parametrach podanych powyżej. Próbkę emulsji po umieszczeniu pomiędzy elementami układu pomiarowego poddano działaniu zmiennej szybkości ścinania w zakresie $1\text{--}150\text{ s}^{-1}$ (Pycia i in., 2012). Do opisu otrzymanych krzywych lepkości zastosowano model potęgowej:

$$\eta = K \cdot \dot{\gamma}^{n-1}$$

gdzie: η — lepkość pozorna [Pa];

K — współczynnik konsystencji [$\text{Pa} \cdot \text{sn}$];

$\dot{\gamma}$ — szybkość ścinania [s^{-1}], n — wskaźnik płynięcia.

Obliczenia dla parametrów wykonano w trzech powtórzeniach.

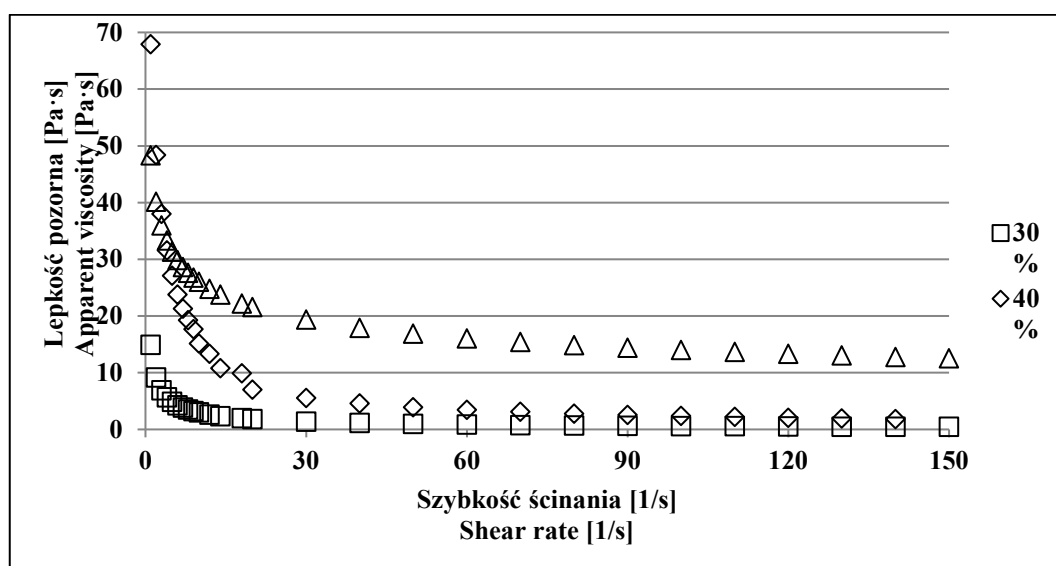
Estymację parametrów modelu potęgowego opisującego krzywe lepkości wyznaczono oddzielnie dla każdego powtórzenia i każdej kombinacji stężenie — stopień scukrzenia (DE). Obliczenia wykonano z wykorzystaniem programu RheoWin v.3.5 (Thermo-Haake, Niemcy).

W celu określenia istotnych różnic pomiędzy wartościami parametrów modelu potęgowego zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji oraz test statystyczny Duncana przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Opisana analiza statystyczna została przeprowadzona z użyciem programu Statistica 9.0 (USA).

WYNIKI I DYSKUSJA

Zastosowanie maltodekstryń ziemniaczanych o różnym stopniu scukrzenia wpłynęło istotnie na właściwości reologiczne modelowych emulsji typu o/w. Na rysunkach 1, 2 oraz 3 przedstawiono krzywe lepkości modelowych układów dyspersyjnych na bazie roztworów laboratoryjnej maltodekstryny ziemniaczanej. Krzywe lepkości badanych emulsji będące zależnością lepkości pozornej od szybkości ścinania wskazują, że wszystkie badane emulsje wykazały cechy cieczy nienewtonowskich, rozrzedzanych ścinaniem (rys. 1, 2, 3). Spadek lepkości pozornej układów emulsyjnych w miarę wzrostu zastosowanej szybkości ścinania potwierdza rozrzedzany ścinaniem charakter przepływu.

W przypadku emulsji na bazie roztworów maltodekstryny ziemniaczanej o stopniu scukrzenia DE 6 zaobserwowano wzrost lepkości pozornej układu zdyspergowanego w miarę wzrostu stężenia hydrokoloidu w wodnym roztworze tworzącym fazę ciągłą układu (rys. 1). Tego typu zależność wynika z lepkości roztworu maltodekstryny, która w obrębie tego samego stopnia scukrzenia wzrasta w miarę wzrostu stężenia w roztworze (Wang i Wang, 2000). Przytoczona obserwacja znajduje potwierdzenie w wartościach współczynnika konsystencji emulsji.



Rys. 1. Krzywe lepkości modelowych emulsji typu o/w stabilizowanych roztworem maltodekstryny ziemniaczanej o DE 6 w różnych stężeniach

Fig. 1. The viscosity curves of the model emulsion o/w stabilized with potato maltodextrin of DE 6 at various concentrations

W tabeli 1 przedstawiono parametry modelu potęgowego opisującego krzywe lepkości modelowych układów emulsyjnych z dodatkiem maltodekstryn ziemniaczanych o różnych stopniu scukrzenia oraz w różnych stężeniach. Wysokie wartości współczynnika dopasowania R^2 wskazują, że zastosowany model dobrze opisuje przepływ badanych emulsji w zastosowanym zakresie szybkości ścinania. Wartość wskaźnika płynięcia (n) (tab. 1) wszystkich analizowanych układów emulsyjnych były mniejsze od jedności co wskazuje na przepływ nienewtonowski rozrzedzany ścinaniem. Wartość omawianego parametru wzrastała w miarę wzrostu stopnia scukrzenia maltodekstryn stosowanych do stabilizacji układu. Wartość współczynnika konsystencji (K) będącego miarą początkowej lepkości układu w przypadku emulsji na bazie roztworów maltodekstryn o DE 6 wzrastała w miarę wzrostu stężenia hydrokoloidu w układzie w zakresie od 14,92 do 581,16 $P \cdot s^n$, przy czym najwyższą wartość wykazała przy stężeniu maltodekstryny na poziomie 50%. Niemniej jednak pomiędzy wartości współczynników konsystencji emulsji stabilizowanych roztworami maltodekstryn o DE 6 i stężeniu 30%, DE 11 i stężeniu 60% oraz DE 16 oraz stężeniu 70% nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic (tab. 1). Wynika z tego, że maltodekstryny o niższym stopniu scukrzenia przy niskim stężeniu wykazują wysoką lepkość porównywalną z lepkością maltodekstryn o wyższym stopniu scukrzenia oraz dwukrotnie wyższym stężeniu w emulsji.

Tabela 1

Średnia wartość parametrów modelu potęgowego zastosowanego do opisu krzywych lepkości modelowych emulsji typu o/w stabilizowanych roztworem maltodekstryny ziemniaczanych o różnym scukrzeniu DE oraz stężeniu

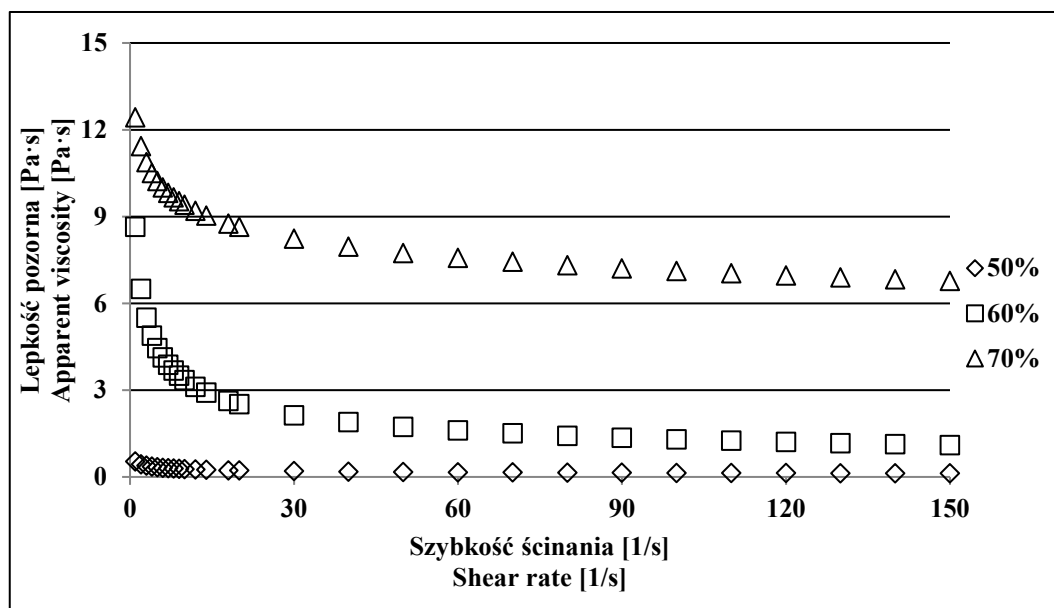
The average value of the power model parameters used to describe a viscosity curve model o/w emulsion stabilized with potato maltodextrin solution at different saccharification DE and concentration

Stężenie roztworu maltodekstryny w emulsji Maltodextrin solution concentration in the emulsion	K [Pa·s ⁿ]	n	R ²
DE 6			
30%	14,92±1,06 ^{bc}	0,30±0,01 ^c	0,96
40%	97,52±2,34 ^d	0,21±0,01 ^b	0,99
50%	581,16±12,69 ^c	0,17±0,02 ^a	0,94
DE 11			
50%	0,61±0,04 ^a	0,77±0,03 ^c	0,97
60%	15,24±0,80 ^{bc}	0,53±0,04 ^d	0,97
70%	19,11±0,62 ^c	0,87±0,02 ^f	0,95
DE 16			
50%	0,44±0,06 ^a	0,75±0,03 ^h	0,96
60%	10,26±0,18 ^b	0,55±0,01 ^g	0,95
70%	12,50±0,57 ^{bc}	0,88±0,02 ⁱ	0,96

± Odchylenie standardowe — Standard deviation

Wartości opatrzone tymi samymi w literami w kolumnach nie różniły się istotnie w odniesieniu do każdego ze stężeń oddzielnie przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$

Values marked with the same letters were not significantly different from each other within columns but for each of the concentrations separately, at a significance level $\alpha = 0.05$

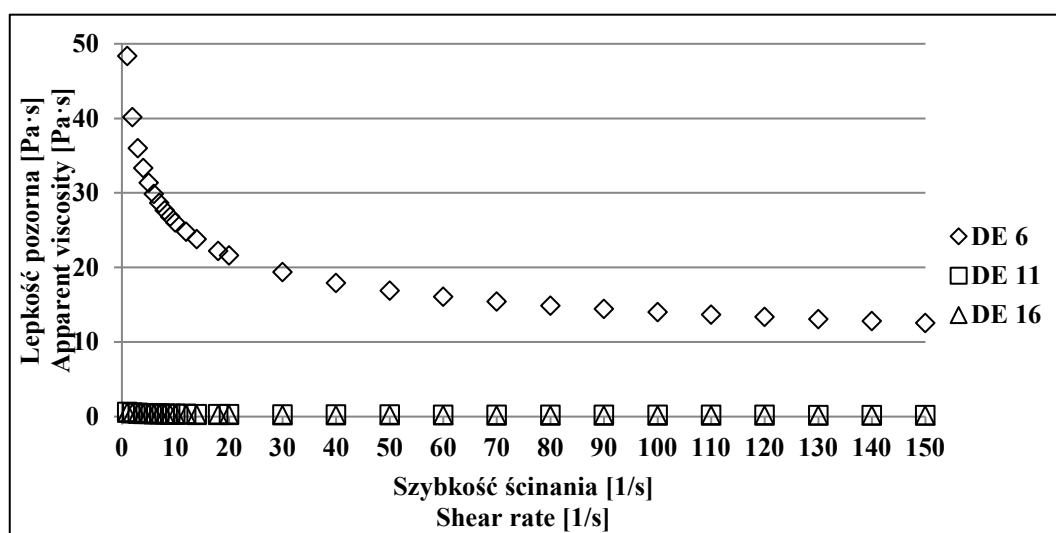


Rys. 2. Krzywe lepkości modelowych emulsji typu o/w stabilizowanych roztworem maltodekstryny ziemniaczanej o DE 16 w różnych stężeniach

Fig. 2. The viscosity curves of the model emulsion stabilized with potato maltodextrin with a DE of 16 at various concentrations

W przypadku emulsji na bazie roztworów maltodekstryn ziemniaczanych o stopniu scukrzenia DE 16 w zakresie 50–70% (rys. 2) stwierdzono wzrost lepkości układu dyspersyjnego w miarę wzrostu stężenia hydrokoloidu. Przy czym wyraźny wzrost lepkości pozornej przy wysokich wartościach ścinania nastąpił dopiero przy stężeniu maltodekstryny rzędu 70%. Prawdopodobnie wynika to z dużego nagromadzenia krótkołańcuchowych jednostek glukozowych utrudniających przepływ przy tym stężeniu. Jednak na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej nie stwierdzono różnic pomiędzy wartościami współczynników konsystencji emulsji stabilizowanych roztworami maltodekstryn o stężeniach 60–70% i stopniu scukrzenia DE 11 oraz 16.

Na rysunku 3 przedstawiono krzywe lepkości modelowych emulsji, w których fazę ciągłą stanowiły roztwory laboratoryjnych maltodekstryn ziemniaczanych o równoważniku glukozowych DE 6, 11 oraz 16 przy stężeniu 50%. Na podstawie przebiegu krzywych płynięcia zaobserwowano spadek lepkości pozornej układu w miarę wzrostu stopnia scukrzenia maltodekstryny zastosowanej jako czynnik zagęszczający fazę ciągłą emulsji. Jest to związane z lepkością maltodekstryn, która jak podają Dokic i inni (1998) maleje w miarę wzrostu stopnia scukrzenia hydrolizatu.



Rys. 3. Krzywe lepkości modelowych emulsji typu o/w stabilizowanych roztworem maltodekstryny ziemniaczanej o różnych wartościach stopnia scukrzenia przy stężeniu 50%

Fig. 3. The viscosity curves of the model emulsion o/w stabilized with potato maltodextrin of varying saccharification at a concentration of 50%

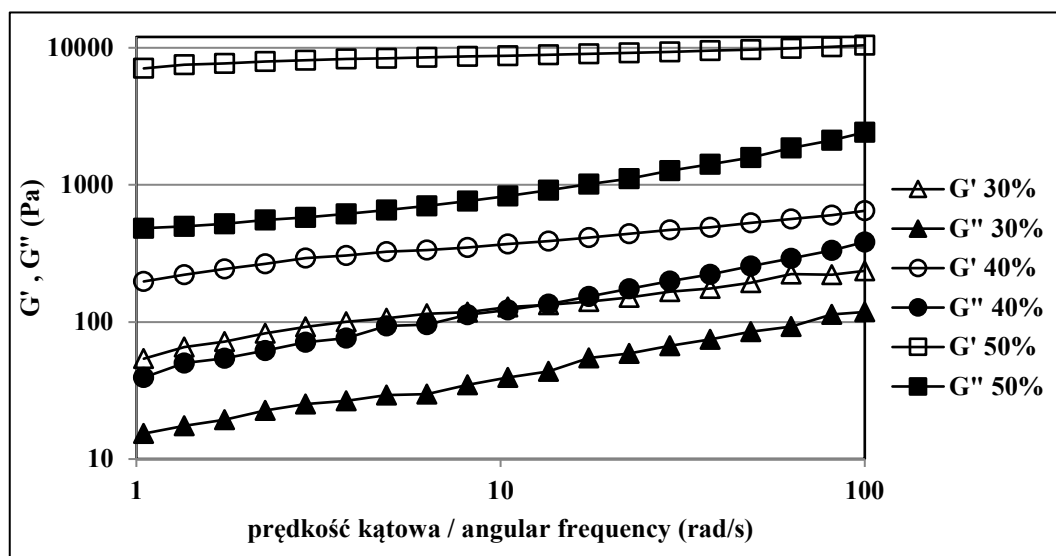
Właściwość, ta związana jest ze spadkiem zawartości procentowej frakcji wysoko-cząsteczkowych w miarę postępu hydrolizy enzymatycznej skrobi. Potwierdza to wartość współczynnika konsystencji modelowych emulsji typu o/w, która zmniejszała się w miarę wzrostu wartości równoważnika glukozowego DE maltodekstryn stosowanych jako stabilizator. Dokonując analizy porównawczej wartości współczynników konsystencji emulsji na bazie roztworów maltodekstryn o stężeniu 50% oraz stopniu scukrzenia

odpowiednio DE 6, 11 lub 16 należy zauważyć, że wartość omawianego parametru malała w miarę wzrostu stopnia scukrzenia hydrolizatu (tab. 1). Przy czym emulsje o omawianym stężeniu maltodekstryny, o stopniu scukrzenia DE 11 oraz 16 miały zbliżone wartości współczynników K, nie różniące się istotnie statystycznie. Wynika stąd, że stopień scukrzenia maltodekstryn wyrażony w postaci równoważnika glukozowego (DE) wpływała istotnie na właściwości reologiczne układów emulsyjnych.

Wpływ stopnia scukrzenia maltodekstryn i ich stężenia na stabilność oraz właściwości reologiczne badał również Udomrati i in. (2013). Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzili oni, że emulsje typu o/w na bazie roztworów maltodekstryny tapiokowej charakteryzują się niższymi wartościami współczynnika konsystencji przy niskich wartościach równoważnika glukozowego (DE) hydrolizatów. Analogicznie wartość współczynnika konsystencji wzrasta w miarę wzrostu stężenia roztworu maltodekstryny w układzie. Zdaniem cytowanych autorów tego typu zależność wynika z obecności w hydrolizatach o niskim stopniu scukrzenia długocząsteczkowych frakcji cząsteczek glukozy wpływających na powstawanie oporu podczas przepływu. Dokic-Baucal i in. (2004) zauważyli, że właściwości reologiczne emulsji na bazie handlowych preparatów maltodekstryn silnie determinowane są ich lepkością. Lepkość oraz związana z nią wartość naprężenia ścinającego wzrastały w miarę obniżania wartości DE maltodekstryn lub zwiększania ich procentowego udziału w roztworze tworzącym fazę ciągłą. W zakresie zastosowania tych samych stężeń hydrokoloidów w fazie ciągłej układu stwierdzono istotnie statystyczny spadek wartości współczynnika konsystencji w miarę wzrostu wartości równoważnika glukozowego maltodekstryn (tab. 1). Podobnie w przypadku emulsji na bazie roztworów maltodekstryn o stężeniu 50 % zaobserwowano spadek wartości współczynnika konsystencji wraz ze wzrostem wartości równoważnika glukozowego opisującego stopień scukrzenia hydrolizatu. Prawdopodobnie jest to związane z właściwościami reologicznymi roztworu maltodekstryn jako czynnika budującego fazę ciągłą układu dyspersyjnego. Maltodekstryny ze względu na brak istotnych właściwości powierzchniowo czynnych pełnią w emulsjach typu o/w jedynie rolę czynnika zwiększającego lepkości fazy ciągłej układu przez co wpływają na jego lepkości oraz właściwości lepkością. Jak podaje Dokic-Baucal (1998) lepkości roztworów maltodekstryn maleje w miarę wzrostu stopnia scukrzenia DE hydrolizatów. Jest to związane z wyższym procentowym udziałem frakcji wysokocząsteczkowych w przypadku hydrolizatów o niskim stopniu scukrzenia.

Właściwości sprężyste materiału są funkcją występowania struktur zdolnych do częściowego magazynowania dostarczonej energii, która po usunięciu zadanego naprężenia jest odzyskiwana. Jednak w praktyce część dostarczanej energii jest również rozpraszana i po usunięciu naprężenia jest tracona. Stąd rzeczywiste materiały wykazują właściwości lepkością. Wielkościami charakteryzującymi udział cech sprężystych i lepkich są: moduł zachowawczy (G') reprezentujący tę część energii, która jest magazynowana oraz moduł stratności (G'') odpowiadający tej części energii, która jest zużytkowana na przepływ lepki (Singh i in., 2001). Na rysunku 4 przedstawiono spektra mechaniczne badanych emulsji z dodatkiem maltodekstryn ziemniaczanych jako stabilizatorów. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono istotny wpływ

stężenia maltodekstryny na właściwości lepkosprężyste modelowych emulsji typu o/w na ich bazie. W przypadku emulsji na bazie laboratoryjnej maltodekstryny ziemniaczanej o stopniu scukrzenia DE 6 zaobserwowano wyraźny wpływ stężenia zastosowanego hydrokoloidu na wartość modułów sprężystego oraz lepkiego (rys. 4) przy czym niezależnie od zastosowanego stężenia hydrokoloidu stwierdzono przewagę cech sprężystych nad cechami lepkiem o czym świadczą wartości parametru G' oraz G'' . Niemniej jednak najwyższe wartości modułu sprężystego oraz lepkiego wykazała emulsja z dodatkiem roztworu maltodekstryny o stężeniu 50 %. Jednocześnie wartość modułu sprężystości G' nie zależała od zastosowanej częstotliwości oscylacji.

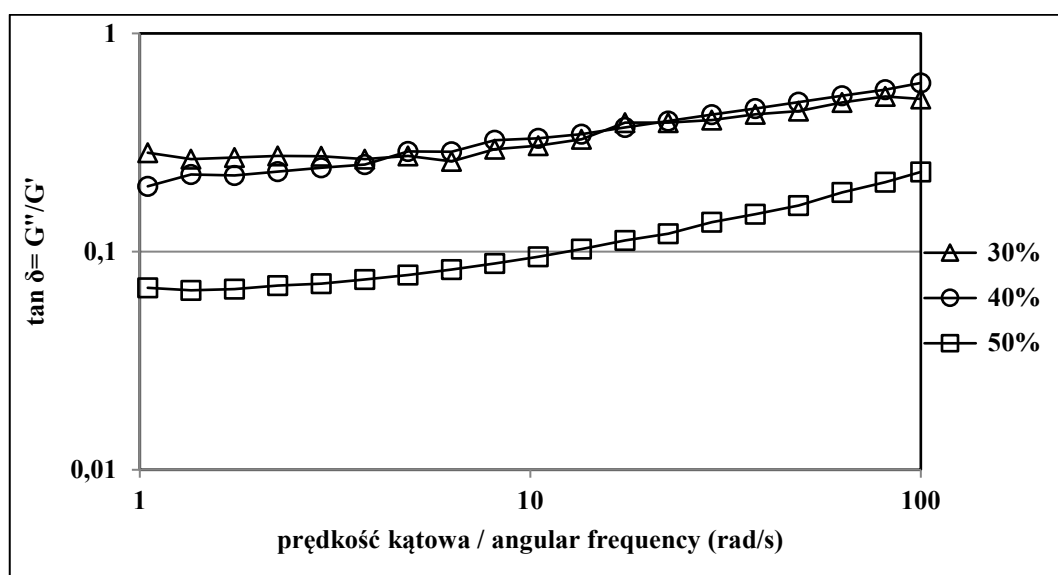


Rys. 4. Mechaniczne spektra modelowych emulsji stabilizowanych maltodekstrynami ziemniaczanymi o DE 6 w różnych stężeniach

Fig. 4. Mechanical spectra of model emulsion stabilized with potato maltodextrins DE 6 at various concentrations

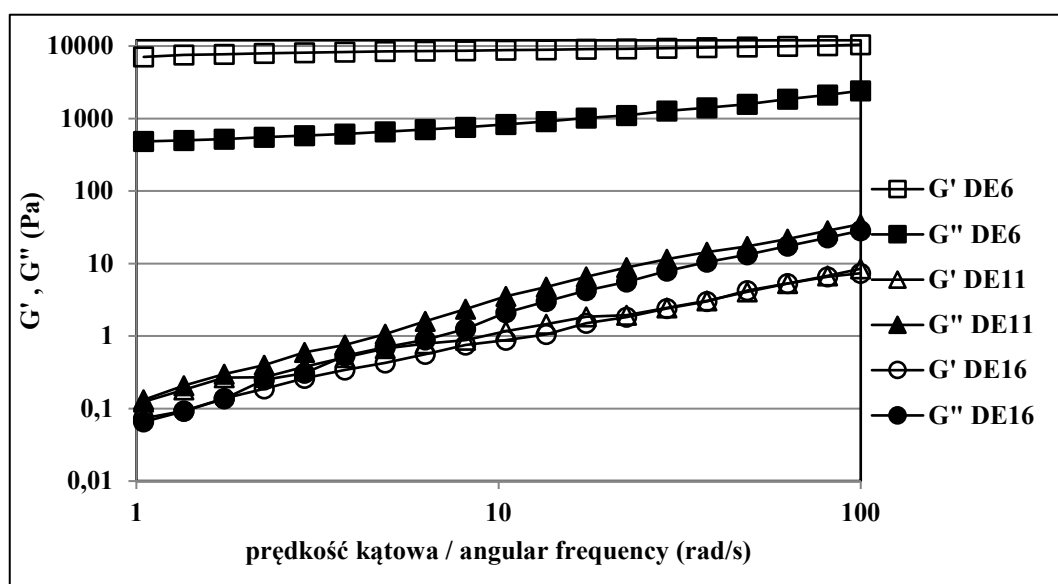
Stosunek energii utraconej do zmagazynowanej w każdym cyklu jest opisany jako $\tan \delta$, który informuje o fizycznym zachowaniu się układu (Singh i in., 2001). Na rysunku 5 przedstawiono wartości tangensa kąta przesunięcia fazowego emulsji na bazie maltodekstryny o DE 6. Istotna zależność wartości modułów od prędkości kątowej oraz wartości tangensa kąta przesunięcia fazowego ($\tan \delta = G''/G'$) wskazują, że badana emulsja stabilizowana maltodekstryną o DE 6 oraz stężeniu 50% miała charakter mocnego żelu (rys. 5). Jednocześnie emulsje z dodatkiem roztworu maltodekstryny o stężeniu 30 % oraz 40 % zachowywały się jak słabe żele.

W przypadku emulsji na bazie maltodekstryny ziemniaczanej o różnym stopniu scukrzenia odpowiednio DE 6, 11 oraz 16 przy stężeniu rzędu 50 % stwierdzono wzrost wartości modułów zachowawczego oraz stratności w miarę spadku wartości DE świadczącego o stopniu scukrzenia hydrolizatu (rys. 6).



Rys. 5. Wartości kąta przesunięcia fazowego δ w zależności od prędkości kątowej dla emulsji stabilizowanych maltodekstrynami o DE 6

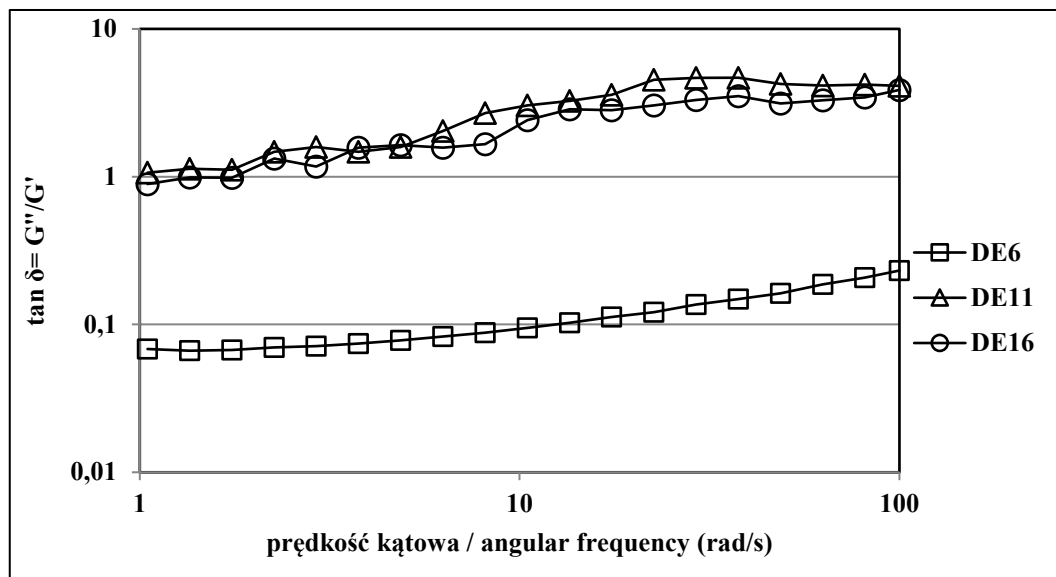
Fig.5. $\tan \delta$ dependence on angular frequency of emulsion stabilized with maltodextrins with DE 6



Rys. 6. Mechaniczne spektra modelowych emulsji stabilizowanych maltodekstrynami ziemniaczanymi o różnym stopniu scukrzenia przy stężeniu 50%

Fig. 6. Mechanical spectra of model emulsion stabilized with potato maltodextrins at various degree of saccharification and 50% concentration

Niemniej jednak przy tym samym stężeniu hydrokoloidu emulsja na bazie maltodekstryny o DE 6 charakteryzowała się najwyższymi wartościami modułów G' oraz G'' z wyraźną przewagą cech sprężystych. Jak wynika z wartości tangensa kąta przesunięcia fazowego omawiana emulsja z dodatkiem maltodekstryny o wartości DE 6 wykazała właściwości charakterystyczne dla mocnego żelu (rys. 7). Emulsje z dodatkiem hydrolizatu o DE 11 oraz 16 charakteryzowały się właściwościami typowymi dla dyspersji ($\tan \delta > 1$).



Rys. 7. Wartości kąta przesunięcia fazowego δ w zależności od prędkości kątowej dla emulsji stabilizowanej maltodekstrynami o różnym DE i stężeniu 50%

Fig. 7. $\tan \delta$ dependence on angular frequency of emulsion stabilized with maltodextrins with various DE and 50% concentration

WNIOSKI

1. Stopień scukrzenia oraz stężenie laboratoryjnych maltodekstryn ziemniaczanych wpłynęły na właściwości reologiczne sporządzonych na ich bazie emulsji typu o/w.
2. Lepkość pozorna układów wzrastała w miarę spadku stopnia scukrzenia maltodekstryn zastosowanych jak składnik fazy wodnej.
3. W obrębie tego samego stopnia scukrzenia zwiększanie stężenia maltodekstryny w fazie wodnej emulsji skutkowało wzrostem jej lepkości pozornej.
4. Emulsje z dodatkiem maltodekstryn o DE 6, 11, 16 w stężeniu 50 % charakteryzowały się właściwościami sprężystolepkimi.
5. Emulsja na bazie maltodekstryny o stopniu scukrzenia DE 6 wykazała cechy charakterystyczne dla mocnego żelu.

LITERATURA

- Dokic P., Jakovljevic J., Dokic-Baucal L. 1998. Molecular characteristics of maltodextrins and rheological behaviour of diluted and concentrated solutions. *Colloid. Surface A* 141: 435 — 440.
- Dokic-Baucal L., Dokic P., Jakovljevic J. 2004. Influence of different maltodextrins on properties of O/W emulsions. *Food Hydrocolloid.* 18: 233 — 239.
- Klinkesorn U., Sophanodora P., Chinachoti P., McClements D. J. 2004. Stability and rheology of corn oil-in-water emulsion containing maltodextrin. *Food Res. Int.*, 37: 851 — 859.
- Lewandowicz G., Prochaska K., Grajek W., Krzyżaniak W., Majchrzak A., Ciapa T. 2005. Właściwości użytkowe maltodekstryn w układach emulsyjnych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 1 (42): 35 — 47.
- Przetaczek-Rożnowska I., Fortuna T. 2010. Wpływ ogrzewania mikrofalowego na zmianę wybranych właściwości maltodekstryn ziemniaczanych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 2 (69): 111 — 131.
- Pycia K., Juszczak L., Gałkowska D., Witczak M. 2012. Physicochemical properties of starches obtained from Polish potato cultivars. *Starch/Stärke* 64: 105 — 114.
- Singh J., Singh N. 2001. Studies on the morphological, thermal and rheological properties of starch separated from some Indiana potato cultivars. *Food Chem.* 75: 67 — 77.
- Tur W., Szczepanik E., Krzyżaniak W., Białas W., Grajek W. 2004. Charakterystyka maltodekstryn otrzymanych ze skrobi ziemniaczanej przy użyciu preparatów amylolitycznych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 4 (41): 79 — 94.
- Udomrati S., Ikeda S., Gohtani S. 2013. Rheological properties and stability of oil in-water emulsions containing tapioca maltodextrin in the aqueous phase. *J. Food Engin.* 116: 170 — 175.
- Wang Y. J., Wang L. 2000. Structures and properties of commercial maltodextrins from corn, potato and rice starches. *Starch/Stärke* 52: 296 — 304.

DARIUSZ GOZDOWSKI¹**DANUTA MARTYNIAK**²**IZABELA LIPSKA**²¹ Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Katedra Doświadczalnictwa i Bioinformatyki² Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Radzików, Pracownia Traw Pozapaszowych i Roślin Energetycznych

Ocena zróżnicowania wybranych cech odmian gazonowych kostrzewy czerwonej i wiechliny łąkowej

Evaluation of selected traits diversity in turf grass cultivars of red fescue and Kentucky bluegrass

Dane doświadczalne pozyskano z doświadczenia polowego przeprowadzonego w latach 2009–2010 w IHAR Radzików. Celem doświadczenia była wielo cechowa ocena 7 rodów i odmian kostrzewy czerwonej i 5 wiechliny łąkowej pod względem wybranych cech użytkowych ważnych w produkcji nasiennej. Wykonane wielowymiarowe analizy statystyczne, hierarchiczna analiza skupień oraz analiza składowych głównych (PCA), pozwoliły wydzielić i scharakteryzować grupy rodów i odmian podobnych pod względem badanych cech. Cechami w bardzo dużym stopniu wpływającymi na wielo cechowe zróżnicowanie badanych genotypów były cechy skorelowane z pierwszą składową główną, tj. zadarnieniem i porażeniem przez helmintosporiozę. Były to cechy silnie skorelowane z aspektem ogólnym wyglądu trawnika.

Słowa kluczowe: analiza wielo cechowa, kostrzewa czerwona, trawnik, wiechlina łąkowa

Experimental data were obtained in the field experiment conducted in years 2009–2010 in IHAR Radzików. The aim of this study was a multivariate evaluation of 7 advanced lines and cultivars of *Festuca rubra* and 5 of *Poa pratensis* according to traits important in seed production. On the basis of multivariate analyses, i.e. hierarchical cluster analysis and principal component analysis (PCA) groups of genotypes were distinguished and characterized. The traits which had the biggest influence on multivariate diversity of tested examined genotypes were the ones correlated with the first principal component which was sodding and resistance to helmintosporiose. These traits were strongly correlated with aspect of the lawn general appearance.

Key words: *Festuca rubra*, multivariate analysis, *Poa pratensis*, turf

WSTĘP

Kostrzewa czerwona i wiechlina łąkowa są podstawowymi gatunkami traw służących do zadarniania terenów zieleni (trawniki sportowe i dekoracyjne) oraz terenów o trudnych warunkach siedliskowych (Rutkowska i Hempel, 1986; Martyniak, 2005; Martyniak i Prończuk, 2003; Żurek i in., 2001). Z dotychczas wyhodowanych i zarejestrowanych odmian tylko niektóre wartością swą dorównują odmianom światowym. Wielocechowa ocena odmian traw nie jest problemem całkiem nowym. Najpierw pojawił się on w trawach pastewnych, wraz z doskonaleniem metod oceny gospodarczej. Podobne próby podejmowano później w przypadku traw gazonowych, które pierwotnie oceniano na podstawie poszczególnych cech biologicznych i użytkowych (Żyłka i in., 2001; Martyniak, 2001). Jednak tu problem okazał się jeszcze trudniejszy, ponieważ wartość użytkowa odmiany, jest oparta na wielocephowej ocenie. Prawie wszystkie właściwości nie są mierzalne, lecz oceniane na podstawie obserwacji subiektywnej doświadczalnika. Porównawczej ocenie, w skali dziewięciostopniowej, służą jednak odpowiednie metodyki badań (Domański i Martyniak, 1979; Domański, 1994; Prończuk, 1993). Urzędowa ocena odmian, stosowana przez hodowców, pozostała, więc nadal wielocephową, ze szczególnym uwzględnieniem oceny ogólnego aspektu estetycznego. Podobną sytuację obserwuje się także w innych krajach. Uwzględniają one różny stopień preferencji cech użytkowych odmian (Campbell, 1987; Versteeg, 1996; Martyniak i Prończuk, 2003). Problemowi skuteczności badań i właściwej oceny wartości traw poświęca się dziś w Europie więcej uwagi, a stosowane metody badań i kryteria są stale ulepszone.

