

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

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB Oddział w Młochowie

## Stabilność reakcji odpornościowej odmian ziemniaka na *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary w testach laboratoryjnych

### Stability of resistance reaction to *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary of potato cultivars in laboratory tests

Celem prezentowanej pracy była analiza stabilności reakcji odporności na *Phytophthora infestans* obserwowanej w badaniach laboratoryjnych. Listki i plastry bulw pobrane z różnych odmian ziemniaków inokulowano zawiesiną zarodników tego patogena. W czteroletnim doświadczeniu oceniano reakcję 22 odmian zróżnicowanych pod względem poziomu odporności i wczesności. Stabilność oceniano na podstawie udziału interakcji odmiana (tj. genotyp)  $\times$  środowisko ( $G \times E$ ) oraz innych interakcji (genotyp  $\times$  rok i genotyp  $\times$  termin testu) w obserwowanej zmienności, stosując mieszany model Scheffégo-Calińskiego. Do obliczeń zastosowano program Sergen. Pozwoliło to na identyfikację odmian o stabilnej reakcji odporności w testach listkowych (Wawrzyn, Lawina, Beata, Anielka) i testach plasterkowych (Meduza, Nimfy, Vistula, Klepa, Mors). Stabilność reakcji odpornościowej w testach laboratoryjnych nie odpowiadała stabilności reakcji w warunkach polowych, którą obserwowano w innych badaniach.

**Słowa kluczowe:** *Phytophthora infestans*, stabilność, interakcja genotypowo  $\times$  środowiskowa, program Sergen 3, testy laboratoryjne

The aim of presented study was stability analysis of reaction observed in laboratory tests for resistance to *Phytophthora infestans*. In these tests, detached leaflets and tuber slices collected from plants of various potato cultivars were inoculated with suspension of spores of this pathogen. In four-year study, the reaction was evaluated in 22 potato cultivars that were diverse in terms of resistance level and maturity. Stability was evaluated on the basis of the share of cultivar (i.e. genotype) by environment interaction ( $G \times E$ ) and other interactions (genotype by year and genotype by date of test) in the observed variability by applying Scheffé-Caliński mixed model. For calculations Sergen program was applied. This allowed identifying cultivars with stable reaction of resistance in leaflet test (Wawrzyn, Lawina, Beata, Anielka) and in tuber slice tests (Meduza, Nimfy, Vistula, Klepa, Mors). The stability of reaction in laboratory tests did not completely correspond to the stability of reaction observed in other study performed in field conditions.

**Key words:** *Phytophthora infestans*, stability, genotype  $\times$  environment interaction, program Sergen3, laboratory test

## WSTĘP

Sprawca zarazy ziemniaka *Phytophthora infestans* wciąż pozostaje jednym z najważniejszych w skali globalnej patogenów ziemniaka. W ciągu ostatnich dwudziestu lat obserwowano na świecie zwiększenie potencjału infekcyjnego *P. infestans* związanego ze zmianą populacji patogena (Sujkowski i in. 1994; Elansky i in., 2001; Perez i in., 2001; Śliwka i in., 2006 a; Fry, 2008). 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) zmiany w występowaniu i rozwoju pierwotnych infekcji *P. infestans* na roślinach ziemniaka i nieskuteczność ochrony plantacji przed epifitozą (Kapsa, 2004), 5) pojawienie się w wielu krajach nowego źródła infekcji pierwotnej — oospor zimujących w glebie (Zimnoch-Guzowska i Tatarowska, 2004). Monitoring 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 odporności odmiany przez patogena jest sygnałem dla producentów ziemniaka o konieczności dostosowania programu ochrony chemicznej do zaistniałej sytuacji. Prognozowanie trwałości odporności danej odmiany może chronić rolników przed dużymi stratami finansowymi.

Ocena odporności ziemniaka może być prowadzona wieloma metodami, które różnią się sposobem inokulacji (sztuczna lub naturalna), organem rośliny, który podlega inokulacji (cała roślina lub listki i bulwy) oraz środowiskiem przeprowadzenia testu (warunki naturalne lub laboratoryjne). Ocena stabilności poziomu odporności prowadzona musi być w zróżnicowanych środowiskach, co z reguły oznacza kilkuletnie badania wielu genotypów w wielu miejscowościach w warunkach naturalnej presji infekcyjnej. Badania takie umożliwiają oszacowanie udziału interakcji genotypowo-środowiskowej ( $G \times E$ ) w ogólnej zmienności, co pozwala ocenić stabilność. Standardowo zmienność środowiskowa wynika z interakcji miejscowości z latami. Wydaje się, że techniką uzupełniającą taką ocenę stabilności reakcji odpornościowej mogą być laboratoryjne testy listkowe i plastrowe, w których środowisko jest definiowane jako koniunkcja lat i terminów, w których prowadzi się testy. Każdy termin testu odpowiada odmiennym warunkom wzrostu rośliny, z których zbiera się listki lub odmiennym stanom fizjologicznym testowanych bulw.

Celem pracy było oszacowanie interakcji genotypowo-środowiskowej (z podziałem na interakcję z latami ( $G \times Y$ ), z terminami ( $G \times T$ ) i interakcję potrójną ( $G \times Y \times T$ )) oraz stabilność reakcji odporności 22 odmian ziemniaka na *P. infestans* w warunkach laboratoryjnych przy wykorzystaniu programu statystycznego Sergen 3 (Caliński i in., 1998).

## MATERIAŁ

Oceniany materiał stanowiły 22 polskie odmiany ziemniaka o zróżnicowanym poziomie odporności na *P. infestans* naci i bulw wg ocen odporności prowadzonych przez Centralny Ośrodek Badania Odmian i Roślin Uprawnych (COBORU). Wśród ocenianych odmian znalazło się osiem wysoko odpornych (w skali 1–9 zakres ocen od 7,0 do 8,0), dziesięć średnio odpornych (zakres ocen od 5,5 do 6,5) oraz cztery odmiany podatne (zakres ocen od 3,0 do 4,0). Głównym źródłem odporności na *P. infestans* w grupie ocenianych odmian był gatunek *Solanum demissum*. Poziom odporności bulw ocenianego materiału w testach plastrowych wg ocen COBORU zawarł się w przedziale od 3,0 do 5,0. Materiał badawczy był również zróżnicowany pod względem długości wegetacji. W grupie ocenianych odmian znalazło się dziesięć odmian późnych, osiem średnio późnych, dwie średnio wczesne, jedna wczesna oraz jedna bardzo wczesna (tab. 1).

Tabela 1

**Ocena reakcji 22 odmian ziemniaka na naturalne porażenie przez *P. infestans* w wieloletnich doświadczeniach polowych oraz ich wczesność**  
**Evaluation of reaction to natural infection with *P. infestans* in long-term field experiments with 22 potato cultivars and their maturity**

Odmiana Cultivar	Reakcja <sup>a)</sup> Reaction <sup>a)</sup>	Wczesność Maturity
Bzura	stabilna <sup>d)</sup>	późna — late
Meduza	stabilna <sup>d)</sup>	późna — late
Dunajec	niestabilna - nieprzewidywalna <sup>c)</sup>	późna — late
Grot	niestabilna - nieprzewidywalna <sup>c)</sup>	średnio późna
Hinga	stabilna <sup>d)</sup>	późna — late
Koga	niestabilna - nieprzewidywalna <sup>c)</sup>	późna — late
Lawina	niestabilna – regularna <sup>b)</sup>	średnio późna — mid-late
Vistula	stabilna <sup>d)</sup>	średnio późna — mid-late
Umiak	niestabilna - nieprzewidywalna <sup>c)</sup>	późna — late
Ania	stabilna <sup>d)</sup>	średnio późna — mid-late
Anielka	niestabilna - nieprzewidywalna <sup>c)</sup>	średnio późna — mid-late
Beata	niestabilna - nieprzewidywalna <sup>c)</sup>	średnio późna — mid-late
Klepa	stabilna <sup>d)</sup>	średnio późna — mid-late
Jantar	niestabilna - nieprzewidywalna <sup>c)</sup>	późna — late
Jasia	stabilna <sup>d)</sup>	późna — late
Wawrzyn	stabilna <sup>d)</sup>	późna late
Zeus	niestabilna - nieprzewidywalna <sup>c)</sup>	średnio wczesna — mid-early
Nimfy	stabilna <sup>d)</sup>	późna — late
Rywal	niestabilna - nieprzewidywalna <sup>c)</sup>	średnio późna — mid-late
Albina	niestabilna - nieprzewidywalna <sup>c)</sup>	wczesna — early
Irys	niestabilna - regularna <sup>b)</sup>	bardzo wczesna — very early
Mors	niestabilna - regularna <sup>b)</sup>	średnio wczesna — mid-early

