

KATARZYNA RYMUZA¹
ELŻBIETA RADZKA²
TOMASZ LENARTOWICZ³

¹ Katedra Metod Ilościowych i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach; e-mail: katarzyna.rymuza@uph.edu.pl

² Zakład Agrometeorologii i Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach e-mail: elzbieta.radzka@uph.edu.pl

³ Pracownia WGO Roślin Okopowych i Kukurydzy, Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych w Słupi Wielkiej; e-mail: t.lenartowicz@coboru.pl

Analiza interakcji genotypowo-środowiskowej średnio wczesnych jadalnych odmian ziemniaka

Analysis of genotype-environment interaction for the yield of medium early potato cultivars

Celem badań była ocena stabilności plonowania odmian ziemniaka jadalnego w Polsce na podstawie doświadczeń porejestrowych. Doświadczenia założono w 3 miejscowościach na glebach lekkich w ciągu czterech sezonów wegetacyjnych z 9 średnio wczesnymi odmianami ziemniaka. Analiza wykazała, istotną interakcję odmian z kombinacjami lat i miejscowości. Nie wykazano natomiast współdziałania odmian i miejscowości. Wykonano analizę struktury interakcji odmian z latami oraz odmian ze środowiskami. Stwierdzono, że odmianą nie wykazującą interakcji ze środowiskiem jest odmiana Tajfun. Powyżej średniej środowiskowej plonuje odmiana Ametyst, która jest odmianą intensywną i przewidywalną.

Słowa kluczowe: odmiany ziemniaka, interakcja genotypowo-środowiskowa, stabilność plonowania

The objective of the study was to assess the yielding stability of potato cultivars in Poland using post-registration experiments. The trials of 9 medium early potato cultivars were set up in three locations on light soils during three growing seasons. Analysis demonstrated a significant cultivar × year interaction and cultivar × environment interaction, environments being combinations of years and locations. By contrast, there was no cultivar × location interaction. Analysis of the structure of cultivar × year interaction and cultivar × environment interaction was performed. It was found that cv Tajfun did not interact with the environment. Ametyst, which is an intensive and predictable cultivar, produced yields which were higher than the environmental mean.

Key words: potato cultivars, genotype × environment interaction, yielding stability

WSTĘP

Ziemniak jadalny jest jedną z głównych roślin uprawianych na świecie, co wynika z jego wszechstronnego użytkowania i znaczenia w żywieniu człowieka. Dla każdego kierunku użytkowania potrzebne są odmiany o odmiennych cechach jakościowych, które wysoko i wiernie plonują. Poziom plonowania determinowany jest przez odmianę (genotyp) oraz warunki siedliskowe i agrotechniczne (Bombik i in., 2013; Gugąła i in., 2014). W praktyce rolniczej poszukiwane są więc genotypy, które plonują wysoko i stabilnie w różnych warunkach glebowo-klimatycznych (Abalo i in., 2003; Scapin i in., 2010; Stefanova i Buirchell, 2010). Stabilność plonowania wynika z interakcji genotypowo-środowiskowej, która określana jest jako niejednakowa (nierównoległa) krzywa reakcji cechy genotypów na warunki środowiskowe (miejscowości w poszczególnych latach, miejscowości średnio w latach, lata w poszczególnych miejscowościach, lata średnio w miejscowościach) albo jako niejednakowe różnice średnich genotypowych w różnych środowiskach (Annicchiarico, 2002; Yan i Kang, 2003; Annicchiarico i in., 2006). Występowanie interakcji genotypowo-środowiskowej może sprawiać, iż dobrze plonująca odmiana w danych warunkach uprawy w innych warunkach będzie plonowała słabo (Cotes i in., 2002; Abalo i in., 2003).

Odmiany (genotypy), których plonowanie w małym stopniu zależy od zmiany warunków środowiska określane są jako stabilne (Kang 1988; Mądry i Iwańska, 2011).