Kompleksowa ocena genotypów i odmian, powinna zatem uwzględniać możliwie dużą liczbę cech, a zwłaszcza te, które w największym stopniu decydują o ich wartości gazonowej (Żyłka, 2001; Prończuk, 1993, 2003; Prończuk i in., 1997).

Jednoczesne uwzględnienie w analizie wielu cech wymaga zastosowania statystycznych metod wielowymiarowych, które pozwalają na pogrupowanie i scharakteryzowanie genotypów oraz wskazanie, które z nich są najbardziej wartościowe pod względem wielu cech użytkowych (Ukalska i in., 2007; Bocianowski i Rybiński, 2008). Metody takie pozwalają na wydzielenie grup genotypów podobnych wielocephowo oraz wskazanie grup, które mogą stanowić wartościowy materiał hodowlany. Często w celu wydzielenia grup genotypów i ich scharakteryzowania wykorzystywane są jednocześnie analiza składowych głównych (PCA) oraz analiza skupień (Veronesi i Falcinelli, 1988; Charmet i in., 1994).

Celem podjętych badań była ocena wielocephowego zróżnicowania wybranych odmian kostrzewy czerwonej i wiechliny łąkowej. Ponadto w pracy podjęto próbę ustalenia współzależności wybranych cech użytkowych z ogólnym aspektem wyglądu trawnika. Przeprowadzono w tym celu wielowymiarowe analizy statystyczne na danych pochodzących z doświadczenia przeprowadzonego w latach 2009–2010. Badanymi obiektami było 7 genotypów kostrzewy czerwonej i 5 wiechliny łąkowej.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie przeprowadzono w latach 2009–2010. Badanymi obiektami było 7 genotypów (odmian lub rodów) kustrzewy czerwonej i 5 wiechliny łąkowej. Założono z nimi 3-letnie doświadczenia polowe trawnikowe, w 3 powtórzeniach, w układzie losowanych bloków. Wielkość poletek wynosiła 1 m². Doświadczenia te prowadzono według metodyki badań COBORU (Domański i Martyniak, 1979), a ocenę cech użytkowych wykonano według metodyki IHAR (Prończuk, 1993) i COBORU (Domański, 1992). Oceniano 11 cech związanych z wyglądem trawnika oraz odpornością roślin na choroby. Badane cechy były oceniane w skali 9-stopniowej (od 1— zły do 9 stan najbardziej korzystny, pożądany). Poszczególne cechy oraz ich skrócone nazwy znajdują się w tabeli 1.

Tabela 1

Analizowane cechy trawnika oraz ich skrócone nazwy
Analyzed traits of turf and their abbreviations

Nazwa skrócona cechy	Pełna nazwa
OAw	Ogólny estetyczny aspekt wiosną — General aesthetic aspect in spring
OAl	Ogólny estetyczny aspekt latem — General aesthetic aspect in summer
OAJ	Ogólny estetyczny aspekt jesienią — latem — General aesthetic aspect in autumn
ZAw	Zadarnienie wiosną — Compactness in spring
ZAl	Zadarnienie latem — Compactness in summer
ZAJ	Zadarnienie jesienią — Compactness in autumn
DL	Smukłość liścia — Leaf fineness
K	Kolor liścia — Colour of leaves
PSw	Pleśń śniegowa wiosną — <i>Fusarium nivale</i> in spring
HL	Helminthosporioza — Helminthosporiose
R	Rdza — Rust

Zebrane dane poddano analizom statystycznym. Obliczono podstawowe parametry statystyczne charakteryzujące przeciętne wartości oraz zmienność cech. Przeprowadzono dwuczynnikową analizę wariancji i porównania wielokrotne średnich procedurą Tukeya przy poziomie istotności 0,05. W celu określenia związków między cechami wykonano analizę korelacji. Przeprowadzono również analizy wielowymiarowe dla wielocechowego sklasyfikowania badanych obiektów (genotypów), tj. analizę składowych głównych (PCA) oraz analizę skupień. PCA miała na celu wielocechowe scharakteryzowanie badanych genotypów, jak również powiązań między badanymi cechami. Wyniki PCA zostały przedstawione w formie graficznej, przy wykorzystaniu dwóch pierwszych składowych głównych (PC1 i PC2). Analiza skupień została przeprowadzona z wykorzystaniem odległości euklidesowej jako miary podobieństwa obiektów. Procedurę aglomeracji obiektów przeprowadzono metodą Warda. Przeprowadzono również wielowymiarową analizę wariancji (MANOVA), dla oceny istotności wielowymiarowego różnicowania genotypów zastosowano test Wilksa. Analizy przeprowadzono z użyciem programów Statistica 10 oraz Statgraphics 4.1.

WYNIKI BADAŃ

Na podstawie zebranych danych obliczono podstawowe parametry statystyczne charakteryzujące pulę badanych genotypów z podziałem na gatunki, tj. oddzielnie dla kostrzewy czerwonej i wiechliny łąkowej (tab. 2).

Tabela 2

Wartości średnie i parametry zmienności badanych cech z podziałem na gatunki traw
Means, parameters of variability of examined traits for species of grasses

Cecha *	Średnia	Minimum	Maksimum	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności
Trait *	Mean	Min.	Max.	Standard deviation	Coefficient of variation (%)
Kostrzewa czerwona Red fescue					
OAw	7,43	6,0	8,0	0,55	7,37
OAl	7,57	6,0	9,0	0,67	8,82
OAJ	8,02	7,0	9,0	0,75	9,33
ZA _w	7,90	7,0	9,0	0,58	7,29
ZA _l	8,07	7,0	9,0	0,64	7,93
ZA _j	8,07	7,0	9,0	0,56	6,92
DL	7,57	5,0	9,0	1,02	13,41
K	3,71	2,0	5,0	1,17	31,63
PŚ	7,86	7,0	9,0	0,52	6,64
HL	7,90	7,0	9,0	0,69	8,75
R	8,17	6,0	9,0	0,79	9,72
Wiechlina łąkowa Kentucky bluegrass					
OAw	7,57	6,0	9,0	0,68	8,97
OAl	7,53	6,0	9,0	0,73	9,69
OAJ	7,83	7,0	9,0	0,59	7,56
ZA _w	7,90	7,0	9,0	0,80	10,16
ZA _l	8,10	7,0	9,0	0,76	9,37
ZA _j	8,00	7,0	9,0	0,69	8,69
DL	5,10	4,0	6,0	0,84	16,57
K	6,70	6,0	7,0	0,47	6,96
PŚ	7,20	6,0	8,0	0,66	9,23
HL	7,53	6,0	9,0	0,90	11,94
R	6,83	6,0	8,0	0,70	10,23

* ocena w skali od 1–9 (bardzo dobra)

* In scale 1–9 (9 the best)

Na podstawie przedstawionych w tabeli 2 parametrów statystycznych możemy stwierdzić, że dość małą zmiennością charakteryzowały się takie cechy jak ogólny aspekt estetyczny oraz zadarnienie trawnika. Współczynniki zmienności tych cech, niezależnie od pory roku oraz gatunku wahały się od około 7 do około 10%. Cechą o dużej zmienności obu badanych gatunków była smukłość liścia, przy czym nieco mniejszą zmienność tych cech stwierdzono u kostrzewy czerwonej (współczynnik zmienności wynosił 13,4%) niż u wiechliny łąkowej (16,6%). Bardzo dużą zmiennością, ale tylko w przypadku kostrzewy czerwonej, charakteryzował się kolor (zabarwienie). Współczynnik zmienności dla tego gatunku wynosił 31,6% i był kilkakrotnie większy niż w przypadku wiechliny łąkowej. Wynikało to z dużej zmienności koloru genotypów kostrzewy czerwonej, ale również z stosunkowo niskiej oceny punktowej tego gatunku w porównaniu z wiechliną łąkową.

W celu porównania średnich badanych cech między poszczególnymi genotypami, przeprowadzono dla każdej cechy analizę wariancji i porównania wielokrotne średnich procedurą Tukeya (tab. 3).

Tabela 3

Wartości średnie ocenianych cech dla poszczególnych genotypów oraz wartości NIR na podstawie procedury Tukeya dla porównania średnich między genotypami
Means of examined traits for particular genotypes and values of Tukey HSD for comparison of means between genotypes

Ród — Genotype Odmiana — Cultivar	OAw	OAl	OAJ	ZAw	ZAl	ZAJ	DL	K	PŚ	HL	R
NIB 2406 (K)	7,67	8,00	8,33	8,17	8,33	8,17	7,17	3,00	7,50	8,33	8,00
NIB 245 (K)	7,50	7,50	7,50	7,83	7,67	8,00	9,00	3,00	8,17	7,50	8,33
833×24 p. (K)	7,33	6,83	7,33	7,67	7,50	7,67	8,00	5,00	8,00	7,83	8,50
833 × 24 w. (K)	7,33	7,33	8,00	8,17	8,00	7,83	7,17	3,00	8,00	7,67	8,33
24× Barcrown (K)	7,83	8,00	8,83	8,00	8,83	8,83	8,00	5,00	8,33	8,50	8,50
Nimba (K)	7,17	8,00	8,50	8,00	8,17	8,17	8,00	5,00	7,83	8,50	7,83
Areta (K)	7,17	7,33	7,67	7,50	8,00	7,83	5,67	2,00	7,17	7,00	7,67
20z/05 (W)	7,33	7,17	7,83	7,67	7,50	8,00	4,17	6,00	7,33	7,33	6,33
NIB 253 (W)	7,67	8,17	8,00	8,17	8,67	8,33	4,33	7,00	7,00	8,33	6,67
NIB 240 (W)	7,17	7,17	7,50	7,50	7,83	7,50	5,00	7,00	7,17	6,33	6,50
6/85 (W)	8,17	7,67	7,83	8,17	8,50	8,17	6,00	7,00	7,00	7,33	7,00
Bila (W)	7,50	7,50	8,00	8,00	8,00	8,00	6,00	6,50	7,50	8,33	7,67
NIR — LSD	1,11	1,08*	1,10*	1,28	1,17*	1,04*	0,51*	0,01*	1,11*	1,07*	1,32

* - Oznacza występowanie co najmniej jednej statystycznie istotnej różnicy między genotypami

* - Indicate occurrence of at least one statistically significant difference between genotypes

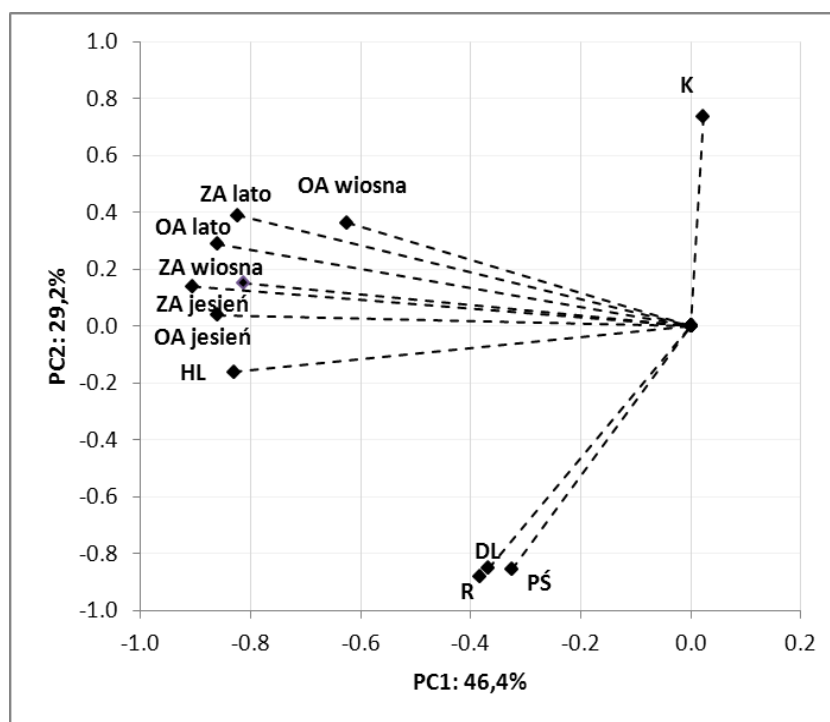
Dla większości badanych cech stwierdzono co najmniej jedną statystycznie istotną różnicę między porównywanymi genotypami. Jedynie dla ogólnego aspektu oraz zadarnienia ocenianego wiosną oraz dla porażenia rdzą nie stwierdzono zróżnicowania między genotypami. Największe różnice między genotypami stwierdzono pod względem koloru (barwy), stwierdzono bardzo duże różnice między gatunkami, jak również w obrębie gatunku między poszczególnymi genotypami. Bardzo dużo statystycznie istotnych różnic stwierdzono również pod względem smukłości liści, znacznie wyższą smukłością liści charakteryzowały się wszystkie genotypy kostrzewy czerwonej za wyjątkiem odmiany Areta. W przypadku wiechliny łąkowej największą smukłością liści charakteryzowały się ród 6/85 i odmiana Bila. Średnie pozostałych cech były znacznie mniej zróżnicowane między badanymi genotypami, zaobserwowano jednak dość duże zróżnicowanie odporności na helminosporiozę między genotypami wiechliny łąkowej, w przypadku genotypów kostrzewy czerwonej różnice były niewielkie. Na podstawie wielowymiarowej analizy wariancji stwierdzono statystycznie istotne wielocechowe zróżnicowanie genotypów ($P < 0,05$).

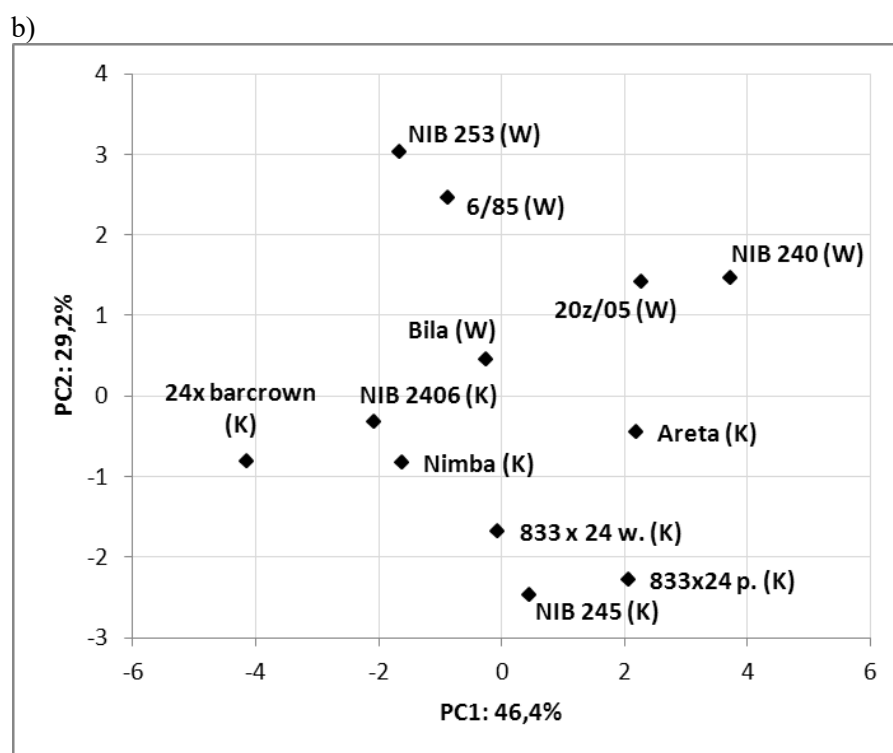
Na podstawie współczynników korelacji (tab. 4) oraz wyników analizy składowych głównych (rys. 1a) stwierdzono wzajemne skorelowanie aspektu ogólnego i zadarnienia we wszystkich pomiarach (porach roku). Aspekt ogólny i zadarnienie nie były skorelowane z pozostałymi cechami, za wyjątkiem dodatniej zależności odporności na helminosporiozę. Wyższą odporność na tego patogena stwierdzono przy lepszym zadarnieniu wyglądzie estetycznym trawnika, zwłaszcza ocenianego jesienią. Stwierdzono

także dodatnią zależność pomiędzy odpornością roślin na rdzę i pleśń śniegową a smukłością liści. Ponadto z takimi cechami jak rdza, smukłość liści i pleśń śniegowa, wystąpiła ujemna korelacja z kolorem (zabarwieniem), co oznacza, że wyższa ocena dla zabarwienia jest powiązana z niższym porażeniem rdzą i pleśnią śniegową oraz niższą smukłością liści.

Na podstawie analizy składowych głównych (rys. 1 b) oraz analizy skupień (rys. 2) stwierdzono silne wielocechowe zróżnicowanie między ocenianymi gatunkami. W obrębie gatunków wydzielono również grupy genotypów podobnych. W przypadku wiechliny łąkowej podobnymi genotypami były Bila, 6/85 oraz NIB 253, które charakteryzowały się wyższą oceną zabarwienia, a jednocześnie niższym porażeniem przez choroby. Podobne do siebie pod względem wszystkich ocenianych cech były również NIB 240 i 20z/05, które charakteryzowały się dość niskim aspektem ogólnym i zadarnieniem. W przypadku genotypów kostrzewy czerwonej podobnymi genotypami do siebie były Nimba i 24× barcown, które charakteryzowały się wysokim aspektem ogólnym i zadarnieniem. Kolejną grupą odmian kostrzewy czerwonej były 833×24p oraz NIB 245, które charakteryzowały się dość wysokim porażeniem przez pleśń śniegową i rdzę oraz dużą smukłością liści.

a)





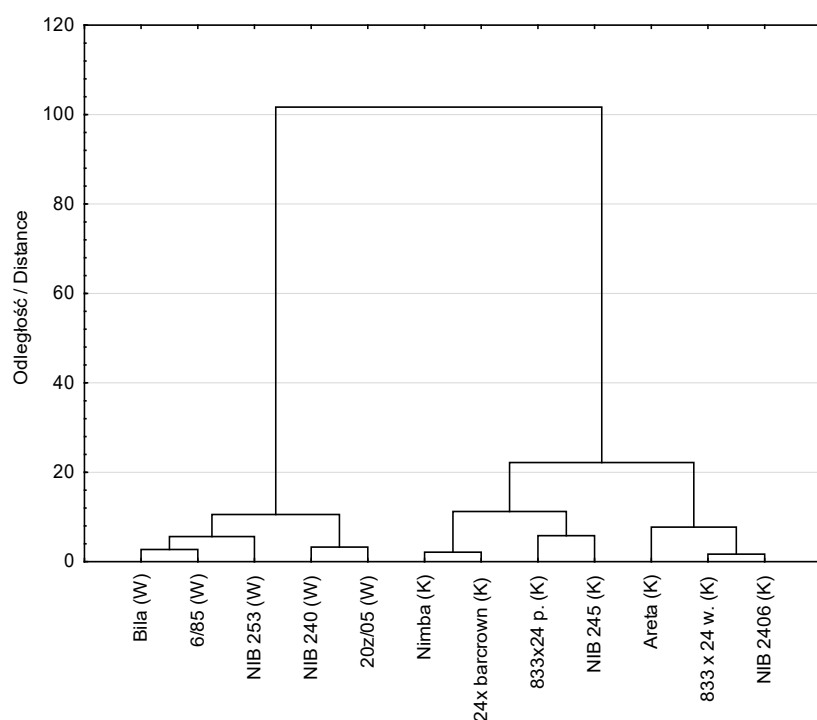
Rys. 1. Wyniki PCA przedstawiające powiązania między cechami (a) oraz wielocechowe zróżnicowanie genotypów (b)

Fig. 1. Results of PCA presenting relationships between the traits (a) and multivariate differences between genotypes (b)

Tabela 4

Macierz współczynników korelacji między poszczególnymi cechami
Matrix of correlation coefficients between examined traits

Cecha Traits	OAw	OAl	OAJ	ZA w	ZA l	ZA j	DL	K	PŚ	HL	R
OAw		0,32*	0,27*	0,67*	0,41*	0,44*	0,02	0,14	-0,05	0,14	-0,17
OAl	0,32*		0,48*	0,42*	0,44*	0,48*	0,03	0,02	-0,07	0,38*	-0,03
OAJ	0,27*	0,48*		0,26*	0,31*	0,44*	0,12	0,00	0,16	0,41*	0,05
ZA w	0,67*	0,42*	0,26*		0,44*	0,45*	0,06	0,01	0,07	0,22	0,01
ZA l	0,41*	0,44*	0,31*	0,44*		0,62*	-0,02	0,10	0,08	0,22	0,01
ZA j	0,44*	0,48*	0,44*	0,45*	0,62*		0,09	0,01	0,08	0,28*	0,00
DL	0,02	0,03	0,12	0,06	-0,02	0,09		-0,52*	0,56*	0,32*	0,70*
K	0,14	0,02	0,00	0,01	0,10	0,01	-0,52*		-0,29*	-0,02	-0,50*
PŚ	-0,05	-0,07	0,16	0,07	0,08	0,08	0,56*	-0,29*		0,33*	0,41*
HL	0,14	0,38*	0,41*	0,22	0,22	0,28*	0,32*	-0,02	0,33*		0,25*
R	-0,17	-0,03	0,05	0,01	0,01	0,00	0,70*	-0,50*	0,41*	0,25*	



Rys. 2. Dendrogram na podstawie analizy skupień przedstawiający podobieństwo wielocechowe badanych genotypów

Fig. 2. Dendrogram on the basis of cluster analysis presenting multivariate similarity of examined genotypes

DYSKUSJA

Na podstawie analizy skupień oraz analizy składowych głównych można stwierdzić, że cechami w bardzo dużym stopniu wpływającymi na wielocechowe zróżnicowanie badanych genotypów były ogólny aspekt, zadarnienie oraz stopień porażenia helmintosporiozą, cechy te były silnie skorelowane z pierwszą składową. Wszystkie te cechy były bardzo silnie ze sobą skorelowane i w dużym stopniu wpływały na wielocechowe zróżnicowanie genotypów.

Wydzielenie grup genotypów zróżnicowanych wielocechowo przy użyciu analizy skupień oraz ich syntetyczne scharakteryzowanie na podstawie położenia w układzie współrzędnych dwóch pierwszych składowych głównych znacznie ułatwia ich ocenę (Veronesi i Falcinelli, 1988; Charmet i in., 1994).

Podobnych badań nad wielocechową oceną genotypów traw gazonowych pod względem wybranych cech użytkowych dotychczas nie prowadzono. Badania nad wielocechowym zróżnicowaniem genotypów kostrzewy trzcinowej na podstawie markerów molekularnych były prowadzone przez Mian i in. (2005). Przy czym badania te

były ukierunkowane na ocenę podobieństwa pod względem genetycznym, a nie pod względem cech użytkowych.

Również podobne badania nad podobieństwem genetycznym, ale oceniające genotypy wiechliny łąkowej były prowadzone przez Johnson i in. (2002). W ocenie uwzględniono aż 228 genotypów wiechliny łąkowej pochodzących z 26 krajów. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że podobieństwo genetyczne pod względem ocenianych markerów molekularnych w dużym stopniu jest powiązane z podobieństwem pod względem cech agronomicznych. Ze względu na brak podobnych badań nad cechami związanymi z wartością gazonową odmian, trudno określić, czy również podobieństwo genetyczne pod względem markerów molekularnych świadczy o podobieństwie genotypów pod względem cech ważnych w ocenie traw gazonowych. Wymaga to dalszych badań, które mogłyby to potwierdzić.

WNIOSKI

1. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że badane gatunki najbardziej różnią się pod względem zabarwienia liści. Zróżnicowanie genotypów, zarówno między gatunkami, jak i w obrębie gatunków w odniesieniu do zadarnienia i aspektu ogólnego estetycznego trawnika było niewielkie.
2. Odporność na plamistość liści była dodatnio skorelowana z zadarnieniem i aspektem ogólnym. Silne dodatnie korelacje stwierdzono również między porażeniem przez rdzę i pleśń śniegową oraz smukłością liści, a jednocześnie te trzy cechy były ujemnie skorelowane z zabarwieniem.
3. Na ogólną wartość trawnikową (OA) istotny wpływ miało zadarnianie, szerokość liścia i odrost runi. Najsilniejsze oddziaływanie na ogólny aspekt trawnika wykazało zadarnienie.

LITERATURA

- Bocianowski J., Rybiński W. 2006. Wykorzystanie wielowymiarowej metodyki oceny cech ilościowych mutantów lędźwianu siewnego (*Lathyrus sativus* L.) uzyskanych działaniem chemomutagenów i światła lasera helowo-neonowego. *Acta Agrophysica* 8 (4): 791 — 802.
- Campbell A.A. 1987. The use of performance index as aid to recommended list decision taking. *Biul. Oceny Odm. COBORU XII* 17–18: 84 — 91.
- Charmet G., Balfourier F., Monestiez P. 1994. Hierarchical clustering of perennial ryegrass populations with geographic contiguity constraint. *Theor. Appl. Genet.* 88: 42 — 48.
- Domański P. 1992. System badań i oceny odmian traw gazonowych w Polsce. *Biul. IHAR* 183: 251 — 261.
- Domański P. 1994. Skuteczność metod badania i oceny wartości gospodarczej odmian traw w Europie. *Genet. Pol.* 4, 35A: 165 — 171.
- Domański P., Martyniak J. 1979. Zbiór instrukcji metodycznych prowadzenia doświadczeń odmianowych z trawami. COBORU, Słupia Wielka: 22 — 33.
- Johnson, R. C., Johnston W. J., Golob C. T., Nelson M. C., Soreng R. J. 2002. Characterization of the USDA *Poa pratensis* collection using RAPD markers and agronomic descriptors. *Genet. Resour. Crop Ev.* 49 (4): 351—363.
- Martyniak D. 2001. Praca doktorska. Cechy biologiczne warunkujące wartość gazonową i nasienną odmian i rodów wiechliny łąkowej. IHAR, Radzików.

- Martyniak D., Prończuk S. 2003. Ocena odmian i rodów form kępowych i rozłogowych *Festuca* z zastosowaniem wskaźnika wartości gospodarczej. Biul. IHAR 225: 303 — 311.
- Martyniak D. 2005. Wpływ ilości wysiewanych nasion na obsadę i plonowanie odmian gazonowych kostrzewy czerwonej (*Festuca rubra* L.) w uprawie na nasiona. Biul. IHAR 237/238: 259 — 267.
- Mian M. A. R., Saha M. C., Hopkins A. A., Wang Z. Y. 2005. Use of tall fescue EST-SSR markers in phylogenetic analysis of cool-season forage grasses. Genome 48 (4): 637 — 647.
- Prończuk S. 1993. System oceny traw gazonowych w Polsce. Biul. IHAR 186: 1 — 3.
- Prończuk S. 2003. Zmienność cech u odmian *Poa pratensis* L. w umiarkowanie intensywnym użytkowaniu trawnikowym. Biul. IHAR 225: 265 — 276.
- Prończuk S., Prończuk M., Żyłka D. 1997. Metody syntetycznej oceny wartości użytkowej traw gazonowych. Zesz. Probl. Pos. Nauk Roln. 457: 125 — 133.
- Rutkowska B., Hempel A. 1986. Trawniki. PWRiL, Warszawa: 1 — 246.
- Ukalska J., Mądry W., Ukalski K., Masny A. 2007. Wielowymiarowa ocena różnorodności fenotypowej w kolekcji zasobów genowych truskawki (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). Cz. II. Grupowanie genotypów. Zesz. Probl. Pos. Nauk Roln. 517: 759 — 766.
- Veronesi F., Falcinelli M. 1988. Evaluation of an Italian germplasm collection of *Festuca arundinacea* Schreb. through a multivariate analysis. Euphytica 28: 211 — 220.
- Versteeg F. 1996. Turf research in the Netherlands. Abstr. XXVI International Turf meeting Papendal, the Netherlands: 1,2.
- Żurek G., Prończuk S., Żyłka D. 2001. Ocena przydatności ekotypów wiechliny łąkowej (*Poa pratensis* L.) do warunków intensywnego użytkowania trawnikowego. Zesz. Probl. Pos. Nauk Roln. z. 474: 139 — 143.
- Żyłka D. 2001. Próba kompleksowej oceny wartości użytkowej i nasiennej odmian traw gazonowych na przykładzie *Poa pratensis* L. Zesz. Probl. Pos. Nauk Roln. z. 474: 155 — 167.
- Żyłka D., Prończuk S., Prończuk M. 2001. Porównanie kępowych i rozłogowych podgatunków kostrzewy czerwonej (*Festuca rubra* L.) pod względem przydatności na użytkowanie trawnikowe i nasienne. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. z. 474: 103 — 112.

WOJCIECH RYBIŃSKI¹**JAN BOCIANOWSKI**²**MICHAŁ STARZYCKI**³¹ Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu² Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu³ Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Oddział w Poznaniu

Analiza zmienności cech ilościowych i składu chemicznego nasion wybranych obiektów kolekcyjnych lędźwianu siewnego (*Lathyrus sativus* L.) i czerwonego (*Lathyrus cicera* L.) o zróżnicowanym pochodzeniu geograficznym

Analysis of variability for quantitative traits and chemical composition of seeds of chosen accessions of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) and red pea (*Lathyrus cicera* L.) with different geographical origins

Ograniczona wiedza na temat licznych marginalnych i niedocenianych gatunków roślin limituje ich dalsze doskonalenie. W wielu wypadkach są one bardzo dobrze zaadaptowane do marginalnych warunków środowiskowych, stanowią dodatkowe źródło żywności w określonych porach roku jak i element dobrze zbilansowanej diety. W obrębie rodzaju *Lathyrus* do najbardziej użytkowo rozpowszechnionych gatunków należy lędźwian siewny (*Lathyrus sativus* L.) i lędźwian czerwony (*Lathyrus cicera* L.). W krajowym rolnictwie w marginalnej skali uprawiany jest wyłącznie lędźwian siewny reprezentowany przez dwie odmiany oryginalne i nieliczne formy lokalne od ponad 200 lat obecne na terenie Podlasia. Z uwagi na wąską pulę genową ograniczonych geograficznie wyżej wspomnianych ekotypów, postęp hodowlany uwarunkowany jest wzbogaceniem puli genowej (poszerzeniem istniejącej zmienności cech) przez dopływ nowych genów reprezentowanych przez materiały lędźwianu o zróżnicowanym pochodzeniu geograficznym. Celem badań była ocena zmienności cech ilościowych i składu chemicznego nasion materiałów lędźwianu siewnego i czerwonego pochodzących z kolekcji IGR PAN i reprezentujących wybrane kraje Europy, Azji i Afryki. Na podstawie trzyletnich doświadczeń polowych dotyczących głównie struktury plonowania wykazano, że oceniane obiekty kolecyjne charakteryzowały się szerokim zakresem zmienności cech ilościowych, po części specyficznej do kraju ich pochodzenia. Największą odrębnością na poziomie fenotypowym od lędźwianu siewnego charakteryzowały się pokrewne genetycznie obiekty lędźwianu czerwonego. W obrębie lędźwianu siewnego wyróżniono grupy obiektów (reprezentujących

poszczególne kraje) o największym i najmniejszym podobieństwie pod względem ocenianych cech ilościowych. Na tle wszystkich grup krajowe formy wyróżniały się przede wszystkim wysokimi wartościami liczby strąków z rośliny, liczby nasion ze strąka i masy nasion z rośliny, a niska masa pojedynczego nasiona rzutowała na bardzo niską masę 1000 nasion, bardziej zbliżoną do drobnonasiennych form azjatyckich aniżeli do grubonasiennych ze Słowacji, Czech czy Węgier. Obiekty z tych ostatnich krajów mogą stanowić wartościowy materiał wyjściowy do poprawienia wielkości nasion i plonu (bez redukcji liczby nasion w strąku) drobnonasiennych lokalnych form krajowych. Na podstawie składu chemicznego nasion wyodrębniono grupy obiektów o najwyższej zawartości białka, tłuszczu i odrębnym profilu kwasów tłuszczowych.

Słowa kluczowe: doświadczenia polowe, ekotypy, *Lathyrus*, skład chemiczny nasion, zmienność cech ilościowych

The limited information available on many important and frequently basic aspects of neglected and underutilized crops hinders their development. In many cases this neglected species are very well adapted to various marginal growing conditions, contribute considerably to food supply in certain periods of year or are important for a nutritionally well-balanced diet. Grass pea (*Lathyrus sativus* L.) and red pea (*Lathyrus cicera* L.) belong to such species in the genus *Lathyrus*. In Polish agriculture only grass pea is cultivated on a marginal scale and it is represented by two original cultivars and small number of local ecotypes grown since over 200 years in isolate area of Podlasie region. Considering a very narrow gene pool of local varieties of grass pea, the breeding progress depends on enrichment of existing gene pool by an inflow of new genes represented by genetic resources of various geographical origin. The attempt was made at estimation of variation of quantitative traits as well as chemical composition of seeds using genetic resources represented by accessions derived from different countries of Europe, Asia and Africa and collected in Institute of Plant Genetics in Poznań. In result of three year field trials a broad variability of quantitative traits, particularly yield contributing traits was observed. The biggest differences were noticed in comparisons between *L. sativus* and *L. cicera*. Among grass pea materials originated from various countries the groups of accessions with highest and smallest similarity level for quantitative traits were distinguished. It was particularly true for Polish accessions characterized by high number of pods per plant, seed number per pod, seed weight per plant and low weight of 1000 seeds, more similar to small-seeded accessions of Asia origin in opposite to large-seeded material derived from Slovakia, Czech Republic and Hungary. This large-seeded accession may constitute a valuable initial material for seed size and yield improvement (without reduction of seed number per pod) of more primitive Polish small-seeded local varieties. On basis of performed chemical analysis of seeds the groups of accessions with high protein and fat content and valuable fatty acid profile were identified.

Key words: chemical composition of seeds, ecotypes, field trials, *Lathyrus*, variability of quantitative traits

WSTĘP

Badania rolnicze tradycyjnie skupiają się na gatunkach podstawowych, o największym znaczeniu gospodarczym, podczas gdy niewiele uwagi poświęca się gatunkom drugorzędnym czy marginalnym o ograniczonym areale uprawy. Gatunki takie z reguły traktowane są jako mało atrakcyjne. W porównaniu do gatunków wiodących, wiele gatunków marginalnych jest doskonale zaadaptowanych do skrajnych warunków środowiskowych: do wyżynnych terenów Andów czy Himalajów, terenów suchych czy gleb o znacznym zasoleniu. Ponadto wiele gatunków uprawnych o marginalnym znaczeniu w skali globalnej ma duże znaczenie na poziomie krajowym, a zwłaszcza regionalnym, dostarczając często żywności w określonych porach wegetacji lub będącej lokalnie

ważnym elementem zbilansowanej diety (Campbell, 1997). Czynnikiem ograniczającym upowszechnienie wielu niedocenianych gatunków jest brak wyczerpujących informacji na ich temat, mimo prezentowanych walorów użytkowych. Ponadto wiedza o genetycznym potencjale gatunków marginalnych jest bardzo ograniczona. Biorąc pod uwagę zachodzące zmiany klimatyczne, i w związku z tym priorytetowe znaczenie ma odporność roślin na stresy abiotyczne, ostatnio coraz większego znaczenia nabierają prace badawcze nad niedocenianymi i marginalnymi gatunkami roślin. Należy do nich niewątpliwie lędwian siewny (*Lathyrus sativus* L.) obecny na Podlasiu od ponad 200 lat oraz lędwian czerwony (*Lathyrus cicera* L.) uprawiany głównie w krajach Basenu Morza Śródziemnego.