a) ocena stabilności w warunkach polowych według Tatarowska i in., 2012; stability in field experiments according to Tatarowska et al. 2012

b) reakcja niestabilna – regularna jest adekwatna do nasilenia epifitozy w danym środowisku; unstable – regular reaction is adequate to the severity of epiphytosis in a given environment

c) reakcja niestabilna – nieprzewidywalna, jeśli brak zależności pomiędzy nasileniem epifitozy w danym środowisku a poziomem porażenia; unstable – unpredictable reaction, if in a given environment relationship between intensity of epiphytosis and infection level is not observed

d) reakcja stabilna jest niezależna od zmiennego środowiska; stable reaction does not depend on the changing environment

## METODY OCENY ODPORNOŚCI

**Ocena odporności na *Phytophthora infestans* w teście listkowym**

Z każdej odmiany oceniano corocznie 20 listków (5 listków × 2 powtórzenia × 2 terminy). Do inokulacji stosowano zawiesinę *P. infestans* o koncentracji 50 sporangiów w 1 mm<sup>3</sup>. Inokulowane listki umieszczano w temp. 16°C przy stałym oświetleniu ok. 1600 luksów. W każdej kuwecie umieszczano listki wzorców podatności i odporności. Jako wzorce stosowano listki z roślin odmiany Sokół oraz diploidalnych klonów DG 94-668 i DG 94-15. Oceny porażenia dokonywano po 6 dniach inkubacji uwzględniając powierzchnię zarodnikującej plamy i intensywność zarodnikowania. Stosowano skalę 9-stopniową (gdzie 9 = brak porażenia; 1 = silne porażenie) (Zarzycka, 2001 a). Ocena odporności odmian w teście listkowym została wykonana w czerwcu.

**Ocena odporności bulw na *Phytophthora infestans* w teście plasterowym**

Z bulw każdej odmiany oceniano corocznie odporność 20 plastrów (5 plastrów × 2 powtórzenia × 2 terminy). Plastry inokulowano zawiesiną *P. infestans* o koncentracji 50 sporangiów w 1 mm<sup>3</sup> i umieszczano w temp. 16°C, w ciemności. Stosowano wzorce takie jak w testach listkowych. Oceny porażenia dokonywano po 6 dniach inkubacji uwzględniając powierzchnię plastra pokrytą grzybnią i intensywność zarodnikowania. Stosowano skalę 9-stopniową (gdzie 9 = brak porażenia; 1 = silne porażenie) (Zarzycka, 2001 b). Ocena odporności bulw wykonana została na początku listopada.

**Izolaty *Phytophthora infestans* stosowane w doświadczeniach laboratoryjnych**

W trakcie doświadczeń do sporządzania inokulum stosowano izolaty *P. infestans* o szerokim spektrum wirulencji i wysokim poziomie agresywności. Do inokulacji listków i plastrów bulw w roku I, II i IV zastosowano izolat MP-324, a w roku III izolat MP-425. Oba izolaty pochodziły z kolekcji izolatów IHAR o/Młochów i reprezentowały typ kojarzeniowy A1. Izolaty wytypowane do testów po wyjęciu ze skosów były 3-krotnie pasażowane na plastrach bulw i inkubowane za każdym razem w temp. 16°C przez 6 dni, w ciemności. Po sporządzeniu zawiesiny inokulacyjnej i sprawdzeniu stężenia za pomocą hemocytometru typu komora Thoma, inokulum umieszczano w temp. 7°C na 2 godz., a następnie w temp. około 20°C na 30 min., w celu przyspieszenia uwalniania pływki. Wirulencja izolatów została sprawdzona na listkach testerów Blacka, natomiast agresywność na listkach odmian nie zawierających genów R. Izolaty wykorzystane w testach laboratoryjnych wykazywały w poszczególnych latach badań następujące czynniki wirulencji (w nawiasie podano czynniki z niepełną ekspresją):

- MP-324 w czasie testowania listków w I roku — 1,2,3,(4),(5),(6),(7),8,10,11
- MP-324 w czasie testowania plastrów w I roku — 1,(2),3,4,(5),(6),(7),(8),(10),(11)
- MP-324 w czasie testowania listków w II roku — 1,2,3,4,6,7,(10),(11)
- MP-324 w czasie testowania plastrów w II roku — 1,2,3,4,(5),6,7,(8),10,11
- MP-425 w czasie testowania listków w III roku — 1,2,3,4,6,7,(10)
- MP-425 w czasie testowania plastrów w III roku — 1,2,3,4,6,7,10,11
- MP-324 w czasie testowania listków w IV roku — 1,2,3,4,6,7,10,11
- MP-324 w czasie testowania plastrów w IV roku — 1,2,3,4,(5),6,7,(8),10,11.

## ANALIZY STATYSTYCZNE

Badanie stabilności reakcji odporności odmian ziemniaka na *P. infestans* prowadzono przez cztery lata w warunkach laboratoryjnych. Dla ocen odporności listków i plastrów bulw przeprowadzono analizy wykorzystując program statystyczny Sergen 3 (Caliński i in., 1998). W programie tym podstawę metod statystycznych stanowi model Scheffégo-Calińskiego (Mądry i Kang, 2005), oparty na modelu mieszanym zaproponowanym przez Scheffégo (1959). Model ten jest opisywany poprzez następującą formułę:  $Y_{ijk^*} = \mu_i + a_i^E(j, k) + e_{ijk^*}$ , gdzie:  $Y_{ijk^*}$  = ocena porażenia  $i$ -tego genotypu, w  $j$ -tym terminie i w  $k$ -tym roku;  $\mu_i$  — jest średnią ogólną (średnia generalna) oraz efektem stałym modelu;  $a_i^E(j, k)$  — oznacza reakcję  $i$ -tego genotypu na warunki środowiskowe.  $e_{ijk^*}$  — jest to „błąd średni ważony” dla genotypu  $i$  z doświadczenia  $j$  oraz roku  $k$ . Przyjmuje się przy tym, że składniki  $a_i^E(j, k)$  oraz  $e_{ijk^*}$  są zmiennymi losowymi. Model ten był poprzednio opisywany i wykorzystywany do oszacowania stabilności w sensie biologicznym zaledwie w dwóch pracach (Tatarowska i in., 2011, 2012). Analizy z wykorzystaniem tego modelu dotyczą częściej stabilności w sensie rolniczym (Kaczmarek i in., 2003; Mądry, 2003 a b; Flis i in., 2014).

W przeprowadzonych analizach przyjęto, że „środowisko” jest rozumiane jako interakcja lat z terminami. Termin testu to okres, w którym pobierano listki/plastry do testów laboratoryjnych w celu oceny ich stopnia porażenia.