Celem niniejszej pracy jest ocena interakcji genotypowo-środowiskowej średnio wczesnych jadalnych odmian ziemniaka uprawianych na glebach lekkich znajdujących się w towarowej produkcji rolniczej pod kątem oceny stabilności ich plonowania.

METODYKA

Materiał badawczy stanowiły zarejestrowane i przyjęte do doświadczeń porejestrowych średnio wczesne odmiany ziemniaka jadalnego. Doświadczenia polowe przeprowadzono w układzie losowanych bloków w trzech powtórzeniach w 3 stacjach należących do COBORU: Krzyżewo, Naroczyce i Sulejów w latach 2010–2013. Gleby na których przeprowadzono doświadczenia należały do gleb lekkich o wysokiej lub bardzo wysokiej zawartości fosforu i magnezu oraz średniej i wysokiej zawartości potasu.

Otrzymane wyniki w poszczególnych latach i miejscowościach poddano analizom statystycznym zgodnie z metodyką dla serii analiz odmianowych (Caliński i in., 2003). Wykonano analizy wstępne dla każdego roku i każdej miejscowości oddzielnie. Analizy te posłużyły do oceny efektów genotypowych, analizy interakcji genotypów z latami, miejscowościami i środowiskami rozumianymi jako kombinacje lat i miejscowości. Do obliczeń statystycznych wykorzystano program komputerowy *Sergen 4*. Program ten opiera się na mieszanym modelu wielowymiarowym Scheffégo-Calińskiego i modelu regresji łącznej Calińskiego-Kaczmarka (Caliński i in., 1995; Mądry i Rajfura, 2003).

WYNIKI

Średnie wartości plonów 9 średnio wczesnych odmian ziemniaka z doświadczeń przeprowadzonych w 3 miejscowościach w latach 2010–2013 przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Średnie plony i współczynniki zmienności plonów odmian ziemniaka uprawianego w trzech miejscowościach w latach 2010–2013
Average yields and coefficients of variation of potato cultivars grown in three locations over 2010–2013

