

BEATA TATAROWSKA**BOGDAN FLIS****EWA ZIMNOCH-GUZOWSKA**

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Oddział Młochów

Ocena stabilności odporności na *Phytophthora infestans* u odmian ziemniaka

Evaluation of potato cultivars stability in resistance to *Phytophthora infestans*

W pracy zaprezentowano wstępną ocenę stabilności odporności na zarazę ziemniaka (*Phytophthora infestans*) dla grupy 22 polskich odmian ziemniaka. Badane odmiany były zróżnicowane pod względem odporności, wczesności i pochodzenia. Ocenę stabilności prowadzono w latach 2001–2002 w warunkach naturalnej silnej presji infekcyjnej w czterech miejscowościach w Polsce centralnej i południowo-wschodniej. Po przeprowadzeniu obserwacji polowych obliczono wskaźnik tempa szerzenia się choroby (rAUDPC) dla każdej odmiany. Połową ocenę odporności uzupełniono oceną porażenia sztucznie inokulowanych odciętych listków. Stwierdzono, że na tempo szerzenia się choroby istotny wpływ miały testowane czynniki (genotyp, lata, miejscowości), a także interakcja genotyp $\times$ środowisko. Aby ocenić stabilność reakcji badanych odmian posłużono się trzema parametrami statystycznymi. Pozwoliły one wyróżnić cztery grupy odmian o zróżnicowanej stabilności. W grupie odmian o najbardziej stabilnej reakcji znalazły się odmiany Jasia i Klepa (odporne wg badań COBORU) oraz Hinga i Bzura (wysoko odporne wg COBORU). Na uwagę zasługuje odmiana Jasia, która charakteryzowała się największą stabilnością (bardzo niska wariancja stabilności), a w testach listkowych nie stwierdzono porażenia w obu latach badań.

Słowa kluczowe: interakcja genotypowo-środowiskowa, parametry stabilności, *Phytophthora infestans*, stabilność odporności, ziemniak

The preliminary evaluation of resistance stability for late blight (*Phytophthora infestans*) in a group of 22 Polish potato cultivars is presented. The tested cultivars differed in their resistance level, maturity and origin. The evaluation of resistance stability was carried out in the years 2001–2002 under strong natural infection pressure at four locations in central and southeastern Poland. The area under disease progress curve (rAUDPC) for each cultivar was calculated on the basis of field observations. The field evaluation of stability was supplemented with evaluation of resistance of artificially inoculated detached leaflets. The area under disease progress curve was significantly influenced by the tested factors (genotypes, years and locations), and genotype-environment interaction ($G \times E$). To evaluate stability of reaction, three statistical parameters were used. These parameters allowed to distinguish four groups which differed in stability of resistance. The group with the most stable reaction consisted of cvs. Jasia and Klepa (resistant according to assessment by Research Centre for Cultivar Testing, RCCT), Hinga and Bzura (highly resistant according to RCCT). The cultivar Jasia deserves special attention. Characteristic of this cultivar is the highest stability (very low variance of stability). No infection could be observed in the leaflet tests in any the two years of studies.

Key words: genotype-environment interaction, potato, *Phytophthora infestans*, stability of resistance, stability parameters

WSTĘP

Phytophthora infestans jest organizmem heterotalicznym, należącym do królestwa *Chromista*, gromady *Oomycetes* i powodującym zarazę ziemniaka (Marcinkowska, 1997). Zaraza ziemniaka jest w skali światowej jedną z najważniejszych gospodarczo i najbardziej rozpowszechnionych chorób atakujących rośliny ziemniaka w okresie wegetacji, a także powodująca gnicie bulw w czasie przechowywania. Jej szkodliwość w Polsce jest szczególnie duża ze względu na znaczenie ziemniaka w produkcji roślinnej i korzystne dla rozwoju choroby warunki klimatyczne. W Polsce średnie straty plonu (obserwacje wieloletnie) spowodowane przez *P. infestans* wynoszą 20–25% (Pietkiewicz, 1989). Obecnie zaraza ziemniaka występuje na uprawach ziemniaka na terenie całego kraju. Ochrona chemiczna jest kosztowna i jest stosowana jedynie w stosunku do około 40% uprawianych ziemniaków. Na większości upraw chronionych chemicznie ilość zabiegów nie jest dostateczna (Kapsa, 2000). Struktura uprawy ziemniaków w Polsce wskazuje, że pola ziemniaka są na ogół niewielkie (średnia krajowa wynosi 0,6 ha) (Guzowska, 1998). Stosowanie pełnej ochrony i nowoczesnej agrotechniki nie zawsze jest możliwe, dla drobnych producentów ziemniaka. Stąd w rejonach szczególnego zagrożenia tą chorobą uprawa odmian odpornych jest jedną ze skuteczniejszych metod ograniczania strat plonu powodowanych przez zarazę ziemniaka. Patogen wywołujący zarazę ziemniaka ma duże zdolności adaptacyjne do gospodarza, na którym żeruje, a jego nowa populacja od ponad 20 lat notowana w Europie, a w tym i w Polsce ma wysoką patogeniczność w stosunku do ziemniaka. Złożona wirulencja polskich izolatów *P. infestans*, ich wysoka agresywność, a również występowanie obok siebie dwu typów kojarzeniowych A1 i A2, pozwala na seksualne rozmnażanie patogena zwiększające rekombinację czynników patogeniczności w populacji *P. infestans*, stanowi duże zagrożenie dla utrzymania odporności odmian uprawianych na większym areale (Zarzycka i Sobkowiak, 1997). Monitoring stabilności ekspresji odporności na zarazę ziemniaka odmian uprawianych na terenie kraju dostarcza wiedzę hodowcom i fitopatologom o interakcji pomiędzy genetycznie warunkowaną odpornością gospodarza a patogenem, jest również sygnałem dla producentów ziemniaka w przypadku przełamania odporności odmiany przez patogen o konieczności dostosowania programu ochrony chemicznej do tej sytuacji.