## WYNIKI

**Ocena poziomu odporności na *Phytophthora infestans* 22 odmian ziemniaka w teście listkowym**

W tabeli 2 przedstawiono średnie wartości odporności w teście listkowym dla 22 odmian ziemniaka. Najslabiej porażonymi odmianami w teście listkowym w całym czterolecu były odmiany: Wawrzyn, Zeus, Jasia i Meduza, natomiast najsilniej porażonymi: Irys, Albina i Mors (tab. 2). Odmiany najslabiej porażone w doświadczeniu (poza odmianą Meduza) uzyskały średnie oceny niezgodne z ocenami katalogowymi przypisanymi im przez COBORU. W rankingu katalogowym odmiany te zostały zaliczone do odmian średnio odpornych natomiast w prezentowanych badaniach odmiany te zachowały się jak odmiany wysoko odporne. Średnia wartość dla odpornej wg. ocen COBORU odmiany Meduza wskazuje, iż odmiana ta potwierdziła przypisany jej poziom odporności (tab. 2). Odmiany Bzura, Dunajec, Grot, Hinga, Koga, Lawina, Vistula, Umiak, Anielka i Beata uległy znacznie silniejszemu porażeniu w stosunku do ich oceny katalogowej. Odmianami, dla których uzyskano oceny bardzo zbliżone do ocen katalogowych były: Ania, Jantar, Nimfy, Rywal, Albina, Irys i Mors. Odmiana wzorcowa Sokół uzyskała w testach listkowych oceny niższe w porównaniu z ich oceną katalogową (tab. 2).

Tabela 2

**Średnie oceny odporności w testach listkowych i plastrowych dla 22 odmian ziemniaka badanych przez 4 lata**

**Mean values of resistance scores obtained in detached leaflet and tuber slice tests for 22 potato cultivars examined for 4 years**

Odmiana Cultivar	Test listkowy Leaflet test			Test plastrowy Tuber slice test		
	wg COBORU <sup>1)</sup> acc. to RCCT <sup>1)</sup>	wartość średnia i zakres dla 4 lat mean value and range of 4 years		wg COBORU <sup>1)</sup> acc. to RCCT <sup>1)</sup>	wartość średnia i zakres dla 4 lat mean value and range of 4 years	
Bzura	8	3,9	(2,3–6,8)	4	3,7	(2,9–4,7)
Meduza	8	7,2	(4,4–9,0)	5	7,7	(6,4–7,9)
Dunajec	7	3,8	(2,4–4,8)	4	7,0	(6,2–7,6)
Grot	7	5,6	(3,8–6,8)	4	4,8	(3,3–6,5)
Hinga	7	4,4	(2,9–5,8)	4,5	7,5	(6,2–8,2)
Koga	7	5,8	(3,9–6,9)	4	5,4	(4,4–6,0)
Lawina	7	6,3	(3,7–7,7)	4	5,1	(2,8–7,2)
Vistula	7	5,2	(2,9–8,8)	4	5,4	(4,2–7,2)
Umiak	6,5	4,9	(3,4–6,6)	5	4,6	(3,8–5,1)
Ania	6	6,1	(3,6–7,8)	4,5	5,3	(4,0–8,1)
Anielka	6	3,5	(2,5–4,8)	4	5,1	(4,1–7,0)
Beata	6	3,6	(3,0–4,8)	4	4,1	(2,7–5,4)
Jantar	6	5,9	(3,5–8,7)	4,5	5,3	(3,1–7,2)
Jasia	6	7,5	(5,8–8,8)	5	4,9	(3,1–6,3)
Klepa	6	6,5	(4,1–8,6)	3,5	4,8	(4,2–6,5)
Wawrzyn	6	8,9	(8,8–9,0)	4,5	4,6	(3,9–5,4)
Zeus	6	7,9	(6,2–8,6)	4	3,8	(3,1–4,6)
Nimfy	5,5	5,0	(3,8–6,8)	4	6,0	(3,9–7,3)
Rywal	4	3,5	(2,2–4,7)	4,5	4,6	(1,6–6,6)
Albina	3	2,9	(2,2–4,0)	4	5,8	(3,9–8,4)
Irys	3	2,8	(1,8–4,1)	3	3,3	(1,7–6,0)
Mors	3	2,9	(2,1–3,6)	3,5	3,8	(1,4–5,6)
<b>Średnia wartość dla odmian</b> <b>Mean value for cultivars</b>	<b>6</b>	<b>5,2</b>	<b>(4,0–5,8)</b>	<b>4,2</b>	<b>5,1</b>	<b>(4,0–6,0)</b>
Sokół	<b>6</b>	<b>2,9</b>	<b>(2,0–4,7)</b>	<b>6</b>	<b>5,2</b>	<b>(4,0–5,7)</b>
DG 94-668	<b>4,5<sup>2)</sup></b>	<b>3,4</b>	<b>(2,6–4,2)</b>	<b>7,7<sup>2)</sup></b>	<b>8,0</b>	<b>(7,5–8,6)</b>
DG 94-15	<b>8,7<sup>2)</sup></b>	<b>8,1</b>	<b>(8,0–8,2)</b>	<b>8<sup>2)</sup></b>	<b>8,8</b>	<b>(8,8–8,8)</b>

1) W skali 1–9, gdzie 9 = najodporniejszy; dane pochodzą z tabelarycznej charakterystyki odmian ziemniaków (Chotkowski i Stypa, 2005); In 9 – grade scale, where 9 = the most resistant; data come from the characteristics of potato cultivars (Chotkowski and Stypa 2005).

2) dane dla tych klonów pochodzą z badań prowadzonych w IHAR/Młochów; data for these clones come from studies conducted in IHAR/Młochów.

**Wstępna i ogólna analiza wariancji poziomu odporności na *Phytophthora infestans* w teście listkowym**

Wstępne analizy wariancji wykazały wysoce istotne zróżnicowanie w poziomie odporności listków 22 badanych odmian ziemniaka w każdym z 8 środowisk (tab. 3). Na podstawie ogólnej analizy wariancji stwierdzono, że na uzyskane oceny w teście listkowym istotny wpływ ma efekt środowiska ( $F = 55,32^{**}$ ), odmiany ( $F = 24,21^{**}$ ) oraz interakcji  $G \times E$  ( $F = 6,10^{**}$ ) (tab. 4). Interakcja  $G \times E$  jest rozbijana na dwa składniki: regresji efektów interakcyjnych względem środowiska i odchylenia od regresji. Stwierdzono wysoce istotne

odchylenie od regresji ( $F = 4,57^{**}$ ), co wskazuje na dużą zmienność w uzyskanych ocenach (tab. 4).

Tabela 3

**Wstępne analizy wariancji dla ocen odporności 22 odmian ziemniaka w testach listkowych**  
**Preliminary analyses of variance of resistance scores for 22 potato cultivars in the detached leaflet tests**

Środowisko (rok × termin) Environment (year × date)	Odmiana Cultivar		Błąd Error		Statystyka F <sup>a)</sup> F statistic <sup>a)</sup>
	stopnie swobody degrees of freedom	średni kwadrat mean square	stopnie swobody degrees of freedom	średni kwadrat mean square	
I (1)	21	31,34	197	3,30	9,48**
I (2)	21	40,52	197	1,68	24,05**
II (1)	21	37,28	197	1,24	30,09**
II (2)	21	58,60	197	0,61	96,76**
III (1)	21	59,16	197	1,70	34,90**
III (2)	21	69,95	197	2,20	31,72**
IV (1)	21	57,79	197	1,41	40,85**
IV (2)	21	20,51	197	1,17	17,59**

<sup>a)</sup> Poziom istotności: \*\* –  $P < 0,01$ ; Significant \*\* at  $P < 0,01$

Tabela 4

**Ogólna analiza wariancji dla ocen testów listkowych**  
**General analyses of variance for scores obtained in detached leaflets tests**

Źródło zmienności Source of variability	Stopnie swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat Mean squares	Statystyka F <sup>a)</sup> F Statistic <sup>a)</sup>
Lata (Y) Years (Y)	3	31,11	3,38
Termin (T) Date (T)	1	37,28	4,05
Środowisko (Y×T = E) Environment (Y×T = E)	3	9,21	55,32**
Odmiana (G) Cultivar (G)	21	24,45	24,21 <sup>**b)</sup>
Odmiana × Rok (G×Y) Cultivar × Year (G×Y)	63	3,15	
Odmiana × Termin (G×T) Cultivar × Date (G×T)	21	0,56	
Odmiana × Środowisko (G×E) Cultivar × Environment (G×E)	63	1,01	6,10**
Regresja względem środowiska Regression on environment	21	1,52	
Odchylenie od regresji Deviation from regression	42	0,76	4,57**
Błąd doświadczenia Experimental error	1576	0,17	

<sup>a)</sup> Poziom istotności: \*\* –  $P < 0,01$ ; Significant \*\* at  $P < 0,01$

<sup>b)</sup> 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)

### Analiza szczegółowa stabilności reakcji odpornościowej odmian ziemniaka ocenianych w teście listkowym

W celu uzyskania szczegółowych informacji przeprowadzono indywidualną analizę poszczególnych odmian, a mianowicie oceniono istotność efektu głównego (tj. czy średnia ocena odporności danej odmiany odbiega od przeciętnej reakcji, którą jest wartość średnia ocen dla wszystkich odmian w całym doświadczeniu) oraz efektów interakcji (tab. 5).