Lędwian siewny należy do najstarszych gatunków uprawnych, a znany był już 8000 lat przed Chrystusem. Historia uprawy lędwianu na terenie Polski nie jest bliżej znana. Według prof. Milczaka z Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie lędwian siewny dotarł do Polski (rejon Podlasia) towarzysząc soczewicy jako chwast już w XVII wieku wraz z osadnictwem tatarskim. W miarę ekspansji obu gatunków na dalsze tereny, przewagę adaptacyjną uzyskiwał lędwian siewny, stając się z czasem gatunkiem dominującym. Jest on ważną rośliną proekologiczną i wyróżnia się kompleksem takich cech, jak: odporność na niskie temperatury, wybitna odporność na suszę, tolerancja na rodzaj gleb, odporność na pękanie dojrzałych strąków, odporność polowa na choroby grzybowe i niska podatność na uszkodzenia wywołane przez pachóweczkę strąkóweczkę. Wyróżnia się także wysoką zawartością białka w nasionach na poziomie nawet 33% (Dziamba, 1997). Z uwagi na swe unikalne właściwości lędwian siewny w obrębie rodzaju *Lathyrus*, uznany został za modelową roślinę dla potrzeb rolnictwa zrównoważonego (Vaz Patto i in., 2006).

Pierwsze dane o hodowli lędwianu w Polsce (rejon Gdańska) pochodzą z 1937 roku. Po zakończeniu wojny prace kontynuowano w Państwowym Instytucie Naukowym Gospodarstwa Wiejskiego w Bydgoszczy, jak również w Instytucie Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Bydgoszczy oraz Zakładach Doświadczalnych Instytutu Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Minikowie i Poświętnym, które koncentrowały się głównie na lędwianie afrykańskim (Mackiewicz, 1956). W latach sześćdziesiątych zaniechano dalszych prac, aż do roku 1991, kiedy w wyniku selekcji ekotypów z Podlasia i kilkuletnich doświadczeń polowych w 1997 roku zarejestrowano dwie odmiany: Derek i Krab (Milczak i in., 2001). Z uwagi na wąską pulę genową reprezentowaną przez nieliczne lokalne formy lędwianu ograniczone terytorialnie do rejonu Podlasia, dokonanie istotnego postępu hodowlanego może być efektywne między innymi przez poszerzenie istniejącej zmienności genetycznej cech. W tym celu zgromadzono w kolekcji obiekty lędwianu pochodzące z różnych krajów głównie europejskich, z których wybrano materiał do badań w celu oceny ich zmienności i podobieństwa pod względem cech morfologicznych i struktury plonowania. Badania poszerzono o analizę składu chemicznego nasion.

MATERIAL I METODY

Materiałem do badań był lędwian siewny (*Lathyrus sativus* L.) i lędwian czerwony (*Lathyrus cicera* L.), pochodzące z kolekcji marginalnych roślin strączkowych Instytutu Genetyki Roślin PAN w Poznaniu. Wybrane materiały charakteryzują się zróżnicowanym

pochodzeniem geograficznym i reprezentują takie kraje jak: Polska, Rosja, Ukraina, Słowacja, Węgry, Czechy, Etiopia, Afganistan i Indie — lędźwian siewny oraz Grecję — lędźwian czerwony. Nasiona 32 obiektów kolekcyjnych pochodzących z wyżej wymienionych krajów, w tym 24 z Polski, Rosji, Ukrainy, Słowacji, Węgier i Czech, stanowiły materiał wyjściowy do trzyletnich doświadczeń polowych zakładanych w układzie całkowicie losowym. Każdy obiekt występował jeden raz. Wysiew nasion na poletka prowadzono w rozstawie 70×25 cm, co umożliwiało swobodny dostęp do roślin i prowadzenie obserwacji w okresie wzrostu i rozwoju roślin. W odniesieniu do zabiegów chemicznych ograniczono się wyłącznie do posiewnego zastosowania chwastobójczego środka Afalon, bez stosowania nawożenia mineralnego. Na pierwszym etapie badań oceniano termin kwitnienia (DK) w momencie, kiedy około 50% roślin znajdowało się w fazie kwitnienia, wyrażając obserwacje liczbą dni od wysiewu. Po zbiorach na wybranych losowo 15 roślinach określano wartość cech ilościowych, głównie plonotwórczych obejmujących: wysokość roślin (WS), wysokość osadzenia najniższego strąka (WOS), liczbę rozgałęzień z rośliny (LR), liczbę strąków z rośliny (LSR), liczbę strąków z nasionami z rośliny (LSN), długość i szerokość strąka (DS i SZS), liczbę i masę nasion ze strąka pędu głównego (LNS i MNS), masę nasion z rośliny (MSR) oraz masę 1000 nasion (MTN). W zebranych nasionach analizowano ich skład chemiczny w obrębie materiału pochodzącego z jednego roku badań. Zawartość białka oznaczano metodą Kjeldahla. Do oceny zawartości tłuszczu wykorzystano metodę ekstrakcyjno-wagową, a oznaczenia wykonano w aparacie ekstrakcyjnym Soxhleta. Zawartość kwasów tłuszczowych oznaczono według metody podanej przez Starzyckiego i Starzycką (1999) przy wykorzystaniu chromatografu (Hewlett Packard, Gas Chromatograph 5890) i kolumny kapilarnej (30 m, RTX-225).

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie przy użyciu wielocechowej metody statystycznej. Analiza wariancji (ANOVA) została przeprowadzona w celu zweryfikowania hipotezy zerowej o braku wpływu pochodzenia geograficznego na wartości obserwowanych cech. Dla każdej cechy oszacowano najmniejsze istotne różnice ($NIR_{0,05}$). Współzależność pomiędzy obserwowanymi cechami oceniano na podstawie wartości współczynnika korelacji. Podobieństwo obiektów kolekcyjnych pod względem kompleksu analizowanych cech i pochodzenia obiektów (krajów) określono na podstawie odległości Mahalanobisa (Mahalanobis, 1936) obliczając również tzw. odległości krytyczne Mahalanobisa — D^2_{kr} . W celu graficznego przedstawienia badanych obiektów zastosowano analizę zmiennych kanonicznych (Rencher, 1998). Umożliwia ona obrazowanie odległości 20-cechowych z metryką odległości Mahalanobisa w formie graficznej i w ten sposób ułatwić grupowanie i charakterystykę wielocechową. Wszystkie obliczenia wykonano, korzystając z pakietu statystycznego GenStat v. 7.1.

WYNIKI I DYSKUSJA

Dane meteorologiczne (tab. 1) z lat doświadczeń polowych wskazują na znaczne różnice w ilości opadów, szczególnie w porównaniu z latami 2009 i 2010 z suchym rokiem 2011. Przekładało się to na zróżnicowane warunki wzrostu i rozwoju roślin w badanych

latach. Dotyczy to nie tyle różnic w sumie opadów od siewów do zbioru roślin, ile raczej rozkładu opadów w poszczególnych miesiącach. W nietypowym 2011 roku, po silnym niedoborze wody począwszy od marca do końca drugiej dekady czerwca, poziom opadów w lipcu był ekstremalnie wysoki rzutując na opóźnienie w zbiorze roślin. Podobnie wysoki poziom opadów wystąpił w czerwcu 2009 i sierpniu 2010 roku.

Tabela 1

Opady atmosferyczne i średnie temperatury w okresie doświadczeń polowych
Level of rainfall (mm) and air temperature during field trials period

Miesiące Month	Opady (mm) Rainfall (mm)						Temperatura (°C) Temperature (°C)		
	2009		2010		2011		2009	2010	2011
	suma total	dekady decade	suma total	dekady decade	suma total	dekady decade			
Marzec March	54,2	9,8 15,0 29,4	46,6	10,6 4,4 31,6	27,6	6,2 18,2 3,2	5,5	4,1	3,1
Kwiecień April	19,6	0,2 4 15,4	19,4	1,4 2,8 15,2	9,2	7,6 1,6 0	11,7	9,1	12,6
Maj May	85,4	12,4 12,8 60,2	70,6	34,4 32,4 3,8	32,8	1,2 22,6 9	12,5	12,5	16,4
Czerwiec June	160	61,8 24,8 73,4	33,4	2,2 20,0 11,2	56,2	14,4 13 28,8	14,6	18,0	18,6
Lipiec July	79,4	33,4 34 12	86,0	10,0 1,8 74,2	182,4	21,4 85 76	18,5	22,0	17,8
Sierpień August	32,8	15,2 17,6 0	153,6	51,4 43,8 58,4	32,4	9,8 9,6 13	18,8	18,5	19
Suma III–VIII Sum III–VIII	431,4	-	409,6	-	340,6	-	-	-	-

Badania w latach o tak znacznie zróżnicowanych warunkach pogodowych (interakcja genotypowo-środowiskowa) pozwoliły na bardziej wszechstronną i obiektywną ocenę obserwowanej zmienności cech u analizowanych obiektów kolekcyjnych. Miało to wpływ na wyniki analizy wariancji. Wykazała ona, że większość obserwowanych cech była istotnie zróżnicowana ze względu na kraj pochodzenia obiektów (tab. 2). Wartości średnich z doświadczeń polowych dla analizowanych cech obiektów pochodzących z różnych krajów przedstawia tabela 3. Z wyjątkiem obiektów z Węgier, wszystkie pozostałe rozpoczynały kwitnienie średnio po 60 dniach od terminu wysiewu, przy zakresie zmienności od 59 dni (obiekty z Węgier) do 64 dni dla form z Indii.

Tabela 2

Średnie kwadraty z analizy wariancji cech
Mean squares from analysis of variance for investigated traits

Źródło zmienności Source of variation	Rok Year	Kraje pochodzenia Countries of origin	Rok × Kraj pochodzenia Year × Countries of origin	Błąd Residual
Stopnie swobody Degree of freedom	2	9	18	66
LDK [#]	989,8***	17,6****	2,46	3,23
WS	22233***	389,48***	219,04***	51,20
WOS	658,2***	26,775***	16,038**	5,902
LIR	35,62***	4,340***	3,143***	0,860
LSR	9108***	533,94***	171,13*	90,72
LSN	7229***	434,2***	152,00*	85,16
DS	1,021***	0,973***	0,132***	0,038
SZS	0,125***	0,197***	0,017**	0,006
LNS	0,841	3,379	3,071	2,467
MNS	0,263***	0,063***	0,007	0,006
MSR	1066***	62,58*	30,58	26,24
MTN	55572***	30380***	942,3	842,9
Stopnie swobody Degree of freedom		9		22
Białko — Protein		11,504*		4,11
Tłuszcz — Fat		1,082		1,607
C _{16:0}		10,889***		0,194
C _{18:0}		1,183**		0,25
C _{18:1}		57,128***		4,245
C _{18:2}		101,727***		4,627
C _{18:3}		5,314***		1,001
C _{20:0}		0,528**		0,117
C _{22:1}		0,118		0,095

* p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001

[#]LDK — liczba dni od wysiewu do kwitnienia — number of days from sowing to flowering; WS — Wysokość roślin — plant height; WOS — Wysokość osadzenia najniższego strąka — height of the lowest pod; LIR — Liczba rozgałęzień z rośliny — number of branches/plant; LSR — Liczba strąków z rośliny — number of pods/plant; LSN — Liczba strąków z rośliny z nasionami — number of pods/plant with seeds; DS — Długość strąka — pod length; SZS — Szerokość strąka — pod width; LNS — Liczba nasion ze strąka — number of seeds/pod; MNS — Masa nasion ze strąka — weight of seeds/pod; MSR — Masa nasion z rośliny — weight of seeds/plant; MTN — Masa 1000 nasion — weight of 1000 seeds; C_{16:0} — kwas palmitynowy — palmitic acid; C_{18:0} — kwas stearynowy — stearic acid; C_{18:1} — kwas oleinowy — oleic acid; C_{18:2} — kwas linolowy — linoleic acid; C_{18:3} — kwas linolenowy — linolenic acid; C_{20:0} — kwas eikozenowy — eicosenic acid; C_{22:1} — kwas erukowy — erucic acid

Krajowe odmiany lędźwianu rozpoczynały kwitnienie po około 66 dniach od wysiewu natomiast najwcześniej (w 58–59 dniu) materiały kolekcyjne pochodzące z Basenu Morza Śródziemnego (Rybiński i in., 2008). W warunkach Indii okres ten wynosił od 47 do 94 dni; od 76 do 123 dni u 451 ocenianych form kolekcyjnych w Australii (Hanbury i in., 1995) oraz w Bangladesz od 43 do 88 dni u 1072 form kolekcyjnych (Sarwar in., 1995). W warunkach klimatycznych Włoch rośliny zakwitały średnio po 75 dniach (Polignano i in., 2005). Lędźwian siewny, a w mniejszym stopniu lędźwian czerwony, charakteryzuje się tendencją do wytwarzania bujnej biomasy i szybkiego wzrostu, co przy stosunkowo wiotkiej łodydze prowadzi do wylegania roślin (Rybiński i Pankiewicz, 2010). Według Campbell (1997) wysokość roślin, w zależności od genotypu i poziomu opadów, podlega bardzo szerokiej zmienności.

Tabela 3

Wartości średnie (i współczynniki zmienności) analizowanych cech
Means (and coefficients of variation) for analyzed traits

Kraj Country	LDK Days	WS (cm)	WOS (cm)	LIR	LSR	LSN	DS. (cm)	SZS (cm)	LNS	MNS (g)	MSR (g)	MTN (g)
Afganistan	62,00	62,07	17,77	5,40	49,00	43,93	3,527	1,083	3,007	0,427	14,73	143,2
Afghanistan	(7,4)	(42,4)	(44,1)	(11,1)	(23,5)	(19,2)	(3,5)	(1,4)	(15,7)	(14,1)	(17,0)	(31,5)
Czechy	61,50	66,20	16,57	6,43	37,00	34,86	3,940	1,350	2,583	0,662	19,73	252,8
Czech	(7,9)	(44,4)	(20,2)	(10,3)	(46,7)	(46,3)	(2,9)	(5,6)	(8,4)	(23,0)	(38,9)	(22,9)
Etiopia	60,66	54,44	15,37	4,87	35,3	31,64	3,463	1,208	2,603	0,546	15,88	198,2
Ethiopia	(8,4)	(28,9)	(16,8)	(17,8)	(43,4)	(40,3)	(7,6)	(13,9)	(14,5)	(13,5)	(29,6)	(21,1)
Grecja	60,66	40,40	10,20	5,80	30,45	27,73	2,795	0,760	4,048	0,343	8,13	83,2
Greece	(7,0)	(20,8)	(24,3)	(32,9)	(59,7)	(59,1)	(9,1)	(17,4)	(6,7)	(13,3)	(63,6)	(14,6)
Indie	64,00	55,02	15,64	5,40	37,84	34,91	3,477	1,242	2,638	0,568	15,50	202,3
India	(9,2)	(33,6)	(17,4)	(26,6)	(44,3)	(44,1)	(3,8)	(13,9)	(14,1)	(14,2)	(39,1)	(12,1)
Polska	62,67	65,30	17,06	5,61	55,18	51,06	3,275	1,213	3,353	0,486	19,07	143,8
Poland	(8,3)	(44,1)	(34,8)	(18,8)	(51,6)	(50,5)	(7,7)	(12,0)	(12,0)	(26,1)	(45,9)	(36,8)
Rosja	62,58	64,77	16,73	6,85	38,42	36,03	3,667	1,230	2,595	0,539	16,75	210,4
Russia	(8,6)	(42,9)	(26,5)	(19,4)	(36,3)	(34,1)	(9,3)	(8,2)	(8,5)	(10,9)	(29,5)	(16,0)
Słowacja	60,58	58,22	16,47	6,73	30,51	28,87	3,931	1,330	2,375	0,623	15,66	265,9
Slovakia	(7,6)	(43,2)	(31,9)	(25,3)	(53,9)	(53,2)	(7,3)	(5,9)	(14,7)	(19,0)	(56,5)	(19,7)
Ukraina	61,67	59,99	15,55	6,79	39,75	36,37	3,706	1,211	2,438	0,522	16,28	212,4
Ukraine	(8,8)	(43,1)	(35,4)	(24,6)	(43,3)	(45,9)	(7,9)	(4,3)	(11,5)	(27,5)	(46,5)	(25,9)
Węgry	59,22	61,18	16,18	5,98	35,91	33,02	3,778	1,299	2,909	0,588	16,43	276,3
Hungary	(9,0)	(40,0)	(33,0)	(25,0)	(47,9)	(46,0)	(11,1)	(3,9)	(13,1)	(18,2)	(34,7)	(16,9)
NIR _{0,05}	1,47	4,19	1,47	0,63	5,61	5,515	0,145	0,061	0,742	0,049	2,76	22,8
LSD _{0,05}												

[#]LDK — liczba dni od wysiewu do kwitnienia — number of days from sowing to flowering; WS — Wysokość roślin — plant height; WOS — Wysokość osadzenia najniższego strąka — height of the lowest pod; LIR — Liczba rozgałęzień z rośliny — number of branches/plant; LSR — Liczba strąków z rośliny — number of pods/plant; LSN — liczba strąków z rośliny z nasionami — number of pods/plant with seeds; DS — Długość strąka — pod length; SZS — Szerokość strąka — pod width; LNS — Liczba nasion ze strąka — number of seeds/pod; MNS — Masa nasion ze strąka — weight of seeds/pod; MSR — Masa nasion z rośliny — weight of seeds/plant; MTN — Masa 1000 nasion — weight of 1000 seeds

W warunkach Kanady zmienność tej cechy zamykała się w przedziale od zaledwie 24,5 do aż 172 cm. W badaniach nad europejskimi materiałami kolekcyjnymi w warunkach stresu wodnego zakres wysokości roślin wynosił od 37,2 cm do 63,6 cm (Rybiński i in., 2008). Wcześniejsze pomiary wysokości roślin lędźwianu wskazują, że w roku o normalnej wielkości opadów (516 mm w roku 2002) wysokość roślin wynosiła od 67,8 do 94,3 cm lecz w bardziej suchym roku 2003 (331 mm) zakres zmienności tej cechy wynosił zaledwie od 25,6 do 42,7 cm (Kozak i in., 2008). W przypadku 1187 form z Indii wysokość roślin wynosiła od 15 do 68 cm (Pandey i in., 1995), a w pracach Dziamby (1997) od 60 do 120 cm. W prezentowanej pracy najniższą wysokością charakteryzowały się formy lędźwianu czerwonego z Grecji (40,4 cm), a pośród lędźwianu siewnego obiekty z Etiopii i Indii, odpowiednio 54,4 i 55 cm. Obok form z Czech (66 cm) do najwyższych należały również krajowe obiekty lędźwianu (65,3 cm). Powyższe obserwacje potwierdzają opinię Campbell (1997), że drobnonasienne formy afro-azjatyckie są niższe aniżeli formy europejskie charakteryzujące się większą MTN. Na dodatnią zależność między wysokością osadzania najniższego strąka a wysokością roślin wskazuje niskie zawiązywanie najniższych strąków u krótkich form lędźwianu czerwonego z Grecji i lędźwianu siewnego z Etiopii i Indii. Z

wyjątkiem form z Etiopii wykształcających najmniej rozgałęzień z rośliny (poniżej pięciu), średnia wartość tej cechy w odniesieniu do pozostałych obiektów była zbliżona, a tylko obiekty z Czech, Rosji, Słowacji i Ukrainy rozwijały powyżej sześciu rozgałęzień w zakresie od 6,4 do 6,9. Na stosunkowo wąski zakres zmienności, zbliżony do uzyskanych w prezentowanej pracy wskazuje Mehra i in. (1995). W odniesieniu do form pochodzących z Francji, Bangladeszu, Etiopii, Cypru, Afganistanu i Niemiec liczba rozgałęzień z rośliny wynosiła odpowiednio: 5,2; 5,7, 5,0; 5,5; 5,0 i 5,0, aczkolwiek według opracowanego katalogu obiektów lędźwianu (Pandey i in., 1995) liczba rozgałęzień z rośliny oceniana w Indiach podlegała znacznej zmienności od zaledwie 1,8 do 28,4, natomiast w warunkach Kanady liczba rozgałęzień dochodziła nawet do 40 (Campbell, 1997). Większa liczba rozgałęzień nie zawsze znajdowała odzwierciedlenie we wzroście liczby strąków z rośliny, na co wskazują wyniki dotyczące lędźwianu czerwonego z Grecji o najniższej liczbie strąków z rośliny (30,4) czy z Polski o najwyższej liczbie (55,2) uzyskanych przy zbliżonej liczbie rozgałęzień. Oprócz krajowych form, powyżej 40 strąków z rośliny wykształcały jedynie rośliny z Afganistanu. W zakresie od 2,4 do 59 i od 13 do 59 strąków z rośliny obserwowano odpowiednio w badaniach Pandey i in. (1995) i Yadov (1995). Na wyraźną tendencję krajowych odmian lędźwianu do zawiązywania na roślinie wysokiej liczby strąków wskazują prace Greli i in. (2010; 2012). Wysoka liczba strąków z rośliny krajowych obiektów przekładała się bezpośrednio na najwyższą, obok form z Czech, średnią masę nasion z rośliny na poziomie 19 g w porównaniu z masą zaledwie 8,1 g dla lędźwianu czerwonego z Grecji. Dla obiektów z pozostałych krajów masa nasion z rośliny nie przekraczała 17 g, w zakresie od 14,7 g dla roślin z Afganistanu do 16,7 z Rosji. Masa nasion z rośliny jest wypadkową wzajemnych powiązań liczby strąków z rośliny z liczbą i masą nasion ze strąką oraz w mniejszym stopniu z jego długością. Najkrótszymi strąkami charakteryzowały się obiekty lędźwianu czerwonego z Grecji (poniżej 3 cm), a najdłuższymi, nie przekraczającymi 4 cm obiekty z Czech i Słowacji. Zmienność tej cechy w zakresie od 1,7–5,6; 1,9–5,2 i 3,0–4,0 cm obserwowali odpowiednio Campbell (1997) w Kanadzie oraz Pandey i in. (1995) i Mehra i in. (1995) w Indiach. Najwięcej nasion w strąku (3,3) zawiązywały krajowe obiekty, mniej nasion na poziomie trzech formy z Afganistanu, a poniżej trzech obiekty z pozostałych krajów. Więcej niż cztery nasiona w strąku (4,04) zawiązywały jedynie rośliny lędźwianu czerwonego pochodzące z Grecji, aczkolwiek z uwagi na niską masę pojedynczego nasiona ich masa ze strąką była najniższa (0,34 g) w porównaniu z najwyższymi wartościami (powyżej 0,6 g) obserwowanymi dla roślin z Czech i Słowacji. Według Campbella (1997) rośliny obiektów kolekcyjnych badanych w Kanadzie zawiązywały w strąku od 1 do 4,3 nasion, w warunkach klimatycznych Indii od 1,6 do 4,6 (Pandey i in., 1995), a w odniesieniu wyłącznie do form europejskich od 1,6 do 3,3 (Grela i in., 2012). Mimo, że rośliny krajowych obiektów zawiązywały najwięcej nasion w strąku, z uwagi na ich drobnoziarnistość masa nasion ze strąką była niższa niż u form o mniejszej liczbie nasion w strąku lecz grubszych nasionach tak jak formy ze Słowacji, Czech czy Węgier. Znalazło to odzwierciedlenie w niskiej MTN w przypadku krajowych obiektów (143,8 g) w porównaniu do form gruboziarnistych o wysokich wartościach MTN (od 252 do 276 g) reprezentowanych przez rośliny z Węgier, Czech i Słowacji, co potwierdzają badania Benkova i Zakova (2001) dla form słowackich

oraz Lazanyi (2000) dla obiektów z Węgier. Niższymi wartościami MTN charakteryzowały się obiekty z Ukrainy i Rosji (212 i 210 g), a najniższymi, zbliżonymi do form krajowych obiekty z Afganistanu (143,2 g). W Australii pośród 451 form kolekcyjnych MTN wynosiła od 190 do 220g (Hanbury i in., 1995), a w Bangladesz od 29,5 do 67,6 g (Sarwar i in. 1995). Z kolei pośród 272 ocenianych form MTN wynosiła od 34,5 do 225,9 g (Robertson i Abd El Moniem, 1995), a w Kanadzie pośród 732 form od 56 do 288 g (Campbell, 1997). W badaniach powyższych autorów formy drobnonasienne z reguły pochodziły z Azji Południowo-Wschodniej, a wielkonasienne z terenów Basenu Morza Śródziemnego. Wartości MTN dla obiektów z krajów rejonu śródziemnomorskiego (Hammer 1989; De La Rosa, Martin 2001, Grela i in., 2010) przekraczały 300 g, a dla niektórych form nawet 400 g.

Ocenę podobieństwa grup obiektów w zależności od kraju ich pochodzenia, a wyrażoną odległościami Mahalanobisa przedstawia tabela 4.

Tabela 4

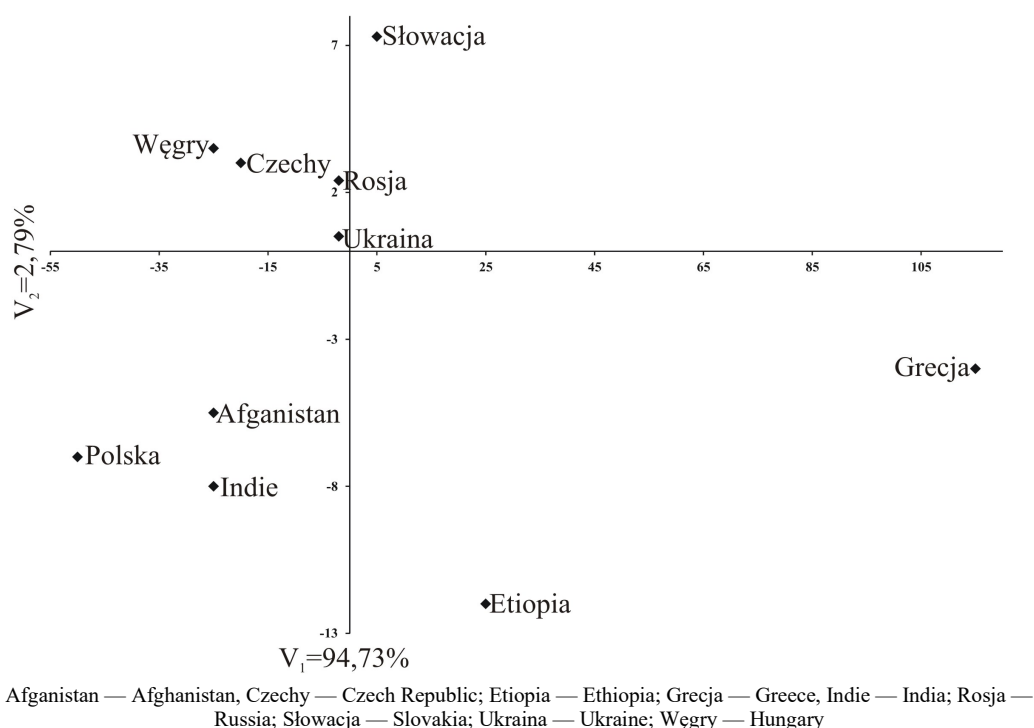
Podobieństwo analizowanych obiektów pod względem cech ilościowych wyrażone odległościami Mahalanobisa

Similarity of analyzed accessions for quantitative traits expressed in Mahalanobis distance

	Słowacja Slovakia	Czechy Czech Republic	Rosja Russia	Ukraina Ukraine	Węgry Hungary	Afganistan Afghanistan	Indie India	Etiopia Ethiopia	Polska Poland	Grecja Greece
Słowacja Slovakia	0									
Czechy Czech Republic	9,07	0								
Rosja Russia	9,35	9,01	0							
Ukraina Ukraine	9,52	10,69	7,31	0						
Węgry Hungary	10,32	13,01	12,86	9,41	0					
Afganistan Afghanistan	15,28	14,63	10,16	8,87	14,84	0				
Indie India	16,21	13,42	13,35	11,75	14,78	10,46	0			
Etiopia Ethiopia	20,74	19,97	18,57	15,28	18,92	14,26	13,15	0		
Polska Poland	19,58	16,06	14,96	16,11	19,31	12,34	10,87	21,55	0	
Grecja Greece	33,85	38,86	37,49	34,23	37,08	36,87	37,84	32,05	44,6	0
$D^2_{kr} = 22,19$										

Najdłuższe odległości Mahalanobisa (najmniejszy stopień podobieństwa) uzyskano pod względem analizowanych cech łącznie między obiektami lędźwianu czerwonego z Grecji a wszystkimi obiektami lędźwianu siewnego niezależnie od kraju pochodzenia. W obrębie obiektów lędźwianu siewnego najmniejszym podobieństwem charakteryzowały się obiekty z Etiopii i Słowacji, a formy krajowe były najbardziej odmienne od obiektów ze Słowacji, Węgier i Etiopii. Najkrótsze odległości (największe podobieństwo)

obserwowano między obiektami pochodzącymi z Rosji i Ukrainy, a w dalszej kolejności z Rosji i Czech oraz Słowacji i Czech. Przestrzenne położenie obiektów w układzie dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych pod względem cech łącznie potwierdza odrębność lędzwanu czerwonego z Grecji w porównaniu z lędzwanem siewnym reprezentującym pozostałe kraje (rys. 1). W obrębie lędzwanu siewnego znaczną odrębnością wyróżniają się obiekty z Etiopii. Pozostałe obiekty tworzą trzy grupy o zbliżonym wzajemnym podobieństwie obejmujące obiekty ze Słowacji, Węgier i Czech; Rosji i Ukrainy oraz bardziej odległe pochodzące z Polski, Indii i Afganistanu. Położenie obiektów z Polski jest zbliżone przestrzennie do form z Azji (Indie, Afganistan), a w drugiej kolejności z Rosji i Ukrainy, co może wskazywać na wschodni rodowód krajowych obiektów.



Rys. 1. Rozmieszczenie obiektów kolekcyjnych o zróżnicowanym pochodzeniu geograficznym w układzie dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych

Fig. 1. Distribution of analyzed accessions for quantitative traits in two first canonical variables

Zmienność badanych obiektów w kontekście składu chemicznego nasion przedstawiono w tabeli 5. Lędzwan siewny, podobnie jak inne gatunki roślin strączkowych, charakteryzuje się wysoką zawartością białka (Grela i Winiarska 1997; Grela i in., 2010; 2012). W prezentowanej pracy najwyższą zawartością białka (powyżej 30%) charakteryzowały się obiekty z Indii i Czech.

Tabela 5

Wartości średnie (i współczynniki zmienności) dla białka, tłuszczu oraz składu kwasów tłuszczowych
Means (and coefficients of variation) for protein, fat and fatty acids composition

Kraj pochodzenia Country of origin	Białko Protein (%)	Tłuszcz Fat (%)	C _{16:0} (%)	C _{18:0} (%)	C _{18:1} (%)	C _{18:2} (%)	C _{18:3} (%)	C _{20:0} (%)	C _{22:1} (%)
Afganistan Afghanistan	27,90 (0,0)	0,600 (0,0)	7,60 (0,0)	3,3 (0,0)	19,8 (0,0)	56,4 (0,0)	12,9 (0,0)	0 (#)	0 (#)
Czechy Czech Republic	31,54 (5,6)	0,650 (10,9)	7,10 (4,0)	2,4 (41,3)	22,15 (1,0)	55,6 (1,8)	11,8 (2,4)	0,95 (7,4)	0 (#)
Etiopia Ethiopia	28,89 (0,6)	1,100 (25,7)	7,30 (7,7)	3,95 (12,5)	18,5 (0,0)	59,3 (0,2)	10,9 (10,4)	0 (#)	0 (#)
Grecja Greece	24,66 (0,1)	0,750 (28,3)	14,55 (0,5)	5,45 (1,3)	37,15 (10,9)	34 (13,7)	7,65 (6,5)	1,2 (23,6)	0 (#)
Indie India	30,75 (9,7)	0,767 (27,2)	7,30 (2,4)	4,067 (5,7)	23,3 (4,6)	54,53 (1,9)	10,77 (6,0)	0 (#)	0 (#)
Polska Poland	28,24 (1,5)	1,433 (106,8)	7,37 (8,3)	3,967 (19,3)	23,07 (10,9)	52,93 (5,4)	12,27 (11,7)	0,4 (173,2)	0 (#)
Rosja Russia	26,60 (7,7)	2,250 (84,7)	7,35 (5,0)	3,925 (15,1)	20,43 (12,8)	56,38 (3,7)	10,97 (8,0)	0,45 (116,9)	0,55 (115,5)
Słowacja Slovakia	26,92 (9,7)	1,863 (46,6)	8,99 (5,0)	3,725 (10,5)	24,34 (8,3)	52,41 (4,2)	9,64 (12,7)	0,713 (44,0)	0,186 (190,0)
Ukraina Ukraine	26,23 (4,4)	1,100 (51,4)	7,98 (6,4)	4,05 (10,4)	20,8 (3,8)	55,35 (3,0)	11,8 (4,6)	0 (#)	0 (#)
Węgry Hungary	29,08 (5,3)	1,933 (133,5)	7,70 (6,0)	4,333 (9,6)	22,23 (10,6)	55,37 (3,0)	10,37 (9,2)	0 (#)	0 (#)
NIR _{0,05} LSD _{0,05}	2,10	1,320	0,46	0,52	2,14	2,23	1,04	0,35	0,32

- brak możliwości obliczenia współczynnika zmienności

- without possibility of coefficient of variation estimation

C_{16:0} — kwas palmitynowy — palmitic acid; C_{18:0} — kwas stearynowy — stearic acid; C_{18:1} — kwas oleinowy — oleic acid; C_{18:2} — kwas linolowy — linoleic acid; C_{18:3} — kwas linolenowy — linolenic acid; C_{20:1} — kwas eikosenowy — eicosenic acid; C_{22:1} — kwas erukowy — erucic acid

Wartości na poziomie 28 i 29% posiadały obiekty z Węgier, Etiopii i Polski, a na poziomie 26–27% obiekty z Afganistanu, Rosji, Słowacji i Ukrainy. W podsumowaniu wyników zawartości białka ocenianego w pracach różnych autorów, średnia zawartość wynosiła 29,6%, a zakres zmienności wynosił od 26,3 do 34,3% (Hanbury i in., 2000). W porównaniu z analizowanymi obiektami lędwianu siewnego, lędwian czerwony z Grecji zawierał w nasionach najmniej białka (24,6%), co potwierdzają badania Greli i in. (2012). Zawartość tłuszczu w nasionach była niska i nie przekraczała 2,3% przy szerokiej zmienności tej cechy od zaledwie 0,6% dla obiektów z Afganistanu i Czech do 2,2% dla form pochodzących z Rosji. Średnia zawartość tłuszczu u krajowych obiektów wynosiła 1,4%. Zbliżone zawartości u form kolekcyjnych lędwianu wynoszące 0,9% uzyskali Adsule i in. (1989), a na poziomie 1,0; 1,2 i 1,6% odpowiednio: Latif i in. (1975); Kuo i in. (1995) oraz Infascelli i in. (1995). Zawartość tłuszczu w nasionach lędwianu czerwonego z Grecji nie odbiegała od wartości uzyskanych dla lędwianu siewnego. Znaczne natomiast różnice dla obydwu gatunków obserwowano w profilu kwasów tłuszczowych. O ile w tłuszczu lędwianu siewnego, niezależnie od pochodzenia obiektów, kwas linolowy wyraźnie dominował nad kwasem oleinowym (kwasy te stanowią ponad 70% sumy

wszystkich kwasów), to w nasionach lędzwanu czerwonego reprezentowanych przez obiekty z Grecji, zawartość obydwu kwasów była prawie na tym samym poziomie (tab. 5). Ponadto nasiona lędzwanu czerwonego (Grecja) wyróżniały się w stosunku do lędzwanu siewnego najwyższą zawartością kwasu palmitynowego i stearynowego oraz najniższą kwasu linolenowego. W obrębie lędzwanu siewnego najniższą zawartością kwasu oleinowego (poniżej 20%) charakteryzowały się obiekty z Afganistanu i Etiopii, a najwyższą ze Słowacji 24,3%. W odniesieniu do kwasu linolowego uzyskane wartości wynosiły od 52,4% dla obiektów ze Słowacji do 59,3% dla nasion z Etiopii. Wysoka zawartość wielonienasyconych kwasów tłuszczowych ma wpływ na wartość żywieniową lędzwanu. Znaczny udział w tłuszczu kwasu linolowego, oleinowego oraz palmitynowego i linolenowego wskazuje, że tłuszcz nasion lędzwanu siewnego jest wysoce dietetyczny, zbliżony składem i przydatnością do oleju sojowego (Grela i Winiarska, 1997).