Oszacowanie genotypów pod względem stabilności wybranej cechy ilościowej (np. odporność na określony patogen) opiera się zazwyczaj na ocenie średnich wartości badanej cechy. Aby ocena cechy była bardziej miarodajna uzupełnia się ją badając ekspresję cechy w zmieniających się warunkach środowiskowych. Badanie rodzaju reakcji cechy w odpowiedzi na wpływ różnych środowisk nazywa się analizą stabilności genotypów.

W literaturze poświęconej zagadnieniom analizy stabilności genotypów występują dwie normy stabilności: stabilność w sensie biologicznym oraz stabilność w sensie rolniczym (Becker i Leon, 1988; Galek i in., 2000; Pietrzykowski i in., 1996).

Genotyp względem danej cechy jest stabilny w sensie biologicznym, jeżeli średnia wartość cechy nie zmienia się w różnych środowiskach (utrzymuje się na stałym poziomie). Zatem od odmiany stabilnej w sensie biologicznym oczekiwać będziemy utrzymywania się odporności na stałym poziomie w kolejnych latach, niezależnie od miejsca uprawy.

Stabilność w sensie rolniczym oznacza, że średnia wartość cechy zmienia się proporcjonalnie do przeciętnej reakcji w różnych środowiskach. Przeciętna reakcja jest określana za pomocą średnich środowiskowych dla danej cechy.

Jednym z celów badań prowadzonych w IHAR Młochów nad odpornością na zarazę ziemniaka jest tworzenie materiałów hodowlanych o możliwie wysokiej, utrzymującej się w czasie, stabilnej odporności naci i bulw na zarazę ziemniaka, które będą wykorzystywane w hodowli odmian. Prace monitorujące zmiany w populacji patogena prowadzone są systematycznie od 1987 roku (Zarzycka i in., 2002). Od 2001 roku prowadzone są kompleksowe badania stabilności odporności odmian ziemniaka na *P. infestans* odnoszące się do normy stabilności w sensie biologicznym.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły 22 odmiany ziemniaka. Badane odmiany były zróżnicowane pod względem poziomu odporności, długości wegetacji i pochodzenia. Wśród badanych odmian znalazło się 10 odmian późnych, 8 średnio późnych, dwie średnio wczesne, jedna wczesna oraz jedna bardzo wczesna.

Z badanych odmian ziemniaka 18 to odmiany o poziomie odporności wg COBORU od 5,5 do 8 (w skali 1–9, gdzie 9 = odporny). Cztery z badanych odmian (Irys, Albina, Mors, Rywał) to odmiany podatne, traktowane w doświadczeniu jako wzorzec podatny o poziomie odporności wg COBORU od 3 do 4 (tab. 1).

Ocena ekspresji odporności na *P. infestans* wybranej grupy 22 odmian prowadzona była w warunkach naturalnej silnej presji infekcyjnej. Doświadczenia polowe zakładano w latach 2001–2002, w czterech miejscowościach w centralnej i południowo-wschodniej Polsce, metodą losowanych bloków, w dwóch powtórzeniach. Odmiany wysadzono na 6 krzakowych poletkach w obsadzie podatnej na zarazę ziemniaka odmiany Tarpan, która była traktowana jako infektor. Ocenę porażenia przez *P. infestans* przeprowadzano w odstępach tygodniowych począwszy od momentu pojawienia się pierwszych objawów choroby z wykorzystaniem skali 9-stopniowej (Cruickshank i in., 1982), gdzie 9 oznacza brak porażenia. Porażenie odmian w obu latach oceniano określając porażenie powierzchni roślin wg Fry (1978), czyli *rAUDPC* (relatywna powierzchnia pod krzywą postępu choroby) posługując się wzorem:

$$rAUDPC = \sum_{i=1}^n [(x_{i+1} + x_i)] / 2[t_{i+1} - t_i]$$

gdzie: x_i — procent zniszczenia liści w czasie oceny

t — liczba dni między ocenami

n — liczba ocen

Wartości $rAUDPC$ są stosunkiem porażonej powierzchni roślin (czyli powierzchni pod krzywą postępu choroby) w ciągu trwania doświadczenia do całkowitej powierzchni ocenianych roślin. Niskie wartości oznaczają słabe porażenie części nadziemnej. W sezonie 2001 przeprowadzono 8 obserwacji polowych w odstępach tygodniowych począwszy od momentu pojawienia się pierwszych objawów choroby (od 26 czerwca do 27 sierpnia), zaś w sezonie 2002 przeprowadzono 9 obserwacji (od 4 lipca do 31 sierpnia).

Różne przejawy stabilności (biologicznej lub rolniczej) można badać za pomocą parametrów statystycznych uzyskanych na podstawie wyników wielokrotnej serii doświadczeń opisanych za pomocą stałego modelu multiplikatywnego (Lin i in., 1986; Becker i Leon, 1988):

$$Y_{ij} = \mu + g_i + \beta_i s_j + d_{ij} + e_{ij}$$

gdzie:

Y_{ij} — jest średnią cechy z n powtórzeń dla i -tego genotypu oraz j -tego środowiska

μ — jest średnią ogólną

g_i — jest efektem głównym i -tego genotypu

β_i — jest współczynnikiem regresji liniowej średniej Y_{ij} dla i -tego genotypu względem efektu środowiska s_j

s_j — jest efektem głównym j -tego środowiska

d_{ij} — jest odchyleniem od funkcji regresji liniowej średniej Y_{ij} względem efektu środowiska s_j

e_{ij} — jest losowym błędem średnich Y_{ij}

Dla współczynników $rAUDPC$ otrzymanych w prezentowanych badaniach, przeprowadzono analizę wariancji wykorzystując program SERGEN (Caliński i in., 1998). Dla sprawdzenia zgodności wyników ocen jak i związków między ocenami obliczono współczynniki korelacji Pearsona.

Wykorzystując wyniki uzyskane za pomocą programu SERGEN wyliczono następujące parametry stabilności: σ^2_i — wariancję stabilności (Shukla, 1972; Kudła i in., 1987), W_i — współczynnik ekowalencji (Becker, 1981; Pietrzykowski i in., 1996), $V\%$ — współczynnik zmienności (Francis i Kannenberg, 1978 a b; Węgrzyn i Sikorska, 1987; Jaskulski i Kotwica, 2000).