Tabela 5

**Analiza stabilności reakcji w teście listkowym dla 22 odmian ziemniaka**  
**Analysis of stability of reaction in detached leaflet tests for 22 potato cultivars**

Odmiana Cultivar	Ocena efektu głównego Estimate of main effect	Stat. F dla efektu głównego <sup>a)</sup> F stat. for main effect <sup>a)</sup>	Statystyka F dla interakcji z: <sup>a)</sup> F statistic for interaction with: <sup>a)</sup>		
			latami (Y) years (Y)	terminami (T) dates (T)	środowiskami (E) environments (E)
<b>Wawrzyn</b>	<b>3,727</b>	<b>316,31**</b>	<b>4,13</b>	<b>3,60</b>	<b>2,21</b>
Zeus	2,677	36,31**	3,90	0,53	9,94**
Jasia	2,315	20,68*	3,24	0,32	13,05**
Meduza	2,002	23,95*	2,89	0,03	8,43**
Klepa	1,327	8,79	3,11	0,16	10,09**
<b>Lawina</b>	<b>1,115</b>	<b>26,71*</b>	<b>6,82</b>	<b>0,99</b>	<b>2,34</b>
Ania	0,952	3,52	3,06	0,08	12,97**
Jantar	0,715	3,17	5,13	0,03	8,12**
Koga	0,565	6,06	3,18	0,25	2,65*
Grot	0,427	1,96	1,31	1,52	4,70**
Vistula	0,040	0,24	157,04**	17,40*	0,33
Nimfy	-0,148	0,10	0,92	0,03	10,55**
Umiak	-0,335	0,36	0,61	0,77	15,66**
Hinga	-0,748	10,49*	4,15	0,59	2,68*
Bzura	-1,298	71,19**	26,40*	0,40	1,19
Dunajec	-1,348	7,55	0,10	0,01	12,11**
<b>Beata</b>	<b>-1,573</b>	<b>126,67**</b>	<b>5,70</b>	<b>2,00</b>	<b>0,98</b>
Rywal	-1,698	284,46**	20,13*	0,00	0,51
<b>Anielka</b>	<b>-1,710</b>	<b>259,01**</b>	<b>7,57</b>	<b>0,11</b>	<b>0,57</b>
Mors	-2,298	26,44*	0,29	1,00	10,06**
Albina	-2,335	188,65**	9,63*	4,49	1,46
Irys	-2,373	80,36**	1,74	1,27	3,53*

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 o stabilnej ekspresji odporności w testach listkowych; In bold — cultivars with stable expression of reaction in the detached leaflets tests

Stwierdzono, iż dla odmian Wawrzyn, Zeus, Jasia, Meduza i Lawina porażenie listków było istotnie słabsze od wartości średniej, a listki odmian Bzura, Beata, Rywal, Anielka, Mors, Albina i Irys porażają się silniej (tab. 5). Na porażenie listków wpływ miała również interakcja G×Y, jak w przypadku Vistuli, Bzury, Rywala i Albiny oraz interakcja G×T w przypadku odmiany Vistula (tab. 5). Dla 14 spośród 22 badanych odmian, a mianowicie Zeusa, Jasi, Meduzy, Klepy, Ani, Jantara, Kogi, Grota, Nimf, Umiaka, Hingi, Dunajca, Morsa i Irysa stwierdzono istotny wpływ interakcji G×E.

Do odmian o stabilnej reakcji listków możemy zaliczyć tylko te, dla których efekty wszystkich interakcji okazały się statystycznie nieistotne. Taką stabilną reakcją w teście listkowym charakteryzowała się odporna odmiana Wawrzyn (średnia ocena 8,9), średnio



odporna Lawina (średnia ocena 6,3) oraz podatne odmiany Beata i Anielka z niskimi średnimi ocenami (odpowiednio 3,6 i 3,5) (tab. 5 i tab. 2).

#### Ocena poziomu odporności na *Phytophthora infestans* 22 odmian ziemniaka w teście plastrowym

W tabeli 2 przedstawiono średnie wartości odporności w teście plastrowym dla 22 odmian ziemniaka. Najslabiej porażonymi odmianami w teście plastrowym w całym czterolecu były odmiany: Meduza, Hinga i Dunajec. Uzyskane oceny dla tych odmian w teście plastrowym są znacznie wyższe od ocen katalogowych. Najsilniej porażały się natomiast odmiany: Irys, Bzura, Zeus i Mors, które zachowały się w doświadczeniu tak jak wskazuje na to ich ocena katalogowa. Dla pozostałych odmian uzyskano oceny odporności zbliżone do ocen katalogowych. Zastosowane w doświadczeniu wzorce uzyskały oceny zgodne z ocenami im przypisanymi (tab. 2).

#### Wstępna i ogólna analiza wariancji poziomu odporności na *Phytophthora infestans* w teście plastrowym

Wstępne analizy wariancji dla 8 środowisk wykazały istotne zróżnicowanie w poziomie odporności na *P. infestans* plastrów 22 odmian ziemniaka w 8 środowiskach na poziomie istotności  $P = 0,01$  (tab. 7). Największe zróżnicowanie w poziomie odporności ocenianych 22 odmian ziemniaka wystąpiło w 1 i 2 terminie testu w roku IV (tab. 6). Testy wykonywane tego roku w 1 i 2 terminie były testami słabymi (najsłabsze porażenie 22 odmian ziemniaka) (tab. 6).

Tabela 6

#### Wstępne analizy wariancji dla ocen odporności 22 odmian ziemniaka w testach plastrowych Preliminary analyses of variance for resistance scores of 22 potato cultivars in tuber slices tests

Środowisko (rok × termin) Environment (year × date)	Odmiana Cultivar		Błąd Error		Statystyka F <sup>a)</sup> F statistic <sup>a)</sup>
	stopnie swobody degrees of freedom	średnie kwadraty mean square	stopnie swobody degrees of freedom	średnie kwadraty mean square	
I (1)	21	19,92	197	2,95	6,75**
I (2)	21	40,48	197	4,33	9,34**
II (1)	21	34,50	197	2,62	13,18**
II (2)	21	18,26	197	1,17	15,62**
III (1)	21	16,29	197	1,96	8,30**
III (2)	21	39,45	197	2,00	19,69**
IV (1)	21	18,95	197	0,86	22,10**
IV (2)	21	28,64	197	1,05	27,29**

<sup>a)</sup> Poziom istotności: \*\*  $P < 0,01$

<sup>a)</sup> Significant \*\* at  $P < 0,01$

Na oceny uzyskane w teście plastrowym istotny wpływ miał efekt środowiska ( $F = 107,26^{**}$ ), odmiany ( $F = 13,29^{**}$ ) oraz interakcji  $G \times E$  ( $F = 3,94^{**}$ ) (tab. 7). Dokonane w analizie wariancji rozbić sumy kwadratów dla interakcji  $G \times E$  na dwa składniki (regresji efektów interakcyjnych względem środowiska i odchylenia od regresji), umożliwiło podobnie jak w przypadku testów listkowych, testowanie hipotezy o braku istotnego odchylenia od regresji względem środowiska. Ta hipoteza została odrzucona, stwierdzono wysoce istotne odchylenie od regresji ( $F = 3,86^{**}$ ), które dodatkowo potwierdza występowanie niejednakowej reakcji odpornościowej odmian w 8 środowiskach (tab. 7).