Odmiana Cultivar	2010		2011		2012		2013		Średnia Mean	
Naroczyce										
	\bar{x}^1	V (%) ²	\bar{x}	V (%)	\bar{x}	V (%)	\bar{x}	V (%)	\bar{x}	V (%)
Ametyst	69,7	0,4	72,0	9,5	95,7	8,9	62,5	17,7	75,0	19,5
Cekin	62,1	5,4	65,0	8,7	69,6	7,6	49,9	15,6	61,6	14,7
Finezja	65,9	8,3	66,8	5,6	73,5	6,9	49,3	9,0	63,9	15,9
Gawin	63,5	3,3	61,7	6,6	65,0	5,3	48,0	16,7	59,6	13,8
Jurek	69,9	1,2	67,5	7,7	83,8	4,2	65,2	11,3	71,6	12,1
Oberon	71,8	2,7	66,0	8,6	83,4	10,1	52,0	21,2	68,3	19,7
Satina	67,8	4,2	61,1	4,1	68,0	6,7	69,8	21,2	66,7	11,5
Stasia	70,3	5,3	68,5	4,7	60,4	7,3	55,5	23,8	63,7	14,0
Tajfun	66,6	8,7	67,1	10,3	83,8	5,4	53,6	8,6	67,8	18,0
Średnia Mean	67,5	4,8	66,2	5,1	75,9	15,0	56,20	13,8	66,5	
Sulejów										
	\bar{x}	V (%)	\bar{x}	V (%)	\bar{x}	V (%)	\bar{x}	V (%)	\bar{x}	V (%)
Ametyst	61,8	4,9	80,2	3,7	55,0	2,3	60,3	1,1	64,3	15,7
Cekin	59,0	3,6	66,9	4,6	43,7	5,3	47,2	5,4	54,2	18,3
Finezja	53,5	5,0	69,4	4,9	47,8	5,5	44,8	2,8	53,9	18,8
Gawin	56,9	5,7	71,3	4,1	41,2	7,4	49,6	4,1	54,8	21,5
Jurek	59,8	1,6	68,6	5,6	49,7	5,1	50,0	3,9	57,0	14,8
Oberon	53,3	2,8	69,5	5,5	48,3	2,6	51,8	5,5	55,7	15,8
Satina	55,6	2,3	67,6	5,7	50,5	3,5	54,8	4,8	57,1	12,2
Stasia	63,5	3,6	76,6	4,0	44,2	1,6	43,3	2,6	56,9	25,8
Tajfun	57,5	2,4	80,0	2,3	46,0	1,3	53,7	1,8	59,3	22,4
Średnia Mean	57,9	6,0	72,2	7,3	47,4	8,8	50,6	10,4	57,0	
Krzyżewo										
	\bar{x}	V (%)	\bar{x}	V (%)	\bar{x}	V (%)	\bar{x}	V (%)	\bar{x}	V (%)
Ametyst	56,7	4,6	70,2	7,6	63,9	2,4	71,5	4,5	65,6	10,4
Cekin	61,0	4,7	65,5	7,0	43,8	4,9	64,9	1,2	58,8	16,2
Finezja	51,6	8,7	69,0	4,6	53,2	7,2	70,2	2,7	61,0	15,5
Gawin	48,0	1,6	60,8	5,1	59,4	6,5	50,6	4,1	54,7	11,3
Jurek	57,9	7,3	71,7	4,6	65,8	6,1	51,1	3,4	61,6	14,0
Oberon	54,1	6,6	66,2	7,1	69,2	5,0	57,3	2,7	61,7	11,5
Satina	57,5	4,9	68,4	4,3	59,7	6,9	72,0	3,3	64,4	10,5
Stasia	64,7	4,5	69,1	4,6	47,4	6,2	75,7	3,6	64,2	17,5
Tajfun	63,4	3,9	73,9	3,2	69,4	3,2	68,6	2,8	68,8	6,3
Średnia Mean	57,2	9,5	68,3	5,6	59,1	15,6	64,7	14,5	62,3	

1 — średnia arytmetyczna

1 — arithmetical mean

2 — współczynnik zmienności

2 — coefficient of variation

Można zauważyć że w czteroleciu najwyżej plonującymi odmianami były Ametyst i Tajfun najniżej zaś odmiana Gawin, bez względu na miejsce uprawy. Najmniejszą zmiennością plonu charakteryzowały się odmiany uprawiane w Naroczycach w 2010 roku, największą uprawiane w Krzyżewie w 2012 roku. W czteroleciu największa zmienność wykazały odmiany uprawiane w Sulejowie, najmniejszą uprawiane w Krzyżewie.

Na podstawie analizy wariancji hipotezy o równości efektów: środowiska jako kombinacji lat i miejscowości, genotypów oraz interakcji genotypów i lat, genotypów i środowiska zostały odrzucone co najmniej na poziomie istotności 5%. Odrzucenie hipotezy o braku efektów głównych odmian oraz hipotezy o braku interakcji odmianowo-środowiskowej świadczy o niejednakowym plonowaniu odmian oraz ich niejednakowej reakcji na zmiany warunków środowiska (tab. 2). Sumy kwadratów odchylen 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 odchylen od regresji efektów interakcyjnych względem środowiska. Ta hipoteza została odrzucona o czym świadczy wartość statystyki F dla odchylenia od regresji ($F = 4,60^*$), która jest wyższa od wartości krytycznej na poziomie istotności $p = 0,01$ ($F = 1,70$) (tab. 2).

