

BEATA TATAROWSKA**BOGDAN FLIS****JAROSŁAW PLICH**

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB w Młochowie

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

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

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

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

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

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

WSTĘP

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

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

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

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

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

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

MATERIAŁ I METODY

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

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

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

— Rok 2007 — 1.2.3.4.5.6.7.10.11.

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

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

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

— (*) - niepełna ekspresja czynnika wirulencji.

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

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

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

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

WYNIKI I DYSKUSJA

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

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

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

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

Tabela 1

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

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

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

^{b)} Wzorzec europejski; Eucablight standard cultivars

Tabela 2

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

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

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

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

Tabela 3

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

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

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

^{b)} Zastosowany model nie pozwala testować istotności zróżnicowania odmian. Przedstawiono wartość F = średni kwadrat dla odmian/średni kwadrat odmiana × środowisko, która pozwala oszacować tę istotność (w przybliżeniu).

The applied statistical model does not allow testing the effect of cultivar. In the table, estimated F value is presented, calculated by dividing mean square for cultivar by mean square for cultivar × environment (approximately)

Tabela 4

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

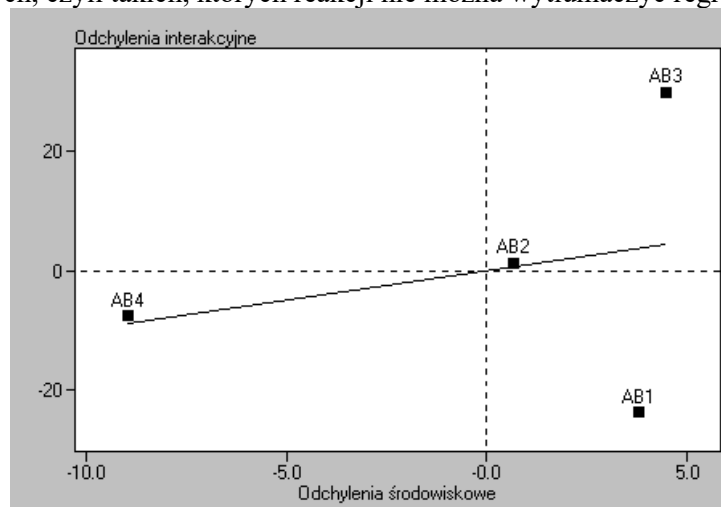
Odmiana Cultivar	Ocena efektu głównego Estimate of main effect	Wartości statystyki F dla efektu głównego ^{a)} F statistic for main effect	Statystyka F dla interakcji G × E ^{a)} F statistic for interaction G × E	Statystyka F dla regresji ^{a)} F statistic for regression	Statystyka F dla odchyżeń od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

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

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

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

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



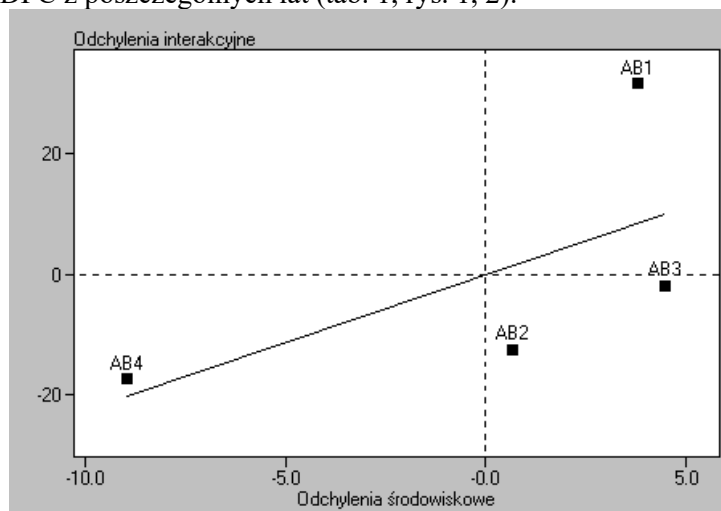
AB1 – Rok (year) 2007; AB2 – Rok (year) 2008; AB3 – Rok (year) 2009; AB4 – Rok (year) 2010