**Ogólna analiza wariancji dla ocen testów plasterowych**  
**General analyses of variance for scores obtained in tuber slice tests**

Źródło zmienności Source of variability	Stopnie swobody Degrees of freedom	Suma kwadratów Sum of squares	Średni kwadrat Mean squares	Stat. F <sup>a)</sup> F Stat. <sup>a)</sup>
Lata (Y) Years (Y)	3	106,51	35,50	1,56
Termin (T) Date (T)	1	6,72	6,72	0,30
Środowisko (Y×T=E) Environment (Y×T=E)	3	68,15	22,72	107,26**
Odmiana (G) Cultivar (G)	21	231,53	11,03	13,29** <sup>b)</sup>
Odmiana × Rok (G×Y) Cultivar × Year (G×Y)	63	146,57	2,33	
Odmiana × Termin (G×T) Cultivar × Date (G×T)	21	23,99	1,14	
Odmiana × Środowisko (G×E) Cultivar × Environment (G×E)	63	52,56	0,83	3,94**
Regresja względem środowiska Regression on environment	21	18,20	0,87	
Odchylenie od regresji Deviation from regression	42	34,36	0,82	3,86**
Błąd doświadczenia Experimental error	1576		0,21	

<sup>a)</sup> Poziom istotności: \*\* – P<0,01

<sup>a)</sup> Significant \*\* at P<0.01

Patrz Tabela 4; See footnote to Table 4

#### **Analiza szczegółowa stabilności reakcji odpornościowej odmian ziemniaka ocenianych w teście plasterowym**

Podobnie jak w przypadku testów listkowych przeprowadzono szczegółową analizę. Istotne efekty główne stwierdzono zarówno dla odmian z wyższymi ocenami w teście (Meduza, Hinga, Dunajec, Nimfy, Albina) jak i z ocenami niskimi (Mors, Zeus, Bzura, Irys). Na obserwowaną reakcję odmian Albina, Ania, Lawina, Anielka, Zeus i Irys wpływ miała interakcja G×Y. Dodatkowo dla odmian Albina i Ania odnotowano wpływ interakcji G×T (tab. 8). Ponadto dla 11 odmian stwierdzono istotny wpływ interakcji G×E. Łącznie do odmian o niestabilnej reakcji odpornościowej w testach plasterowych zaliczono 17 odmian: Hinga, Dunajec, Albina, Koga, Jantar, Ania, Lawina, Anielka, Jasia, Grot, Wawrzyn, Umiak, Rywał, Beata, Zeus, Bzura i Irys (tab. 8). W grupie odmian o stabilnej reakcji plasterów znalazło się pięć odmian: Meduza, Nimfy, Vistula, Klepa i Mors, dla których efekty interakcji okazały się nieistotne statystycznie (tab. 8).

**Analiza stabilności reakcji w teście plastrowym dla 22 odmian ziemniaka**  
**Analysis of stability of reaction in tuber slice test for 22 potato cultivars**

Odmiana Cultivar	Ocena efektu głównego Value of main effect	Stat. F dla efektu głównego <sup>a)</sup> F stat. for main effect <sup>a)</sup>	Statystyka F dla interakcji z: <sup>a)</sup> F statistic for interaction with: <sup>a)</sup>		
			latami (Y) years (Y)	terminami (T) dates (T)	środowiskami (E) environments (E)
<b>Meduza</b>	<b>2,620</b>	<b>183,40**</b>	<b>0,89</b>	<b>4,72</b>	<b>1,48</b>
Hinga	2,420	13,57*	0,06	0,28	17,08**
Dunajec	1,883	33,45*	1,05	0,32	4,19**
<b>Nimfy</b>	<b>0,870</b>	<b>12,12*</b>	<b>5,09</b>	<b>0,03</b>	<b>2,47</b>
Albina	0,695	13,00*	21,05*	11,52*	1,47
<b>Vistula</b>	<b>0,333</b>	<b>3,36</b>	<b>8,13</b>	<b>5,92</b>	<b>1,31</b>
Koga	0,245	0,76	5,42	2,34	3,12*
Jantar	0,220	0,29	1,44	0,19	6,59**
Ania	0,170	7,04	120,10**	117,17**	0,16
Lawina	-0,030	0,21	77,71**	0,10	0,17
Anielka	-0,055	0,11	9,54*	0,24	1,06
Jasia	-0,230	0,45	1,12	1,58	4,61**
<b>Klepa</b>	<b>-0,292</b>	<b>2,69</b>	<b>5,64</b>	<b>0,56</b>	<b>1,25</b>
Grot	-0,305	0,55	0,64	0,03	6,69**
Wawrzyn	-0,492	1,97	0,90	0,54	4,86**
Umiak	-0,517	0,73	0,38	1,47	14,46**
Rywal	-0,542	3,13	7,39	0,02	3,72*
Beata	-1,017	6,36	1,68	0,41	6,44**
<b>Mors</b>	<b>-1,342</b>	<b>50,98**</b>	<b>7,86</b>	<b>0,00</b>	<b>1,40</b>
Zeus	-1,355	641,76**	94,39**	0,15	0,11
Bzura	-1,442	30,22*	0,53	1,96	2,72*
Irys	-1,842	104,70**	18,60*	9,92	1,28

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 o stabilnej ekspresji odporności w testach plastrowych

In bold — cultivars with stable expression of reaction in tuber slices

## DYSKUSJA

Ocena poziomu odporności na zarazę ziemniaka w warunkach naturalnej presji infekcyjnej często uzupełniana jest oceną części nadziemnej w warunkach laboratoryjnych (Novy i in., 2006). Począwszy od lat 60. wielu badaczy w swoich pracach stwierdziło istnienie dość wysokiej korelacji między reakcją obserwowaną w teście listkowym, a reakcją w warunkach polowych (Hodgson, 1961; Pietkiewicz, 1972; Świeżyński i in., 1997; Stewart i Bradshaw, 2001). Pierwsze próby oceny odporności genotypów ziemniaka przy użyciu testu listkowego zostały przeprowadzone w Holandii w latach 50. (Toxopeus, 1954), a obecnie metoda ta jest stosowana na szeroką skalę na świecie i w Polsce. Test ten posiada szereg zalet: jest metodą szybką, tanią, może być standaryzowany pod względem warunków inkubacji i inokulacji oraz jest niezależny od wystąpienia epifityzy w polu (Zarzycka i Sujkowski, 1988 a). Jak dotąd nie ma w literaturze opracowań poruszających zagadnienia fenotypowej stabilności reakcji odpornościowej na zarazę ziemniaka odmian/rodów ocenianych w warunkach laboratoryjnych.

Przeprowadzone w pracy analizy wykazały istotne zróżnicowanie w poziomie odporności zarazą ziemniaka poszczególnych odmian w każdym z analizowanych testów

listkowych (środowisk). Odnotowano istotny wpływ środowiska i interakcji  $G \times E$  na obserwowany poziom odporności listków. Szczegółowa analiza zmienności obserwowanej w testach listkowych pozwoliła wyróżnić odmiany o stabilnej reakcji. W grupie tej znalazły się zaledwie cztery odmiany ziemniaka o różnym poziomie odporności: Wawrzyn, Lawina, Beata i Anielka. Odmiany te w teście listkowym wykazały się stabilną reakcją listków w latach, terminach i środowiskach. Udział interakcji  $G \times E$  w zmienności wnoszonej przez te odmiany był statystycznie nieistotny. W grupie odmian o stabilnej reakcji odpornościowej w teście listkowym na szczególną uwagę zasługuje późna odmiana Wawrzyn, która w ocenach katalogowych jest przedstawiana jako odmiana średnio odporna w naci (ocena odporności 6,0), natomiast w doświadczeniu laboratoryjnym uzyskała oceny znacznie wyższe (zakres ocen 8,8–9,0). Odmiana Wawrzyn również w testach polowych została zaklasyfikowana do grupy odmian stabilnie odpornych (Tatarowska i in., 2011, 2012). Do odmian wykazujących stabilną reakcję listków zaliczono również odmianę Lawina. W ocenie polowej odmiana ta została zaliczona do odmian niestabilnych – regularnych, co oznacza, że w warunkach naturalnej presji infekcyjnej wykazywała silną reakcję na zmienność lat i miejscowości, reagowała adekwatnie do nasilenia epifitozy w danym roku i miejscu (Tatarowska i in., 2012). Odmiany Beata i Anielka w testach listkowych wykazywały stabilną reakcję, natomiast w testach polowych zostały zaklasyfikowane do grupy odmian, których reakcja na zmienne środowisko jest całkowicie nieprzewidywalna (odmiany niestabilne –nieprzewidywalne), choć wartości  $rAUDPC$  uzyskane w doświadczeniach polowych wskazują na średni poziom odporności (Tatarowska i in., 2012).