Tabela 2

Analiza wariancji plonów ziemniaka
Variance analysis of potato yields

Źródła zmienności Sources of variation	Stopnie swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat Mean squares	F_{emp} F values	$F_{0,05}$	$F_{0,05}$
Lata Years (Y)	3	655,81	1,06	4,76	9,78
Miejscowości Locations (L)	2	803,92	1,28	5,14	10,92
Środowiska Environments (E)	6	627,87	109,52**	2,15	2,90
Genotypy Genotypes (G)	8	158,20	27,61**		
Genotyp \times lata Genotype \times Year (GY)	24	50,63	8,83*		
Genotyp \times Miejscowość Genotype \times Location (GL)	16	22,53	3,93		
Genotyp \times Środowisko Genotype \times Environment (GE)	48	26,60	4,64*	1,42	1,65
Regresja względem środowiska Regression on environment	8	27,55	4,80*		
Odchylenie od regresji Regression deviation	40	26,37	4,60*	1,46	1,70

* istotne przy $p \leq 0,05$

* significant at $p \leq 0,05$

Wyniki ze szczegółowej analizy genotypów wskazują, że wśród porównywanych 9 genotypów są trzy takie, których prawdziwe odchylenia od średniej ogólnej (efekty główne) można uznać za różne od zera, co najmniej na poziomie istotności 0,05. Wśród nich odmiany Ametyst i Tajfun odznaczają się efektami dodatnimi, a odmiana Gawin

wykazuje efekt ujemny (tab. 3). Najbardziej od przeciętnego plonowania odbiega odmiana Ametyst, nieco mniej Gawin a najmniej Tajfun.

Odmiany Ametyst i Gawin wykazały interakcję ze środowiskiem. Oznacza to, że podlegają one silnym wpływom środowiska tzn. są mało stabilne pod względem plonowania. Odmiana Tajfun pomimo tego, że nie plonuje najwyżej nie wykazuje interakcji ze środowiskiem co oznacza, że jest stabilna pod względem rolniczym. Do najmniej stabilnych pod względem plonowania należy zaliczyć odmiany Stasia i Jurek (tab. 3).

Tabela 3

Testowanie poszczególnych genotypów i ich interakcji
Testing of individual genotypes and their interactions

Genotyp Genotype	Ocena efektu głównego Estimation of main effect	Statystyka F dla efektu głównego F value for main effect	Statystyka F dla interakcji z: F value for the interaction of genotypes and		
			miejscościami locations	latami years	środowiskami environments
Ametyst	6,363	28,91*	2,51	1,81	3,30*
Cekin	-3,716	7,05*	1,49	0,17	4,61*
Finezja	-2,346	3,21	0,28	0,16	4,04*
Gawin	-5,596	16,42*	0,31	1,46	4,49*
Jurek	1,483	0,73	0,8	1,12	7,13*
Oberon	-0,037	0,01	2,96	0,59	3,56*
Satina	0,809	0,38	3,90*	0,23	4,06*
Stasia	-0,333	0,04	3,65*	0,59	7,41*
Tajfun	3,372	8,47*	0,84	1,9	3,16

* istotne przy $p \leq 0,05$

* significant at $p \leq 0.05$

Dalszą analizę badanych odmian przeprowadzono za pomocą testowania regresji poszczególnych genotypów i ich interakcji względem środowiska (tab. 4).