Odchylenie interakcyjne – Interaction deviation; Odchylenie środowiskowe – Environmental deviation

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

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

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



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

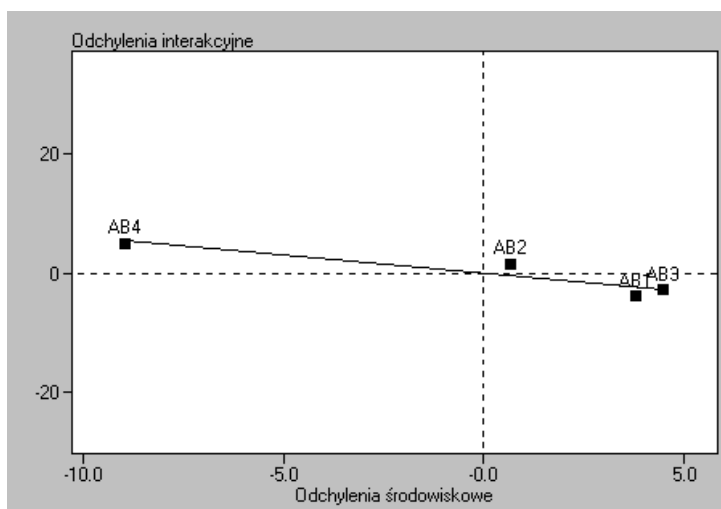
Odchylenie interakcyjne – Interaction deviation; Odchylenie środowiskowe – Environmental deviation

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

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

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

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

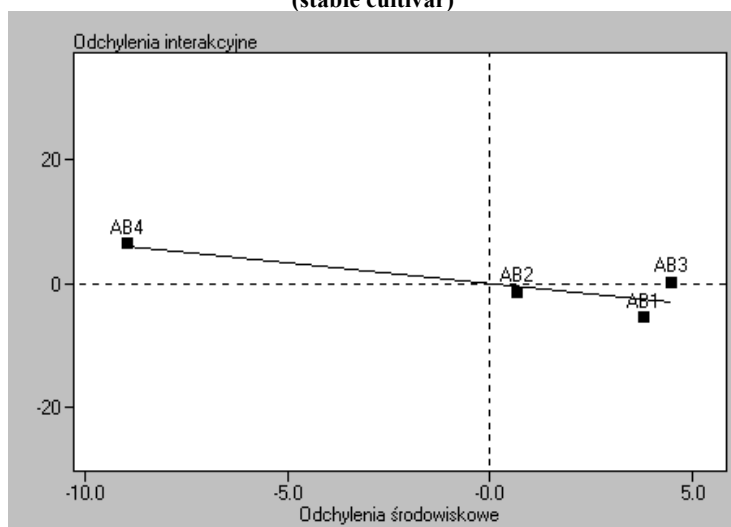


AB1 – Rok (year) 2007; AB2 – Rok (year) 2008; AB3 – Rok (year) 2009; AB4 – Rok (year) 2010

Odchylenie interakcyjne – Interaction deviation; Odchylenie środowiskowe – Environmental deviation

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

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



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

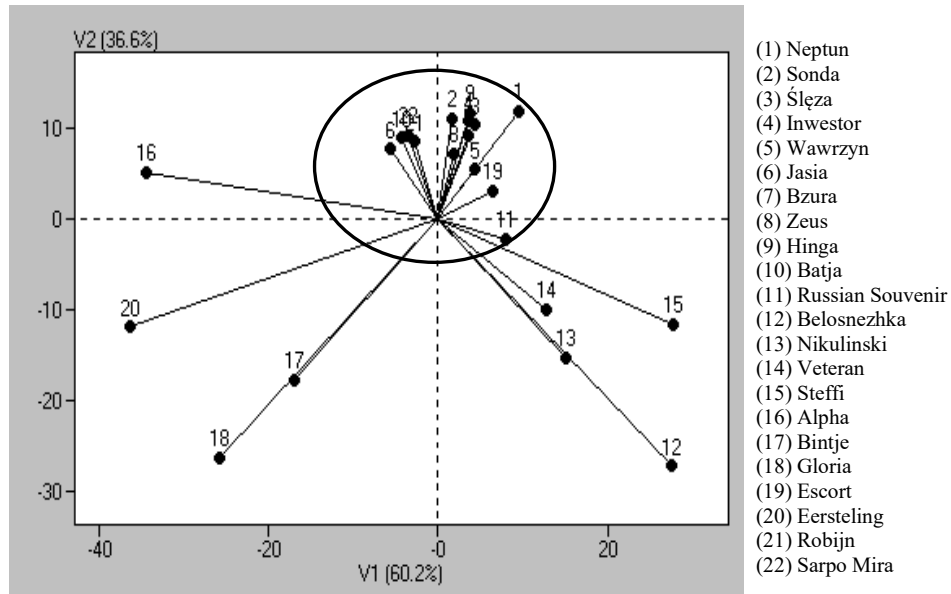
Odchylenie interakcyjne – Interaction deviation; Odchylenie środowiskowe – Environmental deviation