Dla badanych odmian przeprowadzono laboratoryjną oceną odporności odciętych listków (Zarzycka i Sujkowski, 1988). Z roślin rosnących w polu i znajdujących się przed kwitnieniem, trzykrotnie w sezonie wegetacyjnym pobierano próbki listków do badań. Z każdej odmiany oceniano po 5 listków w dwóch powtórzeniach i w obydwu latach badań.

Oderwane listki inokulowano kropłowo zawiesiną zawierającą 50 sporangiów w 1 mm³. Po 6 dniach inkubacji w temperaturze 16°C określano ich reakcję za pomocą skali 9-stopniowej, która uwzględnia nie tylko procentowe porażenie powierzchni listków, ale także intensywność zarodnikowania (9 = brak porażenia, bez zarodnikowania, zaś 1 = porażona cała oceniana powierzchnia listka, zarodnikowanie bardzo obfite) (Zarzycka i Sobkowiak, 1997).

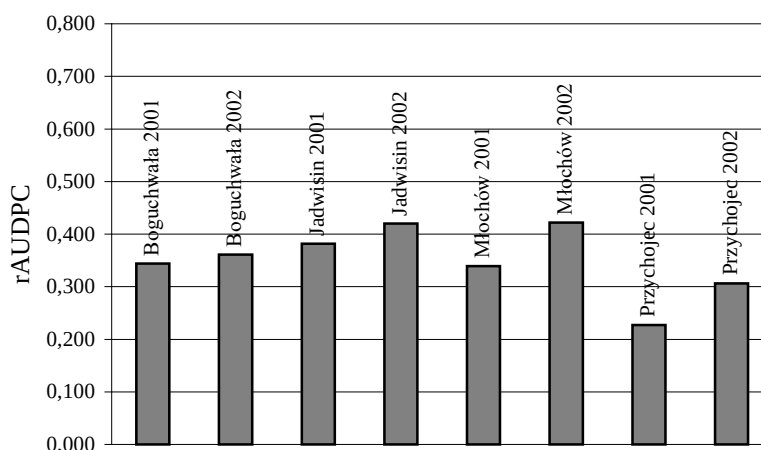
Reakcję badanych odmian porównywano z reakcją odmian wzorcowych (ocena wg COBORU): Bzura (8), Meduza (8), Sokół (3), Irys (3), oraz dwa odporne, diploidalne klony (ocena wg badań IHAR): DG 94–15 (8) i DG 94–668 (5). Liście tych odmian umieszczano w każdej kuwecie obok badanego materiału (w testach masowych jest to szczególnie ważne, gdyż pozwala na kontrolę jednorodności i skuteczności przeprowadzonych zakażeń).

Do inokulacji w 2001 i 2002 roku zastosowano izolat MP–324 *P. infestans* o złożonej wirulencji i typie kojarzeniowym A1, pochodzący z kolekcji izolatów w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Młochowie. W czasie testowania listków izolat ten wykazywał ekspresję następujących czynników wirulencji: w 2001 roku — 1.2.3.(4).(5).(6).(7).8.10.11., w 2002 roku — 1.2.3.4.6.7.(10).(11). Czynniki wymienione w nawisach miały niepełną ekspresję, tzn. z dwóch badanych listków testera porażeniu uległ tylko jeden.

WYNIKI

Ocena polowa

We wszystkich czterech miejscowościach w obu latach doświadczeń obserwowano zróżnicowany poziom porażenia badanych odmian. Generalnie porażenie odmian było wyższe w roku 2002 niż w 2001. Odnotowano to we wszystkich miejscowościach, w których prowadzono ocenę (rys. 1).



Rys. 1. Tempo szerzenia się choroby (rAUDPC) w 8 środowiskach w latach 2001–2002
Fig. 1. Area under the disease progress curve (rAUDPC) in 8 environments in 2001–2002

W 2001 roku średnia rAUDPC dla czterech miejscowości z 22 badanych odmian wynosiła 0,323, przy wahaniami od 0,227 (w Przychojcu) do 0,382 (w Jadwisinie). W roku 2002 średnia rAUDPC wyniosła 0,377, przy zakresach od 0,306 (w Przychojcu) do 0,422

(w Młochowie). Z trzech badanych miejscowości najniższe porażenie obserwowano w obu latach badań w Przychojcu ($rAUDPC = 0,227$ w 2001 roku, $rAUDPC = 0,306$ w 2002 roku). Najwyższe średnie wartości $rAUDPC$ obserwowano w 2001 roku Jadwisinie ($rAUDPC = 0,382$), zaś w 2002 roku w Młochowie ($rAUDPC = 0,422$).

Do grupy najslabiej porażonych odmian w trakcie dwuletnich badań należało siedem odmian, dla których ocena poziomu odporności wg COBORU wynosi od 6 do 8, a średnie wartości $rAUDPC$ wyniosły od 0,184 dla odm. Bzura do 0,243 dla odm. Umiak (tab. 1).