Tabela 4

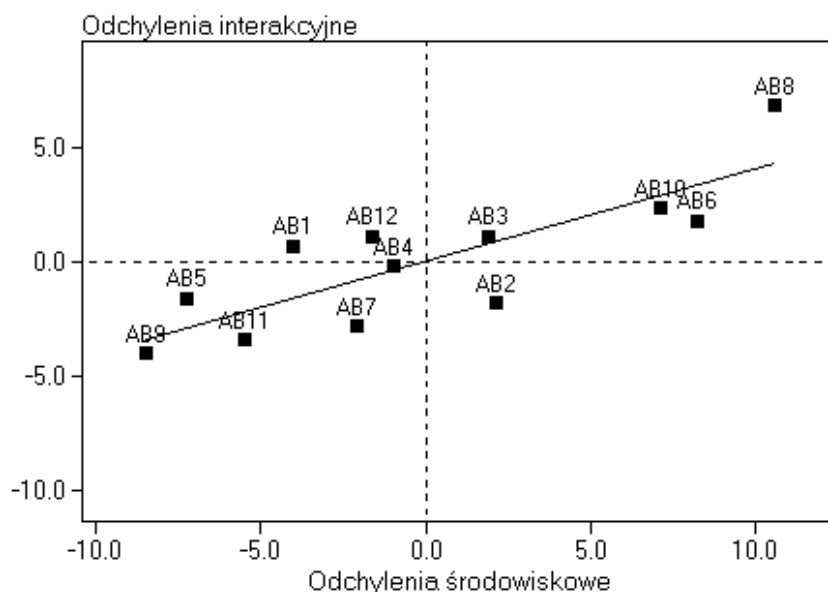
Testowanie regresji wielokrotnej interakcji poszczególnych genotypów względem środowiska
Testing of the multiple regression of the interaction of individual genotypes on the environment

Genotyp Genotype	Współczynnik Coefficient of		Statystyka F dla F value for	
	regresji regression	determinacji (%) determination	regresji regression	odchyień deviations
Ametyst	0,403	67,440	10,360*	1,290
Cekin	-0,045	0,600	0,030	5,500*
Finezja	0,126	5,360	0,280	4,580*
Gawin	-0,140	5,950	0,320	5,070*
Jurek	-0,316	19,140	1,180	6,910*
Oberon	0,032	0,390	0,020	4,260*
Satina	-0,352	41,670	3,570	1,840*
Stasia	-0,033	0,200	0,010	8,870*
Tajfun	0,324	45,500	6,17	2,070

* istotne przy $p \leq 0,05$.

* significant at $p \leq 0.05$

Najwyższą zależność regresyjną ze środowiskiem wykazuje odmiana Ametyst o dodatnim współczynniku regresji i bardzo dużym współczynniku determinacji. Wartość współczynnika determinacji wskazuje na to, że współdziałanie tej odmiany ze środowiskiem można w ponad 67% wyjaśnić regresją liniową tej odmiany ze środowiskiem. Odmianę tą można określić jako intensywną czyli plonującą lepiej w środowiskach bardziej sprzyjających (rys. 1).



Odchylenie interakcyjne — Interaction deviations

Odchylenie środowiskowe — Environment deviations

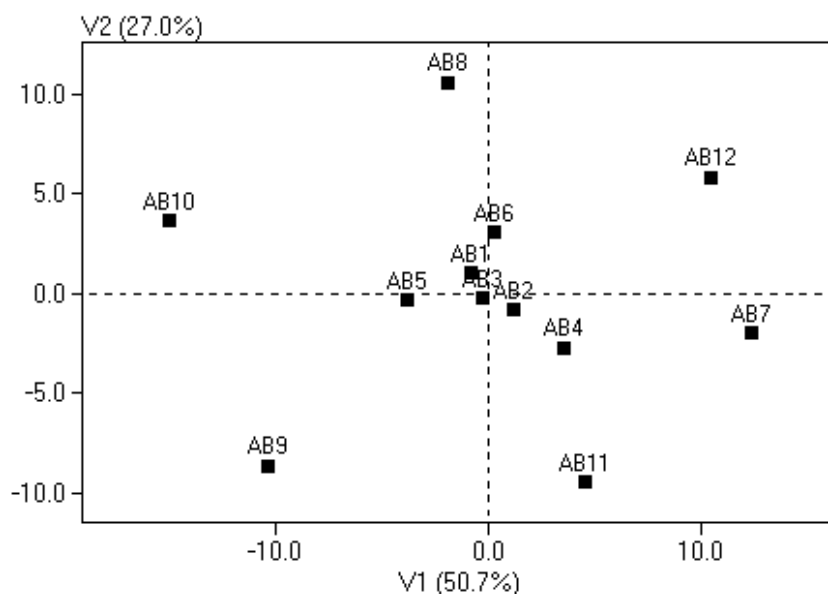
AB1 — 2010 Krzyżewo; AB2 — 2010 Naroczyce; AB3 — 2010 Sulejów, AB4 — 2011 Krzyżewo, AB5 — 2011 Naroczyce; AB6 — 2011 Sulejów; AB7 — 2012 Krzyżewo, AB8 — 2012 Naroczyce; AB9 — 2012 Sulejów; AB10 — 2013 Krzyżewo, AB11 — 2013 Naroczyce; AB12 — 2013 Sulejów