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

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

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

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



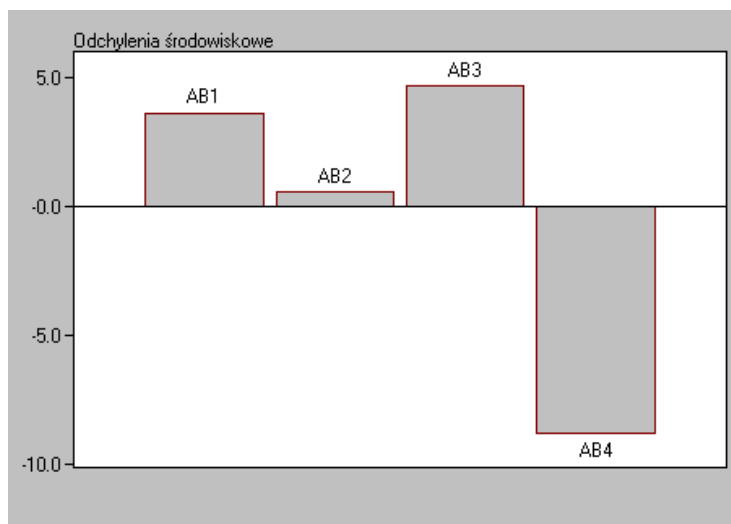
Rys. 5. Wektorowe przedstawienie 22 odmian ziemniaka w układzie zmiennych kanonicznych
Fig. 5. Vector representation of 22 potato cultivars in the system of canonical variables

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

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

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

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

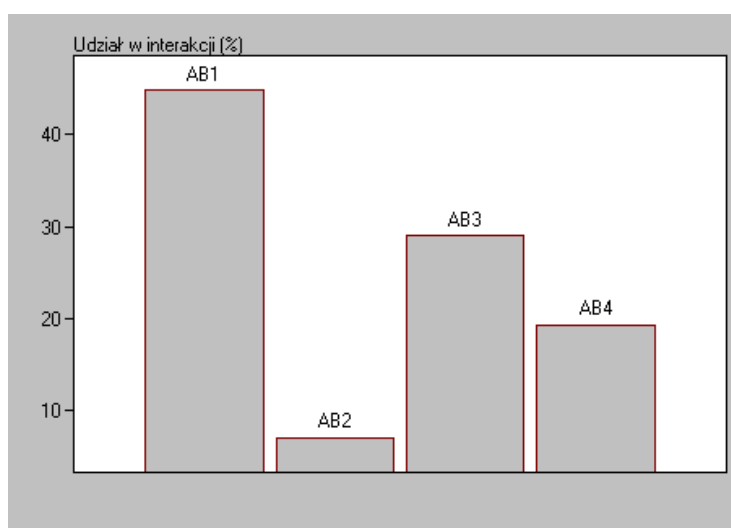


Odchylenie środowiskowe – Environmental deviation

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

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

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



AB1 – Rok (year) 2007; AB2 – Rok (year) 2008; AB3 – Rok (year) 2009; AB4 – Rok (year) 2010
 Udział w interakcji (%) – Contribution to interaction (%)

Rys. 7. Udział lat w interakcji G × E
Fig. 7. Years contribution to G × E interaction

WNIOSKI

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

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

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

LITERATURA

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

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