Tabela 1

Średnie wartości $rAUDPC$ dla 22 odmian ziemniaka badanych w latach 2001–2002 w czterech miejscowościach (8 środowisk)

Mean $rAUDPC$ values for 22 potato cultivars tested at 4 locations in 2001–2002 (8 environments)

Odmiana i ocena jej odporności wg COBORU ^{a/} Cultivar and its resistance level according to RCCT		Średnia wartość rAUDPC Mean rAUDPC value			Zakres średnich wartości rAUDPC w 8 środowiskach Range of rAUDPC values for 8 environments	
		2001–2002	2001	2002	minimum	maksimum
Bzura	8	0,184	0,175	0,192	0,066	0,233
Meduza	8	0,211	0,139	0,283	0,066	0,427
Koga	7	0,225	0,173	0,277	0,070	0,418
Wawrzyn	6	0,226	0,162	0,291	0,079	0,416
Dunajec	7	0,229	0,181	0,278	0,153	0,420
Grot	7	0,238	0,228	0,248	0,095	0,421
Umiak	6,5	0,243	0,169	0,316	0,082	0,416
Zeus	6	0,287	0,230	0,343	0,112	0,462
Jantar	6	0,289	0,276	0,303	0,128	0,467
Hinga	7	0,295	0,258	0,332	0,153	0,400
Nimfy	5,5	0,306	0,246	0,366	0,137	0,422
Klepa	6	0,325	0,287	0,363	0,169	0,408
Ania	6	0,341	0,344	0,338	0,252	0,436
Anielka	6	0,345	0,402	0,287	0,190	0,486
Jasia	6	0,346	0,300	0,391	0,223	0,445
Beata	6	0,352	0,407	0,298	0,230	0,493
Vistula	7	0,365	0,273	0,458	0,227	0,585
Lawina	7	0,374	0,294	0,455	0,190	0,610
Rywal	4	0,473	0,521	0,425	0,350	0,566
Mors	3	0,628	0,618	0,639	0,457	0,726
Albina	3	0,686	0,682	0,691	0,621	0,765
Irys	3	0,729	0,740	0,717	0,631	0,844
Średnia Mean	–	0,350	0,323	0,377	0,213	0,494

^{a/} W skali 1–9; 9 = najodporniejszy

^{a/} In a 9-grade scale, where 9 = the most resistant (values given by Research Centre for Cultivar Testing)

Największe tempo szerzenia się choroby odnotowano w grupie trzech odmian podatnych o odporności wg COBORU wynoszącej 3. Średnie wartości $rAUDPC$ z dwóch lat badań dla poszczególnych odmian wyniosły od 0,628 dla odm. Mors do 0,729 dla odm. Irys (tab. 1).

Dla pozostałej grupy 12 odmian, których odporność wg COBORU wynosi od 4 do 7, zakresy średnich wartości $rAUDPC$ wskazują duże lub bardzo duże zróżnicowanie tempa

szerzenia się choroby w różnych środowiskach, zaś średnie wartości *rAUDPC* z dwóch lat badań poszczególnych odmian wahały się od 0,287 (Zeus) do 0,473 (Rywal) (tab. 1).

Przeprowadzona analiza wariancji wykazała, że tempo szerzenia się choroby istotnie zależało od odmiany (na co wskazuje szacunkowa wartość statystyki *F*) oraz od miejsca i roku oceny, oraz od interakcji odmiana × miejsce, odmiana × rok i odmiana × środowisko. Zatem poszczególne badane odmiany reagowały odmiennie na zmieniające się warunki środowiskowe w poszczególnych miejscowościach i latach (tab. 2).

Tabela 2

Analiza wariancji dla wartości *rAUDPC* otrzymanych dla 22 odmian ziemniaka badanych w czterech miejscowościach w dwóch latach (2001–2002)

Analysis of variance for *rAUDPC* values obtained for 22 potato cultivars tested in 4 locations in two years (2001–2002)

Źródło zmienności Source of variation	Liczba stopni swobody Degrees of freedom	Suma kwadratów Sum of squares	Średni kwadrat Mean square	Wartości statystyki <i>F</i> ^{a/} F statistic ^{a/}
Miejsce Location	3	0,4607	0,1536	13,34*
Rok Year	1	0,1283	0,1283	11,14*
Środowisko (miejsca w latach) Environment (locations in years)	3	0,0345	0,0115	6,08**
Odmiana Cultivar	21	3,8400	0,1829	59,00** ^{b/}
Odmiana × miejsce Cultivar × location	63	0,3380	0,0054	no ^{c/}
Odmiana × rok Cultivar × year	21	0,3171	0,0151	no ^{c/}
Odmiana × środowisko Cultivar × environment	63	0,1980	0,0031	1,66**
Regresja względem środowiska Regression on environment	21	0,0553	0,0026	
Odchylenie od regresji Deviation from regression	42	0,1427	0,0034	1,79**
Błąd doświadczenia Experimental error	167		0,0019	

^{a/} Poziom istotności: * — $P < 0,05$ oraz ** — $P < 0,01$

^{a/} * Significant at $P < 0,05$ and ** 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.

^{b/} The applied statistical model does not allow to test the effect of "cultivar". In the table, estimated F value is presented, calculated from dividing mean square for "cultivar" by mean square for "cultivar × environment".

^{c/} no — Zastosowany model nie pozwala na testowanie istotności tego efektu

^{c/} no — The applied statistical model does not allow to test this effect

W tabeli 3 przedstawiono oceny wpływu odmiany na przeciętną reakcję wraz z wartościami statystyki *F*. Istotność efektu głównego stwierdzono w 15 odmianach ziemniaka. Największy istotny udział w ogólnej zmienności cechy odnotowano dla podatnej odmiany Irys (3) i odpornej odmiany Bzura (8).

Tabela 3

Ocena wpływu odmiany na średnią wartość rAUDPC (efekt odmiany)
Evaluation of the cultivar effect on mean rAUDPC value

Odmiana i ocena jej odporności wg COBORU ^{a/} Cultivar and its resistance level according to RCCT		Ocena efektu głównego (odmiana) Estimate of the main effect	Wartości statystyki F dla efektu głównego (odmiana) ^{b/} F statistic for the main effect
Irys	3	0,379	445,90**
Albina	3	0,336	274,17**
Mors	3	0,279	111,18**
Rywał	4	0,123	31,09*
Lawina	7	0,024	13,78*
Vistula	7	0,016	0,65
Beata	6	0,002	0,01
Jasia	6	-0,004	0,32
Anielka	6	-0,005	0,05
Ania	6	-0,009	0,61
Klepa	6	-0,025	5,66
Nimfy	5,5	-0,044	4,35
Hinga	7	-0,055	63,27**
Jantar	6	-0,061	3,40
Zeus	6	-0,063	7,84
Umiak	6,5	-0,107	122,58**
Grot	7	-0,112	60,24**
Dunajec	7	-0,121	27,55*
Wawrzyn	6	-0,124	26,16*
Koga	7	-0,125	22,46*
Meduza	8	-0,139	58,69**
Bzura	8	-0,166	395,12**

^{a/} Patrz objaśnienia do tabeli 1

^{a/} See footnote to Table 1

^{b/} * Poziom istotności: — P<0,05 oraz ** – P<0,01

^{b/} * Significant at P<0,05 and ** at P<0,01

Duży efekt główny i/lub efekt główny istotny wskazuje, że odporność odmiany odbiega od przeciętnej reakcji (średniej wszystkich odmian, we wszystkich latach i miejscowościach). Może to pośrednio wskazywać na zmienną reakcję odpornościową odmian w różnych środowiskach.