Wzajemne zależności między analizowanymi cechami wyrażono wartościami współczynnika korelacji (tab. 6). Wykazano, że wysokość roślin była pozytywnie skorelowana z wysokością osadzenia najniższego strąka, liczbą strąków z rośliny, ich długością i szerokością oraz masą nasion ze strąka i rośliny. Ponadto wysokość roślin była także skorelowana z zawartością pięciu kwasów tłuszczowych: dodatnio z zawartością wielonienasyconych kwasów linolowego i linolenowego, a ujemnie z kwasem palmitynowym, stearynowym i oleinowym.

Tabela 6

Współczynniki korelacji prostej pomiędzy obserwowanymi cechami materiałów kolekcyjnych lędzwanu

Coefficients of correlation among the analyzed traits of collected accessions

Cecha Trait	LDK	WS	WOS	LIR	LSR	LSN	DS	SZS	LNS	MNS
WS	0,16									
WOS	0,23	0,77***								
LIR	0,05	0,35	0,31							
LSR	0,36*	0,54**	0,26	-0,07						
LSN	0,36*	0,58***	0,30	-0,03	1,00***					
DS	-0,2	0,42*	0,50**	0,47**	-0,27	-0,2				
SZS	-0,06	0,56***	0,65***	0,25	-0,10	-0,1	0,82***			
LNS	0,09	-0,08	-0,01	-0,16	0,11	0,04	-0,41*	-0,37*		
MNS	-0,17	0,39*	0,56***	0,29	-0,32	-0,1	0,81***	0,84***	-0,3	
MSR	0,18	0,82***	0,61***	0,33	0,63***	0,20	0,40*	0,51**	-0,14	0,43*
MTN	-0,23	0,34	0,47**	0,41*	-0,42*	-0,2	0,88***	0,84***	-0,22	0,87***
Białko Protein	-0,02	0,2	0,16	-0,53**	-0,02	0,08	0,08	0,33	-0,05	0,28
Tłuszcz Fat	-0,19	0,12	-0,01	0,14	0,02	0	0,2	0,17	-0,25	0,05
C _{16:0}	-0,24	-0,69***	-0,65***	0,07	-0,38*	-0,3	-0,44*	-0,67***	0,23	-0,44*
C _{18:0}	0,04	-0,48**	-0,45**	-0,13	-0,18	-0,1	-0,59***	-0,51**	0,38*	-0,50**
C _{18:1}	-0,16	-0,62***	-0,61***	-0,12	-0,31	-0,3	-0,47**	-0,55**	0,28	-0,36*
C _{18:2}	0,19	0,65***	0,66***	0,1	0,26	0,25	0,56***	0,68***	-0,28	0,46**
C _{18:3}	0,07	0,52**	0,42*	-0,15	0,55**	0,28	0,07	0,18	-0,16	0,09
C _{20:0}	-0,25	-0,27	-0,31	0,12	-0,24	-0,2	-0,12	-0,22	0,04	-0,05
C _{22:1}	0,06	0,05	-0,09	0,26	-0,01	-0,1	0,13	0,02	-0,16	0

c.d. Tabela 6

Cecha Trait	MSR	MTN	Białko Protein	Tłuszcz Fat	C _{16:0}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	C _{20:0}
WS										
WOS										
LIR										
LSR										
LSN										
DS										
SZS										
LNS										
MNS										
MSR										
MTN	0,33									
Białko Protein	0,07	0,12								
Tłuszcz Fat	0,05	0,08	-0,2							
C _{16:0}	-0,60***	-0,37*	-0,45*	-0,11						
C _{18:0}	-0,52**	-0,34	-0,32	-0,08	0,53**					
C _{18:1}	-0,58***	-0,39*	-0,24	-0,06	0,83***	0,45*				
C _{18:2}	0,60***	0,49**	0,31	0,13	-0,88***	-0,48**	-0,97***			
C _{18:3}	0,45**	-0,11	0,33	-0,14	-0,67***	-0,54**	-0,60***	0,50**		
C _{20:0}	-0,22	-0,1	-0,19	-0,07	0,46**	-0,1	0,52**	-0,57***	-0,26	
C _{22:1}	0,12	0,14	-0,31	0,06	-0,07	-0,1	-0,17	0,09	-0,04	0,39*

* p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001

Objaśnienia symboli w tabeli 2

Symbols explanation in table 2

Z kolei MTN była dodatkowo skorelowana z wysokością osadzenia najniższego strąka, liczbą rozgałęzień, długością i szerokością strąka oraz masą nasion ze strąka, a ujemnie z liczbą strąków z rośliny i liczbą nasion ze strąka. Najwyższą bezwzględną wartość współczynnika korelacji (-0,97) uzyskano dla zawartości kwasu linolowego i oleinowego. Brak istotnej korelacji między zawartością białka i tłuszczu wskazuje na możliwość prowadzenia niezależnej selekcji na każdą z obydwu cech.

WNIOSKI

1. Analiza wariancji wykazała, że oceniane na podstawie doświadczeń polowych cechy ilościowe były istotnie zróżnicowane pozostając w zależności od pochodzenia geograficznego analizowanych obiektów kolekcyjnych.
2. Pośród wszystkich ocenianych cech ilościowych, obiekty kolekcyjne lędzwanu najbardziej różnicowała wielkość nasion wyrażona masą 1000 nasion. Wartość tej cechy była związana z geograficznym pochodzeniem materiałów kolekcyjnych reprezentowanych przez obiekty drobno-, średnio- i grubonasienne. Oprócz zróżnicowania masy 1000 nasion między obiektami w obrębie gatunku *Lathyrus sativus*, największą odrębność pod względem wielkości nasion i innych cech obserwowano dla obiektów *L. cicera*.
3. W odniesieniu do krajowych obiektów lędzwanu siewnego cechami wyróżniającymi na tle pozostałych były najwyższe wartości liczby strąków z rośliny i liczby nasion ze

- strąka oraz najniższe wartości masy 1000 nasion. Drobnonasiennność krajowych obiektów, podobnie jak i obiektów z Azji potwierdzałaby hipotezę o wschodnim rodowodzie krajowych ekotypów lędzwanu związanych z osadnictwem Tatarów na ziemiach Podlasia w XVII wieku.
4. Z hodowlanego punktu widzenia obiekty o dużych nasionach i mniejszej liczbie nasion ze strąka mogą stanowić interesujący materiał wyjściowy do krzyżowań z drobnonasiennymi formami krajowymi (o większej liczbie nasion ze strąka) w celu uzyskania mieszańców o zwiększonej wielkości nasion bez redukcji ich liczby w strąku. Pozwoliłoby to na zwiększenie plonu nasion krajowych ekotypów.
 5. Wszystkie obiekty *Lathyrus sativus* charakteryzowały się wysoką zawartością białka, wyższą niż nasiona blisko genetycznie pokrewnego gatunku *Lathyrus cicera*. Nasiona obydwu gatunków lędzwanu zawierały mało tłuszczu przy znacznym zróżnicowaniu profilu kwasów tłuszczowych. W szczególności dotyczy to zawartości nienasyconych kwasów tłuszczowych, głównie kwasu oleinowego i linolowego o wyraźnie różnych proporcjach ich udziału w tłuszczu nasion lędzwanu siewnego i lędzwanu czerwonego.

LITERATURA

- Adsule R. N., Kadam S. S., Salunkhe D. K. 1989. Lathyrus bean. In: Salunkhe D.K., Kadam S.S. (Eds.). CRC Handbook of World Food Legumes: Nutritional Chemistry, Processing Technology, and Utilization. Vol. 2 CRC Press, Boca Raton, FL: 115 — 130.
- Benkova M., Zakova M. 2001. Evaluation of selected traits in grasspea (*Lathyrus sativus* L.) genetic resources. Lathyrus Lathyrism Newsletter 2: 27 — 30.
- Campbell C.G., 1997. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 18. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research. Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- De la Rosa L., Martin I. 2001. Morphological characterization of Spanish genetic resources of *Lathyrus sativus* L. Lathyrus Lathyrism Newsletter 2: 31 — 34.
- Dziamba S., 1997. Biologia i agrotechnika lędzwanu siewnego. Międzynarodowe Sympozjum Naukowe „Lędzwan siewny – agrotechnika i wykorzystanie w żywieniu zwierząt i ludzi”, Radom, 9-10 czerwca 1997: 27 — 33.
- Grela E., Winiarska A., 1997. Skład chemiczny i wartość pokarmowa nasion lędzwanu siewnego (*Lathyrus sativus* L.). Międzynarodowe Sympozjum Naukowe „Lędzwan siewny – agrotechnika i wykorzystanie w żywieniu zwierząt i ludzi”, Radom, 9-10 czerwca 1997: 49 — 58.
- Grela E. R., Rybiński W., Klebaniuk R., Matras J., 2010. Morphological characteristics of some accessions of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) grown in Europe and nutritional traits of their seeds. Genet. Resour. Crop. Evol. 57 (5): 693 — 701.
- Grela E.R., Rybiński W., Matras J., Sobolewska S. 2012. Variability of phenotypic and morphological characteristics of some *Lathyrus sativus* L. and *Lathyrus cicera* L. accessions and nutritional traits of their seeds. Genet. Resour. Crop. Evol. 59(8): 1687 — 1703.
- Hammer K., Laghetti G., Perrino P. 1989. Collection of plant genetic resources in South Italy. Kulturpflanzen 37: 401 — 414.
- Hanbury C.D., Sarker A., Siddique K.H.M., Perry M. W., 1995. Evaluation of *Lathyrus* germplasm in a Mediterranean type environment in South-Western Australia. Co-operative Research Center for Legumes in Mediterranean Agriculture, Occasional Paper, No 8. Perth.
- Hanbury C.D., White C.L., Mullan B.P., Siddique K.H.M., 2000. A review of the potential of *Lathyrus sativus* L. and *L. cicera* L. grain for use as animal feed. Anim. Feed Sci. Tech. 87: 1 — 27.

- Infascelli F., Di Lella T., Piccolo V. 1995. Dry matter, organic matter and crude protein degradability of high protein feeds in buffaloes and sheep. *Zoot. Nutr. Anim.* 21: 89 — 94.
- Kozak M., Bocianowski J., Rybiński W. 2008. Selection of promising genotypes based on path and cluster analyses. *J. Agric. Sci.* 146: 85 — 92.
- Kuo H., Bau H. M., Quemener B., Khan J. K., Lambein F. 1995. Solid-state fermentation of *Lathyrus sativus* seeds using *Aspergillus oryzae* and *Rhizopus oligosporus* sp T-3 to eliminate the neurotoxin beta-ODAP without loss of nutritional value. *J. Sci. Food Agric.* 69: 81 — 89.
- Latif M. A., Morris T. R., Jayne-Williams D. J. 1975. Use of khesari (*Lathyrus sativus*) in chick diets. *Br. Poult. Sci.* 17: 539 — 546.
- Lazanyi J. 2000. Grass pea and green manure effects in Great Hungarian plain. *Lathyrus Lathyrism Newsletter* 1: 28 — 30.
- Mackiewicz Z. 1956. Lędwian afrykański. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa 1956: 1 — 33.
- Mahalanobis P. C. 1936. On the generalized distance in statistics. *Proceedings of the National Institute of Science of India*, 12: 49 — 55.
- Mehra R. B., Raju D. B., Himabindu K. 1995. Evaluation and utilization of *Lathyrus sativus* collection in India. In: *Lathyrus Genetic Resources in Asia*. Proc. Reg. Workshop, December 27–29, Raipur, India.
- Milczak M., Pędziński M., Mnichowska H., Szwed-Urbaś K. 1997. Hodowla twórcza lędwianu siewnego (*Lathyrus sativus* L.) — podsumowanie pierwszego etapu. Międzynarodowe Sympozjum Naukowe „Lędwian siewny – agrotechnika i wykorzystanie w żywieniu zwierząt i ludzi”, Radom, 9–10 czerwca 1997: 13 — 22.
- Milczak M., Pędziński M., Mnichowska H., Szwed-Urbaś K., Rybiński W. 2001. Creative breeding of grass pea (*Lathyrus sativus*) in Poland. *Lathyrus Lathyrism Newsletter* 2: 85 — 88.
- Pandey R. L., Agrawal S. K., Chitale M. W., Sharma R. N., Kashyap O. P., Geda A. K., Chandrakar H. K., Agrawal K. K. 1995. Catalogue of grasspea (*L. sativus* L.) germplasm. I. Gandhi Agric. Univ. Press, Raipur, India: 72 — 81.
- Polignano G.P., Ugetti P., Olita G., Bisiganano V., Alba V., Perrino P. 2005. Characterization of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) entries by means of agronomically useful traits. *Lathyrus Lathyrism Newsletter* 4: 10 — 14.
- Rencher A. C. 1998. Interpretation of canonical discriminant functions, canonical variates, and principal components. *Am. Stat.* 46: 217 — 225.
- Robertson L. D., Abd El Moneim A. M. 1995. *Lathyrus germplasm* collection, conservation and utilization. In: *Lathyrus Genetic Resources in Asia*. Proceedings of a Regional Workshop, 27-29 December 1995, Indira Gandhi Agricultural University, Raipur, India, 97 — 111.
- Rybiński W., Szot B., Rusinek R. 2008. Estimation of morphological traits and mechanical properties of grasspea seeds (*Lathyrus sativus* L.) originating from EU countries. *Int. Agrophysics* 22 (3): 261 — 275.
- Rybiński W., Pankiewicz K. 2010. Lędwian siewny (*Lathyrus sativus* L.) — perspektywiczna roślina strączkowa – charakterystyka, zmienność i wykorzystanie na przykładzie materiałów kolekcyjnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 555: 361 — 372.
- Sarwar C. D. M., Sarkar A., Murshed A. N. M. M., Malik M. A. 1995. Variation in natural population of grass pea. In: *Lathyrus sativus* and Human Lathyrism. Progress and Prospects. Proc. 2nd Int. Colloq. Lathyrus Lathyrism, 10-12 December 1993, Dhaka.
- Starzycki M., Starzycka E. 1999. Biochemiczne metody identyfikacji nasion i roślin z rodziny *Brassicaceae*. Zakład Nasiennictwa i Nasionoznawstwa. Opracowanie nr: ZniN 72/3/99 Radzików.
- Vaz Patto M. C., Skiba B., Pang E. C. K., Ochatt S. J., Lambein F., Rubiales D. 2006. *Lathyrus* improvement for resistance against biotic and abiotic stresses: From classical breeding to marker assisted selection. *Euphytica* 147: 133 — 147.
- Yadov C. R. 1995. Genetic evaluation and varietal improvement of grasspea in Nepal. In: *Lathyrus Genetic Resources in Asia*. Proc. Reg. Workshop, December 27–29, Raipur, India.

ZBIGNIEW BODZON

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy w Radzikowie

Współzależność cech warunkujących plon nasion komonicy zwyczajnej (*Lotus corniculatus* L.)

Correlations of the characters determining the seed yield of birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus* L.)

Celem badań było określenie współzależności cech warunkujących plon nasion miejscowej populacji K 5 komonicy zwyczajnej. Oceniono następujące cechy: wysokość roślin, liczba łodyg głównych, liczba węzłów na łodydze, liczba baldachów na łodydze, liczba strąków w baldachu, liczba nasion w baldachu, liczba nasion w strąku, plon nasion z rośliny i masa 1000 nasion. W obu latach badań, największą zmienność obserwowano w odniesieniu do wysokości plonu nasion, liczby nasion w baldachu, liczby baldachów na łodydze i liczby łodyg głównych. Najmniej zmienną cechą była masa 1000 nasion. Badania wykazały wysoką dodatnią korelację plonu nasion z rośliny z liczbą łodyg głównych, liczbą baldachów na łodydze, liczbą strąków w baldachu, liczbą nasion w baldachu i liczbą nasion w strąku. Plon nasion z rośliny był w ok. 90% determinowany zmiennością liczby łodyg głównych i liczby baldachów na łodydze. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że jednoczesna selekcja w kierunku zwiększenia liczby łodyg rośliny, liczby baldachów na łodygach oraz liczby nasion w baldachu, prowadzi do zwiększenia poziomu plonowania nasiennego.

Słowa kluczowe: komonica zwyczajna, korelacje, *Lotus corniculatus*, plon nasion, regresja wielokrotna

Phenotypic correlation coefficients of the characters controlling seed yield of birdsfoot trefoil local population K 5 were determined. The following characters were investigated: plant height, main stem number per plant, node number per stem, umbel number per stem, pod number per umbel, seed number per umbel, seed number per pod, seed yield per plant, 1000 seed weight. The characters which had the highest variability were: seed yield per plant, seed number per umbel, umbel number per stem and main stem number per plant. The character which had smallest variability was 1000 seed weight. It was found that seed yield per plant which was positively correlated with the main stem number per plant, umbel number per stem, pod number per umbel, seed number per umbel and seed number per pod, depended upon the main stem number per plant and the umbel number per stem. Variability of these characters determined about 90% of the variability of seed yield. Multiple regression and phenotypic correlations showed that simultaneous selection for increased main stem number per plant and umbel number per stem and seed number per umbel resulted in enhanced seed yield potential.

Key words: birdsfoot trefoil, correlations, *Lotus corniculatus*, multiple regression, seed yield

WSTĘP

Komonica zwyczajna nadal jeszcze cieszy się w Polsce mniejszym zainteresowaniem w porównaniu z koniczyną czerwoną i lucerną, gatunkami o podstawowym znaczeniu w krajowej produkcji rolniczej. Gatunek ten odznacza się wysoką zawartością białka i składników mineralnych, zwłaszcza wapnia i magnezu, a także większą zawartością karotenów w porównaniu z innymi roślinami motylkowatymi oraz mniejszymi stratami tego cennego składnika podczas suszenia. Jest odporna na przygryzanie i udeptywanie. Charakterystyczną jej cechą jest wysoka mrozoodporność. Znosi okresowe spadki temperatury do -25°C bez okrywy śnieżnej. Komonica zwyczajna charakteryzuje się dużymi możliwościami przystosowywania się do różnych warunków ekologicznych, dając wysokie plony również w słabszych warunkach glebowo-klimatycznych, nieodpowiednich do uprawy koniczyn oraz lucerny. Poza uprawą polową doskonale nadaje się do mieszanek pastwiskowych i łąkowych, pozostających w użytkowaniu zarówno intensywnym jak i ekstensywnym, a także jako wsiewka międzyplonowa. Komonica będąca gatunkiem wieloletnim pozostawia po sobie duże ilości biomasy w postaci resztek poźniwnych, a uprawiana na tzw. „zielony nawóz” efektywnie zwiększa zawartość glebowej substancji organicznej (Wilczek, 2003; Escaray i in., 2012). Cechy te zachęcają do większego popularyzowania jej uprawy.

W Polsce obecnie zarejestrowana jest tylko jedna odmiana komonicy zwyczajnej — Skrzyszowicka. W hodowli nowych, wysokowydajnych odmian, ważnym jej kierunkiem jest uzyskanie wysokiej produktywności nasiennej, która powinna zapewniać ekonomicznie opłacalną produkcję nasion. Z tego względu szczególne znaczenie ma określenie wpływu różnych cech ilościowych na plon nasion, a także określenie ich współzależności. Znajomość tych zależności decyduje o efektywności selekcji prowadzonej w populacji roślin. W literaturze polskiej brakuje opracowań z tego zakresu, dlatego też podjęto badania dotyczące określenia współzależności cech warunkujących plonowanie nasienne komonicy zwyczajnej.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Materiał do badań stanowiła populacja K 5 komonicy zwyczajnej, wybrana w oparciu o wcześniej przeprowadzone badania (Bodzon, 2014) spośród czterech populacji lokalnych, wyróżniająca się dobrym osadzaniem strąków i małą podatnością na wyleganie. Materiał nasienny tych populacji pozyskano z Ogrodu Botanicznego IHAR — PIB w Bydgoszczy.

Z nasion populacji K 5 przygotowano rozsadę 500 roślin, z których założono jednopowtórzeniowe doświadczenie polowe. Rozsadę przygotowano w szklarni, w doniczkach o pojemności 0,2 l, napełnionych substratem torfowym, do których wysiewano pojedynczo nasiona. Ośmiotygodniowe rośliny wysadzono na poletku stosując szeroką rozstawę rzędów wynoszącą 0,4 m i obsadę 10 roślin na m^2 , zapewniając tym samym dobre warunki do maksymalnego wzrostu i rozwoju poszczególnym roślinom. Doświadczenie

założono w Radzikowie na glebie bielcowej wytworzonej z glin zwałowych, zaliczanej do III klasy bonitacyjnej.

W latach 2012–2013 badano 9 cech o charakterze morfologicznym i generatywnym, tj.: wysokość roślin, liczba łodyg głównych, liczba węzłów na łodydze, liczba baldachów na łodydze, liczba strąków w baldachu, liczba nasion w baldachu, liczba nasion w strąku, masa 1000 nasion i plon nasion z rośliny. Ocenę cech morfologicznych przeprowadzono w fazie pełnego kwitnienia roślin, natomiast strąki i nasiona zbierano w fazie, gdy ok. 60% strąków uzyskało brunatne zabarwienie. Nasiona zbierano z pierwszego odrostu. Ocenę badanych cech przeprowadzono w oparciu o próby 100 roślin losowo wybranych z poletka, zarówno w pierwszym jak i w drugim roku pełnego użytkowania. Wyznaczono współczynniki korelacji prostej między badanymi cechami roślin oraz przeprowadzono analizę wpływu tych cech na plonowanie nasienne metodą regresji wielokrotnej.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Przeprowadzona ocena cech składowych plonu nasion wykazała znaczne różnicowanie roślin w obrębie badanej populacji (tab. 1).

Tabela 1

Zmienność cech morfologicznych i generatywnych populacji K 5
Variability of morphological and generative characters of K 5 population

Wartość Value	Wysokość roślin Plant height	Liczba łodyg głównych Main stem number per plant	Liczba węzłów na łodydze Node number per stem	Liczba baldachów na łodydze Umbel number per stem	Liczba strąków w baldachu Pod number per umbel	Liczba nasion w baldachu Seed number per umbel	Liczba nasion w strąku Seed number per pod	Masa 1000 nasion 1000- seed weight	Plon nasion z rośliny Seed yield per plant
Rok — Year 2012									
Średnia Mean	41,3	34,6	11,1	11,7	4,5	49,7	11,1	1,1	10,0
Min – max	38–52	20–62	9–14	5–36	3–6	34–95	5–20	1,0–1,2	4–29
<i>I</i> %*	11,4	31,9	12,5	41,7	12,8	42,4	22,1	6,7	56,7
Rok — Year 2013									
Średnia Mean	39,8	31,7	11,7	12,4	4,3	52,3	12,0	1,1	11,8
Min – max	35–48	21–57	10–15	7–38	3–5	29–86	7–19	1,0–1,3	6–34
<i>I</i> %	9,8	33,8	10,9	39,8	11,6	40,8	21,3	6,5	52,6
Lata — Years 2012; 2013									
Test T- Studenta	-0,049	0,014	-0,230	-0,245	-0,399	-0,040	0,052	-0,146	-0,043
<i>p</i>	0,96	0,98	0,82	0,80	0,69	0,97	0,96	0,88	0,96

**I*% — współczynnik zmienności — coefficient of variation

W obu latach badań największą zmienność stwierdzono w odniesieniu do plonu nasion z rośliny, liczby nasion w baldachu, liczby baldachów na łodydze i liczby łodyg głównych. Najmniej zmienną cechą okazała się masa 1000 nasion. Niskie wartości współczynnika zmienności uzyskano także w ocenie liczby węzłów na łodydze i wysokości roślin. Występujące różnice w średnich wartościach badanych cech plonotwórczych, uzyskanych w kolejnych latach trwania eksperymentu, nie zostały statystycznie potwierdzone.

Obserwowana duża zmienność pod względem cech morfologicznych i generatywnych jest zjawiskiem charakterystycznym dla populacji, w których nie prowadzono jeszcze ściśle ukierunkowanej selekcji. Z punktu widzenia hodowli jest zjawiskiem pozytywnym, gdyż umożliwia uzyskanie populacji o pożądanym cechach fenotypowych. Znaczną zmienność cech występującą w obrębie ekotypów komonicy, zarówno polskich, jak i zagranicznych, potwierdzają badania Schmidta (2013).

Analiza metodą regresji wielokrotnej krokowej, wykonana zarówno w pierwszym, jak i w drugim roku pełnego użytkowania, pozwoliła wyodrębnić dwie cechy, których zmienność determinowała ok. 90% zmienności plonu nasion z rośliny populacji K 5. Są to liczba łodyg głównych i liczba baldachów na łodydze (tab. 2). Analiza przedstawia tzw. efekty bezpośrednie. Biorąc jednak pod uwagę wartości współczynników regresji dla danych standaryzowanych, zmienność plonu nasion zależała także od zmienności liczby węzłów na łodydze, liczby nasion w baldachu, liczby strąków w baldachu w pierwszym roku badań i liczby nasion w strąku w drugim roku.

Tabela 2

Współczynniki regresji wielokrotnej między plonem nasion z rośliny i 8 zmiennymi niezależnymi populacji K5 komonicy zwyczajnej
Multiple regression coefficients between seed yield per plant (the dependent variable) and 8 independent variables of K5 birdsfoot trefoil population

Cecha Character	Rok (year) 2012			Rok (year) 2013		
	B *	B **	p	B *	B **	p
Wyraz wolny Intercept		-12,819	0,19079		-8,034	0,49490
Wysokość roślin Plant height	-0,041	-0,053	0,60695	-0,036	-0,043	0,66837
Liczba łodyg głównych Main stem number per plant	0,351	0,262	0,00006	0,307	0,230	0,00089
Liczba węzłów na łodydze Node number per stem	0,105	0,397	0,20444	0,118	0,473	0,16041
Liczba baldachów na łodydze Umbel number per stem	0,481	0,537	0,00001	0,537	0,614	0,00001
Liczba strąków w baldachu Pod number per umbel	0,175	1,931	0,24309	0,012	0,124	0,93891
Liczba nasion w baldachu Seed number per umbel	0,106	0,026	0,83646	0,236	0,139	0,29975
Liczba nasion w strąku Seed number per pod	0,096	0,113	0,84271	0,272	0,462	0,44054
Masa 1000 nasion 1000-seed weight	-0,074	-5,473	0,22785	-0,022	-1,638	0,75410

2012 r. – $R^2 = 0,90085$

2013 r. – $R^2 = 0,90204$

* współczynnik regresji dla danych standaryzowanych — the regression coefficient for the standardized data

** współczynnik regresji dla danych oryginalnych — the regression coefficient for the original data

Zbadano także współzależność analizowanych cech morfologicznych i generatywnych (tab. 3). W obu latach badań plon nasion z rośliny wykazywał istotną, dodatnią korelację z liczbą łodyg głównych (odpowiednio $r = 0,75$ i $0,77$), liczbą baldachów na łodydze (odpowiednio $r = 0,87$ i $0,91$), liczbą strąków w baldachu (odpowiednio $r = 0,41$ i $0,48$),

liczbą nasion w baldachu (odpowiednio $r = 0,57$ i $0,60$) i z liczbą nasion w strąku (odpowiednio $r = 0,47$ i $0,50$). Wysoką współzależność plonu nasion z rośliny z liczbą łodyg wykazali także Radić i in. (2011).

Tabela 3

Macierz współczynników korelacji prostych 9 cech populacji K5 komonicy zwyczajnej. Poniżej diagonalnej dane z 2012 r., powyżej z 2013 r
The matrix of phenotypic correlation coefficients between 9 characters within K5 birdsfoot trefoil population. Data below the diagonal are for 2012, above for 2013

Cecha Character	Wysokość roślin Plant height	Liczba łodyg głównych Main stem number per plant	Liczba węzłów na łodydze Node number per stem	Liczba baldachów na łodydze Umbel number per stem	Liczba strąków w baldachu Pod number per umbel	Liczba nasion w baldachu Seed number per umbel	Liczba nasion w strąku Seed number per pod	Plon nasion z rośliny Seed yield per plant	Masa 1000 nasion 1000-seed weight
Wysokość roślin Plant height		0,27	0,66*	0,38*	0,22	0,20	0,18	0,28	0,30
Liczba łodyg głównych Main stem number per plant	0,24		0,21	0,70*	0,27	0,29	0,22	0,77*	0,26
Liczba węzłów na łodydze Node number per stem	0,61*	0,26		0,40*	0,21	0,12	0,10	0,27	0,21
Liczba baldachów na łodydze Umbel number per stem	0,35*	0,66*	0,41*		0,21	0,21	0,22	0,91*	0,11
Liczba strąków w baldachu Pod number per umbel	0,20	0,25	0,17	0,18		0,33*	0,06	0,48*	0,08
Liczba nasion w baldachu Seed number per umbel	0,24	0,23	0,09	0,19	0,34*		0,95*	0,60*	-0,02
Liczba nasion w strąku Seed number per pod	0,17	0,22	0,07	0,17	0,04	0,94*		0,50 *	- 0,11
Plon nasion z rośliny Seed yield per plant	0,25	0,75*	0,24	0,87*	0,41*	0,57*	0,47*		0,17
Masa 1000 nasion 1000-seed weight	0,28	0,11	0,18	0,16	0,02	-0,12	-0,18	0,24	

* istotne przy $p < 0,05$ — significant at $p < 0,05$

Z badań tych autorów wynika, że plon nasion był ponadto wysoko skorelowany z liczbą wytwarzanych przez rośliny strąków a także z wysokością roślin. W niniejszych badaniach współzależność plonu nasion z wysokością roślin nie została statystycznie potwierdzona. Wysoką, dodatnią korelację plonu nasion z liczbą baldachów wytworzonych na łodydze potwierdzają badania Chourkovej (2006), która oceniała poziom plonowania nasiennego

kilku europejskich i amerykańskich odmian komonicy w warunkach glebowo-klimatycznych Bułgarii. Zależność tę potwierdzają również badania Stevović i in. (2013) oraz Pet i in. (2008) w doświadczeniach zlokalizowanych w południowo-wschodnich rejonach Europy. Autorzy ci uzyskali ponadto w swoich badaniach wysokie współczynniki korelacji między plonem nasion i liczbą strąków w baldachach. Zależność ta została potwierdzona również w niniejszych badaniach. Stwierdzona, w obu latach pełnego użytkowania komonicy, dodatnia korelacja plonu nasion z rośliny z liczbą nasion w strąku została również wykazana w badaniach Chourkovej (2006) i Pet i in. (2008).

Przeprowadzona analiza wykazała także wysoką współzależność liczby łodyg głównych i liczby baldachów na łodydze, cech decydujących o plonie nasion, która w obu latach pełnego użytkowania roślin komonicy wyniosła odpowiednio $r = 0,66$ i $0,70$. Liczba baldachów na łodydze wykazywała stosunkowo niską, choć statystycznie istotną, dodatnią korelację z wysokością roślin i liczbą węzłów na łodydze, zarówno w pierwszym, jak i w drugim roku badań (odpowiednio: $r = 0,35$ i $0,41$ oraz $r = 0,38$ i $0,40$).

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono, że liczba nasion w baldachu, wysoko skorelowana z plonem nasion, wykazywała także statystycznie istotną korelację z liczbą nasion w strąku oraz z liczbą strąków w baldachu ($r = 0,94$ i $0,95$ oraz $0,34$ i $0,33$ odpowiednio w pierwszym i drugim roku badań), cechami również dodatnio skorelowanymi z plonem nasion z rośliny. Pet i in. (2008) w doświadczeniach prowadzonych w południowych rejonach Rumunii, uzyskał wysoki, dodatni współczynnik korelacji liczby nasion zawiązanych w strąku z liczbą strąków w baldachu. W niniejszych badaniach zależność ta nie została statystycznie potwierdzona. Obiektem badań tych autorów były odmiany o ustalonej produktywności uzyskanej w wyniku prowadzonej selekcji, podczas gdy populacja K 5 nie była poddana selekcji w tym kierunku. Inną, prawdopodobną przyczyną braku potwierdzenia tej zależności może być wpływ odmiennych warunków środowiskowych, a zwłaszcza klimatycznych, na plonowanie nasienne komonicy.

W badaniach dotyczących współzależności cech plonotwórczych inne cechy, niż stwierdzane w przypadku komonicy zwyczajnej, determinują zmienność plonu nasion lucerny siewnej i koniczyny czerwonej, gatunków należących, podobnie jak komonica, do grupy roślin motylkowatych drobnonasiennych. Wyrzykowska i in. (2007) badając formy lucerny różniące się budową morfologiczną kwiatostanów stwierdziła, że w obrębie badanych grup plon nasion z rośliny w ok. 98% był determinowany zmiennością liczby nasion z rośliny i zmiennością masy tysiąca nasion. Z badań Bodzona (2004) wynika, że plon nasion z rośliny form lucerny o długich osadkach kwiatostanowych i zwiększonej liczbie strąków w gronie, w porównaniu z formami o typowych gronach, zależał od liczby strąków w gronie i liczby nasion w strąku, a zmienność tych cech determinowała ponad 60% ogólnej zmienności plonu nasion z rośliny. Badania Ziaenasab i Jafari Ali Ashraf (2005) dowodzą, że najważniejszą cechą decydującą o wysokości plonu nasion koniczyny czerwonej jest liczba kwiatów w główce, natomiast Montardo i in. (2003) uważają, że główną cechą warunkującą plonowanie nasienne koniczyny jest liczba główek na roślinie.

Współzależności występujące w populacji K 5 komonicy w praktyce oznaczają konieczność prowadzenia jednoczesnej selekcji w kierunku zwiększenia liczby łodyg i liczby baldachów na łodydze. Cechy te wykazywały dużą zmienność umożliwiającą

prowadzenie skutecznej selekcji. Biorąc pod uwagę wysoką korelację liczby nasion w baldachu z plonem nasion i liczbą nasion w strąku, a także dużą zmienność tej cechy w populacji K 5 selekcja powinna uwzględniać także i tę cechę. Wysoka dodatnia korelacja plonu nasion z liczbą łodyg i brak ujemnej korelacji plonu nasion i cech generatywnych z cechami składowymi plonu zielonej masy, tj. wysokość roślin i liczba węzłów na łodydze, świadczy o tym, że prowadzenie selekcji w kierunku zwiększenia produktywności nasiennej nie powinno obniżyć plonowania pastewnego populacji K 5. Radić i in. (2011) potwierdzili w swoich badaniach dodatnią korelację plonu nasion i zielonej masy.

WNIOSKI

1. Populacja komonicy K 5 charakteryzuje się dużą zmiennością pod względem plonu nasion z rośliny, liczby nasion w baldachu, liczby baldachów na łodydze i liczby łodyg głównych, umożliwiającą prowadzenie selekcji w kierunku zwiększenia wartości tych cech.
2. W grupie badanych cech plon nasion z rośliny w ok. 90% determinowany jest zmiennością liczby łodyg głównych i liczby baldachów na łodydze.
3. Plon nasion zależy od zmienności liczby łodyg głównych, liczby baldachów na łodydze, liczby strąków w baldachu, liczby nasion w baldachu i liczby nasion w strąku.
4. Jednoczesna selekcja w kierunku zwiększenia liczby łodyg rośliny, liczby baldachów na łodygach oraz liczby nasion w baldachu w populacji K 5, prowadzi do zwiększenia poziomu plonowania nasiennego.