Dla pozostałych 18 odmian stwierdzono, że reakcja listków była zmienna w latach i/lub terminach i/lub środowiskach. W grupie odmian o niestabilnej reakcji listków znalazły się 3 odmiany odporne (Zeus, Jasia, Meduza), 9 średnio odpornych (Klepa, Ania, Jantar, Koga, Grot, Vistula, Nimfy, Umiak i Hinga) oraz 6 podatnych (Bzura, Dunajec, Rywał, Mors, Albina i Irys). Dla odmian Vistula, Bzura, Rywał i Albina nie stwierdzono istotnego udziału w interakcji  $G \times E$ , ale odnotowano istotny udział interakcji  $G \times Y$  i/lub  $G \times T$ . Odmiany Klepa, Jasia, Nimfy, Ania, Hinga, Vistula, Bzura, Meduza w doświadczeniach polowych wykazywały stabilny poziom odporności (Tatarowska i in., 2012).

Testy listkowe przeprowadzane w kontrolowanych warunkach i przy zastosowaniu znanego izolatu *P. infestans* są zazwyczaj testami silniejszymi w porównaniu z oceną polową i wykorzystywane są najczęściej do charakteryzowania poziomu odporności materiału badanych form (Park i in., 2005; Foster i in., 2009; Śliwka i in., 2006 b). Przy jego pomocy można oceniać wszystkie materiały niezależnie od grupy wczesności (Zarzycka i Sujkowski, 1988 a). Na zmienność reakcji obserwowanej w testach laboratoryjnych wpływa wiele czynników, takich jak warunki środowiskowe w jakich rosną rośliny (Carnegie i Colhoun, 1982), ich wiek oraz położenie liści na roślinie, z której pobierane są listki do testów (Hodgson, 1961; Carnegie i Colhoun, 1980, 1982; Stewart i in., 1983; Fry i Apple, 1986; Stewart, 1990; Dorrance i Iglis, 1997; Visker, 2005). Na zmienność tę wpływają także warunki prowadzenia kultur *P. infestans* (Zarzycka i Połozynowicz, 1994; Zarzycka, 1995; Sobkowiak i in., 2004 a b; Sobkowiak i in., 2012) oraz okresowa zmienność patogeniczności (Flier i in., 1998; Sujkowski, 1983; Sujkowski

i in., 1994, 1996; Śliwka i in., 2006 a; Świeżyński i in., 1996; Zarzycka i in., 2002; Sobkowiak i in., 2004 c). W przeprowadzonych badaniach można było również zaobserwować na testerach Blacka zmienność wirulencji stosowanych izolatów, co również miało istotny wpływ na reakcję odpornościową ocenianych odmian.

Wyniki przedstawione w pracy pokazują dużą zmienność w reakcji listków w doświadczeniach wieloletnich. Brak możliwości uwzględnienia takich czynników jak interakcja rośliny ze zmienną populacją patogena oraz różnymi warunkami środowiska naturalnego uniemożliwia wnioskowanie o stabilności odporności tej cechy. W przypadku testów laboratoryjnych możemy jedynie mówić o stabilnej reakcji listków wykonując doświadczenia wieloletnie. Testy laboratoryjne nie są właściwym narzędziem do oszacowywania stabilności odporności, gdyż nie uwzględniają wielu elementów mających istotny wpływ na tę cechę. Doświadczenia polowe z cyklicznie wykonywanymi obserwacjami w trakcie sezonu są bardzo czasochłonne i wymagają dużego nakładu pracy, lecz pozwalają na określenie realnego (obserwowanego w realnych warunkach uprawy w polu) poziomu odporności badanego materiału oraz na wnioskowanie o rodzaju obserwowanej odporności (Simko i in., 2007, Tatarowska i in., 2011, 2012).

Ważnym elementem hodowli odpornościowej na *P. infestans* jest poznanie poziomu odporności bulw. Odporność ta jest bardzo słabo skorelowana z odpornością naci (Świeżyński, 1990; Platt i Tai, 1998; Świeżyński i Zimnoch-Guzowska, 2001; Flier i in., 2003). Ocena poziomu odporności bulw ziemniaka jest oszacowywana przez wielu badaczy w warunkach laboratoryjnych, poprzez testowanie całych bulw lub plastrów. Duży wpływ na poziom odporności ma termin, w którym przeprowadzana jest ocena bulw/plastrów (Darsow, 2004; Lebecka i in., 2006). Poziom odporności bulw ocenianych genotypów może również zależeć od temperatury w jakiej bulwy były przechowywane przed testowaniem oraz od wielkości bulwy z której wycinano plaster (Darsow, 1987).

Prezentowane wyniki wskazują na zmienną reakcję zakażanych plastrów bulw w latach i/lub terminach i/lub środowiskach. Wyróżniono jednak odmiany o reakcji stabilnej, tj. takie, dla których udział interakcji  $G \times E$  i/lub  $G \times Y$  i/lub  $G \times T$  w zmienności był nieistotny. W grupie tej znalazło się pięć odmian ziemniaka: Meduza, Nimfy, Vistula, Klepa i Mors. Poziom odporności tych odmian nie odbiegał istotnie od średniego poziomu odporności wszystkich odmian w danym środowisku (średnia środowiskowa) oraz od średniego poziomu odporności wszystkich odmian w całym doświadczeniu (średnia generalna). W grupie odmian o stabilnej reakcji plastrów znalazła się jedna odmiana odporna (Meduza), trzy odmiany średnio odporne (Nimfy, Vistula, Klepa) oraz jedna odmiana podatna (Mors). W grupie odmian z niestabilną reakcją plastrów znalazło się 17 odmian, a wśród nich 2 odmiany odporne w testach plastrowych (Hinga i Dunajec), 12 odmian średnio odpornych (Albina, Koga, Ania, Jantar, Anielka, Lawina, Jasia, Grot, Rywał, Umiak, Wawrzyn i Beata) oraz 3 odmiany podatne (Zeus, Bzura i Irys).

Dotychczas wielu badaczy kładło główny nacisk na wysoki i stabilny poziom odporności na *P. infestans* części nadziemnej. W ostatnich latach zaczęto jednak skupiać większą uwagę na odporności znajdującej się w bulwach (Flier i in., 2001, 2003) stwierdzając, iż połączenie stabilnej odporności bulw i naci, może znacznie przyczynić się do zmniejszenia strat powodowanych przez tego patogena. Literatura poświęcona

zagadnieniom oceny stabilności reakcji odporności bulw/plastrów jest bardzo skromna. Wykorzystując testy parametryczne jako miary oszacowujące stabilność Mulema i współpracownicy (2004/2005) oceniali stabilność reakcji bulw ziemniaka w warunkach polowych w Ugandzie. Autorzy wskazali, że zmienność, jaką obserwowali w trakcie swoich badań, powinna skłaniać innych badaczy do szacowania stabilności tej cechy, gdyż uprawa form o stabilnej odporności prowadzi do ograniczenia strat ekonomicznych powodowanych przez porażenie bulw. Analizy statystyczne prowadzone przez Flier i innych (2001) wykazały bardzo zmienne uszeregowanie odmian pod względem odporności ocenianej w bulwach i plastrach w poszczególnych latach trwania doświadczeń. Autorzy oszacowywali kilka komponentów poziomu odporności bulw (IF — % zainfekowanych bulw oraz IAI — indeks inwazyjnej zdolności do porażania) i plastrów (NC — % tkanek nekrotycznych oraz My — gęstość grzybni). Uzyskane wartości dla poszczególnych komponentów były bardzo zróżnicowane (niskie współczynniki korelacji) i zależały od ocenianej odmiany i zastosowanego izolatu. Stwierdzono, iż plastry bulw porażane są silniej w porównaniu do całych bulw. W ocenie bulw istotnym elementem jest również termin w którym przeprowadzane są testy laboratoryjne. Według Świeżyńskiego i Domańskiego (1997) ocenę odporności bulw należy przeprowadzać w okresie jesiennym, dwa miesiące po sprzęcie, w dwóch terminach (w odstępach tygodniowych), gdyż relacje odpornościowe zmieniają się w miarę dojrzewania przechowywanych bulw. Z drugiej strony inni autorzy zalecają testowanie bulw w okresie od września do końca listopada, ponieważ właśnie wówczas można zaobserwować najbardziej stabilną ekspresję odporności bulw na *P. infestans* (Lebecka i in., 2006).