Oprócz oceny efektów głównych w analizie wyników serii doświadczeń odmianowych najbardziej interesującą, zwłaszcza z punktu widzenia oceny stabilności i zdolności adaptacyjnej genotypów, jest interakcja genotypowo-środowiskowa.

Parametry oceny stabilności połowej odporności odmian na *P. infestans*

W wyniku przeprowadzonej analizy wariancji stwierdzono, istotny wpływ interakcji genotypowo-środowiskowej na przeciętną reakcję badanych odmian (tab. 2), oraz otrzymano oszacowania efektów wchodzących w skład stałego modelu multiplikatywnego, które pozwoliły na obliczenie różnych parametrów stabilności.

Dla uzyskanych parametrów stabilności wyliczono współczynniki korelacji. Wykazano silną dodatnią korelację ($r = 1,000$) pomiędzy współczynnikiem ekowalencji (W_i), a wariancją stabilności (δ_i^2). Parametr δ_i^2 ściśle określa parametr W_i i może go zastępować. Współczynnik korelacji pomiędzy współczynnikiem zmienności ($V\%$), a wariancją stabilności (δ_i^2) wyniósł $r = 0,692^{**}$.

Analiza parametrów stabilności tempa szerzenia się zarazy ziemniaka oraz istotność interakcji odmian z miejscowościami, latami ocen i wyróżnionymi ośmioma środowiskami (dana miejscowość w danym roku) pozwoliła wyróżnić cztery grupy odmian.

Najniższymi wariancjami stabilności δ^2_i (mała zmienność w uzyskanych ocenach) charakteryzowały się odmiany Jasia, Klepa, Bzura i Hinga. Dla odmian tych wartość δ^2_i nie przekraczała 0,0008. Niskie były również wartości współczynnika zmienności. W grupie tej znalazły się odmiany odporne wg oceny COBORU (tab. 4).

Tabela 4

Parametry stabilności tempa szerzenia się choroby wyrażonego współczynnikiem $rAUDPC$ w 22 odmianach ziemniaka badanych w 4 miejscowościach w latach 2001–2002
Stability parameters of disease progress expressed by $rAUDPC$ values for 22 cultivars tested at 4 locations in 2001–2002

Grupa Group	Odmiana i ocena jej odporności wg COBORU ^{a/} Cultivar and its resistance level according to RCCT ^{a/}		Parametry stabilności Stability parameters				
			δ_i^2 ^{b/}	V% ^{c/}	statystyka F dla interakcji odmiana $\times$ ^{d/} F statistic for interaction cultivar $\times$		
					miejsce location	rok year	środowisko environment
I	Jasia	6	0,0004	7	0,27	6,09	0,25
	Klepa	6	0,0006	8	0,82	1,08	0,50
	Bzura	8	0,0006	15	0,79	4,89	0,31
	Hinga	7	0,0008	10	4,46	2,27	0,21
II	Ania	6	0,0029	15	5,74	6,70	0,59
	Nimfy	5,5	0,0032	17	0,32	2,49	1,94
	Albina	3	0,0037	8	1,15	1,26	1,83
	Irys	3	0,0038	8	0,83	4,57	1,43
	Wawrzyn	6	0,0038	25	0,09	2,38	2,59
	Zeus	6	0,0042	21	0,78	1,73	2,25
III	Koga	7	0,0045	28	0,54	0,89	3,08 *
	Grot	7	0,0053	28	5,69	1,37	0,92
	Mors	3	0,0061	11	1,30	0,40	3,09 *
	Umiak	6,5	0,0070	31	11,88 *	23,33 *	0,42
	Vistula	7	0,0072	21	0,49	11,33 *	1,66
	Jantar	6	0,0074	27	0,81	0,16	4,77 **
	Lawina	7	0,0079	22	27,00 *	67,14 **	0,19
	Dunajec	7	0,0092	38	2,06	0,90	2,33
	Meduza	8	0,0097	42	4,71	6,15	1,46
IV	Rywal	4	0,0128	22	2,25	11,52 *	2,16
	Beata	6	0,0142	31	2,39	13,73 *	2,14
	Anielka	6	0,0143	31	1,68	12,98 *	2,43

^{a/} Patrz objaśnienia do tabeli 1; ^{a/} See footnote to Table 1

^{b/} δ^2_i — wariancja stabilności wg Shukli (1972); ^{b/} δ^2_i — variance of stability according to Shukla (1972)

^{c/} V% — współczynnik zmienności wg Francisa i Kannenberga (1978); ^{c/} V% — coefficient of variability according to Francis and Kannenberg (1978)

^{d/} Poziom istotności: * — $P < 0,05$ oraz ** — $P < 0,01$; ^{d/}* Significant at $P < 0,05$ and ** at $P < 0,01$

W obu latach doświadczeń odmiany Jasia (6), Klepa (6) i Hinga (7) uległy porażeniu zarazą ziemniaka osiągając średnie wartości $rAUDPC$ w zakresie od 0,295 do 0,346. Natomiast odmiana Bzura uległa najslabszemu porażeniu zarazą w polu wykazując $rAUDPC$ dla

dwóch lat oceny = 0,184. Dla odmian tych nie stwierdzono istotności interakcji odmiana $\times$ miejsce, odmiana $\times$ rok i odmiana $\times$ środowiska (tab. 4).