LITERATURA

- Bodzon Z. 2014. Opracowanie zasad produkcji nasiennej roślin motylkowatych. W: Ulepszanie roślin dla zrównoważonych agroekosystemów, wysokiej jakości żywności i produkcji roślinnej na cele nieżywnościowe. Arseniuk E. (red.), Monografie i Rozprawy Naukowe 48: 360 — 367.
- Bodzon Z. 2004. Correlations and heritability of the characters determining the seed yield of the long raceme alfalfa (*Medicago sativa* L.). J. Appl. Gen. Vol. 45 (1): 49 — 59.
- Chourkova B. 2006. Investigation of birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus* L.) populations and varieties grown in Central Northern Bulgaria. Bulg. J. Agric. Sci. 12: 455 — 460.
- Escaray F. J., Menendez A. B., Garriz A., Pieckenstein F. L., Estrella M. J., Castagno L. N., Carrasco P., Sanjuan J., Ruiz O. A. 2012. Ecological and agronomic importance of the plant genus *Lotus*. Its application in grassland sustainability and the amelioration of constrained and contaminated soils. Plant Sci. 182: 121 — 133.
- Montardo D. P., Dall'agnol M., Crusius A. F., Paim N. R. 2003. Path analysis for seed production in red clover (*Trifolium pratense* L.). Rev. Bras. Zootec. Vol. 32 n. 5: 1076 — 1082. Online <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982003000500007>.
- Pet I., Dragomir N., Pet E., Cristea C., Dragomir C., Mihăescu L. 2008. Study of correlations by groups of characters for seed production in birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus* L.). Buii. Univ. Agric. Sci. and Vet. Medic. Cluj-Napoca. Agriculture vol. 65 no. 1: 197 — 200.
- Radić V., Gatačić D., Durić B. 2011. Correlation between the yield and the components of *Lotus corniculatus* L. genotypes. Proc. 46th Croatian and 6th International Symposium on Agriculture. Opatija. Croatia: 473 — 476.
- Schmidt J. 2013. Waloryzacja polskich zasobów genowych komonicy zwyczajnej (*Lotus corniculatus* L.). Polish J. Agr. 14: 59 — 68.

- Stevović V., Lazarević D., Tomić D., Stanisavljević R., Durović D. 2011. Seed yield of birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus* L.) cultivars in the year of establishment. Proc. 4th International Scientific Symposium „Agrosystem 2013”. Jahornia. Bosnia and Herzegovina: 346 — 351.
- Wilczek M. 2003. Komonica zwyczajna. W: Szczegółowa uprawa roślin t. II. (red.) Jasińska Z. i Kotecki A. Wyd. AR Wrocław. Wrocław: 223 — 226.
- Wyrzykowska M., Ziemiańska J., Lisowska M. 2007. Zmienność i współzależność cech lucerny (*Medicago sativa* ssp. L.). Biul. IHAR 246: 169 — 177.
- Ziaenasab M., Jafari Ali Ashraf. 2005. Study on relationship between seed and forage yields and their components in red clover (*Trifolium pratense* L.). Iranian Journal Of Rangelands And Forests Plant Breeding and Genetic Research vol. 13 no. 1 (19): 85 — 98.

ANNA SZYDŁOWSKA¹ELŻBIETA MAŁUSZYŃSKA¹ZBIGNIEW BODZON²¹ Zakład Nasiennictwa i Nasionoznawstwa, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB w Radzikowie² Zakład Traw, Roślin Motylkowatych i Energetycznych, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB w Radzikowie

Zdolność kiełkowania komonicy zwyczajnej (*Lotus corniculatus* L.) w zależności od odkażania i fazy dojrzałości nasion

The germination capacity of birdsfoot trefoil seeds (*Lotus corniculatus* L.) depending on disinfection formulation and maturity of seeds

Celem pracy było wskazanie najlepszej fazy zbioru nasion dla uzyskania wysokiej zdolności kiełkowania oraz wpływu odkażania na jakość nasion komonicy zwyczajnej. Badano nasiona 2 form komonicy zwyczajnej, odmiany Skrzyszowickiej — S i nowej populacji — K. Zbiór nasion przeprowadzono w 4 terminach (T1–T4) wyznaczonych w oparciu o stopień zabarwienia 60–70% wytworzonych strąków, tj. T1 — barwa oliwkowo-brązowa, T2 — barwa jasnobrązowa, T3 — barwa brązowa, T4 — barwa ciemnobrązowa (brunatna). Optymalnymi terminami okazały się fazy T3 i T4, w których nasiona komonicy obu form osiągnęły najwyższą średnią zdolność kiełkowania (blisko 30% i 22%). Zastosowano odkażanie Topsinem M 500 SC i podchlorynem sodu. Stwierdzono, że u odmiany Skrzyszowickiej odkażanie dało pożądany efekt: zdolność kiełkowania istotnie wzrosła niezależnie od wariantu odkażania (o 19%), a ponadto zmniejszył się udział nasion twardych (o 23%). Odkażanie podchlorynem nasion populacji K spowodowało zwiększenie zdolności kiełkowania w porównaniu do odkażania Topsinem M (o 6%).

Słowa kluczowe: dojrzałość nasion, komonica zwyczajna, nasiona twarde, odkażanie, zdolność kiełkowania

The aim of the study was to find the best phase for seed harvest for obtaining high germination capacity of seeds and evaluation of the influence of decontamination on the birdsfoot trefoil seed quality. Seeds of 2 forms of birdsfoot trefoil, variety Skrzyszowicka — S and a new population — K were studied. Seeds were harvested on four dates (T1–T4). The optimal dates were T3 and T4 in which the seeds of both forms of birdsfoot trefoil reached the highest average germination (nearly 30% and 22%). Decontamination was done using Topsin M 500 SC and sodium hypochlorite. It was found that in the case of a variety Skrzyszowicka disinfection gave the desired effect: the germination rate significantly increased regardless of the disinfection variant and in addition, the proportion of hard

seeds was decreased. Hypochlorite disinfection of seeds from population K resulted in an increase of germination compared to decontamination by Topsin M. The effect of hypochlorite disinfection of seeds increased germination for the population K in comparison to seeds decontaminated by Topsin M (by 6%).

Key words: birdsfoot trefoil, maturity of seeds, germination, hard seeds, disinfection

WSTĘP

Według danych Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa od roku 2015 wszyscy rolnicy ubiegający się o jednolitą płatność obszarową otrzymają płatność z tytułu realizacji praktyk rolniczych korzystnych dla klimatu i środowiska, czyli tzw. płatność na zazielenienie (www.arimr.gov.pl/fileadmin/pliki/Kalkulator/Zazielenianie_przewodnik.pdf). Praktyki zazieleniania obowiązkowo obejmują: dywersyfikację upraw, utrzymanie obszarów proekologicznych (EFA) i utrzymanie trwałych użytków zielonych (TUZ). Za międzyplony w ramach obszaru proekologicznego uznawane będą mieszanki utworzone z co najmniej 2 gatunków roślin z różnych grup roślin uprawnych w tym motylkowatych drobnonasiennych. Komonica zwyczajna jest na liście gatunków, z których możliwe jest tworzenie mieszanek do użytkowania na obszarach proekologicznych. Ponadto jest bardzo dobrym składnikiem wieloletnich mieszanek łąkowych i pastwiskowych oraz występuje naturalnie na trwałych użytkach zielonych (Rutkowska, 1984). Z tego względu przewiduje się wzrost zapotrzebowania na nasiona komonicy, których aktualnie brak na krajowym rynku nasiennym. W 2013 roku zakwalifikowano tylko 566 t nasion roślin bobowatych drobnonasiennych (<http://piorin.gov.pl/nasiennictwo/ocena-materialu-siewnego/>). W kraju jest tylko jedna odmiana komonicy Skrzyszowicka, uprawiana jeszcze w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku i zarejestrowana ponownie w roku 2009 (http://www.coboru.pl/Polska/Rejestr/gat_w_rej.aspx). Podstawowym problemem uprawy nasiennej komonicy jest nierównomierne dojrzewanie oraz łatwe pękanie dojrzałych strąków (Pet i in., 2008). W uprawie konwencjonalnej stosuje się suszenie roślin przed zbiorem za pomocą środków chemicznych (desykantów). Zabieg ten wykonuje się w fazie, gdy 60%–70% strąków zbrunatnieje, wtedy po 7 dniach można przystąpić do zbioru (Sazońska, 2010). Bardzo ważny jest właściwy termin zbioru, gdyż jego opóźnienie powoduje straty wynikające z osypywania najwcześniej dojrzałych strąków, natomiast nasiona zebrane zbyt wcześnie, z uwagi na ich niepełne wykształcenie i dojrzałość, mogą mieć znacznie obniżoną zdolność kiełkowania (Dorywalski, 1956). Ponieważ nasiona mogą zawierać na swojej okrywie patogeny, których rozwój powoduje zmniejszenie zdolności kiełkowania, dlatego ważnym zabiegiem jest odkażanie nasion (Kaniewska i in., 2012). W wykazie materiału ekologicznego prowadzonym przez PIORIN nie ma komonicy, chociaż inne gatunki bobowatych drobnonasiennych tam się znajdują, jak również mieszanki traw z motylkowatymi (<http://piorin.gov.pl/rolnictwo-ekologiczne/wykaz-materialu-ekologicznego/>). W kraju brakuje badań dotyczących wartości siewnej nasion komonicy z uprawy ekologicznej.

Celem badań była ocena wartości siewnej nasion komonicy z uprawy ekologicznej w zależności od dojrzałości nasion i odkażania.

MATERIAŁ I METODY

W badaniach wykorzystano nasiona komonicy zwyczajnej odmiany: Skrzyszowickiej (S) i nowej populacji K, wyselekcjonowanej w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowym Instytucie Badawczym w Radzikowie z populacji lokalnej, pochodzącej z zasobów Ogrodu Botanicznego IHAR — PIB w Bydgoszczy. Nasiona pochodziły z uprawy w warunkach ekologicznych z doświadczenia polowego założonego metodą losowych bloków z trzema powtórzeniami na polu ekologicznym w Radzikowie. Po przedplonie, którym była gryka wysiano komonicę w siewie czystym, w ilości 8 kg/ha, w szerokiej rozstawie rzędów wynoszącej 40 cm. Zbiór nasion odbywał się w czterech terminach (T1–T4). Terminy zbioru wyznaczono w oparciu o stopień zabarwienia 60–70% wytworzonych strąków, tj. T1 — barwa oliwkowo-brązowa, T2 — barwa jasnobrązowa, T3 — barwa brązowa, T4 — barwa ciemnobrązowa. Dla oceny zdolności kiełkowania wysiano na podłożu bibułowym 3×50 nasion. W celu odkażenia nasion zastosowano 0,15% roztwór grzybobójczego preparatu Topsin M 500 SC lub 1% roztwór podchlorynu sodu. W pierwszym wariancie odkażania nasiona wysiano na bibule namoczonej 5 ml 0,15% wodnego roztworu Topsinu M, natomiast w drugim nasiona zanurzano w 1% roztworze podchlorynu na 10 min, płukano wodą destylowaną, a następnie wysiewano na bibule namoczonej 5 ml wody destylowanej. Kontrolę stanowiły próby nasion nieodkażanych, wysianych na bibule z dodatkiem 5 ml wody destylowanej. Analizowano zdolność kiełkowania nasion zebranych we wszystkich terminach zbioru zarówno po odkażeniu jak i nieodkażonych (kontrola). Do wysiewu użyto pudełek plastikowych o wymiarach 210×120 mm, które wyłożono bibułą. Ocenę zdolności kiełkowania przeprowadzono w oparciu o kryteria dotyczące szczegółowych metod badań zdolności kiełkowania, tj. stosowane podłoże (bibuła), wymagana temperatura (20°C) oraz czas kiełkowania (pierwsze/końcowe liczenie — 4/12 dni) (ISTA, 2014).

Podczas oceny wydzielano siewki normalne i nienormalne, nasiona martwe (splśniałe i gnijące) oraz nasiona zdrowe niekiełkujące, czyli nasiona twarde. Jako zdolność kiełkowania podawano procent siewek normalnych. Otrzymane wyniki badań opracowano statystycznie metodą analizy jednoczynnikowej wariancji. Istotność źródeł zmienności określono z wykorzystaniem testu 'F' Fischera-Snedecora, przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$, przy którym wyznaczono istotność różnicowania pomiędzy porównywanymi średnimi w oparciu o wielokrotne przedziały Tukeya (Trętowski i Wójcik, 1991).

WYNIKI I DYSKUSJA

Z uwagi na występujące w uprawach komonicy nierównomierne dojrzewanie i łatwe pękanie strąków bardzo ważne jest określenie właściwego terminu zbioru nasion (Sazońska, 2010). Problem ten nabiera szczególnego znaczenia w uprawach prowadzonych metodami ekologicznymi, wykluczającymi stosowanie chemicznej desykacji przed

zbiorem. W fazie dojrzałości T1, gdy nasiona miały barwę oliwkowo-brązową zdolność kiełkowania obu badanych form była najniższa, średnio 3,8% (tab. 1). W fazie T2 u linii K udział siewek normalnych był istotnie wyższy niż w T1, wzrósł o blisko 20%, a u odmiany Skrzyszowickiej pozostawał na tym samym poziomie (6%). Natomiast w fazie T3 nasiona obu odmian kiełkowały najlepiej, odpowiednio 38,0% i 21,5%, chociaż w tej fazie był wysoki udział nasion twardych, u linii K na poziomie 53%, a u odmiany Skrzyszowickiej 71%. Można stwierdzić, że udział nasion twardych wzrastał szybciej u odmiany Skrzyszowickiej, gdyż w fazie T2 wzrósł o 40% w stosunku do fazy wcześniejszej, natomiast w linii K tylko o 15%.

Tabela 1

Wyniki oceny zdolności kiełkowania w zależności od fazy dojrzałości nasion
Results of germination analysis depending on seeds maturity stage

Odmiana Cultivar	Faza dojrzałości Seeds maturity stage	Siewki normalne Normal seedlings			Nasiona twarde Hard seeds			Nasiona martwe Dead seeds		
		(%)	statystyka F	NIR LSD	(%)	statystyka F	NIR LSD	(%)	statystyka F	NIR LSD
Linia K	T1	4,4 c			20,6 a			69,5 a		
	T2	24,2 b	25,63 **	10,6	35,3 ab	15,26 **	23,4	26,6 b	26,92 **	22,8
	T3	38,0 a			53,5 bc			5,3 bc		
	T4	17,5 b			76,0 c			3,1 c		
Skrzyszowicka	T1	3,1 a	15,28**	11,0	20,8 b	22,42 **	18,5	66,4 a	64,52 **	14,08
	T2	6,4 a			60,7 a			18,0 b		
	T3	21,5 b			71,1 a			2,9 c		
	T4	26,0 b			65,8 a			5,3 bc		
Średnio Average	T1	3,8 c	19,62 **	9,2	20,8 c	26,51 **	15,9	68,0 a	76,76 **	12,8
	T2	15,3 b			48,0 b			22,3 b		
	T3	29,8 a			62,3 ab			4,1 c		
	T4	21,8 ab			70,9 a			4,2 c		

Średni udział nasion martwych w dwóch ostatnich terminach zbioru nasion wynosił tylko 4%, był więc o 18% niższy niż u nasion zebranych wcześniej. U linii K w ostatniej fazie zbioru zdolność kiełkowania obniżyła się, gdyż wzrósł udział nasion twardych. Natomiast nasiona odmiany Skrzyszowickiej zarówno w fazie dojrzałości T3, jak i T4 kiełkowały najlepiej. Udział nasion twardych wzrastał wraz z dojrzewaniem nasion, co obrazują wyniki nasion linii K od 20,6% do 76,0%. U odmiany Skrzyszowickiej tylko w pierwszej fazie zbioru T1 było mniej nasion twardych niż w pozostałych fazach zbioru. Twardość nasion jest charakterystyczną cechą nasion komonicy, podobnie jak innych gatunków z rodziny bobowatych. Właściwie przechowywany materiał siewny komonicy zachowuje zdolność kiełkowania przez parę lat, która przez 2 lata po zbiorze nie ulega zmianie (Dorywalski i in., 1956). Jednoroczne nasiona są z powodzeniem używane do siewu. Twardość nasion jest formą spoczynku, a nasiona tej grupy pozostają nieskiełkowane do końca trwania analizy (ISTA, 2014). Przyczyną twardości nasion jest nieprzepuszczalność dla wody i gazów tkanek formujących łupinę nasienną. Standardy jakości dla kwalifikowanego materiału siewnego dopuszczają najniższą zdolność kiełkowania nasion komonicy na poziomie 75%, spośród których 40% mogą stanowić nasiona twarde, które uznaje się za zdolne do kiełkowania (Rozp. M R i R W z dn. 18. 04. 2013). Według

Hamptona i in. (1987) nawet przy wysokiej zdolności kiełkowania komonicy udział nasion twardych może przekroczyć 50%. W przeprowadzonych badaniach, w fazie dojrzałości nasion T4, zawartość nasion twardych w kontroli osiągała średnio 85% i była wyższa w porównaniu z nasionami odkażanymi podchlorynem, jak i potraktowanymi Topsinem M, średnio o 21% (tab. 2). Po przeprowadzeniu odkażania z wykorzystaniem Topsinu M udział nasion twardych w populacji K zmniejszył się istotnie. U odmiany Skrzyszowickiej zarówno zastosowanie Topsinu M, jak i podchlorynu przyniosło obniżenie udziału nasion twardych do 58%. Uzyskane wyniki wskazują na skaryfikującą rolę podchlorynu oraz Topsinu M z powodu wzrostu przepuszczalności okrywy nasiennej i zmniejszenia twardości nasion.

Tabela 2

Udział procentowy nasion twardych podczas oceny zdolności kiełkowania komonicy zwyczajnej w fazie zbioru T4

The percentage of birdsfoot trefoil hard seeds in analysis of germination capacity in seeds harvested at stage T4

Preparat Preparation	Udział nasion twardych (%) Share of the hard seeds (%)	Odmiana Cultivar	
		linia K (%)	Skrzyszowicka (%)
Kontrola Control	85,0 a	88,6 a	81,3 a
Topsin M	65,3 b	72,7 b	58,0 b
Podchloryn Hypochlorite	62,3 b	66,7 b	58,0 b
NIR LSD	13,30	14,20	22,10
Statystyka F	11,62**	12,12 **	7,00*

Udział nasion martwych u komonicy był najwyższy w pierwszym terminie zbioru (68%) (tab. 3). Prawdopodobnie wysoka wilgotność nasion była powodem łatwego porażenia przez patogeny, które spowodowały pleśnienie podczas kiełkowania nasion. Żywotność i jakość nasion ma niewątpliwy wpływ na zdrowotność siewek i wyrosłych z nich roślin. Zakażenie nasion prowadzi nie tylko do obniżenia zdolności kiełkowania, ale także przenoszenia patogenów na rozwijające się rośliny. Najpowszechniejszą metodą ochrony roślin przed fitopatogenami jest metoda chemiczna, czyli odkażanie (Kurzawińska i Muras, 2005). Badanie wpływu odkażania podchlorynem sodu na zawartość nasion martwych, czyli pleśniejących i gnijących nie przyniosło istotnych statystycznie rezultatów (tab. 3). Udział nasion martwych po odkażaniu podchlorynem obu form komonicy nie zmniejszył się istotnie w porównaniu do kontroli (3,7%). Według Weiner i Domoradzkiej (2007) dezynfekcja chemiczna — z zastosowaniem HCl i podchlorynu sodu daje 95–100% skuteczności i jest szybka, jednak substancje te działają tylko powierzchniowo. Krawczyk i in. (2009) wykazały brak 100% skuteczności wybranych, powierzchniowych metod dezynfekcji na zdolność kiełkowania nasion pomidora, gdyż przyczyną są ograniczenia szczególnie wynikające z niedostatecznej penetracji obszaru docelowego przez stosowane preparaty. Mogłoby to tłumaczyć niską skuteczność odkażania nasion komonicy w

niniejszej pracy. W prezentowanym doświadczeniu również zastosowanie Topsinu M nie wpłynęło istotnie na obniżenie udziału nasion martwych (tab. 3).

Należy jednak podkreślić, że odkażanie spowodowało wzrost zdolności kiełkowania nasion. (tab. 4). U odmiany Skrzyszowickiej, której kontrolna zdolność kiełkowania wynosiła ok. 13%, po odkażaniu, w każdym wariantcie wartość tego parametru wzrosła do ponad 30%. U linii K kontrolna zdolność kiełkowania wynosiła tylko 9% i zastosowanie Topsinu M spowodowało wzrost zdolności kiełkowania do 18%. Stwierdzono, że najsilniej wpłynęło odkażanie podchlorynem, gdy wynik zdolności kiełkowania wzrósł ponad 24%.

Tabela 3

Procent nasion martwych podczas oceny zdolności kiełkowania komonicy zwyczajnej w fazie zbioru T4
The percentage of dead seeds in analysis of germination capacity of birdsfoot trefoil in seeds harvested at stage T4

Preparat Preparation	Udział nasion martwych (%) Share of the dead seeds (%)	Odmiana Cultivar	
		linia K (%)	Skrzyszowicka (%)
Kontrola Control	3,7 a	2,0 a	5,3 a
Topsin M	4,3 a	4,0 a	2,7 a
Podchloryn Hypochlorite	4,7 a	3,3 a	6,0 a
NIR	5,64	6,02	12,50
LSD			
Statystyka F	0,11	0,54	0,05

Tabela 4

Zdolność kiełkowania nasion komonicy zwyczajnej w zależności od preparatu odkażającego w fazie zbioru T4
Germination capacity of birdsfoot trefoil seeds depending on the decontamination preparation in seeds harvested at stage T4

Preparat Preparation	Średnia zdolność kiełkowania (%) Average germination capacity (%)	Odmiana Cultivar	
		linia K (%)	Skrzyszowicka (%)
Kontrola Control	11,3 b	9,3 b	13,4 b
Topsin	25,3 a	18,6 ab	32,0 a
Podchloryn Hypochlorite	28,6 a	24,6 a	32,6 a
NIR	9,03	10,43	7,50
LSD			
Statystyka F	13,99 **	10,33**	40,65 **

Z powodu nierównomiernego dojrzewania w zbieranym materiale siewnym komonicy występuje zwykle pewna ilość nasion niedojrzałych (Dorywalski i in., 1956), które wpływają na obniżenie zdolności kiełkowania, co może być dalszym tematem badań.

U komonicy obserwuje się często zjawisko opadania najmniej dojrzałych strąków, które może osiągnąć nawet 50% ich liczby. W pozostałych, najlepiej wykształconych owocach może rozwinąć się większa liczba nasion. Prawdopodobnie nasiona z pozostałych strąków

mają wyższy wigor, lepiej kiełkują (Stephenson i Winsor, 1986). U komonicy zwyczajnej obserwuje się usuwanie strąków z najmniejszą liczbą nasion w celu poprawienia jakości pozostałych nasion w pełniejszych strąkach. Być może jest to jedna z przyczyn, że w fazie T3 i T4 nasiona komonicy obu form miały najwyższą średnią zdolności kiełkowania, co powinno być tematem dalszych prac.

PODSUMOWANIE

U odmiany Skrzyszowickiej zdolność kiełkowania nasion istotnie wzrosła po odkażeniu niezależnie od wariantu, ponadto zmniejszył się udział nasion twardych. Odkazanie podchlorynem nasion populacji K spowodowało zwiększenie zdolności kiełkowania w porównaniu do odkażania Topsinem M.

Nasiona komonicy linii K i odmiany Skrzyszowickiej osiągnęły najwyższą średnią zdolność kiełkowania (odpowiednio 29,8% i 21,8%) w fazie T3 i T4.

Z doniesień literaturowych wynika, że w fazie T4 następuje samoistne pękanie strąków, a zatem zbiór nasion w tej fazie niesie ryzyko strat w wyniku ich osypywania. W fazie T3 strąki jeszcze nie pękają i takich strat nie ma. Przypuszcza się, że choć zdolność kiełkowania nasion była wyższa w T4, to zbiór nasion był obciążony ryzykiem strat, stąd faza T3 wydaje się korzystniejsza. Ze względu na to że osypywanie nie było badane w przedstawionej pracy, właściwe wydaje się zbadanie tego problemu w następnych doświadczeniach.

LITERATURA

- Dorywalski J. (red.) 1956. Nasionoznawstwo roślin uprawnych. PWRiL, Warszawa.
- Frame J. 2014 w <http://www.fao.org/Ag/agp/agpc/doc/Gbase/DATA/pf000344.HTM> *Lotus corniculatus*.
- Hampton J. G., Charlton J. F. L., Bell D. D., Scott D. J. 1987. Temperature effects on the germination of herbage legumes in New Zealand. Proc. New. Zeal. Grassl. Assoc. 48: 177 — 183.
- ISTA 2014. International Seed Testing Association. ISTA Rules. Zurich, Switzerland.
- Kaniewska J., Placzkowska M., Poćwiardowski W. 2012. Wpływ stężenia kwasu nadoctowego na zdolność kiełkowania nasion rzodkiewki. Zesz.Probl.Post.Nauk Roln. 570: 65 — 72.
- Krawczyk K., Maćkowiak-Sochacka A., Zwolińska A. 2009. Wpływ powszechnie stosowanych metod dezynfekcji na kiełkowanie nasion pomidora. Post. Ochr.Rośl. 49 (3):1291 — 1297.
- Kurzawińska H., Duda-Surman J. 2009. Skuteczność preparatów naturalnych w zwalczaniu fitopatogenów zasiedlających nasiona stewartcji kameliowej (*Stewartia pseudocamellia* max.). Post. Ochr. Rośl. 49 (3): 1512 — 1515.
- Pet I., Dragomir N., Pet E., Cristea C., Dragomir C., Mihaescu L. 2008. Study of correlations by groups of characters for seed production in birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus* L.). Bulletin UASVM, Agriculture 65 (1): 197 — 200.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dn. 18.04.2013. w sprawie terminów składania wniosków o dokonanie oceny polowej materiału siewnego poszczególnych grup roślin lub gatunków roślin rolniczych i warzywnych oraz szczegółowych wymagań w zakresie wytwarzania i jakości materiału siewnego. Dziennik Ustaw poz.517.
- Sawińska Z., Banach P. 2007. Wpływ łącznego stosowania fungicydu Topsin M 500 SC z nawozem dolistnym Mantrac 500 na zdrowotność pszenicy ozimej. Post.Ochr. Rośl. 47 (2): 310 — 313.
- Szońska B. 2010. Uprawa wybranych starych gatunków roślin uprawnych. CDR Brwinów, oddz. Radom.
- Stephenson A. G., Winsor J. A. 1986. *Lotus corniculatus* regulates offspring quality through selective fruit abortion. Evol.Inter.Jour.Org.Evol.40 (3): 453 — 458.

- Trętowski J, Wójcik A.R., 1991. *Metodyka doświadczeń rolniczych*. Wyd. WSRP, Siedlce.
- Weiner W., Domoradzka O. 2007. Badania odkażania nasion papryki. *Inż. Roln.* 6 (9): 361 — 365.
- www.arimr.gov.pl/fileadmin/pliki/Kalkulator/Zazielenianie_przewodnik.pdf.
- www.coboru.pl/Polska/Rejestr/gat_w_rej.aspx.
- www.piorin.gov.pl/rolnictwo-ekologiczne/wykaz-materialu-ekologicznego.

SANDRA CICHORZ**MARIA GOŚKA****ANNA LITWINIEC**

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy

Zakład Genetyki i Hodowli Roślin Korzeniowych, Bydgoszcz

Trawy wieloletnie z rodzaju *Miscanthus* — potencjalne źródło energii odnawialnej

Perennial grasses from the *Miscanthus* genus — potential source of renewable energy

Wyczerpywanie naturalnych pokładów paliw konwencjonalnych oraz wzrastająca emisja gazów cieplarnianych zmuszają do poszukiwania alternatywnych zasobów energetycznych. Zgodnie z założeniami Dyrektywy 2009/28/WE, Polska jako kraj członkowski Unii Europejskiej, zobligowana jest to zwiększenia udziału odnawialnych źródeł energii w finalnym jej zużyciu do 15% w 2020 r. Największy udział zarówno w europejskim, jak i polskim bilansie energii odnawialnej ma biomasa stała. Z powyższych względów coraz większego znaczenia nabierają uprawy roślin energetycznych. Wieloletnie trawy z rodzaju *Miscanthus* postrzegane są jako potencjalny surowiec do produkcji biomasy. W artykule przedstawione zostały zagadnienia związane z historią sprowadzenia miskanta olbrzymiego do Europy i Polski, charakterystyką dostępnej puli genetycznej, a także doświadczeniami z zakresu uprawy i hodowli wraz z cechami wymagającymi ulepszenia.

Słowa kluczowe: biomasa, trawy energetyczne, *Miscanthus*

Due to limited fossil fuels resources and rising greenhouse gas emissions there is an urgent need to seek alternative energy sources. According to the European Union Directive 2009/28/WE, Poland, as a Member State, is obligated to increase the share of renewable sources in gross final consumption of energy by 15% till 2020. Biomass has the largest share among the renewables in European and Polish energy consumption. Because of above mentioned reasons, dedicated energy crops are becoming more and more significant. Perennial grasses from the *Miscanthus* genus are perceived as a potential biomass energy crop. This article presents the history of *Miscanthus* × *giganteus* introduction to Europe and Poland, description of the currently available gene pool as well as the agricultural and breeding experience and the features requiring improvement.

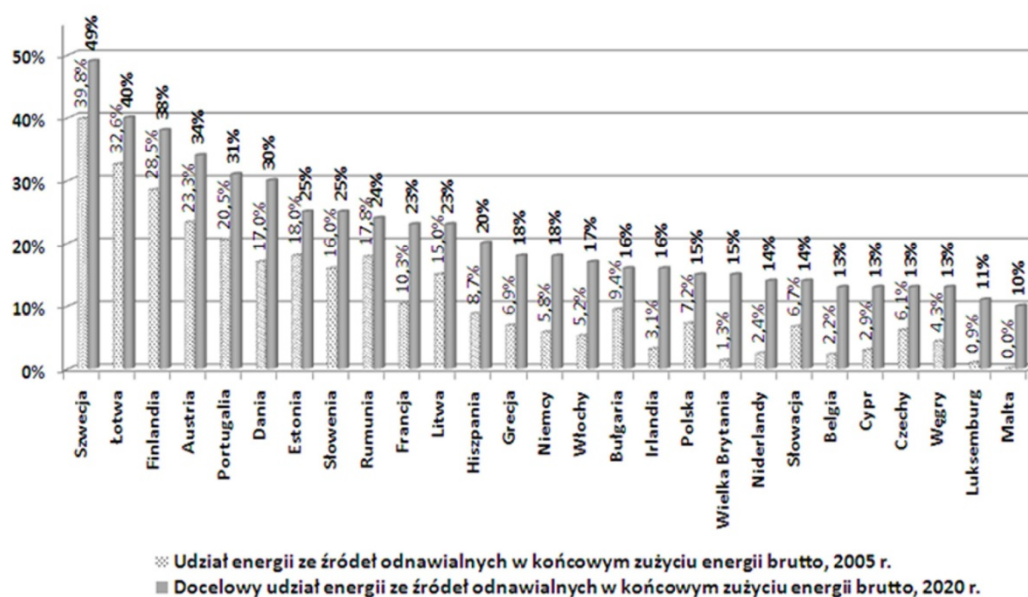
Key words: biomass, energetic grasses, *Miscanthus*

WSTĘP

Rosnące zapotrzebowanie na energię wśród krajów rozwijających się, którym towarzyszą wahania cen surowców oraz awarie systemów energetycznych, a także wzrost zanieczyszczenia środowiska stanowią istotne problemy światowej polityki energetycznej (MG 2009). Wyczerpywanie się tradycyjnych zasobów takich jak: ropa naftowa, węgiel czy gaz ziemny wymusza poszukiwania alternatywnych rozwiązań. Spore nadzieje wiąże się z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. Obecnie dążenie do wzrostu ich udziału w pozyskaniu energii nie pozostaje wyłącznie w sferze deklaracji, lecz ma konkretne znaczenie w prawodawstwie. W przypadku Stanów Zjednoczonych system prawny określony w United States of America Energy Independence and Security Act of 2007 (US Senate, 2007) zakłada w głównej mierze zwiększenie niezależności i bezpieczeństwa energetycznego, produkcję czystych biopaliw, stabilizację cen i wydajności energii oraz regulację gospodarki gazów cieplarnianych. Powyższy akt prawny określa osiągnięcie 60% udziału surowców celulozowych w produkcji biopaliw. Zakłada się, iż biomasa pochodząca z upraw wieloletnich traw prowadzonych w mono- i polikulturze oraz drzew energetycznych o tzw. „krótkim cyklu” (m. in. topoli) stanowi duży potencjał do produkcji bioenergii (Zamora i in., 2013). W USA nie ma problemu z dostępnością wartościowych obszarów rolnych do uprawy roślin energetycznych, jednak z perspektywy przyszłych pokoleń i wzrastającego zapotrzebowania na żywność optymalnym rozwiązaniem wydaje się być przeznaczenie obszarów marginalnych do tego typu upraw. Należą do nich ziemie, na których rośliny uprawne nie dają satysfakcjonujących plonów ze względu na niekorzystne warunki edaficzne oraz klimatyczne, bądź postępującą erozję gleby. Rośliny przeznaczone na cele energetyczne posiadają silny system korzeniowy i łatwo adaptują się do warunków panujących na danym terenie (Gelfand i in., 2013). Podobne tendencje obserwuje się w Chinach, gdzie na uprawę roślin energetycznych można przeznaczyć wyłącznie tereny marginalne, gdyż pozostałe obszary wykorzystywane są do produkcji żywności (Sang i Zhu, 2011).

W krajach europejskich również obserwuje się wzrost produkcji energii ze źródeł odnawialnych. Zgodnie z rozporządzeniami zawartymi w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE (Dyrektywa 2009/28/WE) kwestią priorytetową na nadchodzące lata dla krajów członkowskich Unii Europejskiej jest realizacja postanowień Protokołu z Kioto do Ramowej Konwencji Organizacji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, a także wywiązanie się z innych wspólnotowych i międzynarodowych zobowiązań dotyczących redukcji emisji gazów cieplarnianych. W założeniu ma to istotne znaczenie dla zwiększenia bezpieczeństwa dostaw energii, wzmocnienia rozwoju innowacji i technologii, ze szczególnym uwzględnieniem obszarów wiejskich i odizolowanych. Przyjęty w grudniu 2008 roku przez Unię Europejską pakiet klimatyczno-energetyczny wyznacza na 2020 rok cele ilościowe, tzw. „3 × 20%”, czyli: 1) redukcję emisji gazów cieplarnianych o 20% w odniesieniu do roku 1990; 2) redukcję zużycia energii o 20% w odniesieniu do prognoz dla UE na 2020 r.; a także 3) zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) do 20% całkowitego zużycia energii w UE.