#### WNIOSKI

1. Stosując analizę interakcji G×E dla ocen odporności uzyskanych w trakcie 4 letnich testów laboratoryjnych wyróżniono odmiany o stabilnej i niestabilnej reakcji listków i plastrów.
2. W grupie odmian o stabilnej reakcji listków znalazła się odmiana odporna Wawrzyn, średnio odporna Lawina i dwie odmiany podatne Beata i Anielka.
3. W grupie odmian z niestabilną reakcją listków znalazły się odmiany: Zeus, Jasia, Meduza, Klepa, Ania, Jantar, Koga, Grot, Vistula, Nimfy, Umiak, Hinga, Bzura, Dunajec, Rywał, Mors, Albina i Irys.
4. W grupie odmian ze stabilną reakcją plastrów znalazła się odmiana odporna Meduza, trzy odmiany średnio odporne: Nimfy, Vistula, Klepa oraz jedna odmiana podatna Mors.
5. W grupie odmian z niestabilną reakcją plastrów znalazły się odmiany: Hinga, Dunajec, Albina, Koga, Ania, Jantar, Anielka, Lawina, Jasia, Grot, Rywał, Umiak, Wawrzyn, Beata, Zeus, Bzura i Irys.
6. Testy laboratoryjne pozwalają na oszacowywanie stabilnej reakcji listków/plastrów, natomiast najwłaściwszym narzędziem do oceny stabilności odporności są wielokrotne i wieloletnie doświadczenia polowe.

7. Zmienność reakcji listków/plastrów badanych odmian ziemniaka w przeprowadzanych testach zależała nie tylko od genotypów żywiciela, ale również od izolatu użytego do inokulacji i zmienności jego pasożytniczej kondycji w trakcie infekcji.
8. Obserwowana na testerach Blacka zmienność patogeniczności stosowanych izolatów w testach sprawia, iż głównym czynnikiem kryjącym się pod hasłem „środowisko” (obok lat i terminu) i wchodzącym w interakcje z odmianami o wyższej odporności był patogen.

## LITERATURA

- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P., Siatkowski I. 1998. Podręcznik użytkownika programu Sergen 3. Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu.
- Carnegie S.F., Colhoun J. 1980. Differential leaf susceptibility to *Phytophthora infestans* on potato plants of cv. King Edward. *Phytopathology* 98: 108 — 117.
- Carnegie S. F., Colhoun J. 1982. Susceptibility of potato leaves to *Phytophthora infestans* in relation to plant age and leaf position. *Phytopathologische Zeitschrift* 104, no. 2: 157 — 167.
- Chotkowski J., Stypa I. 2004. Odmiany ziemniaków. Charakterystyka tabelaryczna. Bonin, Koszalin 2004.
- Darsow U. 1987. Long-term results of a tuber slice test for relative resistance to late blight. *Potato Res.* 30: 9 — 22.
- Darsow U. 2004. The use of four different assessment methods to establish relative potato tuber blight resistance for breeding. *Potato Res.* 47: 163 — 174.
- Dorrance A. E., Inglis D. A. 1997. Assessment of greenhouse and laboratory screening methods for evaluating potato foliage for resistance to late blight. *Plant Disease* 81: 1206 — 1213.
- 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.
- Flier W. G., Turkensteen L. J., Mulder A. 1998. Variation in tuber pathogenicity of *Phytophthora infestans* in the Netherlands. *Potato Res.* 41: 345 — 354.
- Flier W. G., Turkensteen L.J., van den Bosch G. B. M., Vereijken P. F. G., Mulder A. 2001. Differential interaction of *Phytophthora infestans* on tubers of potato cultivars with different levels of blight resistance. *Plant Pathology* 50: 292 — 301.
- Flier W. G., Turkensteen L. J., van den Bosch G. B.M. 2003. Stability of partial resistance in potato cultivars exposed to aggressive strains of *Phytophthora infestans*. *Plant Pathology* 52: 326 — 337.
- Flis B., Domański L., Zimnoch-Guzowska E., Polgar Z., Pousa S. Á., Pawlak A. 2014. Stability analysis of agronomic traits in potato cultivars of different. Origin DOI 10.1007/s12230-013-9364-6.
- Foster S. J., Park T. H., Pel M., Brigneti G., Śliwka J., Jagger L., van der Vossen E. A. G., Jones J. D. 2009. *Rpi-vnt1.1*, a Tm-22 homolog from *Solanum venturii*, confers resistance to potato late blight. *Molecular Plant-Microbe Interaction* 22: 589 — 600.
- Fry W. E., Apple A. E. 1986. Disease management implications of age-related changes in susceptibility of potato foliage to *Phytophthora infestans*. *American Potato Journal* Vol. 63: 47 — 56.
- Fry W. E. 2008. *Phytophthora infestans*: the plant (and R gene) destroyer. *Mol. Plant Path.* 9 (3): 1 — 18.
- Hodgson W. A. 1961. Laboratory testing of the potato for partial resistance to *Phytophthora infestans*. *Amer. Potato J.* 38: 259 — 264.
- Kapsa J. 2004. Zmiany stanu zagrożenia i ochrony plantacji ziemniaka przed zarazą (*P. infestans*) w Polsce na tle krajów europejskich. *Prog. Plant Prot.* 44 (1): 129 — 137.
- Kaczmarek J., Kotecki A., Kotowicz L., Weber R. 2003. Interakcja genotypowo-środowiskowa plonowania odmian rzepaku ozimego w doświadczeniach PDO. *Biul. IHAR* 226/227/2: 395 — 403.
- Lapwood D. H., McKee R. K. 1961. Reaction of tubers of R-gene potato clones to inoculation with specialized races of *Phytophthora infestans*. *Eur. Potato J.* 4: 3 — 9.