W grupie drugiej znalazło się 6 odmian (Ania, Nimfy, Albina, Irys, Wawrzyn, Zeus). Są to odmiany o stosunkowo stabilnej odporności, dla których wartość wariancji stabilności zawierała się w przedziale — 0,0029 — 0,0042, zaś współczynnik zmienności V% wahał się od 8 do 25. W grupie tej znalazły się 4 odmiany z grupy odmian odpornych, ale także 2 odmiany z grupy odmian podatnych wg COBORU (tab. 4). W odmianach podatnych Albina (3) i Irys (3) odnotowano najsilniejsze porażenie w całym doświadczeniu (tab. 1). Uzyskane parametry stabilności (zwłaszcza niskie V%) dla tych odmian wskazują, że przez dwa lata badań, ich wysoki stopień porażenia zarzą ziemniaka był stały. Odmiany Zeus (6) i Wawrzyn (6) uległy istotnie słabszemu porażeniu od zakładanego (tab. 1, 3). W tej grupie, podobnie jak w pierwszej (odmiany o najwyższej stabilności odporności), nie stwierdzono istotnego wpływu interakcji na średnie wartości $rAUDPC$.

Trzecią grupę stanowi dziewięć odmian, dla których wartości wariancji stabilności δ^2_i zawierały się w przedziale 0,0045–0,0097, a współczynniki zmienności V% wahały się od 11 do 42. Dla sześciu odmian stwierdzono istotny wpływ różnych interakcji: odmiana $\times$ miejsce (Umiak, Lawina), odmiana $\times$ rok (Umiak, Vistula, Lawina) lub interakcji odmiana $\times$ środowiska (Koga, Mors, Jantar). Nie znaleziono istotnych interakcji w trzech odmianach (Grot, Dunajec, Meduza), które miały relatywnie wysokie wartości δ^2_i . Ośiem odmian z tej grupy jest oceniane przez COBORU jako odporne (w zakresie od 6,5 do 8), a odmiana Mors jako podatna (4). Odmiany odporne Vistula i Lawina (ocenione przez COBORU na 7), uległy silniejszemu porażeniu zarzą ziemniaka niż inne odmiany oceniane na 7, a nawet 6 (tab. 1). Średnie porażenie odmian Koga, Grot, Umiak, Dunajec i Meduza w dwóch latach badań nie odbiegało od porażenia innych odmian odpowiadających im oficjalną oceną odporności. Jednak minimalne i maksymalne wartości $rAUDPC$ wskazują na dużą zmienność wyników w poszczególnych środowiskach (tab. 1). Podatna odmiana Mors uległa najsilniejszemu porażeniu w obu latach doświadczeń. U wszystkich odmian (oprócz odmian Vistula i Jantar) stwierdzano, że tempo szerzenia się choroby było istotnie różne od przeciętnej reakcji (tab. 3).

Ostatnią, czwartą grupę stanowią trzy odmiany Rywał (4), Beata (6) i Anielka (6). Dla odmian tych wartości δ^2_i były wysokie i zawierały się w przedziale 0,0128–0,0143, a współczynniki V% wahały się od 22 do 31. Odmiany te wykazują wysoce istotne różnice w tempie szerzenia się zarazy ziemniaka w zależności od roku badań (tab. 4). Odmiany należące do tej grupy uległy silnemu porażeniu w obu latach doświadczeń, ale tylko u odmiany Rywał stwierdzono istotność efektu głównego (tab. 3).

Ocena odporności w warunkach laboratoryjnych

Polową ocenę stabilności poziomu odporności odmian ziemniaka na *P. infestans* uzupełniono laboratoryjną oceną odporności odciętych listków.

Testowanie materiału prowadzone było w trzeciej dekadzie czerwca i pierwszej dekadzie lipca, ponieważ wg badań Sujkowskiego (1986) w tym terminie nie obserwuje się jeszcze spadku patogeniczności grzyba.

Odmianami najodporniejszymi w testach listkowych w trakcie dwuletnich doświadczeń i jednocześnie wykazującymi wyższy poziom odporności niż przypisany im przez COBORU (6) były odmiany: Wawrzyn (średnia 2001 — 8,9; średnia 2002 — 9,0), Jasia (średnia 2001 — 8,2; średnia 2002 — 8,9), Ania (średnia 2001 — 7,3; średnia 2002 — 6,2) i Zeus (średnia 2001 — 6,5; średnia 2002 — 8,7) (tab. 5).

Tabela 5

Reakcja odciętych listków na *P. infestans* dla 22 odmian ziemniaka badanych w latach 2001–2002
Reaction to *P. infestans* in detached leaflets of 22 potato cultivars in 2000–2002