Rys. 1. Regresja efektów interakcyjnych odmiany Ametyst względem środowiska

Fig. 1. Regression of interaction effects for cv Ametyst on the environment

Chociaż odmiana ta jest niestabilna rolniczo można ją uznać za odmianę przewidywalną, gdyż nie wykazano dla niej istotności odchylenia od regresji. Pozostałe 7 odmian należy zaklasyfikować do odmian niestabilnych i nieprzewidywalnych, czyli takich, których reakcji nie można wytłumaczyć regresją (tab. 4).

W celu uzyskania informacji o zachowaniu odmian ziemniaka w zróżnicowanych środowiskach przeprowadzono badanie struktury interakcji genotypowo-środowiskowej za pomocą analizy składowych głównych. Można zauważyć duże zróżnicowanie plonowania odmian ziemniaka w miejscowościach w kolejnych latach badań o czym świadczą duże odległości od początku układu współrzędnych i między sobą punktów obrazujących miejscowości w poszczególnych latach badań (rys. 2).



AB1 — 2010 Krzyżewo; AB2 — 2010 Naroczyce; AB3 — 2010 Sulejów, AB4 — 2011 Krzyżewo, AB5 — 2011 Naroczyce; AB6 — 2011 Sulejów; AB7 — 2012 Krzyżewo, AB8 — 2012 Naroczyce; AB9 — 2012 Sulejów; AB10 — 2013 Krzyżewo, AB11 — 2013 Naroczyce; AB12 — 2013 Sulejów

Rys. 2. Przedstawienie środowisk w układzie składowych głównych
Fig. 2. Representation of the environments in the system of principal components

DYSKUSJA

Wyniki analizy podobnie jak w badaniach Jankowskiej i in. (2015) wykazały zmienność odmianową i środowiskową plonów ziemniaka. Plonem istotnie wyższym od średniej środowiskowej charakteryzowała się odmiana Ametyst i Tajfun, zaś odmiana Cekin i Gawin plonowały istotnie niżej. W badaniach Jankowskiej i in. (2015) odmiany Tajfun, Cekin i Gawin nie wykazały istotnych odchyleń od średniej środowiskowej (średniej plonowania wszystkich badanych odmian). Istotną reakcją ze środowiskiem zaobserwowano w przypadku 8 spośród badanych 9 odmian. Odmiany te podlegają silnym wpływom warunków środowiskowych tzn. są nieprzewidywalne i nie stabilne w plonowaniu (Mądry i in., 2010). Tylko odmiana Tajfun odmiennie jak w badaniach Jankowskiej i in. (2015) nie wykazała interakcji ze środowiskiem można więc ją uznać za stabilnie plonującą w sensie rolniczym (Mądry i Rajfura, 2003). Wiedza o reakcjach odmian w różnych warunkach środowiskowych pozwala na dobór najwłaściwszej odmiany do określonych warunków glebowo-klimatycznych gospodarstwa (Bujak i Tratwał, 2011). W tym celu należy analizować wyniki doświadczeń pochodzących z miejscowości przez okres kilku lat. Analiza takich doświadczeń dostarcza informacji o

zachowaniu się genotypów w miejscowościach, o ich reakcji na zmienne warunki glebowo-klimatyczne oraz reakcję na polepszenie bądź pogorszenie warunków uprawy.