- Lapwood D. H. 1967. Laboratory assessments of the susceptibility of potato tubers to infection by blight (*Phytophthora infestans*). Eur. Potato J. 10: 127 — 135.
- Lebecka R., Sobkowiak S., Zimnoch-Guzowska E. 2006. Resistance of potato tubers to a highly aggressive isolate to *Phytophthora infestans* in relation to tuber age. Potato Res. 49: 99 — 107.
- Mądry W. 2003 a. Zastosowanie modeli mieszanych Shukli i regresji łącznej do analizy stabilności i adaptacji genotypów. Część I. Podstawy teoretyczne. Biul. IHAR 226/227/1: 7 — 14.
- Mądry W. 2003 b. Zastosowanie modeli mieszanych Shukli i regresji łącznej do analizy stabilności i adaptacji genotypów. Część II. Przykład dla pszenicy jarej. Biul. IHAR 226/227/1: 15 — 23.
- Mądry W., Kang M. S. 2005. Scheffe-Caliński and Shukla Models: Their Interpretation and usefulness in stability and adaptation analyses. Journal of Crop Improvement 14 (1/2): 325 — 369.
- Mulema J. M. K., Olanya O.M., Adipala E., Wagoire W. 2004/5. Stability of late blight resistance in Population B potato clones. Potato Res. 47: 11 — 24.
- Novy R. G., Love S. L., Corsini D. L., Pavek J. J., Whitworth J. L., Mosley A. R., James S. R., Hane D. C., Shock C. C., Rykbost K. A., Brown C. R., Thornton R. E., Knowles N. R., Pavek M. J., Olsen N., Inglis D. A. 2006. Defender: A high-yielding, processing potato cultivar with foliar and tuber resistance to late blight. Amer. J. of Potato Res. 83: 9 — 19.
- Park T. H., Vleeshouwers V. G. A. A., Huigen D. J., van der Vossen E. A. G., van Eck H. J., Visser R. G. F. 2005 a. Characterization and high-resolution mapping of a late blight resistance locus similar to *R2* in potato. Theoretical and Applied Genetics 111 (3): 591 — 597.
- 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.
- Pietkiewicz J. B. 1972. Badania odporności ziemniaka na zarazę ziemniaczaną (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) na odciętych liściach. Biul. Inst. Ziemn. 9: 17 — 32.
- Platt H.W., Tai G. 1998. Relationship between resistance to late blight in potato foliage and tuber of cultivars and breeding selections with different resistance levels. Amer. J. of Potato Res. 75: 173 — 178.
- Scheffe H. 1959. The analysis of variance. J. Wiley and Sons, New York.
- Sobkowiak S., Zarzycka H., Zimnoch-Guzowska E. 2004 a. Effect of deep freezing of *Phytophthora infestans* cultures on their survival and pathogenicity. Plant Breed. Seed Sci. 49 (1): 79 — 89.
- Sobkowiak S., Zimnoch-Guzowska E., Zarzycka H. 2004b. Effect of various culture treatments on virulence and aggressiveness expression of *Phytophthora infestans*. 2004. Acta Agrobot. 57 (1–2): 131 — 143.
- Sobkowiak S., Zarzycka H., Lebecka R., Zimnoch-Guzowska E. 2004 c. Wpływ koncentracji inokulum i terminów oceny odporności na ekspresję agresywności i wirulencji *Phytophthora infestans* w stosunku do ziemniaka. Biul. IHAR. 233: 317 — 331.
- Sobkowiak S., Zarzycka H., Śliwka J. 2012. The influence of long-term storage in liquid nitrogen on survival and pathogenicity of *Phytophthora infestans* isolates. J. Plant Prot. Res. (52) 4: 479 — 485.
- Stewart H. E., Taylor K., Wastie R. L. 1983. Resistance to late blight in foliage (*Phytophthora infestans*) of potatoes assessed as true seedlings and as adult plants in the glasshouse. Potato Res. 26: 363 — 366.
- Stewart H. E. 1990. Effect of plant age and inoculum concentration on expression of major gene resistance to *Phytophthora infestans* in detached potato leaflets. Mycol. Res. 94 (6): 823 — 826.
- Stewart H. E., Bradshaw J. E. 2001. Assessment of the field resistance of potato genotypes with major gene resistance to late blight (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) using inoculum comprised of two complementary races of the fungus. Potato Res. 44: 41 — 52.
- Simko I., Jansky S., Stephenson S., Spooner D. 2007. Genetic of resistance to pests and disease. In: Potato biology and biotechnology: advances and perspectives. D. Vreugdenhil, Ed., Elsevier, Amsterdam, The Netherlands: 117 — 155.
- Sujkowski L. S. 1983. Zmienność właściwości pasożytniczych grzyba *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary w stosunku do ziemniaka w cyklu rocznym. PhD. thesis. Młochów: 63 ss.
- 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.
- Sujkowski L.S., Goodwin S. B., Fry W. E. 1996. Changes in specific virulence in Polish populations of *Phytophthora infestans*: 1985–1991. Eur. J. Plant Pathol. 102: 555 — 561.



- Śliwka J., Sobkowiak S., Lebecka R., Avendaño-Córcoles J., Zimnoch-Guzowska E. 2006 a. Mating Type, Virulence, Aggressiveness and Metalaxyl Resistance of Isolates of *Phytophthora Infestans* in Poland. *Potato Res.* 49 (3): 155 — 166.
- Śliwka J., Jakuczun H., Lebecka R., Marczewski W., Gebhardt C., Zimnoch-Guzowska E. 2006 b. The novel, major locus *Rpi-phu1* for late blight resistance maps to potato chromosome IX and is not correlated with long vegetation period. *Theoretical and Applied Genetics* 113: 685 — 695.
- Świeżyński K. M. 1990. Resistance to *Phytophthora infestans* in potato cultivars and its relation to maturity. *Genetica Polonica* 31: 99 — 106.
- Świeżyński K. M., Domański L., Sobkowiak S., Zarzycka H. 1996. Resistance to *Phytophthora infestans* of potato genotypes with race-specific resistance. *Potato Res.* 39: 195 — 203.
- Świeżyński K. M., Domański L., Osiecka M., Siczka M.T., Zarzycka H. 1997. Resistance to *Phytophthora infestans* in diploid and tetraploid potato families. 1. Resistance in detached leaflets. *J. Appl. Genet.* 38 (1): 19 — 32.
- Świeżyński K. M., Domański L. 1997. Porównanie odmian ziemniaka Polski, Niemiec i Holandii pod względem wczesności i jakości bulw. *Biul. Inst. Ziemn.* 48 (II): 37 — 51.
- Świeżyński K. M., Zimnoch-Guzowska E. 2001. Breeding potato cultivars with tubers resistant to *Phytophthora infestans*. *Potato Res.* 44: 97 — 117.
- Tatarowska B., Flis B., Plich J. 2011. Zastosowanie modelu mieszanego Scheffégo–Calińskiego do analizy stabilności odporności odmian ziemniaka na *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. *Biul. IHAR.* 262: 141 — 154.
- Tatarowska B., Flis B., Zimnoch-Guzowska E. 2012. Biological stability of resistance to *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary in 22 polish potato cultivars evaluation in field experiments. *Amer. J. Potato Res.* 89 (3): 73 — 81.
- Toxopeus H. J. 1954. Leaf testing as a method of genetical analysis of immunity from *Phytophthora infestans* in potatoes. *Euphytica* 3: 233 — 240.
- Visker M. H. P.W. 2005. Association between late blight resistance and foliage maturity type in potato-physiological and genetical studies. Ph.D. thesis, Wageningen, University, the Netherlands: 1 — 160.
- Zarzycka H., Połozynowicz J. 1994. Wpływ wywaru bulw na infekcyjność zawiesiny zarodników *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary w stosunku do ziemniaka. *Biul. Inst. Ziemn.* 44: 121 — 129.
- Zarzycka H. 1995. Effect of culturing *Phytophthora infestans* on expression of its virulence and aggressiveness to potato. *Phytopath. Pol.* 9 (21): 81 — 88
- Zarzycka H., Sujkowski L.S. 1988 a. Skuteczność testu listkowego jako metody oceny odporności ziemniaków na *Phytophthora infestans*. *Rocznik Nauk Rolniczych* 6: 81 — 87.
- Zarzycka H., Sujkowski L. S. 1988 b. Postępy w metodach oceny odporności ziemniaków na zarazę ziemniaka. *Genetyczne podstawy hodowli ziemniaka.* Bonin: 146 — 155.
- Zarzycka H. 2001 a. Ocena odporności na zarazę ziemniaka w teście listkowym. Sporządzenie inokulum. *Monografie i Rozprawy Naukowe IHAR 10/2001, IHAR Radzików:* 77 — 79.
- Zarzycka H. 2001 b. Ocena odporności bulw na zarazę ziemniaka w teście plastrowym i bulwowym. *Monografie i Rozprawy Naukowe IHAR 10/2001, IHAR Radzików:* 80 — 82.
- 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.
- Zimnoch-Guzowska E., Tatarowska B. 2004. Bottle necks in breeding late blight resistant potato. *Plant Breeding and Seed Science* 50: 71 — 79.