Szczegółowe zestawienie dla każdego państwa członkowskiego UE, zgodnie z danymi zawartymi w dyrektywie, przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Krajowe cele ogólne w zakresie udziału energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w 2020 r. (Dyrektywa 2009/28/WE)

Fig. 1. National overall targets for the share of energy from renewable sources in gross final consumption of energy in 2020 (Directive 2009/28/WE)

Dla Polski, jako kraju członkowskiego, oznacza to wzrost udziału odnawialnych źródeł w finalnym zużyciu energii z 7,2% w 2005 roku do 15% w 2020 roku (Dyrektywa 2009/28/WE). Według Eurostatu, w Polsce udział OZE w finalnym zużyciu energii w 2012 roku wyniósł 11%. Do tej pory największy odsetek w procesie spalania biomasy miała nieprzetworzona biomasa leśna w postaci zrębek i trocin (Celińska, 2009). Jednakże, zgodnie z najnowszym Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 13 listopada 2013 r. (MG, 2013), stosowanie drewna pełnowartościowego jako komponentu w procesie spalania przez duże elektrownie (moc elektryczna powyżej 20 MW) nie będzie możliwe. Z powyższych względów uprawa roślin energetycznych nabiera coraz większego znaczenia w dążeniu do osiągnięcia założeń polityki energetycznej Polski (Gajewski, 2011; Krasuska i Rosenquist, 2012). Obecnie trudno jest jednoznacznie określić powierzchnię upraw wieloletnich roślin energetycznych z uwagi na brak jednolitych opracowań. Zgodnie z danymi przedstawionymi przez Gajewskiego (2011) powierzchnia jaką zajmowały wieloletnie plantacje energetyczne w 2009 r., oszacowana na podstawie wniosków rolników o dopłaty do upraw roślin energetycznych, wynosiła 10 198,1 ha, z czego 60% stanowiły uprawy wierzby energetycznej (6157 ha), 18% miskanta (1832,6 ha), 13% traw

wieloletnich (1364) oraz 9% innych roślin (topoli, ślazuwca, mozgi trzcinowatej, brzozy oraz olszy). Według Głowackiej (2011) powierzchnia uprawy miskanta w Polsce, biorąc pod uwagę rok 2011, przekroczyła 4 000 ha. Ponadto Gajewski (2011) stwierdził, że od 2006 do 2011 roku plantacje roślin energetycznych praktycznie się nie rozwijały. Nie zmienia to jednak faktu, że Polska obok Węgier, Wielkiej Brytanii, Włoch, Litwy (Smeets i in., 2009) oraz Francji czy Niemiec (Stampfl i in., 2007) posiada duże możliwości do produkcji biomasy, a zwłaszcza wieloletniej trawy energetycznej jaką jest miskant. W porównaniu do wyżej wymienionych państw w Polsce koszty produkcji, magazynowania oraz transportu biomasy są relatywnie niższe (Smeets i in., 2009). Szacuje się, że pod uprawę roślin na cele energetyczne można przeznaczyć około 1,6 mln ha użytków rolnych (Ginalski, 2013), zaś sam surowiec może stać się przedmiotem eksportu (EEA, 2006). Nadprodukcja żywności w krajach rozwiniętych powoduje ograniczenie powierzchni obszarów gruntów ornych. W Polsce, również w wyniku reformy rolnictwa przeprowadzonej w 1995 roku, około 1,5 mln ha ziemi zostało wyłączonych z tradycyjnej uprawy. Otwiera to nowe możliwości prowadzenia plantacji roślin przeznaczonych na cele przemysłowe i energetyczne (Majtkowski i Majtkowska, 1998, Ginalski, 2013). Szczególnie cenne są gatunki, które przy niskim nakładzie kosztów pozwalają uzyskać duże ilości energii. Liczne doświadczenia przeprowadzone w różnych częściach Europy (Heaton i in., 2004a; Heaton i in., 2004b; Stampfl i in., 2007; Hastings i in., 2009) wskazują, iż wieloletnie trawy z rodzaju *Miscanthus* (rys. 2, 3) posiadają najwyższą wartość energii wytworzonej w porównaniu do innych roślin takich jak: wierzba, pszenica, konopie czy rzepak. Dodatkowo wydajne wykorzystanie wody, dwutlenku węgla i azotu oraz szybki przyrost biomasy wpływają na zwiększanie się arealu upraw tej rośliny.

HISTORIA SPROWADZENIA MISKANTA OLBRZYMIEGO DO EUROPY

Wieloletnie trawy z rodzaju *Miscanthus* wywodzą się z tropikalnych, subtropikalnych i umiarkowanych regionów Azji Południowo-Wschodniej oraz Wysp Pacyfiku. Należą do grupy roślin szklaku C-4, które charakteryzują się wydajnym procesem fotosyntezy, a tym samym wysokim przyrostem biomasy z powierzchni asymilacyjnej (Jeżowski, 1999). Wiąże się to z niskim zapotrzebowaniem wody, nawozów oraz zabiegów pielęgnacyjnych podczas prowadzenia uprawy tych roślin. Miskant należy do rodziny *Poaceae*, plemienia *Andropogoneae*, podplemienia *Saccharinae*. Różne źródła literaturowe wskazują, iż rodzaj *Miscanthus* liczy od 14–20 gatunków. Prowadzone badania z wykorzystaniem analiz molekularnych i cytologicznych pozwoliły na zawężenie liczby gatunków do 11–12, takich jak: *M. floridulus* (Labill.) Warb., *M. intermedius* (Honda) Honda, *M. longiberbis* Nakai, *M. lutarioparius*, *M. oligostachyus* Stapf., *M. paniculatus* (B. S. Sun) Renvoize & S. L. Chen, *M. sacchariflorus* (Maxim.) Hack., *M. sinensis* Anderss., *M. tinctorius* (Steud.) Hack., *M. transmorrisonensis* Hayata, *M. × giganteus* Greef & Deuter ex Hodkinson and Renvoize, *Miscanthus sinensis* ssp. *condensatus* (Hackel) T. Koyama (oznaczany również jako *M. condensatus*). Spośród wyżej wymienionych trzy gatunki uznawane są za szczególnie cenne do produkcji biomasy: miskant cukrowy (*M. sacchariflorus*), chiński (*M. sinensis*) oraz olbrzymi (*Miscanthus × giganteus*) (Clifton-Brown i in., 2008), przy

czym ostatni charakteryzuje się najwyższym plonowaniem. Pierwsze osobniki miskanta olbrzymiego trafiły do Europy z Jokohamy (Japonia) (Scurlock, 1999). Do końca XX wieku nie były postrzegane jako rośliny energetyczne (Chung i Kim, 2012). Pierwszy klon miskanta został sprowadzony do Danii w 1935 roku przez botanika Aksela Olsena jako roślina ozdobna. Roślina ta pochodzi z Dalekiego Wschodu, jednakże szybko okazało się, że dobrze zanoszą warunki klimatyczne Europy. Pod koniec lat 60. po raz pierwszy zaobserwowano, że biomasa miskanta może być wykorzystana do produkcji włókien celulozowych (Scurlock, 1999). Do badań prowadzonych przez Danish Institute for Landscape Plants w Hornum (Clifton-Brown i Lewandowski, 2000) wykorzystano genotyp oznaczony jako 'Klon Hornum'. Pionierską plantację miskanta o powierzchni zaledwie jednego hektara założono w Möser koło Magdeburga (Niemcy), (Jeżowski, 1999) i od tego czasu rozpoczęto intensywne doświadczenia polowe w Północnej Europie, które następnie rozprzestrzeniono do innych części Europy (Scurlock, 1999).

CHARAKTERYSTYKA PULI GENETYCZNEJ

Początkowo sądzono, iż osobniki miskanta sprowadzone z Japonii należą do gatunku miskanta chińskiego i zostały oznaczone przez Karla Foerстера jako 'Giganteus' ze względu na szybkie tempo wzrostu (Linde-Laursen, 1993; Jeżowski, 1999). W kolejnych doniesieniach naukowych stwierdzono, że opisywany genotyp jest triploidalnym mieszańcem międzygatunkowym o liczbie chromosomów $2n = 3x = 57$, zaś jego komponenty rodzicielskie należą do dwóch gatunków: diploidalnego miskanta chińskiego ($2n = 2x = 38$) oraz tetraploidalnego miskanta cukrowego ($2n = 4x = 76$). W wyniku naturalnego przekrzyżowania powstał miskant olbrzymi (*Miscanthus* × *giganteus*), który uznano za odrębny gatunek (Linde-Laursen, 1993; Hernández i in., 2001; Hodkinson i in., 2002b). Potwierdziły to analizy sekwencji DNA regionu *nrITS* (Nuclear ribosomal internal transcribed spacer) wykonane przez Hodkinson i in. (2002b, 2002c). Przeprowadzone reakcje PCR wskazały na obecność u miskanta olbrzymiego dwóch alleli *nrITS*. Klonowanie powyższych produktów ujawniło, że jeden z nich odpowiada miskantowi chińskiemu, zaś drugi miskantowi cukrowemu. Ponadto, analizy sekwencji DNA regionów *trnL-F* oraz chloroplastowego intronu *trnL* (tRNA-leucine), dziedziczonego matecznie, wskazały iż komponentem matecznym miskanta olbrzymiego jest miskant cukrowy. Uznano, że analogiczna sytuacja zachodzi w przypadku genomu mitochondrialnego. Genom jądrowy u tego gatunku dziedziczony jest zarówno po miskancie chińskim jak i cukrowym. Pomimo, że osobniki miskanta chińskiego oraz cukrowego mogą występować w odmiennych siedliskach, to na obszarze Japonii zasięg występowania tych gatunków pokrywa się. Przypuszcza się, iż zbieżność fenologii kwitnienia w sympatrycznych populacjach doprowadziła do powstania naturalnego mieszańca międzygatunkowego jakim jest miskant olbrzymi. Istnieje przypuszczenie, że jest to ten sam genotyp oznaczony przez Hondę w 1939 r. jako *M. ogiformis* Honda, który został zidentyfikowany w dorzeczu rzeki Kuma (Japonia), (Nishiwaki i in., 2011). Osobniki do niego należące są szczególnie cenne, gdyż wykazują efekt heterozji, a tym samym przewyższają plonem biomasy komponenty rodzicielskie (Matumura i in., 1985; Heaton i in., 2010) i osiągają nawet do 4

m wysokości w warunkach europejskich (Zub i Brancourt-Hulmel, 2010). Ze względu na całkowitą (Lafferty i Lelley, 1994) lub częściową sterylność *M. × giganteus* nie wytwarza płodnych nasion. Z powyższych względów jest rozmnażany wyłącznie wegetatywnie. Zazwyczaj odbywa się to przez podział kłaczy lub za pomocą mikrorozmnażania w warunkach kultur *in vitro* (Jeżowski, 1999). Skutkiem rozmnażania poprzez klonowanie jest bardzo małe zróżnicowanie w obrębie tego gatunku. Z badań przeprowadzonych przez Greef i in. (1997) oraz Hodgkinson i in. (2002 a) wynika, iż w Europie dostępne są maksymalnie trzy różniące się od siebie genotypy. Istnieje jednak prawdopodobieństwo, że miskant olbrzymi, uprawiany na szeroką skalę w Europie, wywodzi się wyłącznie od jednego genotypu pierwotnie sprowadzonego z Dalekiego Wschodu (Deuter i Jeżowski, 1998), zwanego ‘Klonem Hornum’ (Farrell i in., 2006), który najprawdopodobniej jest tożsamy z ‘Klonem Aksel Olsen’. Analizując doniesienia literaturowe można przypuszczać, iż drugim, odrębnym genotypem powstałym w wyniku innego naturalnego przekrzyżowania może być ‘Klon Harvey’. Jak podaje Sacks i in. (2013), został on sprowadzony do Anglii bezpośrednio z Japonii w 1980 roku. Wyżej wspomniane fakty świadczą o bardzo zawężonej puli genetycznej gatunku *M. × giganteus* występującego w Europie (Zub i Brancourt-Hulmel, 2010).

EUROPEJSKIE PROGRAMY HODOWLANE

Celem sprawdzenia puli genetycznej wspomnianych gatunków w różnych częściach Europy rozpoczęto realizację licznych programów hodowlanych (tab. 1). W Niemczech prace badawcze poświęcone miskantowi trwały od 1991 do 1994 roku z udziałem firmy Veba Oel AG. Ponadto, w 1993 roku ustanowiono międzynarodową sieć skupioną na produktywności roślin, w której brało udział 18 podmiotów z 10 krajów (Lewandowski i in., 2000). Podczas tych prac badawczych Jørgensen (1997) zaobserwował zróżnicowanie w obrębie gatunku miskanta chińskiego i zasugerował wykorzystanie ich jako komponentów do resyntezy nowych genotypów miskanta olbrzymiego o ulepszonych cechach jakościowych. Nieco później rozpoczęto realizację programu European Miscanthus Improvement (EMI), którego celem było zwiększenie wydajności produkcji biomasy oraz zdolności adaptacyjnych miskanta (Scurlock, 1999). Od 1997 roku prowadzono intensywne badania polowe w krajach europejskich, w tym: Szwecji, Danii, Niemczech, Anglii oraz Portugalii. Materiał badawczy obejmował osobniki miskanta olbrzymiego, cukrowego i chińskiego sprowadzone bezpośrednio z Azji, a także uzyskane od niemieckich, duńskich oraz szwedzkich hodowców. Badania te miały na celu zweryfikowanie wydajności plonu 15 genotypów miskanta w różnych warunkach glebowych i klimatycznych Europy tak, aby zoptymalizować wydajność produkowanej biomasy. Wstępne wyniki jakie uzyskano po trzech latach prowadzenia uprawy wykazały, że w Anglii i Niemczech preferowanym gatunkiem był *M. × giganteus*, dając plon odpowiednio powyżej 13 t·ha⁻¹ oraz 22 t·ha⁻¹. W Portugalii miskant olbrzymi również dobrze plonował (34 t·ha⁻¹), lecz najwyższą efektywność uzyskano dla jednego mieszańca *M. sinensis* (powyżej 47 t·ha⁻¹). Podobnie w Szwecji i Danii najbardziej wydajne były

również mieszańce *M. sinensis*, co wskazuje na duży potencjał adaptacyjny tych osobników (Clifton-Brown i in., 2001).

Tabela 1

Przykłady europejskich programów hodowlanych ukierunkowanych na ulepszenie wieloletnich traw energetycznych z rodzaju *Miscanthus*
The examples of European breeding programs concentrated on *Miscanthus* perennial grass improvement

Lata trwania programu Duration of breeding programme	Charakterystyka programu Characteristic of breeding programme	Uczestnicy programu Participants of breeding programme	Literatura References
1991–1994	Jedne z największych prac badawczych poświęcone produktywności miskanta – plantacje na obszarze o łącznej powierzchni 70 ha w 20 lokalizacjach	Niemcy — firma energetyczna Veba Oel AG	(Lewandowski i in., 2000)
1992–1996 1999–2003 1997 2011–2016	Cykl projektów badawczych obejmujący: - analizę cech plonu biomasy oraz porównanie klonów miskanta z zastosowaniem markerów molekularnych, - pozyskanie nowych genotypów ze środowiska naturalnego (Chiny, Japonia, Korea, Taiwan), - genetyczne ulepszenie miskanta.	Współpraca ośrodków z Wielkiej Brytanii: Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), Royal Botanic Gardens w Kew, Agricultural Development and Advisory Service (ADAS), Arthur Rickwood Research Station	(DEFRA, 2013)
1993	European <i>Miscanthus</i> Productivity Network, którego celem było ustanowienie międzynarodowej sieci skupionej na produktywności miskanta	18 podmiotów z 10 krajów	(Lewandowski i in. 2000) (Scurlock, 1999)
1997	European <i>Miscanthus</i> Improvement (EMI) finansowany przez Komisję Europejską, którego celem było: - opracowanie metod hodowlanych do tworzenia nowych mieszańców międzygatunkowych, - zwiększenie wydajności produkcji biomasy, - zwiększenie zdolności adaptacyjnych miskanta.	Szwecja, Dania, Niemcy, Anglia, Portugalia	(Clifton-Brown i in., 2001) (Scurlock, 1999)

Genotypy miskanta olbrzymiego użyte w programie EMI pochodziły z duńskiej (włączając 'Klon Hornum') oraz niemieckiej kolekcji. Początkowo sądzono, że wywodzą się z różnych krzyżowań. Analizy zróżnicowania genetycznego przeprowadzone przez zespół Greef i in. (1997) z zastosowaniem markerów molekularnych AFLP w obrębie tego samego materiału badawczego wykazały niewielkie, ale wykrywalne różnice na poziomie genomu pomiędzy niektórymi osobnikami miskanta olbrzymiego. Autorzy sugerowali, że różnice te mogą powodować zmiany w strukturze i wielkości plonu. Jednakże Clifton-Brown i in. (2001) w trzech pierwszych latach uprawy nie stwierdzili istotnych różnic dotyczących takich cech jak: gęstość korzeni, wysokość roślin oraz wielkość jesienno plonu w obrębie puli genetycznej miskanta olbrzymiego. Uzyskane wyniki potwierdziły

bardzo niskie zróżnicowanie w obrębie tego gatunku. Powyższe doświadczenia polowe kontynuowano przez kolejne 11 lat (co łącznie daje czternastoletni okres obserwacji) w stacji Ihinger Hof Uniwersytetu Hohenheim w Południowych Niemczech. Celem tych prac była ocena stabilności wielkości plonu w poszczególnych latach uprawy. Wyniki wskazały, iż najlepszym genotypem okazał się *M. × giganteus* oznaczony jako Gig-2 (No. 16.21, 'Klon Hornum') ze średnim jesiennym plonem wynoszącym 14,1 t·ha⁻¹. Biorąc pod uwagę pomiary takie jak np. gęstość korzeni nie odnotowano istotnych różnic między trzecim a czternastym rokiem uprawy. Obserwowano natomiast widoczne różnice między genotypami w wielkości i stabilności plonu. Genotypem wykazującym najbardziej pożądane efekty okazał się być *M. × giganteus* o nazwie Gig-3 (No. 17.02, Prof. Hagemann). Wydajność plonu tego genotypu nie spadała poniżej 12,7 t·ha⁻¹ przez 75% analizowanego okresu czasu (Gauder i in., 2012). Powyższe wyniki pozwalają przypuszczać, iż drobne różnice występujące między genotypami miskanta olbrzymiego mogą ujawnić się dopiero po dłuższym okresie uprawy. Kolejny program badawczy był prowadzony w ramach współpracy dwóch ośrodków: Royal Botanic Gardens w Kew oraz Agricultural Development and Advisory Service (ADAS), Arthur Rickwood Research Station w Wielkiej Brytanii. Pozwolił on na utworzenie krajowej kolekcji miskanta. Od 1992 roku przeprowadzono serię badań realizowanych przez Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), analizujących szeroki zakres cech plonu biomasy oraz wzajemne powiązanie klonów miskanta z zastosowaniem markerów molekularnych (DEFRA, 2013). Analizy zróżnicowania genetycznego 75 osobników miskanta, należących do wyżej wspomnianej kolekcji, były prowadzone przez Hodgkinson i in. (2002 a) z zastosowaniem markerów molekularnych typu ISSR oraz AFLP. Wyniki wskazały na występowanie bardzo wąskiej puli genetycznej w obrębie gatunku miskanta olbrzymiego. Autorzy sugerowali, że wśród analizowanych osobników mogą występować wyłącznie dwa lub trzy blisko spokrewnione klony, natomiast osobniki miskanta chińskiego wykazały bardzo wysokie zróżnicowanie. Powyższe osiągnięcia stanowiły jedynie podstawy do dalszych badań i niejako wskazały konieczność poszerzenia puli genetycznej traw z rodzaju *Miscanthus*. Obecnie również prowadzi się intensywne prace hodowlane nad wyprowadzeniem nowych odmian miskanta. W Europie największy udział w tym sektorze należy między innymi do dwóch firm: angielskiej — Biomass Industrial Crops oraz niemieckiej — Timplant Biotechnik und Pflanzenvermehrung, której prawa licencyjne do rozmnażania i sprzedaży zostały w 2007 roku wykupione przez amerykański koncern Mendel Biotechnology Inc. Działalność powyższej firmy, jak również Ceres Inc. oraz angielsko-kanadyjskiej BiUS, przyczyniła się do szybkiego rozwoju plantacji miskanta olbrzymiego, który ma miejsce na obszarze Ameryki Północnej (Majewska-Sawka, 2009). Ponadto, kilka programów hodowlanych jest w trakcie realizacji przez jednostki badawcze z Wielkiej Brytanii (DEFRA, 2013), USA i Francji. Skupiają się one na kolekcji i charakterystyce zróżnicowania zasobów genetycznych pochodzących z naturalnego środowiska. Wstępowanie miskanta w różnych szerokościach geograficznych świadczy o dużej różnorodności i zdolnościach adaptacyjnych osobników tego rodzaju. Z powyższych względów, środowisko naturalne stanowi nadal cenne źródło genotypów

nadających się do uprawy w różnych warunkach klimatycznych (Clifton-Brown i in., 2008). Poza tym, w przypadku miskanta olbrzymiego stopień ploidalności stanowi istotną barierę utrudniającą prowadzenie konwencjonalnych prac hodowlanych. W związku z tym nadal poszukuje się naturalnych mieszańców powstałych w wyniku odrębnych przekrzyżowań. W ostatnim czasie intensywne prace w poszukiwaniu nowych genotypów miskanta olbrzymiego prowadzili Nishiwaki i in. (2011). Badania prowadzono w okolicach Kushimy, gdzie Honda wykrył osobnika oznaczonego jako *M. ogiformis*, najprawdopodobniej tożsamego z obecnie uprawianym *M. × giganteus*. Analiza zawartości DNA oraz stopnia ploidalności, wykonana za pomocą cytometru przepływowego, umożliwiła autorom znalezienie 3 sterylnej triploidalnych genotypów produktywnością zbliżonych do miskanta olbrzymiego. Jak wynika z informacji przedstawionych przez Dwiyanthi i in. (2013) obserwacje mikroskopowe powyższych roślin wykazały liczbę chromosomów równą 57, natomiast analizy sekwencji ITS oraz chloroplastowego DNA potwierdziły ich mieszańcowe pochodzenie. Bazując na sekwencjach ITS powyższe rośliny różniły się genetycznie od powszechnie uprawianego genotypu. Materiały te wymagają dalszej charakterystyki i istnieje prawdopodobieństwo, że poszerzą pulę genetyczną miskanta olbrzymiego. Dostęp do naturalnych zasobów miskanta związany jest niestety z kilkoma ważnymi utrudnieniami przedstawionymi w Konwencji o Różnorodności Biologicznej z Rio de Janeiro, która zapewnia suwerenność zasobów genetycznych każdego kraju. Ponadto, wymagane jest nawiązanie oficjalnej współpracy, potwierdzonej odpowiednimi pozwoleniami, z jednostką znajdującą się na danym obszarze. Rośliny sprowadzone z Dalekiego Wschodu są poddawane kwarantannie i podlegają inspekcji przez wykwalifikowanego pod tym kątem fitopatologa. Programy hodowlane powinny być kontynuowane z zastosowaniem nie tylko nowo sprowadzonych genotypów, lecz także z wykorzystaniem obecnie dostępnych materiałów przy wsparciu konwencjonalnych i biotechnologicznych technik.

CECHY HODOWLANE WYMAGAJĄCE ULEPSZENIA

Miskant, jako przedstawiciel roślin szlaku C4 wykazuje większą wydajność wykorzystania wody od roślin szlaku C3, jednakże dłuższe niedobory mogą spowodować spore straty w plonie biomasy a na glebach piaszczystych powodują usychanie roślin. Badania prowadzone w Niemczech w 1999 roku podczas suchego okresu letniego wskazały znikomą kontrolę utraty wody przez aparaty szparkowe u osobników *M. × giganteus*. Wśród genotypów *M. sinensis* zaobserwowano natomiast zróżnicowanie w przewodności szparkowej podczas suszy. W obrębie analizowanych osobników jeden z mieszańców miskanta chińskiego zachował całkowicie zielony łan podczas suszy, co było ściśle powiązane z regulacją utraty wody przez aparaty szparkowe podczas jej deficytu (Clifton-Brown i in., 2002). Z powyższych względów istotnego znaczenia nabiera selekcja genotypów pod kątem odporności na niedobory wody, przy jednoczesnym zachowaniu dużej produktywności biomasy. Kolejną kwestią związaną ze specyfiką traw szlaku C4, pochodzących z obszarów tropikalnych, jest wpływ ochłodzenia oraz przymrozków na ograniczenie wzrostu. Podatność na niskie temperatury dotyczy zarówno przezimowania

kłączy w glebie, jak również przetrwania wiosennych przymrozków przez młode, nowo wysadzone rośliny. Podczas początkowych doświadczeń polowych z *M. × giganteus* prowadzonych na terenie Europy w latach 90-tych okazało się, że osobniki tego gatunku miały problem z przetrwaniem zimy podczas pierwszego sezonu wegetacyjnego (Ziegenhagen i in., 1995). Pude i in. (1997) wskazali, że słabe przezimowanie miskanta olbrzymiego na terenie Niemiec powiązane jest z późnojesiennymi procesami starzenia się roślin, natomiast Clifton-Brown i Lewandowski (2000) zaobserwowali, iż w obrębie różnych genotypów przemarzanie młodych roślin zależało od wartości ujemnej temperatury w okresie zimy w pierwszym sezonie wegetacyjnym. Ponadto zauważyli, że osobniki miskanta olbrzymiego były bardziej podatne na przymrozki niż mieszańce miskanta chińskiego. Zróżnicowanie pomiędzy genotypami miskanta obserwowano również w obrębie takich cech jak termin kwitnienia. Okazuje się, że cecha ta ma kluczowe znaczenie dla ilości i jakości uzyskanej biomasy. Wczesne kwitnienie skraca długość efektywnego okresu wzrostu, wpływając na zmniejszenie produktywności poszczególnych genotypów. Z drugiej strony, na wielu północnych obszarach miskant olbrzymi nie zakwita przed pojawieniem się pierwszych jesiennych przymrozków. W takim przypadku przemieszczenie składników odżywczych nie zachodzi wystarczająco wydajnie, co może skutkować wyższą zawartością substancji popiołowych, a także przemarzaniem roślin podczas pierwszego sezonu wegetacyjnego. Z powyższych względów termin kwitnienia jest obecnie przedmiotem prac badawczych sponsorowanych między innymi przez UK Biotechnology and Biological Sciences Research Council (BBSRC) (Clifton-Brown i in., 2008). Dla prac hodowlanych ważny jest również skład biomasy zbieranego plonu. Do spalania biomasy istotne jest zminimalizowanie jej wilgotności, zawartości popiołów i składników mineralnych, gdyż zmniejszają one wydajność powyższego procesu (Lewandowski i Kicherer, 1997). Do celów fermentacyjnych ważna jest zawartość składników organicznych takich jak: ligniny, celulozy i hemicelulozy, które warunkują całkowitą wydajność konwersji ze stałego do innych form paliw. Skład biomasy uwarunkowany jest przede wszystkim terminem zbioru, genotypem, ilością zastosowanych nawozów, a także ilością dostępnej wody w okresie poprzedzającym zbiór. Najważniejszym czynnikiem jest termin zbioru, gdyż faza dojrzewania determinuje śmierć i odłączenie liści (zawierających duże ilości substancji popiołowych) oraz inicjuje przemieszczenie składników pokarmowych do zimujących w glebie kłączy (Clifton-Brown i in., 2008). Kolejną istotną kwestią jest sposób rozmnażania miskanta. Obecnie pozyskanie sadzonek opiera się w głównej mierze na rozmnażaniu szczególnie wydajnych genotypów poprzez zastosowanie kultur *in vitro* oraz podział kłączy. Zakładanie plantacji w oparciu o materiał siewny byłoby wysoce pożądane, gdyż wpłynęłoby na zminimalizowanie kosztów. Christian i in. (2005) przeprowadzili doświadczenie, w którym do uprawy polowej miskanta chińskiego wykorzystano nasiona uzyskane z niekontrolowanego przepylecia. W rezultacie uzyskano osobniki o zróżnicowanym pokroju morfologicznym. Autorzy uznali powyższą metodę za obiecującą, wskazali jednak na konieczność prowadzenia dalszych badań, ze szczególnym uwzględnieniem opracowania niezbędnych zabiegów agrotechnicznych, a także sprawdzenia metody w różnych warunkach

glebowych oraz klimatycznych, aby móc uznać ją za alternatywę dla obecnie stosowanych technik.

Przedmiotem zainteresowania hodowców traw wieloletnich są również badania związane z odpornością na choroby i szkodniki. Okazuje się, że ogólnie miskant uznawany jest za rodzaj o stosunkowo dużej odporności na warunki stresowe i niewielkiej liczbie szkodników oraz chorób (Clifton-Brown i in., 2008). Niektórzy japońscy i tajwańscy hodowcy trzciny cukrowej tworzą mieszańce międzygatunkowe z miskantem w celu podniesienia jej odporności na choroby (James, 2004). Ograniczona liczba doniesień związanych z inwazją chorób i szkodników miskanta olbrzymiego może być częściowo spowodowana niewielkim zakresem badań poświęconych temu zagadnieniu. Ponadto, może również wynikać ze stosunkowo niewielkiego, w skali światowej, arealu uprawy tej rośliny. W miarę zwiększania powierzchni uprawy oraz rozwoju systemu monokultury tego gatunku presja patogenów również będzie się zwiększać (Ahonsi i in., 2013). Obecnie w Azji osobniki miskanta są często niszczone przez motyle, które namnażają się w ich łodygach. Jeżeli populacja tych szkodników jest duża, dochodzi do znacznych strat w plonie (Clifton-Brown i in., 2008). Istnieje również kilka doniesień spoza obszaru Azji o występowaniu patogenów grzybowych, takich jak *Fusarium* (Thinggaard, 1997; Beccari i in., 2010), *Pithomyces chartarum* (Ahonsi i in., 2010), *Leptosphaeria* spp. oraz jej konidialne stadium *Stagonospora* spp. (O'Neill i Farr, 1996; Ahonsi i in., 2013). Powyższe szkodniki mogą prowadzić do znacznych strat ekonomicznych, jednakże jak dotąd częstotliwość ich występowania jest stosunkowo rzadka. W Wielkiej Brytanii zaobserwowano występowanie na miskancie zbożowej mszycy liści (*Rhopalosiphum maidis* (Fitch)). Wydaje się, iż jest to problem raczej występujący w szklarniach niż na polu. Ponadto Halbert (2002) stwierdził, że azjatyckie mszyce rozprzestrzeniają się wraz z materiałem ogrodniczym miskanta. Istnieją obawy, że zwiększanie powierzchni uprawy miskanta wpłynie na rozprzestrzenianie się wirusów powszechnie przenoszonych przez mszyce, takich jak np. wirusa żółtej karłowatości jęczmienia (BYDV). Zapewnienie większej ilości gospodarzy może potencjalnie umożliwić szkodnikom prezimowanie na obszarach o kluczowych lokalizacjach (Huggett i in., 1999; Bradshaw i in., 2010). Christian i in. (1994) badali występowanie BYDV na miskancie w warunkach kultur *in vitro*, jednakże do tej pory nie odnotowano występowania tego wirusa w warunkach polowych (Clifton-Brown i in., 2008).

POLSKIE DOŚWIADCZENIE Z HODOWLĄ I UPRAWĄ MISKANTA

Wiele źródeł literaturowych wskazuje, że osobniki miskanta olbrzymiego zostały sprowadzone do Polski z Niemiec (Majtkowski i Majtkowska, 1998; Fiedler i in., 1998; Jeżowski, 1999). Pionierskie badania polowe z genotypami tego gatunku sprowadzonymi bezpośrednio z Instytutu w Klein Wanzleben koło Magdeburga (Niemcy) były prowadzone w 1993 roku przez Ogród Botaniczny IHAR — PIB w Bydgoszczy. Rośliny te stanowiły część zasobów genowych kolekcji traw gromadzonych od 1972 roku (Majtkowski, 2004).



Rys. 2. Plantacja miskanta olbrzymiego w szóstym sezonie wegetacyjnym, znajdująca się w kolekcji polowej Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowego Instytutu Badawczego (IHAR — PIB), Oddział w Bydgoszczy

Fig. 2. *Miscanthus* × *giganteus* plantation in the sixth vegetative season at the Plant Breeding and Acclimatization Institute — National Research Institute (PBAI — NRI), Division in Bydgoszcz

W początkowych doświadczeniach polowych prowadzonych w warunkach klimatycznych Polski okazało się, że najbardziej krytycznym okresem dla tego gatunku jest pierwszy sezon zimowy, w którym rośliny wykazują najmniejszą wytrzymałość na ujemne temperatury, natomiast w kolejnych latach uprawy są w stanie znieść spadki temperatur poniżej -20°C . Potwierdziły to wyniki badań prowadzonych nad zimowaniem traw pochodzących z obcej flory realizowanych przez Majtkowskiego i Majtkowską (1998). Podczas kolejnych prac autorzy zaobserwowali duże różnice w cechach morfologicznych oraz odporności na niskie temperatury w kolekcji odmian ozdobnych i mieszańców miskanta chińskiego, genotypów miskanta olbrzymiego oraz cukrowego. Dla 9 linii *M. sinensis* przetrwanie w sezonie 2002/2003 wahało się w przedziale od 20,8% do 86,8%, zaś wysokość roślin wynosiła od 225,6 cm do 284,8 cm. W grupie 12 odmian ozdobnych miskanta chińskiego tylko odmiany: 'Morning Light' oraz 'Malepartus' nie przetrwały zimy, natomiast wysokość roślin mieściła się w przedziale od 108,5 cm ('Kleine Silberspinne') do 188 cm ('Silberfeder'). Rośliny miskanta cukrowego, którego doświadczenia polowe prowadzono na pozbawionych kompleksu sorpcyjnego piaszczystych glebach lub zdegradowanych i bezglebowych terenach przemysłowych

porastały powierzchnię gruntu zwartym łanem. Świadczy to o dużych zdolnościach adaptacyjnych tego gatunku. Wysokość roślin, w zależności od lokalizacji doświadczenia, mieściła się w przedziale od 92 cm do 158 cm. Młode osobniki miskanta olbrzymiego w ponad 90% nie przetrwały zimy w pierwszym sezonie po wysadzeniu do gruntu, podczas gdy starsze osobniki (szósty sezon wegetacyjny) przezimowały bez strat, tworząc silnie rozrośnięte kępy pędów osiągające wysokość 320 cm (Majtkowski, 2004). Powyższe wyniki są zgodne z sugestią Jeżowskiego (2008), który zwrócił uwagę na konieczność prowadzenia prac hodowlanych nad syntezą i selekcją nowych mieszańców miskanta olbrzymiego, jak również płodnych osobników miskanta chińskiego oraz cukrowego z uwzględnieniem odporności na niskie temperatury i wielkości plonu.



Rys. 3. Zróżnicowanie fenotypowe odmian miskanta chińskiego znajdujących się w kolekcji polowej Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowego Instytutu Badawczego (IHAR — PIB), Oddział w Bydgoszczy

Fig. 3. Phenotypic diversity of *Miscanthus sinensis* cultivars available in the field collection at the Plant Breeding and Acclimatization Institute — National Research Institute (PBAI — NRI), Division in Bydgoszcz

W celu sprawdzenia odporności miskanta olbrzymiego na niskie temperatury Płażek i in. (2009) przeprowadzili doświadczenie w którym kłaczka miskanta, pierwotnie uprawiane w szklarni w temperaturze 20°C, były wstępnie hartowane w temperaturze 12°C i 5°C, a następnie mrożone w temperaturze -8°C lub -15°C. Wyniki wykazały, że zamrożone kłaczki posiadały pewną aktywność metaboliczną pomimo, że nie pojawiły się nowe korzenie. Autorzy sugerowali, że podatność na przymrozki tych roślin wynika z dużej wrażliwości merystemów korzeniowych na niskie temperatury. W celu poznania przyczyn z powodu których osobniki miskanta olbrzymiego były bardziej podatne na przemarzanie w pierwszym roku wegetacji, Płażek i in. (2011) przeprowadzili kolejne badania. Autorzy porównali zdolność kłaczki do regeneracji pędów między osobnikami, które jeszcze nie zimowały na polu a osobnikami po pierwszym zimowaniu. Okazało się, iż pierwsza grupa wykazała większą wrażliwość na przemarzanie niż druga, co motywowano niższą

zawartością substancji zapasowych zgromadzonych w kłączach. Kolejnym celem powyższych badań było porównanie odporności na niskie temperatury między sadzonkami otrzymanymi w warunkach *in vivo* i *in vitro* z uwzględnieniem etapu hartowania. W pierwszym sezonie wegetacyjnym rośliny wyprowadzone z kultur *in vitro* wykazały większą tolerancję na niskie temperatury w porównaniu do drugiej grupy, na co istotny wpływ miał proces hartowania.