Odmiana i ocena jej odporności wg COBORU ^{a/} Cultivar and its resistance level according to RCCT		Średnia reakcja ± standardowe odchylenie Mean reaction ± standard deviation		
		2001	2002	2001–2002
Irys	3	2,5 ± 1,3	1,8 ± 0,7	2,2 ± 1,0
Albina	3	2,1 ± 0,9	2,7 ± 1,0	2,4 ± 1,0
Mors	3	2,7 ± 1,0	2,8 ± 2,2	2,8 ± 1,6
Dunajec	7	3,9 ± 2,2	2,3 ± 1,0	3,1 ± 1,6
Anielka	6	4,0 ± 2,0	2,6 ± 0,9	3,3 ± 1,5
Rywal	4	4,1 ± 1,4	2,6 ± 1,0	3,4 ± 1,2
Hinga	7	4,1 ± 2,1	2,8 ± 0,8	3,5 ± 1,5
Beata	6	4,5 ± 1,5	2,9 ± 0,8	3,7 ± 1,2
Vistula	7	4,5 ± 2,1	3,2 ± 1,4	3,9 ± 1,8
Jantar	6	5,2 ± 2,3	3,3 ± 0,9	4,3 ± 1,6
Umiak	6,5	5,4 ± 2,5	3,1 ± 0,7	4,3 ± 1,6
Grot	7	5,4 ± 2,0	3,6 ± 1,7	4,5 ± 1,9
Bzura	8	6,5 ± 2,7	2,4 ± 1,0	4,5 ± 1,9
Koga	7	5,5 ± 1,9	3,9 ± 1,4	4,7 ± 1,7
Nimfy	5,5	5,7 ± 2,3	3,8 ± 1,6	4,8 ± 2,0
Lawina	7	6,0 ± 2,0	3,9 ± 1,6	5,0 ± 1,8
Klepa	6	6,4 ± 2,5	3,8 ± 1,7	5,1 ± 2,1
Meduza	8	6,6 ± 2,3	4,2 ± 1,4	5,4 ± 1,9
Ania	6	7,3 ± 2,3	6,2 ± 1,8	6,8 ± 2,1
Zeus	6	6,5 ± 2,5	8,7 ± 0,9	7,6 ± 1,7
Jasia	6	8,2 ± 1,3	8,9 ± 0,4	8,6 ± 0,9
Wawrzyn	6	8,9 ± 0,3	9,0 ± 0,2	9,0 ± 0,3
Średnia odmian Mean for cultivars		5,3 ± 1,9	4,0 ± 1,1	4,6 ± 1,5
		wzorce standards		
Bzura	8	3,5 ± 2,4	1,8 ± 0,9	2,7 ± 1,2
Meduza	8	8,1 ± 1,3	4,7 ± 1,1	6,4 ± 2,4
Sokół	3	4,2 ± 2,2	2,6 ± 0,7	3,4 ± 1,1
Irys	3	1,6 ± 0,9	1,3 ± 0,6	1,4 ± 0,2
DG 94–15	8	7,9 ± 1,6	8,2 ± 1,4	8,0 ± 0,2
DG 94–668	5	4,2 ± 1,8	2,7 ± 0,5	3,4 ± 1,1
Średnia wzorców Mean for standards		4,9 ± 2,9	3,6 ± 2,5	4,2 ± 1,0

^{a/} Patrz objaśnienia do tabeli 1

^{a/} See footnote to Table 1

Najsilniejszemu porażeniu w trakcie dwuletnich doświadczeń uległy odmiany oceniane przez COBORU jako podatne (3): Albina (średnia 2001 — 2,1; średnia 2002 — 2,7), Irys (średnia 2001 — 2,5; średnia 2002 — 1,8) i Mors (średnia 2001 — 2,7; średnia 2002 — 2,8). Znacznie silniejszemu porażeniu listków, niż oczekiwano uległo szereg odmian

wysoko odpornych (8): Bzura i Meduza, odpornych (7): Dunajec, Hinga, Vistula, Grot, Koga, Lawina, oraz trzy odmiany: Umiak (6,5), Beata (6) i Anielka (6) (tab. 5).

Uszeregowanie odmian pod względem porażenia listków w obu latach badań było zbliżone. Współczynnik korelacji pomiędzy wynikami 2001 i 2002 był wysoki i wyniósł $r = 0,763^{**}$.

Współczynnik korelacji pomiędzy ocenami przypisanymi badanym odmianom przez COBORU, a średnimi ocenami uzyskanymi dla tych odmian w kolejnych dwóch latach badań testów listkowych był relatywnie niski i wyniósł $r = 0,364^{**}$.

Słaby związek pomiędzy ocenami przypisanymi badanym odmianom przez COBORU, a ich średnimi ocenami wynika zapewne ze zmiennego poziomu porażenia w trakcie dwuletnich doświadczeń odmian ocenianych przez COBORU jako odporne tj: Meduza (średnia 2001 — 6,6; średnia 2002 — 4,2), Bzura (średnia 2001 — 6,5; średnia 2002 — 2,4), Klepa (średnia 2001 — 6,4; średnia 2002 — 3,8) i Lawina (średnia 2001 — 6,0; średnia 2002 — 3,9) (tab. 5).

Stosunkowo silne porażenie odmian odpornych w teście listkowym jest jednym z sygnałów możliwego przełamania ich odporności w warunkach naturalnego porażenia.

PODSUMOWANIE

Celem badań rozpoczętych w 2001 roku jest stwierdzenie, czy odporność na *P. infestans* wybranej grupy odmian utrzymuje się na stabilnym poziomie w różnych środowiskach, czyli celem jest dokonanie oceny stabilności odporności na zarazę ziemniaka w sensie biologicznym.

W pracy poszukiwane są również parametry oceny, które w najbardziej wiarygodny sposób pozwolą na prognozowanie stabilności, a więc trwałości odporności na zarazę odmian ziemniaka.

W przypadku badania stabilności odmian znana jest ich ocena odporności na *P. infestans* przypisana przez COBORU, którą można traktować jako punkt odniesienia do przeprowadzanych badań. Najbardziej wiarygodnym dowodem stabilnej, trwałej odporności odmiany na danego patogena, jest brak jej załamania w trakcie wielu lat uprawy na znacznych arealach i w różnych środowiskach. Dokonanie w trakcie dwóch lat, w warunkach uprawy polowej, oceny na ile odporność jest stabilna ma charakter wstępny. Dwuletnie badania prowadzone w czterech miejscowościach stworzyły pulę ośmiu różnych środowisk, w których obserwowano tempo szerzenia się zarazy ziemniaka. W badaniach zastosowano również laboratoryjną ocenę odporności na *P. infestans*. W testach laboratoryjnych stosuje się izolaty *P. infestans*, które charakteryzują się złożoną wirulencją i silną agresywnością. Jednak skład naturalnych populacji *P. infestans* może mieć inną patogeniczność niż izolaty stosowane w testach laboratoryjnych. W pracach uprzednio prowadzonych w IHAR Młochów korelacja wyników testów listkowych, a naturalnym porażeniem w polu wyrażonym $rAUDPC$ wynosiła 0,569** (Sieczka, 1999). Porównanie ocen z testów laboratoryjnych, polowych i przypisanych przez COBORU można uznać jako element opisujący stabilność odporności na *P. infestans*.