Majtkowski i Majtkowska (1998) analizowali również przydatność ponad 60 gatunków traw, z uwzględnieniem miskanta cukrowego i olbrzymiego, do rekultywacji biologicznej terenów zdegradowanych przez górnictwo węgla kamiennego (hałdy pokopalniane w Bieruniu) oraz przemysł chemiczny (Zakłady Azotowe „Puławy”). Pokopalniany teren badań cechowało znaczne zakwaszenie gleby, natomiast drugi obszar wykazywał wysokie stężenie azotu oraz suchą i ubogą w związki organiczne glebę. Wytypowano gatunki, które charakteryzują się niskim nakładem zabiegów pielęgnacyjnych a zarazem wysoką odpornością na niekorzystne warunki siedliskowe. W rezultacie przeprowadzonych obserwacji miskant cukrowy okazał się właściwym komponentem do procesu rekultywacji hałd pokopalnianych. Natomiast miskant olbrzymi nie przetrwał uprawy na skrajnie ubogich, pozbawionych kompleksu sorpcyjnego glebach. Badano również możliwości wykorzystania miskanta olbrzymiego do rekultywacji ścieków w przydomowej oczyszczalni, która mieściła się w Ekocentrum „Sława” (województwo lubuskie). Typowe mechaniczno-biologiczne oczyszczanie ścieków zostało wsparte przez tzw. ”trzeci stopień oczyszczania”, umożliwiający usunięcie związków azotu i fosforu w formie masy roślinnej. Po wysadzeniu na wiosnę w trzecim roku uprawy dobrze ukorzenionych sadzonek miskanta olbrzymiego zaobserwowano, że jesienią rośliny osiągnęły około 4 m wysokości, zaś w systemie oczyszczania ścieków wpłynęły na redukcję zanieczyszczeń organicznych, zawiesin oraz pierwiastków. W rezultacie, ścieki po przejściu przez system korzeniowy miskanta osiągnęły parametry I klasy czystości śródlądowych wód powierzchniowych (Fiedler i in., 1998).

Ponadto, w trakcie badań prowadzonych wśród traw z rodzaju *Miscanthus* obserwowano różnice w wielkości i strukturze plonu. Jeżowski (2008) analizował wydajność produkcji biomasy sześciu wybranych klonów, włączając: dwa mieszańce międzygatunkowe miskanta olbrzymiego (3x) powstałe z kontrolowanego krzyżowania miskanta chińskiego (2x) oraz cukrowego (4x) oznaczone odpowiednio MG/1 oraz MG/2, dwa mieszańce miskanta chińskiego (2x) i cukrowego (2x) oznaczone MS/3 oraz MS/4 oraz dwa mieszańce powstałe w obrębie gatunku miskanta chińskiego (2x) oznaczone MS/5 oraz MS/6. Analizy prowadzono przez okres 3 lat, zaczynając od fazy wczesnego rozwoju i kończąc na etapie pełnej dojrzałości do zbioru. Podczas poszczególnych sezonów wegetacyjnych obserwowano różnice w obrębie takich cech jak: plon biomasy (sucha masa), wysokość roślin, rozkrzewienie, średnica kępy oraz średnica pędów. Najwyższe wartości dla wyżej wymienionych cech obserwowano od drugiego sezonu wegetacyjnego dla triploidalnych mieszańców miskanta olbrzymiego MG/1 oraz MG/2, przy czym powyższe klony nie różniły się między sobą w istotnym stopniu, podczas gdy najniższe wartości wykazywały już od pierwszego sezonu wegetacyjnego diploidalne klony MS/5 oraz MS/6. Ponadto stwierdzono, że plonowanie miskanta jest ściśle związane ze stadium

rozwoju rośliny. Ma ono również związek z rozkrzewieniem oraz średnicą kępy, które to cechy mogą posłużyć jako kryteria selekcji mieszańców prowadzonej już w pierwszym roku wegetacji.

Kolejny obszar badań prowadzonych w Polsce nad rodzajem *Miscanthus* skupiony był na ulepszeniu wydajności kultur *in vitro* poprzez zwiększenie efektywności indukcji kalusa i regeneracji roślin (Płażek i Dubert, 2010), produkcji haploidów oraz poliploidyzacji. Kultury *in vitro* kalusa stanowią materiał do badań nad zmiennością somaklonalną jako potencjalnym źródłem zmienności wśród genotypów miskanta (Płażek i in., 2007). Ponadto, wyprowadzenie haploidów oraz podwojonych haploidów z wykorzystaniem procesu androgenezy w kulturach *in vitro* może przyczynić się do uzyskania cennych materiałów. W analizach przeprowadzonych przez Głowacką i Jeżowskiego (2009) badano wpływ genotypu, stresu termicznego, składu pożywek regeneracyjnych, a także terminu na wydajność procesu androgenezy. Ilość uzyskanego kalusa była ściśle związana z genotypem, składem pożywki oraz traktowaniem chłodem, który wpływał stymulująco na wydajność regeneracyjną. W innych badaniach Głowacka in. (2010) sprawdzali optymalne warianty genotypu, stężenia kolchicyny oraz czasu ekspozycji do tworzenia poliploidów z zastosowaniem korzeni pochodzących z kultur *in vitro* diploidalnych i triploidalnych genotypów miskanta chińskiego i olbrzymiego. W wyniku przeprowadzonych doświadczeń otrzymano łącznie 448 poliploidów. Stwierdzono, że wpływ stopnia ploidalności na ulepszenie cech agronomicznych zależał od genotypu. Rośliny te mogą stanowić cenny materiał do tworzenia wysoko plonujących form miskanta.

Niektóre doniesienia ostrzegają przed nadmierną ekspansją miskanta cukrowego. Na podstawie obserwacji prowadzonych od 1995 do 2007 roku przez Kochanowską i Gamrat (2007), stwierdzono, że od czwartego roku wegetacji, gdy nastąpiło całkowite wypełnienie poletek doświadczalnych przez pędy miskanta cukrowego, utrzymanie poletka o zaplanowanej powierzchni 10 m² wymagało wykaszania obrzeży oraz wykopywania kłaczy. Ponadto, kłacza powyższej rośliny wrastały na głębokość ponad 1 m w głąb ziemi, przerastając odgraniczające płyty betonowe. Autorzy stwierdzili, że ekspansywność miskanta cukrowego uniemożliwia rozwój roślin w jego bezpośrednim otoczeniu, a także może być zagrożeniem dla rodzimej flory. W związku z tym uprawa *M. sacchariflorus* w ogrodach powinna być prowadzona w głębokich pojemnikach. Ponadto, w USA oraz Australii odnotowano przypadki niekontrolowanego rozprzestrzeniania się poza przewidziany obszar uprawy niektórych odmian miskanta chińskiego. Podobne wyniki uzyskano podczas doświadczeń polowych prowadzonych w Czechach oraz Niemczech wykazując, że w warunkach europejskich również może dochodzić do niepożądanego dystrybucji nasion *M. sinensis* w środowisku naturalnym. We Włoszech, z powyższych względów uznano miskanta chińskiego za roślinę inwazyjną i zakazano jej uprawy na cele energetyczne (Jørgensen, 2011). Z badań przeprowadzonych przez Quinn i in. (2011) wynika, że nasiona tego gatunku mogą przemieszczać się na odległość około 400 metrów. Miskant olbrzymi nie stanowi takiego zagrożenia jak miskant cukrowy i chiński, gdyż jest sterylny, a kłacza rozrastają się w tempie zaledwie 10 cm w ciągu roku co nie stanowi realnego zagrożenia (Jørgensen, 2011).

POSUMOWANIE

Obecnie pozyskiwanie energii pochodzącej z wykorzystania biomasy wydaje się być korzystną alternatywą dla zasobów paliw konwencjonalnych. W wielu krajach, jak również w polskich warunkach mискant uznaje się za dobrą roślinę do pozyskania biomasy, jednakże nadal jesteśmy na początkowym etapie poznania i rozwoju procesu hodowlanego tej rośliny. Wąski zakres bazy genotypowej powinien zostać rozszerzony o genotypy, które dobrze znoszą m. in. niskie temperatury, a jednocześnie wykazują wysoką wydajność plonu biomasy. Pozyskiwanie nowych mieszańców, jak również wykorzystanie kultur *in vitro* niesie ze sobą spore nadzieje, jednakże wymaga jeszcze wielu prac badawczych.

LITERATURA

- Ahonsi M. O., Agindotan B. O., Williams D. W., Arundale R., Gray M. E., Voigt T. B., Bradley C. A. 2010. First report of *Pithomyces chartarum* causing a leaf blight of *Miscanthus* × *giganteus* in Kentucky. *Plant Disease* 94: 480.
- Ahonsi M. O., Ames K. A., Gray M. E., Bradley C. A. 2013. Biomass reducing potential and prospective fungicide control of a new leaf blight of *Miscanthus* × *giganteus* caused by *Leptosphaerulina chartarum*. *BioEnergy Research* 6: 737 — 745.
- Beccari G., Covarelli L., Balmas V., Tosi L. 2010. First report of *Miscanthus* × *giganteus* rhizome rot caused by *Fusarium avenaceum*, *Fusarium oxysporum*, and *Muhoor hiemalis*. *Australasian Plant Disease Notes. Australasian Plant Pathology Society* 5: 28 — 29.
- Bradshaw J. D., Prasifka J. R., Steffey K. L., Gray M. E. 2010. First report of field populations of two potential aphid pests of the bioenergy crop *Miscanthus* × *giganteus*. *Florida Entomologist* 93: 135 — 137.
- Celińska A. 2009. Charakterystyka różnych gatunków upraw energetycznych w aspekcie ich wykorzystania w energetyce zawodowej. *Polityka Energetyczna* t. 12, z. 2/1: 59 — 72.
- Christian D. G., Lamptey J. N. L., Forde S. M. D., Plumb R. T. 1994. First report of barley yellow dwarf luteovirus on *Miscanthus* in the United Kingdom. *The European Journal of Plant Pathology* 100: 167 — 170.
- Christian D. G., Yates N. E., Riche A. B. 2005. Establishing *Miscanthus sinensis* from seed using conventional sowing methods. *Industrial Crops and Products* 21: 109 — 111.
- Chung J. H., Kim D. S. 2012. *Miscanthus* as a Potential Bioenergy Crop in East Asia. *Journal of Crop Science and Biotechnology* 15: 65 — 77.
- Clifton-Brown J. C., Lewandowski I. 2000. Overwintering problems of newly established *Miscanthus* plantations can be overcome by identifying genotypes with improved rhizome cold tolerance. *New Phytologist* 148: 287 — 294.
- Clifton-Brown J. C., Lewandowski I., Andersson B., Basch G., Christian D. G., Bonderup-Kjeldsen J., Jørgensen U., Mortensen J. V., Riche A. B., Schwarz K. U., Tayebi K., Teixeira F. 2001. Performance of 15 *Miscanthus* Genotypes at Five Sites in Europe. *Agronomy Journal* 93: 1013 — 1019.
- Clifton-Brown J. C., Lewandowski I., Bangerth F., Jones M. B. 2002. Comparative responses to water stress in stay-green, rapid- and slow senescing genotypes of the biomass crop, *Miscanthus*. *New Phytologist* 154: 335 — 345.
- Clifton-Brown J. C., Chiang Y. Ch., Hodkinson T. R. 2008. *Miscanthus*: genetic resources and breeding potential to enhance bioenergy production. In: *Genetic improvement of bioenergy crops*. W. Vermerris (ed.) Springer: 273 — 293.
- DEFRA (Department for Environment Food and Rural Affairs). 2013, Science and Research Projects, Molecular investigation of diversity in wild source germplasm to support *Miscanthus* breeding — NF0411(1), <http://randd.defra.gov.uk> (March, 2014).
- Deuter M., Jeżowski S. 1998. Szanse i problemy hodowli traw z rodzaju *Miscanthus* jako roślin alternatywnych. *Hodowla Roślin i Nasiennictwo* 2: 45 — 48.

- Dwiyantri M. S., Stewart J. R., Yamada T. 2013. Germplasm Resources of *Miscanthus* and Their Application in Breeding. In: Bioenergy Feedstocks: Breeding and Genetics. Saha M. C., Bhandhari H. S., Bouton J. H. (ed.). John Wiley & Sons, Inc.: 49 — 66.
- Dyrektywa 2009/28/WE. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 140: 16 — 62.
- EEA (European Environment Agency). 2006. How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? European Environment Agency. Report 7/2006.
- Farrell A. D., Clifton-Brown J. C., Lewandowski I., Jones M. B. 2006. Genotypic variation in cold tolerance influences the yield of *Miscanthus*. *Annals of Applied Biology* 149: 337 — 345.
- Fiedler P., Mendaluk J., Rösler, A. 1998. *Miscanthus sinensis* — biomasa i oczyszczanie ścieków. *Hodowla Roślin i Nasiennictwo* 2: 49 — 53.
- Gajewski R. 2011. Potencjał rynkowy biomasy z przeznaczeniem na cele energetyczne. *Czysta Energia* 1: 22 — 24.
- Gauder M., Graeff-Hönniger S., Lewandowski I., Claupein W. 2012. Long-term yield and performance of 15 different *Miscanthus* genotypes in southwest Germany. *Annals of Applied Biology* 160: 126 — 136.
- Gelfand I., Sahajpal R., Zhang X., Izaurralde R. C., Gross K. L., Robertson G. P. 2013. Sustainable bioenergy production from marginal lands in the US Midwest. *Nature* 493: 514 — 517.
- Ginałski Z. 2013. Odnawialne źródła energii szansą rozwoju obszarów wiejskich. *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego* 2: 79 — 89.
- Głowacka K. 2011. A review of the genetic study of the energy crop *Miscanthus*. *Biomass and Bioenergy* 35: 2445 — 2454.
- Głowacka K., Jeżowski S. 2009. Genetic and nongenetic factors influencing callus induction in *Miscanthus sinensis* (Anderss.) anther cultures. *Journal of Applied Genetics* 50: 341 — 345.
- Głowacka K., Jeżowski S., Kaczmarek Z. 2010. *In vitro* induction of polyploidy by colchicine treatment of shoots and preliminary characterization of induced polyploids in two *Miscanthus* species. *Industrial Crops and Products* 32: 88 — 96.
- Greef J. M., Deuter M., Jung C., Schondelmaier J. 1997. Genetic diversity of European *Miscanthus* species revealed by AFLP fingerprinting. *Genetic Resources and Crop Evolution* 44: 185 — 195.
- Halbert S. E. 2002. Pest alert; Asian *Miscanthus* aphid *Melanaphys orini*. *Triology* 41, DPI/FDACS.
- Hastings A., Clifton-Brown J., Wattenbach M., Mitchell C. P., Stampfl P., Smith P. 2009. Future energy potential of *Miscanthus* in Europe. *Global Change Biology Bioenergy* 1: 180 — 196.
- Heaton E. A., Clifton-Brown J., Voigt T. B., Jones M. B., Long S. P. 2004 a. *Miscanthus* for renewable energy generation: European Union experience and projections for Illinois. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 9: 433 — 451.
- Heaton E. A., Voigt T., Long S. P. 2004 b. A quantitative review comparing the yields of two candidate C4 perennial biomass crops in relation to nitrogen, temperature and water. *Biomass and Bioenergy* 27: 21 — 30.
- Heaton E. A., Dohleman F. G., Miguez A. F., Juvik J. A., Lozovaya V., Widholm J., Zabolina O. A., McIsaac G. F., Mark B. 2010. *Miscanthus*: a promising biomass crop. *Advances in Botanical Research* 56: 75 — 137.
- Hernández P., Dorado G., Laurie D. A., Martín A., Snape J. W. 2001. Microsatellites and RFLP probes from maize are efficient sources of molecular markers for the biomass energy crop *Miscanthus*. *Theoretical and Applied Genetics* 102: 616 — 622.
- Hodkinson T. R., Chase M. W., Renvoize S. A. 2002 a. Characterization of a genetic resource collection for *Miscanthus* (*Saccharinae*, *Andropogoneae*, *Poaceae*) using AFLP and ISSR PCR. *Annals of Botany* 89: 627 — 636.
- Hodkinson T. R., Chase M. W., Takahashi C., Leitch I. J., Bennett M. D., Renvoize S. A. 2002 b. The use of DNA sequencing (ITS and trnL-F), AFLP, and fluorescent *in situ* hybridization to study allopolyploid *Miscanthus* (*Poaceae*). *American Journal of Botany* 89: 279 — 286.
- Hodkinson T. R., Chase M. W., Lledo M. D., Salamin N., Renvoize S. A. 2002 c. Phylogenetics of *Miscanthus*, *Saccharum* and related genera (*Saccharinae*, *Andropogoneae*, *Poaceae*) based on DNA sequences from

- ITS nuclear ribosomal DNA and plastid *trnL* intron and *trnL-F* intergenic spacers. *Journal of Plant Research* 115: 381 — 392.
- Huggett D. A. J., Leather S. R., Walters K. F. A. 1999. Suitability of the biomass crop *Miscanthus sinensis* as a host for the aphids *Rhopalosiphum padi* and *Rhopalosiphum maidis*, and its susceptibility to the plant luteovirus Barley Yellow Dwarf Virus. *Agricultural and Forest Entomology* 1: 143 — 149.
- James G. 2004. Sugarcane. Blackwell, Oxford.
- Jeżowski S. 1999. Miskant chiński (*Miscanthus sinensis* (Thunb.) Andersson) – źródło odnawialnych i ekologicznych surowców dla Polski. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 468: 159 — 166.
- Jeżowski S. 2008. Yield traits of six clones of *Miscanthus* in the first 3 years following planting in Poland. *Industrial Crops and Products* 27: 65 — 68.
- Jørgensen U. 1997. Genotypic variation in dry matter accumulation and content of N, K and Cl in *Miscanthus* in Denmark. *Biomass and Bioenergy* 12: 155 — 169.
- Jørgensen U. 2011. Benefits versus risks of growing biofuels crops: the case of *Miscanthus*. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 3: 24 — 30.
- Kochanowska R., Gamrat R. 2007. Uprawa miskanta cukrowego (*Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack.) — zagrożenia dla polskich pól i lasów. *Łąkarstwo w Polsce* 10: 223 — 228.
- Krasuska E., Rosenqvist H. 2012. Economics of energy crops in Poland today and in the future. *Biomass and Bioenergy* 38: 23 — 33.
- Lafferty J., Lelley T. 1994. Cytogenetic studies of different *Miscanthus* species with potential for agricultural use. *Plant Breeding* 113: 246 — 249.
- Lewandowski I., Kicherer A. 1997. Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus* × *giganteus*. *European Journal of Agronomy* 6: 163 — 177.
- Lewandowski I., Clifton-Brown J. C., Scurlock J. M. O., Huisman W. 2000. *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. *Biomass and Bioenergy* 19: 209 — 227.
- Linde-Laursen I. 1993. Cytogenetic analysis of *Miscanthus* 'Giganteus', an interspecific hybrid. *Hereditas* 119: 297 — 300.
- Majewska-Sawka A. 2009. Miskant olbrzymi — rozwój plantacji w Polsce i zagranicą. *Czysta Energia* 11: 34 — 35.
- Majtkowski W., Majtkowska G. 1998. Gatunki alternatywne traw i możliwości ich wykorzystania na terenach zdegradowanych i zdewastowanych. *Archiwum Ochrony Środowiska* 24: 111 — 121.
- Majtkowski W. 2004. Trawy z rodzaju *Miscanthus* Anders. — zróżnicowanie morfologiczne i fenologiczne. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 497: 431 — 439.
- Matumura M., Hasegawa T., Saijoh Y. 1985. Ecological aspects of *Miscanthus sinensis* var. *condensatus*, *M. sacchariflorus*, and their 3x-, 4x-hybrids, 1: Process of vegetative spread. *Research Bulletin of the Faculty of Agriculture* 50: 423 — 433.
- MG (Ministerstwo Gospodarki). 2009. Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z dnia 10 listopada 2009 r.
- MG (Ministerstwo Gospodarki). 2013. Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 13 listopada 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. *Dz. U. z 2013r. poz. 1362*.
- Nishiwaki A., Mizuguti A., Kuwabara S., Toma Y., Ishigaki G., Miyashita T., Yamada T., Matuura H., Yamaguchi S., Rayburn A. L., Akashi R., Stewart J. R. 2011. Discovery of natural *Miscanthus* (*Poaceae*) triploid plants in sympatric populations of *Miscanthus sacchariflorus* and *Miscanthus sinensis* in southern Japan. *American Journal of Botany* 98: 154 — 159.
- O'Neill N. R., Farr D. F. 1996. *Miscanthus* blight, a new foliar disease of ornamental grasses and sugarcane incited by *Leptosphaeria* sp., and its anamorphic state *Stagonospora* sp. *Plant Disease* 80: 980 — 987.
- Plažek A., Dubert F., Żur I., Waligórski P. 2007. *In vitro* culture of *Miscanthus* × *giganteus*. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 523: 175 — 184.

- Plažek A., Dubert F., Marzec K. 2009. Cell membrane permeability and antioxidant activities in the rootstocks of *Miscanthus* × *giganteus* as an effect of cold and frost treatment. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 82: 158 — 162.
- Plažek A., Dubert F. 2010. Improvement of medium for *Miscanthus* × *giganteus* callus induction and plant regeneration. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica* 52: 105 — 110.
- Plažek A., Dubert F., Janowiak F., Krepski T., Tatrzenska M. 2011. Plant age and *in vitro* or *in vivo* propagation considerably affect cold tolerance of *Miscanthus* × *giganteus*. *The European Journal of Agronomy* 34: 163 — 171.
- Pude R., Franken H., Diepenbrock W., Greef J. M. 1997. Ursachen der Auswinterung von einjährigen *Miscanthus*-Beständen. *Pflanzenbauwissenschaften* 1: 171 — 176.
- Quinn L. D., Matlaga D. P., Stewart J. R., Davis A. S. 2011. Empirical evidence of long-distance display in *Miscanthus sinensis* and *Miscanthus* × *giganteus*. *Invasive Plant Science and Management* 4: 142 — 150.
- Sacks E. J., Juvik J. A., Lin Q., Stewart J. R., Yamada T. 2013. The gene pool of *Miscanthus* species and its improvement. In: *Genomics of the Saccharinae, Plant Genetics and Genomics: Crops and Models*. Paterson A. H. (ed). New York: Springer Science + Business Media 11: 73 — 100.
- Sang T., Zhu W. 2011. China's bioenergy potential. *Global Change Biology Bioenergy* 3: 79 — 90.
- Scurlock J. M. O. 1999. *Miscanthus*: a review of European experience with a novel energy crop. ORNL Technical Memorandum TM-13732. Oak Ridge National Laboratory. Oak Ridge. Tennessee: 18 pp.
- Smeets E. M. W., Lewandowski I. M., Faaij A. P. C. 2009. The economical and environmental performance of *Miscanthus* and switchgrass production and supply chains in a European setting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13: 1230 — 1245.
- Stampf P. F., Clifton-Brown J. C., Jones M. B. 2007. European-wide GIS-based modelling system for quantifying the feedstock from *Miscanthus* and the potential contribution to renewable energy targets. *Global Change Biology Bioenergy* 13: 2283 — 2295.
- Thinggaard K. 1997. Study of the role of *Fusarium* in the field establishment problem of *Miscanthus*. *Acta Agriculturae Scandinavica* 47: 238 — 241.
- US Senate 2007. Renewable Fuels, Consumer Protection, and Energy Efficiency Act of 2007 (S. 1419). Washington, DC: US Senate. June 21.
- Zamora D. S., Wyatt G. J., Apostol K. G., Tschirner U. 2013. Biomass yield, energy values, and chemical composition of hybrid poplars in short rotation woody crop production and native perennial grasses in Minnesota, USA. *Biomass and Bioenergy* 49: 222 — 230.
- Ziegenhagen B., Junge R., Muhs H. J. 1995. Effects of frost temperatures on early growth of *Miscanthus* 'Giganteus'. In: Chartier P., Beenackers A. A. C. M., Grassi G., (ed.) *Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry*. Elsevier, Oxford, 565 — 574.
- Zub H. W., Brancourt-Hulmel M. 2010. Agronomic and physiological performances of different species of *Miscanthus*, a major energy crop. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30: 201 — 214.

KRZYSZTOF KLIMONT ¹
ZOFIA BULIŃSKA-RADOMSKA ¹
JÓZEF GÓRKA ²
HENRYK WOŚ ³

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

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

³ Hodowla Roślin Strzelce Sp. z o.o., Grupa IHAR — PIB

Ocena przydatności wybranych gatunków jarych roślin oleistych do uprawy na rekultywowanym gruncie wapna poflotacyjnego

Evaluation of the suitability of selected spring oilseed species for cultivation on reclaimed flotation lime ground

Badano możliwość uprawy jarych roślin oleistych na rekultywowanym gruncie wapna poflotacyjnego użyźnionego osadami ściekowymi pokrywającymi tereny poeksploatacyjne Kopalni Siarki „Jeziórko”. Oceniano 5 gatunków roślin oleistych: rzepak jary odm. Heros, gorczycę białą odm. Borowska, len zwyczajny oleisty odm. Oliwin, Szafir i Jantarol, słonecznik zwyczajny oleisty odm. Wielkopolski i Lech oraz lniankę siewną jarą odm. Borowska. Obydwie odmiany słonecznika najlepiej ze wszystkich badanych gatunków i odmian rozwijały się na bezglebowym złożu wapna poflotacyjnego i dzięki silnemu systemowi korzeniowemu były odporne na suszę i zaskorupianie gruntu. Wszystkie odmiany lnu również bardzo dobrze rozwijały się na tym podłożu, corocznie wykazywały bardzo dobre wschody, tworzyły zwarty wyrównany łan mało podatny na wyleganie i zadowalająco plonowały. Z roślin kapustowatych (*Brassicaeae*) najbardziej przydatny do rekultywacji tych gruntów okazał się rzepak jary ze względu na bardzo dobre i wyrównane wschody, małą skłonność do wylegania, wysoką bujność roślin i znaczny plon nasion. Gorczyca biała i lnianka siewna wykazały nieco mniejszą przydatność do rekultywacji tych terenów a pod względem ocenianych cech rozwijały się podobnie. Osady ściekowe wraz z porastającą roślinnością wpływały na gromadzenie materii organicznej, składników pokarmowych w gruncie, zwiększając jego wodochłonność i obniżając odczyn. Osadowe użyźnienie bezglebowego złoża wapna poflotacyjnego wpłynęło różnicująco na zawartość metali ciężkich w zreduktywowanym gruncie i wyrosłych na nim roślinach.

Słowa kluczowe: wapno poflotacyjne, osady ściekowe, rośliny oleiste, rekultywacja, metale ciężkie, rozwój gleby

The possibility of the cultivation of spring oil plants on reclaimed ground of post-flotation lime fertilized with sewage sediments was examined. Five species of oilseed plants were evaluated: spring

rape variety Heros, white mustard variety Borowska, oilseed flax varieties Oliwin, Szafir and Jantarol, oilseed sunflower varieties Lech and Wielkopolski and spring false flax variety Borowska. Both varieties of sunflower developed best of all tested species and varieties on soilless ground of post flotation lime and thanks to the strong root system were resistant to drought and crusting of the ground. All varieties of flax developed also very well on the substrate, each year they showed very good emergence, formed a compact aligned field, showed little susceptible to lodging and yielded satisfactory. Of *Brassicaceae* plants, the most useful for the reclamation of the land was a spring rape because of very good and aligned emergence, low tendency to lodging, high exuberance of plants and proper yield of seeds. white mustard and false flax showed slightly less suitability for rehabilitation of these areas and in terms of the evaluated features developed similarly. Sewage sludge, together with growing vegetation affected the accumulation of organic matter of nutrients in the ground, increasing its water holding capacity and lowering the pH. Sedimentary fertilization of soilless ground of post flotation lime affected differentially the content of heavy metals in reclaimed soil and in the plants grown on it.

Key words: post flotation lime, sewage sludge, oilseed plants, reclamation, heavy metals, soil development

WSTĘP

W ostatnich latach odnotowano systematyczne zmniejszanie się w naszym kraju gruntów zdegradowanych i zdewastowanych przez przemysł i gospodarkę komunalną, ale jest ich nadal około 64 tys. ha (Rocznik statystyczny, 2012). Wymagają one rekultywacji poprzez inicjację życia biologicznego w bezglebowym gruncie i odtworzenia szaty roślinnej, a temu służy dobór odpowiednich gatunków roślin użytkowych (Góral, 2001). Do takich zdewastowanych gruntów należą tereny poeksploatacyjne kopalni siarki, gdzie siarkę wydobywano metodą otworową, a po zakończeniu eksploatacji złoża ich rekultywacja polegała na neutralizacji zakwaszenia i wypełnieniu zapadlisk terenu wapnem poftlotacyjnym (szlamem poftlotacyjnym), a następnie użyciu osadem ścieków komunalnych i wprowadzeniu dobranych gatunków roślin (Siuta, Jońca, 1997; Warzybok, 2000; Siuta, 2001). Badania Siuty i in. (1996) pokazały, że najbardziej przydatne do rekultywacji tych terenów są kupkówka pospolita i lucerna mieszańcowa. Z kolei prace Klimonta (2007) oraz Klimonta i Bulińskiej-Radomskiej (2011) wykazały, że do tych gatunków należą również: topinambur (słonecznik bulwiasty), kostrzewa trzcinowa, sylfia przerośnięta i spartina sercowata. Według innych doniesień, także wybrane gatunki roślin miododajnych oraz różne gatunki i mieszańce wierzby (*Salix* sp.) bardzo dobrze spełniały rolę roślin rekultywacyjnych (Klimont i in., 2013a; Klimont, 2007; Klimont, Bulińska-Radomska, 2013 b). Również rośliny oleiste — rzepak jary, gorczyca biała, lnianka siewna, oraz oleiste formy słonecznika zwyczajnego i lnu zwyczajnego okazały się bardzo przydatne do rekultywacji tych terenów (Klimont i in., 2012). Z roślin oleistych szczególnie polecana jest lnianka siewna ze względu na bardzo małe wymagania glebowe i wodne oraz odporność na choroby i szkodniki. Także gorczyca biała dobrze znosi gorsze warunki glebowe poza wrażliwością na niskie pH. Natomiast len zwyczajny lubi gleby raczej żyzne, ale równie dobrze rozwija się na gorszych stanowiskach, ale w kulturze i przy odczynie co najmniej obojętnym (Zajac, 2004).

Celem badań było określenie przydatności i wykorzystania jarych roślin oleistych do uprawy na rekultywowanym gruncie wapna poflotacyjnego wzbogaconego osadem ściekowym oraz ich glebotwórczego oddziaływania.

MATERIAŁ I METODY

Badania z wybranymi gatunkami roślin oleistych prowadzono na terenie poeksploatacyjnym Kopalni Siarki „Jeziórko” niedaleko Tarnobrzega, gdzie siarkę wydobywano metodą otworową. Tereny te pokryto wapnem poflotacyjnym o miąższości średnio 1,5 m (od 1 do 6 m), celem likwidacji zakwaszenia i niecek osiadania terenu. Wapno poflotacyjne (szlamy poflotacyjne), które jest odpadem poprodukcyjnym Kopalni Siarki „Machów” przemieszczono na zawodnione niecki osiadania przy użyciu hydrotransportu. Według Gołdy (2007) wapno poflotacyjne to gliny średnie pylaste o pH ok. 7,3 zawierające piasek — 39%, pył — 27% i części spławialne — 34% (w tym il koloidalny 7%). Wiosną 2002 roku wapienny grunt użyźniono osadem komunalnym w dawce $500 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ i ciężką broną talerzową dokładnie wymieszano z podłożem. Potem zastosowano nawożenie mineralne w ilości $70 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, $32,7 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ i $83 \text{ kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$. Na grunt rekultywacyjny wysiano mieszkankę traw z roślinami motylkowatymi: kostrzewa łąkowa (*Festuca pratensis* Huds.), życica trwała (*Lolium perenne* L.), koniczyna łąkowa (*Trifolium perenne* L.), lucerna mieszańcowa (*Medicago media* Pers.). Corocznie wyrosłą ruń wykaszano kosiarką rotacyjną i zbierano. Jesienią 2010 roku ruń wykoszono i zastosowano glebogryzarkę do niszczenia zadarnienia na głębokość ok. 12 cm, a przed siewem kultywator o łapach sztywnych/gruber (głębokość pracy do ok. 15 cm). Wiosną roku następnego po wyrównaniu powierzchni ciężką a potem lekką broną zębową ręcznie wysiano nawozy mineralne: N — $68 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, P — $13,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ i K — $68,9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Na tak przygotowanej powierzchni założono 8 doświadczeń, każde o powierzchni 40 m^2 , na każdym z nich wysiano nasiona jednej z 8 odmian należących do 5 gatunków roślin oleistych: rzepaku jarego (*Brassica napus* L. spp. *oleifera* Metzg.) odm. Heros, gorczyca białej (*Sinapis alba* L.) odm. Borowska, lnianki siewnej jarej (*Camelina sativa* (L.) Crantz) odm. Borowska, słonecznika zwyczajnego oleistego (*Helianthus annuus* L.) odm. Wielkopolski i Lech, lnu zwyczajnego oleistego (*Linum usitatissimum* L.) odm. Oliwin, Szafir i Jantarol. Nasiona badanych roślin wysiewano ręcznie w rzędach, w terminach 21.04.2011, 20.04.2012, i 29.04.2013 (rzepak, gorczyca, lnianka, len) a nasiona słonecznika o tydzień później w każdym roku badań. Co roku wartość każdej cechy badanych roślin określano w czterech powtórzeniach. Określano wschody roślin po upływie miesiąca od daty wysiewu, plon nasion przy wilgotności 12%, wysokość roślin poprzez pomiar 10 wybranych osobników w próbie, wyleganie w 9° skali według Listy opisowej odmian (COBORU, 2012), fazy rozwojowe oraz przydatność gatunków roślin do uprawy na wapiennym podłożu, a także ocenę ich bujności w 10-stopniowej skali według Górala (Góral, Rola, 2001). Badano wpływ osadów ściekowych i uprawianych roślin na gromadzenie składników pokarmowych i odczyn rekultywowanego gruntu w akredytowanym laboratorium Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Kielcach. W próbkach podłoża oznaczano: zawartość materii organicznej — metodą Tiurina, wartość

pH — metodą potencjometryczną, zawartość P — metodą spektrofotometryczną, zawartość K — metodą fotometrii płomieniowej a Mg — metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej. Zawartość metali ciężkich Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, As zarówno w podłożu, jak i materiale roślinnym określono metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej (FAAS), natomiast Hg metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej z amalgamacją par rtęci. Wariant kontrolny stanowiło wapno poftlotacyjne bez nawożenia osadami ściekowymi i nawozami mineralnymi oraz nieporośnięte żadną roślinnością.

Analizę statystyczną danych eksperymentalnych wykonano metodą analizy wariancji, istotność różnic między średnimi badanych cech wszystkich gatunków roślin oceniono testem Tukeya przy $NIR\alpha = 0,05$.

WYNIKI I DYSKUSJA

Warunki pogodowe w okresie prowadzenia badań były zróżnicowane (tab. 1).

Tabela 1

Suma opadów miesięcznych oraz średnia miesięczna temperatura powietrza w latach 2011–2013
Monthly rainfall and mean temperature in years 2011–2013

Miesiąc Month	Lata — Years					
	2011		2012		2013	
	suma opadów rainfall (mm)	temperatura temperature (°C)	suma opadów rainfall (mm)	temperatura temperature (°C)	suma opadów rainfall (mm)	temperatura temperature (°C)
Styczeń — January	25,6	-1,0	34,2	-1,8	48,1	-3,4
Luty — February	14,2	-3,6	11,3	-7,2	25,2	-0,8
Marzec — March	10,1	3,4	23,0	4,9	56,6	-1,5
Kwiecień — April	49,9	10,8	29,2	9,9	31,8	9,0
Maj — May	30,7	14,3	41,2	15,2	88,6	15,1
Czerwiec — June	55,5	18,5	76,5	17,9	111,2	18,3
Lipiec — July	382,9	18,1	53,6	21,2	33,4	19,5
Sierpień — August	17,8	19,0	38,8	19,1	14,9	19,5
Wrzesień — September	5,9	15,5	39,6	14,9	73,6	12,2
Październik — October	23,8	8,0	124,0	8,2	5,4	10,3
Listopad — November	0,0	2,4	21,7	5,4	73,7	5,3
Grudzień — December	21,3	1,8	24,0	-3,3	11,0	1,4
Roczna suma opadów i średnia roczna temperatura powietrza Annual sum of rainfall and average temperature	637,7	8,9	517,1	8,7	573,5	8,7

Pierwszy rok badań (2011) z wilgotną wiosną oraz ciepłym i obfitym w opady latem był najkorzystniejszy dla wegetacji roślin, chociaż wystąpiły także niedobory wody jesienią i przez to słabe uwilgotnienie podłoża. Drugi rok (2012) ze względu na wiosenne niedobory wody w podłożu był mniej korzystny dla wzrostu i rozwoju roślin. Trzeci (2013) rok badań charakteryzował się chłodną i późną wiosną, co wpłynęło na opóźnienie siewów, a letnie upały przy słabych opadach nie sprzyjały wegetacji.