Na słabą stabilność odporności może wskazywać wysokie tempo szerzenia się choroby w niektórych odmianach ocenionych przez COBORU jako wysoko odporne (7). Odmiany Lawina i Vistula uległy silniejszemu porażeniu niż inne odmiany oceniane na 7. Ich wartości *rAUDPC* były wyższe lub zbliżone do grupy odmian z odpornością ocenianą na 6. Wykazano także istotny wpływ lat i miejscowości na ocenianą odporność w warunkach naturalnych, co wskazuje, że odporność dziewięciu z 22 badanych odmian silnie podlega wpływowi środowiska. Nie można również wykluczyć, że pojawiają się nowe bardziej wirulentne patotypy *P. infestans*.

Statystyczny parametr stabilności (wariancja stabilności) pozwolił na wyróżnienie odmian najbardziej stabilnie zachowujących się w badanych środowiskach. Wysokim poziomem stabilności i odporności w dwóch latach badań wykazała się odmiana Bzura. Wśród stabilnych odmian znalazły się m.in. odmiany Jasia, Klepa, Hinga ocenione przez COBORU odpowiednio na 6 i 7. Odmiany te ulegały częściowemu porażeniu w warunkach polowych. Nie wykazywały istotnych interakcji *rAUDPC* z czynnikami środowiska.

Wśród badanych odmian na uwagę zasługuje Jasia, którą charakteryzowała się największą stabilnością odporności (wariancja stabilności $\delta^2_i = 0,0004$), a w testach listkowych nie stwierdzono porażenia w obu latach badań. Średni współczynnik *rAUDPC* wyniósł 0,346, a więc był bliski przeciętnej reakcji odnotowanej w ciągu dwóch lat badań. Odmiana ta ulegała bardzo słabemu porażeniu w testach listkowych.

Odmiany Bzura (8) i Meduza (8) uległy w teście listkowym stosunkowo silnemu porażeniu, oraz wykazały największą zmienność w reakcji listków na *P. infestans* w obu latach doświadczeń. Może to być pośrednim sygnałem, że odporność ich może być przełamana przez patogena.

LITERATURA

- Becker H. C. 1981. Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica*, 30: 835 — 840.
- Becker H. C., Leon J. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding*, 101: 1 — 23.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P., Siatkowski I. 1998. Podręcznik użytkownika programu Seren 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.
- Francis T. R., Kannenberg L. W. 1978 a. Yield stability studies in short — season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes. *Can. J. Plant Sci.*, 58: 1029 — 1034.
- Francis T. R., Kannenberg L. W. 1978 b. Yield stability studies in short — season maize. II. Relationship to plant-to-plant variability. *Can. J. Plant Sci.*, 58: 1035 — 1039.
- Fry W. E. 1978. Quantification of general resistance of potato cultivars and fungicide effects for integrated control of potato late blight. *Phytopathol.* 68: 1650 — 1655.
- Galek R., Bujak H., Kaczmarek J. 2000. Ocena stabilności cech bonitacyjnych i technologicznych w kolekcji żyta jarego na podstawie pięciu parametrów statystycznych. *Biul. IHAR*, 216: 69 — 76.
- Guzowska E. Z. 1998. Potato production and research in Poland. *Mat. Konf. International field day on potato improvement in Poland, Młochów, czerwiec 16–17, 1998*: 1 — 2
- Jaskulski D., Kotwica K. 2000. Stabilność plonowania pszenżyta jarego i jego mieszanek z łubinem żółtym w zależności od gęstości siewu i ilości opadów. *Zeszyty Naukowe A.R. w Szczecinie*, 82: 93 — 98.
- Kapsa J. 2000. Porównanie różnych programów zwalczania zarazy ziemniaka (*P. infestans*). *Mat. Konf. Ochrona ziemniaka. Kołobrzeg, kwiecień 4–5, 2000*, 44 — 51.

- Kudła M., Czembor H. J., Kudła M. M. 1987. Stabilność plonowania mutantów jęczmienia jarego. Biul. IHAR, 161: 123 — 128.
- Lin C. S., Binns M. R., Lefkovitch L. P. 1986. Stability analysis: Where do we stand? Crop Sci., 26: 894 — 900.
- Marcinkowska J. 1997. Nowe elementy w taksonomii grzybów. Materiały z sympozjum naukowego „Fitopatologia wczoraj, dziś i jutro”. Katedra Fitopatologii SGGW, Warszawa: 29 — 45.
- Pietkiewicz J.B. 1989. Zwalczanie zarazy ziemniaka. Instr. upowsz.1/89. Ziemn. Bonin: 20 s.
- Pietrzykowski R., Mądry W., Warzecha R. 1996. Analiza stabilności i przystosowania genotypów do środowisk na podstawie serii doświadczeń wielokrotnych z kukurydzą. Biul. IHAR, 200: 33 — 39.
- Shukla G. K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. Heredity, 29: 237 — 245.
- Sieczka M. T. 1999. Identification of potatoes resistant to new strains of late blight (*P. infestans*). Final Technical Report. Project number: PL-ARS-285; FG-PO-390. (18 s.)
- Sujkowski L. S. 1986. Seasonal variation in pathogenicity of *Phytophthora infestans*. J. Phytopathol. 117: 160 — 172.
- Węgrzyn S., Sikorska H. 1987. Wysokość i stabilność plonowania czołowych europejskich odmian jęczmienia jarego. Biul. IHAR, 161: 129 — 134.
- Zarzycka H., Sobkowiak S. 1997. Ocena zmian zachodzących w polskiej populacji *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. Biul. IHAR, 48: 125 — 135.
- Zarzycka H., Sujkowski L.S. 1988. Postępy w metodach oceny odporności ziemniaków na zarazę ziemniaka. Genetyczne podstawy hodowli ziemniaka. Bonin, 146 — 155.
- Zarzycka H., Sobkowiak S., Lebecka R., Tatarowska B. 2002. Kształtowanie się fenotypowej struktury populacji *Phytophthora infestans* w Polsce w ciągu 15-lecia 1987–2001. Acta Agrobotanica, 55: 389 — 400.