W wyniku badań stwierdzono, że wschody polowe badanych odmian i gatunków roślin oleistych były bardzo dobre i dobre, wyrównane ale nieznacznie zróżnicowane między gatunkami i w obrębie gatunku (tab. 2, 3).

Tabela 2

Plon nasion i niektóre cechy rolniczo-użytkowe gatunków roślin kapustowatych, rosnących na bezglebowym złożu wapna poflotacyjnego, użyźnionego osadem ściekowym (2011–2013)
Yield of seeds and some agricultural traits of *Brassicaceae* family species grown on soilless deposit of post-flotation lime fertilized with sewage sludge (2011–2013)

Gatunek rośliny (odmiana) Species (cultivar)	Cechy — Traits				
	wschody polowe emergence (%)	plon nasion seed yield (t·ha ⁻¹)	wysokość roślin height of plants (cm)	wyleganie lodging (1–9°)	bujność roślin plant vigour (0–9°)
Rzepak jary Spring rape (Heros)	96,9	1,91	103,5	8,6 ¹⁾	8,5
Gorczyca biała White mustard (Borowska)	96,8	1,68	100,8	8,5	8,2
Lnianka siewna False flax (Borowska)	86,9	1,67	59,4	6,7	8,2
NIR α = 0,05 LSD α = 0,05	5,6	0,22	8,0	0,6	0,6

¹⁾ Wyleganie rzepaku określa się w % - miarą jest ugięcie łanu roślin określone przez porównanie wysokości łanu roślin przed zbiorem do wysokości roślin $\times 100$

Field deflection is an evaluation test for lodging of oilseed rape (determined by the ratio of plant canopy height before harvest to the plant height $\times 100$)

Tabela 3

Plon nasion i niektóre cechy rolniczo-użytkowe odmian słonecznika zwyczajnego oleistego (*Helianthus annuus* L.) i lnu zwyczajnego (*Linum usitatissimum* L.), rosnących na bezglebowym złożu wapna poflotacyjnego, użyźnionego osadem ściekowym (2011–2013)
Yield of seeds and some agricultural traits of oilseed sunflower (*Helianthus annuus* L.) and oilseed flax (*Linum usitatissimum* L.) cultivars, growing on soilless deposit of post-flotation lime fertilized with sewage sludge (2011–2013)

Odmiana Cultivar	Cechy — Traits				
	wschody polowe emergence (%)	plon nasion seed yield (t·ha ⁻¹)	wysokość roślin height of plants (cm)	wyleganie lodging (1–9°)	bujność roślin plant vigour (0–9°)
<i>Helianthus annuus</i> L.					
Wielkopolski	90,0	1,82	107,9	8,6	8,8
Lech	90,8	2,06	93,4	8,6	8,8
NIR α = 0,05 LSD α = 0,05	5,6	0,22	8,0	0,6	0,6
<i>Linum usitatissimum</i> L.					
Oliwin	89,8	1,75	57,9	8,5	8,4
Szafir	89,9	1,71	58,1	7,9	8,3
Jantarol	90,7	2,12	53,5	7,6	8,8
NIR α = 0,05 LSD α = 0,05	5,6	0,22	4,2	0,6	0,6

Najlepiej i niemal identycznie wschodziły nasiona rzepaku jarego i gorczycy białej, nieco słabiej słonecznika zwyczajnego oleistego odm. Lech i Wielkopolski, w dalszej

kolejności minimalnie gorzej lnu zwyczajnego oleistego w kolejności odmian: Jantarol, Szafir i Oliwin a najslabiej lnianki siewnej jarej. Warunki agrometeorologiczne w latach badań wpływały na wschody polowe. Zdecydowanie najlepiej kiełkowały nasiona wszystkich gatunków i odmian w 2011 roku, ze względu na ciepłą i wilgotną wiosnę, gorzej kiełkowały w 2012 roku ze względu na okresowe niedobory wody w podłożu, a najgorzej w 2013 roku ze względu na bardzo późną i chłodną wiosnę oraz opóźnione siewy (tab. 4).

Stwierdzono, że spośród gatunków kapustowatych (*Brassicaceae*) najwyższy średni plon wydał rzepak jary — $1,91 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, istotnie niższy gorczyca biała — $1,68 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ i lnianka siewna — $1,67 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 2). Z kolei plon słonecznika zwyczajnego odm. Lech — $2,06 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ był istotnie wyższy niż odm. Wielkopolski — $1,82 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 3). Odmiana lnu zwyczajnego oleistego Jantarol plonowała najwyższej — $2,12 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, a istotnie niżej odm. Oliwin — $1,75 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ i Szafir — $1,71 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Najwyższą wysokość z rodziny kapustowatych osiągnęły rośliny rzepaku jarego, średnio 103,5 cm, nieco niższe były gorczycy białej — 100,8 cm, a istotnie niższe od dwóch poprzednich gatunków były rośliny lnianki siewnej jarej — 59,4 cm (tab. 2). Rośliny słonecznika zwyczajnego odm. Wielkopolski mierzyły 107,9 cm i były istotnie wyższe niż odm. Lech — 93,4 cm (tab. 3). Rośliny odm. Szafir i odm. Oliwin osiągnęły podobną wysokość, odpowiednio 58,1 i 57,9 cm i były istotnie wyższe niż odm. Jantarol — 53,5 cm (tab. 3).

Rośliny obydwu odmian słonecznika okazały się najmniej podatne na wyleganie wśród badanych gatunków roślin oleistych, bo aż 8,6 w 9-stopniowej skali (tab. 3). Wśród kapustowatych rośliny rzepaku jarego i gorczycy białej wykazały bardzo niską podatność na wyleganie, tj. odpowiednio 8,6 i 8,5°, a rośliny lnianki były od nich istotnie bardziej podatne na wyleganie — 6,7°. Okazały się one najbardziej podatne na wyleganie z wszystkich badanych gatunków i odmian (tab. 2). Także oceniane taksony lnu wykazały niską podatność na wyleganie, kształtowało się ono od 7,6 do 8,5°, a różnice między odmianami były nieistotne (tab. 3).

Trzyletnie badania wykazały, że wszystkie testowane gatunki i odmiany rozwijały się bujnie na tym trudnym dla wegetacji roślin bezglebowym podłożu, chociaż wystąpiły nieznaczne, ale zauważalne różnice w rozwoju w latach badań (tab. 4). Wśród badanych gatunków i odmian roślin oleistych najbardziej przydatne do rekultywacji terenów poeksploatacyjnych pokrytych wapnem poflotacyjnym, uwzględniając wskaźnik bujności, okazały się w kolejności: obydwie odmiany słonecznika zwyczajnego Wielkopolski i Lech, len zwyczajny odm. Jantarol, rzepak jary, len odm. Oliwin i Szafir oraz gorczyca biała i lnianka siewna. Wszystkie wykazały się bujnością powyżej 8° w 9-stopniowej skali. Nie wykazano istotnych różnic bujności pomiędzy gatunkami roślin kapustowatych oraz odmianami słonecznika i lnu (tab. 2, 3). Analiza uzyskanych plonów nasion badanych gatunków i odmian roślin oleistych wykazała, że ich wysokość zależy od ilości i rozkładu opadów wpływających na zawartość wody w podłożu wapna poflotacyjnego (tab. 4).

Tabela 4

Plon nasion i niektóre cechy rolniczo-użytkowe gatunków roślin z rodziny kapustowatych, słonecznika zwyczajnego (oleistego) i lnu zwyczajnego (oleistego), rosnących na bezglebowym złożu wapna poflotacyjnego, użyźnionego osadem ściekowym w poszczególnych latach zbioru (2011–2013)
Yield of seeds and some agricultural traits of *Brassicaceae* family species, oilseed sunflower and oil flax, growing on soilless deposit of post-flotation lime fertilized with sewage sludge, in particular years of harvest (2011–2013)

Gatunek (odmiana) Species (cultivar)	Lata Years	Wschody polowe Emergence (%)	Plon nasion Seed yield (t·ha ⁻¹)	Wysokość roślin Height of plants (cm)	Wyleganie Lodging (1–9°)	Bujność roślin Plant vigour (0–9°)
Rzepak jary Spring rape (Heros)	2011	99,2	2,08	112,3	9,2	8,8
	2012	97,3	1,92	99,7	8,2	8,5
	2013	94,1	1,72	98,4	8,3	8,2
	$\bar{x} = 96,9$					
NIR $\alpha = 0,05$ — LSD $\alpha = 0,05$		4,5	0,30	7,4	0,6	0,6
Gorczyca jasna White mustard (Borowska)	2011	99,8	1,85	105,8	8,4	8,4
	2012	97,2	1,68	100,4	8,5	8,2
	2013	93,5	1,50	96,2	8,5	8,1
	$\bar{x} = 96,8$					
NIR $\alpha = 0,05$ — LSD $\alpha = 0,05$		4,5	0,30	7,4	0,6	0,6
Lnianka siewna False flax (Borowska)	2011	90,1	1,88	66,5	6,8	8,3
	2012	88,3	1,69	56,2	6,6	8,2
	2013	82,2	1,44	55,4	6,8	8,1
	$\bar{x} = 86,9$					
NIR $\alpha = 0,05$ — LSD $\alpha = 0,05$		5,8	0,30	6,0	0,6	0,6
Słonecznik zwyczajny Oilseed sunflower (Wielkopolski)	2011	94,8	2,06	115,1	8,4	9,0
	2012	88,2	1,75	105,8	8,7	8,8
	2013	87,0	1,66	102,9	8,6	8,6
	$\bar{x} = 90,0$					
NIR $\alpha = 0,05$ — LSD $\alpha = 0,05$		5,8	0,30	7,4	0,6	0,6
Słonecznik zwyczajny Oilseed sunflower (Lech)	2011	95,3	2,44	98,8	8,4	9,0
	2012	89,0	1,88	91,2	8,8	8,8
	2013	88,0	1,86	90,3	8,6	8,6
	$\bar{x} = 90,8$					
NIR $\alpha = 0,05$ — LSD $\alpha = 0,05$		5,8	0,30	7,4	0,6	0,6
Len zwyczajny Oilseed flax (Oliwin)	2011	94,0	1,97	59,5	8,8	8,6
	2012	88,1	1,65	57,3	8,4	8,4
	2013	87,2	1,63	56,8	8,4	8,2
	$\bar{x} = 89,8$					
NIR $\alpha = 0,05$ — LSD $\alpha = 0,05$		5,8	0,30	5,4	0,6	0,6
Len zwyczajny Oilseed flax (Szafir)	2011	94,2	1,94	62,2	8,0	8,4
	2012	88,3	1,62	56,3	7,8	8,3
	2013	87,1	1,58	55,8	7,8	8,3
	$\bar{x} = 89,9$					
NIR $\alpha = 0,05$ — LSD $\alpha = 0,05$		5,8	0,30	5,4	0,6	0,6
Len zwyczajny Oilseed flax (Jantarol)	2011	95,5	2,56	57,4	7,5	9,0
	2012	88,3	1,92	51,2	7,7	8,6
	2013	88,4	1,88	51,8	7,5	8,7
	$\bar{x} = 90,7$					
NIR $\alpha = 0,05$ — LSD $\alpha = 0,05$		5,8	0,30	5,4	0,6	0,6
NIR $\alpha = 0,05$; średnie obiektowe (wschody polowe)		5,8	—	—	—	—
LSD $\alpha = 0,05$; mean object (emergence)		5,8	—	—	—	—

Najwyższe plony nasion wszystkich badanych taksonów uzyskano w obfitym w opady i ciepłym roku 2011, a najniższe w ostatnim trzecim (2013) roku z zimną i późną wiosną oraz dużym niedostatkiem wody i upałami w miesiącach letnich. Różnice uzyskanego plonu nasion w wymienionych latach badań były udowodnione statystycznie (tab. 4). Pierwszy (2011) rok badań okazał się najbardziej korzystny dla wzrostu i rozwoju omawianych roślin, a trzeci rok (2013) najmniej korzystny (tab. 4). Wschody polowe wszystkich gatunków i odmian były w tym roku istotnie lepsze, a rośliny istotnie wyższe niż w ostatnim (2013) roku badań, za wyjątkiem lnu odm. Oliwin, gdzie różnice statystyczne okazały się nieistotne. Przebieg warunków pogodowych w latach nie wpłynął istotnie na wyleganie i bujność roślin ocenianych taksonów. Rośliny miododajne z rodziny kapustowatych (*Brassicaceae*) oraz lnu zwyczajnego (oleistego) i słonecznika zwyczajnego (oleistego) kiełkowały dobrze i rozwijały się prawidłowo. Niezależnie od lat nasiona rzepaku jarego i gorczycy białej kiełkowały istotnie lepiej (wschody polowe) niż nasiona lnianki oraz odmian słonecznika i lnu (tab. 4). Plony nasion były niższe o ok. 25–30% niż na glebach odpowiednich dla danego gatunku (Klimont, Bulińska-Radomska, 2011; Klimont i in., 2012; Klimont i in., 2013 b), a ich rozwój jest ściśle związany z zasobnością gruntu w wodę. Trudne warunki wegetacji na bezglebowym złożu wapna pomimo użyżnienia osadem ściekowym, wpłynęły na obniżenie wysokości roślin, stały się one również bardziej podatne na wyleganie. Plonowały niżej w stosunku do danych literaturowych (Budzyński, 2010; COBORU, 2011, 2012, 2013; Oleksy, 2010; Toboła, 2010 a,b; Woś, 2010; Zajac, 2004). Plony nasion roślin oleistych uzyskane z roślin zastosowanych do rekultywacji terenów poprzemysłowych są na tyle zadowalające, że mogą z powodzeniem być wykorzystywane jako surowiec do produkcji biopaliw ciekłych do silników wysokoprężnych (Woś, 2002; Wójcicki, 2007), a szczególnie tam, gdzie występują niedobory wody, polecane są takie gatunki jak: katroń abisyński (*Crambe abyssinica* Hochst.) i lnianka siewna (*Camelina sativa* Crantz) (Nalborczyk, 1999). W wielu krajach UE zapotrzebowanie na biopaliwa systematycznie rośnie, dlatego grunty marginalne poprzemysłowe mogą być przeznaczone pod uprawę roślin alternatywnych z wykorzystaniem na cele nieżywnościowe (Walski, 2010).

Tabela 5

Zawartość przyswajalnego P, K, Mg i materii organicznej w złożu wapna poflotacyjnego wzbogaconego osadem ścieków komunalnych (2011–2013)
Contents of available P, K, Mg and organic matter in post-flotation lime deposit fertilized with municipal sewage sludge (2011–2013)

Rodzaj roślinności Vegetation type	Dawka osadów ściekowych Dose of sewage sludge (m ³ ·ha ⁻¹)	Warstwa gleby Level of soil	pH w 1n KCl in 1n KCl	Zawartość — Content			
				P	K	Mg	substancja organiczna organic matter (g·kg ⁻¹)
Kontrola Control	0	OA	7,37	7,0	20,8	12,0	8,7
Rośliny oleiste Oil crops	500	OA	7,23	96,6	153,4	40,2	58,9
NIR α = 0,05 LSD α = 0.05			0,20	12,7	18,4	6,7	8,2

Wprowadzenie do złoża wapna poflotacyjnego osadów ściekowych i uprawa roślin zainicjowało w nim życie biologiczne. Zawartość materii organicznej wzrosła istotnie z $8,7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ do $58,9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, przyswajalnego P z 7,0 do $96,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, K z 20,8 do $153,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ i Mg z 12,0 do $40,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 5). Podobne ale mniejsze wzrosty makroelementów w złożu wapiennym, na którym uprawiano rośliny miododajne i oleiste zaobserwował Klimont i in. (2012, 2013 a).

Zawartość wszystkich 10. metali ciężkich w gruncie doświadczalnym nie przekroczyła dopuszczalnych stężeń, ale wzrosła istotnie w stosunku do wariantu kontrolnego, za wyjątkiem Mn i Pb, gdzie odnotowano niewielki, ale istotny spadek tych pierwiastków w stosunku do kontroli (tab. 6). Koresponduje to z wynikami uzyskanymi przez Majtkowskiego i Majtkowską (2012), Klimonta i in. (2013 c) oraz Bajora i in. (2014) w badaniach na składowisku popiołów paleniskowych i składowisku odpadów komunalnych oraz wynikami Grzywnowicza i Strutyńskiego (2000) na glebie mineralnej.

Tabela 6

Zawartość metali ciężkich w podłożu wapna poflotacyjnego wzbogaconego osadem ścieków komunalnych oraz w materiale roślinnym (2011–2013)
Contents of heavy metals in post-flotation lime ground fertilized with municipal sewage sludge and plant material (2011–2013)

Grupa roślin Group of plants	Dawka osadów ściekowych Dose of sewage sludge ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	Warstwa gleby Level of soil	Zawartość składników — Content of elements ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)									
			Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	As	Cr	Hg
			Podłoże — Substrate									
Kontrola Control	0	OA	0,120	8,32	1728,2	528,22	9,47	8,18	15,84	2,50	4,21	0,009
Rośliny oleiste Oil crops	500	OA	0,308	14,07	3765,9	503,00	10,82	7,26	66,55	2,60	5,91	0,071
NIR α =0,05 — LSD α =0,05			0,020	0,512	102,3	22,23	0,52	0,43	2,32	0,10	0,21	0,003
			Materiał roślinny — Plant material									
Rośliny oleiste — Oil crops			0,125	9,50	74,48	57,91	3,90	0,85	40,69	0,03	0,61	0,011
Wartość dopuszczalnych stężeń w glebie lub ziemi ¹⁾ Threshold limit value in soil or earth ¹⁾			4	150	5700 ^{*)}	1500	100	100	300	20	150	2
Wartość dopuszczalnych stężeń w roślinach jako paszy dla zwierząt ²⁾ Threshold limit value in plants as fodder for animals ²⁾			—	—	20–50	20–60	—	—	—	1	3–12	0,03
Wartości krytyczne metali śladowych przyjęte do oceny roślin pod względem ich przydatności paszowej ³⁾ Critical values of trace metals assumed for plant evaluation with regard to fodder suitability ³⁾			≤0,5	25–50	—	—	≤50,0	≤10,0	≤100,0	—	—	—

^{*)} — średnia zawartość w glebie piaszczystej; average content in sandy soil

¹⁾ — zał. do rozp. Ministra Środowiska z dn. 9.09.2002r.; assumptions of Ministry of Environment of 9.09.2002 (Dz.U.Nr 165, poz.1359)

²⁾ — Baran S., Turski R. Degradacja, ochrona i rekultywacja gleb. Wyd. AR Lublin 1996: 223 ss.

³⁾ — Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M. Terelak H., Witek T. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. IUNG Puławy 1993: 20 ss.

Analiza chemiczna materiału roślinnego wykazała przekroczenie dopuszczalnych stężeń tylko w przypadku Fe — 74,48 mg·kg⁻¹ wobec normy 20–50 mg·kg⁻¹, co może wynikać z dużej zawartości tego składnika w gruncie (choć mieszcząca się w normie) (tab. 6). Zawartość pozostałych metali ciężkich nie przekroczyła dopuszczalnych stężeń w roślinach jako paszy dla zwierząt, podobnie jak w innych badaniach prowadzonych na składowisku odpadów komunalnych pokrytych popiołem i użyźnionych osadem ściekowym (Klimont i in., 2013) i na hałdzie popiołów paleniskowych (Bajor i in., 2014), ale inaczej niż w badaniach Majtkowskiego i Majtkowskiej (2012), gdzie stwierdzono przekroczenie zawartość kilku metali ciężkich w pędach drzew i krzewów użytych do rekultywacji składowiska popiołów. Także wyższą zawartość metali ciężkich zanotował Siuta (2004) w roślinach porastających podłoża lagun osadowych. Badania Gorlacha i Gambusia (1999) wykazały, że ilości metali ciężkich pobrane przez rośliny nie korelują z ich zawartością w osadach ściekowych, dotyczy to: Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn.

WNIOSKI

1. Obydwie odmiany słonecznika zwyczajnego oleistego (*Helianthus annuus* L.) najlepiej ze wszystkich badanych gatunków i odmian rozwijały się na złożu wapna poflotacyjnego, dzięki silnemu systemowi korzeniowemu bardzo dobrze wykorzystywały wodę i składniki pokarmowe, dobrze znosiły suszę i zaskorupienie.
2. Wszystkie odmiany lnu zwyczajnego oleistego (*Linum usitatissimum* L.) również dobrze rozwijały się, wykazując corocznie dobre wschody, tworząc wyrównany łan, mało podatny na wyleganie, wydając przy tym zadowalający plon nasion. Wystąpiły różnice w bujności i plonie odmian.
3. Z roślin kapustowatych (*Brassicaceae*) najbardziej przydatny okazał się rzepak jary (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* Metzg) ze względu na bardzo dobre i wyrównane wschody, małe skłonności do wylegania, wysoki wskaźnik bujności i znaczny plon. Gorczyca biała (*Sinapis alba* L.) i lnianka siewna (*Camelina sativa* Crantz) wykazały nieco mniejszą przydatność do rekultywacji tych terenów i pod względem ocenianych cech rozwijały się podobnie.
4. Osady ściekowe wraz z porastającą roślinnością wpłynęły na gromadzenie materii organicznej i składników pokarmowych, zwiększanie wodochłonności i obniżenie odczynu w podłożu.
5. Osadowe użyźnienie wapiennego złoża różnicowało w nim zawartość metali ciężkich, ale nie przekroczyła ona dopuszczalnych stężeń i nie miała znaczącego wpływu na zawartość tych pierwiastków w roślinach zebranych z rekultywowanych gruntów.

LITERATURA

- Bajor P., Bulińska-Radomska Z., Klimont K., Osińska A. 2014. Ocena rozwoju roślinności na składowisku popiołów paleniskowych użyźnionych osadem ściekowym. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 2: 51 — 61.
- Budzyński W. 2000. Kapusta rzepak. W: *Rośliny oleiste – uprawa i zastosowanie*. Poznań PWRiL: 15 — 107.
- COBORU 2011. Lista opisowa odmian. *Rośliny rolnicze*. Cz. 2. Słupia Wielka: 154ss.
- COBORU 2012. Lista opisowa odmian. *Rośliny rolnicze*. Cz. 2. Słupia Wielka: 158ss.

- COBORU 2013. Lista opisowa odmian. Rośliny rolnicze. Cz. 2. Słupia Wielka: 202ss.
- Gołda T. 2007. Wykorzystanie szlamów poflotacyjnych rudy siarkowej do rekultywacji terenów poeksploatacyjnych w górnictwie otworkowym siarki. Inżynieria Ekologiczna 19. PTIE Warszawa: 79 — 88.
- Gorlach E., Gambuś F. 1999. Wpływ osadów ściekowych na zawartość metali ciężkich w glebie i roślinach oraz ich przemieszczanie w profilu glebowym. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 467: 505 — 511.
- Góral S. 2001. Roślinność zielna w ochronie i rekultywacji gruntów. Inżynieria Ekologiczna 3. PTIE Bydgoszcz: 161 — 178.
- Góral S., Rola S. 2001. Trawy na popiołach elektrociepłowni nawożonych osadami ściekowymi. Inżynieria Ekologiczna 3. PTIE Warszawa: 146 — 150.
- Grzywnowicz I., Strutyński J. 2000. Rolnicze zagospodarowanie osadów ściekowych jako źródło zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 472: 297 — 304.
- Klimont K. 2007. Ocena przydatności wybranych gatunków roślin użytkowych do rekultywacji terenów zdewastowanych przez przemysł i gospodarkę komunalną. Problemy Inżynierii Rolniczej 2: 27 — 36.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z. 2011. Wpływ wybranych gatunków roślin na procesy glebotwórcze i ich przydatność do rekultywacji bezglebowych utworów wapna poflotacyjnego na powierzchni po otworowej eksploatacji siarki. Roczniki Gleboznawcze. Tom LXII (2) Warszawa: 204 — 211.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z., Górka J. 2013a. Możliwość wykorzystania wybranych roślin miododajnych do rekultywacji terenów po eksploatacji siarki. Polish Journal of Agronomy 12. Puławy: 17 — 25.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z., Górka J. 2013b. Ocena przydatności różnych form wierzby (*Salix* sp.) do rekultywacji terenów poeksploatacyjnych kopalni siarki. Biul. IHAR 269: 161 — 168.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z., Osińska A., Bajor P. 2013c. Kształtowanie się składu gatunkowego roślin wprowadzonych i spontanicznie zasiedlających użyźnione składowisko odpadów komunalnych. Biul. IHAR 270: 109 — 121.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z., Woś H. 2012. Możliwość wykorzystania jarych roślin oleistych w procesie rekultywacji terenów kopalnianych. Problemy Inżynierii Rolniczej 2: 63 — 73.
- Majtkowski W., Majtkowska G. 2012. Fitosanitarna rola szaty roślinnej na zrehabilitowanej hałdzie popiołów w Sowianach k. Białegostoku. Biul. IHAR 263: 55 — 63.
- Nalborczyk E. 1999. Rośliny alternatywne rolnictwa XXI wieku i perspektywy ich wykorzystania. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 468: 17 — 30.
- Oleksy A. 2010. Len oleisty. W: Rośliny oleiste — uprawa i zastosowanie. Poznań PWRiL: 125 — 141.
- Rocznik statystyczny. 2012. Rolnictwo (www.stat.gov.pl/cps/rde/xbr/gus/rs_rocznik_rolnictwa_2012.pdf): 94.
- Siuta J. 2001. Rekultywacja gruntów w górnictwie siarkowym. Inżynieria Ekologiczna 3. PTIE Bydgoszcz: 192 — 198.
- Siuta J. 2004. Rekultywacja terenu lagun osadowych w oczyszczalni „Hajdów”. Inżynieria Ekologiczna 9. PTIE Warszawa: 43 — 54.
- Siuta J., Jońca M. 1997. Rekultywacyjne działanie osadu ściekowego na wapnie poflotacyjnym w Kopalni Siarki „Jeziórko”. Mat. Konf. „Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych” IOS, Puławy-Lublin-Jeziórko, 26-28 V 1997: 39 — 48.
- Siuta J., Wasiak G., Chłopecki K., Kazimierzczuk M., Jońca M., Mamełka D., Sułek S. 1996. Przyrodniczo-techniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost. Synteza wyników programu KBN. Warszawa. Inżynieria Ochrony Środowiska: 60ss.
- Toboła P. 2010 a. Gorczyce – biała, sarepska, czarna. W: Rośliny oleiste – uprawa i zastosowanie. Poznań PWRiL: 109 — 124.
- Toboła P. 2010 b. Słonecznik oleisty W: Rośliny oleiste – uprawa i zastosowanie. Poznań PWRiL: 205 — 217.
- Walski A. 2010. Uwarunkowania zewnętrzne produkcji rzepaku w Polsce. Wyzwania na rok 2010. Nasz Rzepak 1: 5 — 7.
- Warzybok W. 2000. Rekultywacja terenów górniczych Kopalni Siarki „Jeziórko”. Inżynieria Ekologiczna 1. PTIE Baranów Sandomierski: 23 — 26.
- Woś H. 2002. Na olej i biopaliwo. Biopaliwa 1: 12 — 13.

- Woś H. 2010. Lnianka siewna W: Rośliny oleiste — uprawa i zastosowanie. Poznań, PWRiL: 169 — 179.
- Wójcicki Z. 2007. Energia odnawialna, biopaliwa i ekologia. Problemy Inżynierii Rolniczej 2: 5 — 18.
- Zajac T. 2004. Współczesne uwarunkowania uprawy i wykorzystania lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.). Postępy Nauk Rolniczych 2: 77 — 91.

LISTA RECENZENTÓW BIULETYNU INSTYTUTU HODOWLI I AKLIMATYZACJI
ROŚLIN ZA ROK 2014

Tadeusz Adamski	Instytut Genetyki Roślin — PAN, Poznań
Arkadiusz Artyszak	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa
Barbara Baraniak	Uniwersytet Przyrodniczy, Lublin
Jerzy Bohdziewicz	Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław
Franciszek Boróweżak	Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań
Tadeusz Caliński	Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań
Mirosława Chrzanowska	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Młochów
Bożena Cwalina-Ambroziak	Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn
Henryk J. Czembor	Emerytowany profesor Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin PIB, Radzików
Anita Dobek	Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań
Olga Duber-Skwarska	Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn
Antoni Faber	Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa — PIB, Puławy
Antoni Golachowski	Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław
Janusz Gołaszewski	Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn
Tomasz Góral	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Radzików
Maciej Grzesiak	Instytut Fizjologii Roślin PAN, Kraków
Elżbieta Haponiuk	Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn
Marcin Horbowicz	Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny, Siedlce
Stanisław Jeżowski	Instytut Genetyki Roślin — PAN, Poznań
Andrzej Jurkowski	Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra
Jan Kaczmarek	Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław
Zygmunt Kaczmarek	Instytut Genetyki Roślin — PAN Poznań
Joanna Kawa-Rygielska	Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław
Marek Korbas	Instytut Ochrony Roślin — PIB, Poznań
Jolanta Kowalska	Instytut Ochrony Roślin — PIB, Poznań
Halina Kurzawińska	Uniwersytet Rolniczy Kraków
Jan Kuś	Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa — PIB, Puławy

Zbigniew Laudański	Emerytowany profesor Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa
Grażyna Lewandowicz	Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań
Zdzisława Libudzisz	Politechnika Łódzka, Łódź
Bogusław Łapiński	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Radzików
Elżbieta Małuszyńska	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Radzików
Dariusz R. Mańkowski	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Radzików
Kozak Marcin	Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław
Piotr Masojć	Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin
Wiesław Mądry	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa
Wacław Mozolewski	Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn
Ewa Nebesny	Politechnika Łódzka, Łódź
Wojciech Nowacki	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Jadwisin
Juliusz Perkowski	Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań
Anna Pęksa	Uniwersytet Przyrodniczy Wrocław
Wiesław Pilarczyk	Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań
Agnieszka Płażek	Uniwersytet Rolniczy Kraków
Sławomir Podlaski	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa
Urszula Prośba-Białczyk	Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław
Maria Pytlarz-Kozicka	Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław
Roman Rolbiecki	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz
Stanisław Rolbiecki	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz
Jan Rozbicki	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa
Stanisława Roztropowicz-Szkubel	Emerytowany profesor Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Jadwisin
Krzysztof Różyło	Uniwersytet Przyrodniczy, Lublin
Franciszek Rudnicki	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz
Elżbieta Rytel	Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław
Barbara Sawicka	Uniwersytet Przyrodniczy, Lublin
Małgorzata Schollenberger	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa
Iwona Sitkiewicz	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa

Jan Siuta	Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa
Marcin Studnicki	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa
Sławomir Stankowski	Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin
Mariusz Stolarski	Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn
Beata Tatarowska	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Młochów
Cezary Trawczyński	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Jadwisin
Wanda Wadas	Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny, Siedlce
Wojciech Wakuliński	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa
Mirosława Wesołowska- Janczarek	Emerytowany profesor Uniwersytet Przyrodniczy, Lublin
Kazimierz Wiech	Uniwersytet Rolniczy, Kraków
Halina Wiśniewska	Instytut Genetyki Roślin — PAN, Poznań
Marian Wiwart	Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn
Zdzisław Wyszyński	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa
Krystyna Zarzecka	Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny, Siedlce
Hanna Zarzycka	Emerytowany profesor Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Młochów
Kazimiera Zgórska	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Jadwisin
Andrzej Zieliński	Uniwersytet Rolniczy, Kraków
Tomasz Zięba	Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków
Ewa Zimnoch-Guzowska	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Młochów
Grzegorz Żurek	Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Radzików

SPIS TREŚCI — CONTENTS

Damian Gołębiewski Beata Kamińska Janusz Burek Danuta Boros	Wpływ genotypu i miejscowości na cechy determinujące wartość browarną ziarna nowych linii jęczmienia jarego Effect of genetic variation and environment on parameters that determine malting quality of new spring barley lines	3
Aleksandra Pietrusińska Jerzy Henryk Czembor	Struktura wirulencji populacji <i>Blumeria graminis</i> f. sp. <i>tritici</i> występującej na terenie Polski w latach 2012–2013 Virulence structure of the <i>Blumeria graminis</i> f. sp. <i>tritici</i> population occurring in Poland across 2012–2013	15
Elżbieta Czembor Magdalena Matusiak	Dynamika rozwoju fuzariozy kolb kukurydzy powodowanej przez <i>Fusarium graminearum</i> oraz akumulacji deoksyniwaleolu w ziarnie Kinetics of red ear rot of maize caused by <i>Fusarium graminearum</i> and deoxynivalenol accumulation in the grain	27
Katarzyna Ambroży-Deregowska Iwona Mejza	Niektóre aspekty statystyczne planowania doświadczeń nieortogonalnych typu split-split-plot Some statistical aspects of the planning of non-orthogonal experiments of split-split-plot type	41
Katarzyna Ambroży-Deregowska Tadeusz Łuczkiwicz Katarzyna Marczyńska Iwona Mejza Stanisław Mejza Jerzy Osowski	Porównanie metod selekcji genotypów jęczmienia jarego na podstawie doświadczeń jednopowtórzeniowych Comparison of methods for selection of spring barley genotypes based on non-replicated experiments	51
Zbigniew Czerko Magdalena Grudzińska	Zróżnicowanie ospowatości bulw ziemniaka powodowanej przez <i>Rhizoctonia solani</i> w zależności od odmiany i warunków meteorologicznych Diversity of black scurf symptoms caused by <i>Rhizoctonia solani</i> on potato tubers depending on cultivar and meteorological conditions	61
Karolina Pycia Lesław Juszcak	Wpływ siły ściskania bulw ziemniaka w czasie przechowywania na wielkość strat przechowalniczych Influence of compression forces of potato tubers during storage on storage losses	69
Dariusz Gozdowski Danuta Martyniak Izabela Lipska	Charakterystyka reologiczna modelowych emulsji typu o/w stabilizowanych maltodekstrynami ziemniaczanymi Rheological characterization of model emulsions o/w stabilized with potato maltodextrins	79
	Ocena zróżnicowania wybranych cech odmian gazonowych kostrzewy czerwonej i wiechliny łąkowej Evaluation of selected traits diversity in turf grass cultivars of red fescue and Kentucky bluegrass	91

Spis treści — Content

Wojciech Rybiński Jan Bocianowski Michał Starzycki	Analiza zmienności cech ilościowych i składu chemicznego nasion wybranych obiektów kolekcyjnych lędźwianu siewnego (<i>Lathyrus sativus</i> L.) i czerwonego (<i>Lathyrus cicera</i> L.) o zróżnicowanym pochodzeniu geograficznym Analysis of variability for quantitative traits and chemical composition of seeds of chosen accessions of grass pea (<i>Lathyrus sativus</i> L.) and red pea (<i>Lathyrus cicera</i> L.) with different geographical origins	101
Zbigniew Bodzon	Współzależność cech warunkujących plon nasion komonicy zwyczajnej (<i>Lotus corniculatus</i> L.) Correlations of the characters determining the seed yield of birdsfoot trefoil (<i>Lotus corniculatus</i> L.)	117
Anna Szydłowska Elżbieta Małuszyńska	Zdolność kiełkowania komonicy zwyczajnej (<i>Lotus corniculatus</i> L.) w zależności od odkażania i fazy dojrzałości nasion The germination capacity of birdsfoot trefoil seeds (<i>Lotus corniculatus</i> L.) depending on disinfection formulation and maturity of seeds	125
Sandra Cichorz Maria Goška Anna Litwiniec	Trawy wieloletnie z rodzaju <i>Miscanthus</i> — potencjalne źródło energii odnawialnej Perennial grasses from the <i>Miscanthus</i> genus — potential source of renewable energy	133
Krzysztof Klimont Zofia Bulińska-Radomska Józef Górka Henryk Woś	Ocena przydatności wybranych gatunków jarych roślin oleistych do uprawy na rekultywowanym gruncie wapna poflotacyjnego Evaluation of the suitability of selected spring oilseed species for cultivation on reclaimed flotation lime ground	153
Lista recenzentów za rok 2014		165