Przeprowadzona analiza plonowania średnio wczesnych odmian ziemniaka w 12 środowiskach wykazała u odmian: Cekin, Finezja, Gawin, Jurek, Oberon, Satina i Stasia istotne odchylenia od regresji co dowodzi, że interakcja tych genotypów nie może być opisana prostą zależnością regresyjną. Odmiana Ametyst wykazała brak istotnych odchyleń od regresji. Można ją uznać jako plonującą stabilnie wykazującą istotny dodatni trend. Plonując powyżej średniej wydaje większy plon w bardziej korzystnych warunkach. Odmianę tą można zaliczyć do genotypów stabilnych intensywnych gdyż jak podają Mądry i in. (2003) genotypy intensywne to takie, które charakteryzują się istotną regresją interakcyjną i dodatnim współczynnikiem regresji oraz wartościami badanej cechy powyżej średniej.

Interakcja genotypowo-środowiskowa jest zjawiskiem powszechnie stwierdzonym u różnych gatunków roślin na różnych szerokościach geograficznych (Sabaghnia i in., 2008; Scapim i in., 2010; Bujak i in., 2012). Analiza interakcji genotypowo-środowiskowej pozwoliła wskazać odmiany stabilne i niestabilne ziemniaka jadalnego pod względem plonowania oraz pozwoliła ocenić reakcję tych odmian na zmienne warunki środowiska (Eland, 1956). Jak dotąd badania nad stabilnością odmian oraz analizą interakcji genotypowo-środowiskowej ziemniaków jadalnych uprawianych w warunkach Polski były nieliczne (Mańkowski, 2003; Rymuza i Bombik, 2010; Kołodziejczyk, 2013; Jankowska i in., 2015).

Przeprowadzona analiza wartości użytkowej genotypów w serii doświadczeń wielo-środowiskowych może ułatwić wybór odmian najlepiej dostosowanych do większości warunków przyrodniczych danego rejonu oraz stabilnych w sensie dynamicznym, czyli reagujących zmianą plonu o taką samą wielkość, o jaką zmienia się średnia wydajność środowisk tego rejonu (Annicchiarico, 2002; Mądry i in., 2003; Mądry i Kang, 2005). Zróżnicowana reakcja odmian na warunki środowiskowe oraz duża rotacja odmian w doświadczeniach porejestrowych wskazują na konieczność badania nowych odmian pod kątem ich interakcji ze środowiskami i stabilności plonowania.

WNIOSKI

1. Wykazano istotne zróżnicowanie badanych odmian ziemniaka pod względem plonowania oraz ich interakcję z miejscowościami i środowiskami jako kombinację miejscowości i lat.
2. Przeprowadzona analiza genotypów dowiodła, że odmiany Ametyst i Tajfun plonują powyżej średniej środowiskowej, lecz tylko odmiana Tajfun nie wykazuje interakcji ze środowiskiem, więc można uznać ją za odmianę stabilną.
3. Poniżej średniej środowiskowej plonują odmiany Gawin i Cekin. Odmiany Finezja, Jurek, Oberon, Satina i Stasia plonują w granicach średniej środowiskowej i są niestabilne.
4. Istotna dodatnia wartość współczynnika regresji plonów względem środowiska u odmiany Ametyst pozwala na zaliczenie jej do odmian intensywnych, czyli silnie

reagujących wzrostem plonów spowodowanych poprawą warunków środowiskowych.

LITERATURA

- Abalo G., Hakiza J. J., El-Bedewy R., Adipala E. 2003. Genotype \times environment interaction studies on yields of selected potato genotypes in Uganda. *Afric. Crop. Sci. Jour.* 11 (1): 9 — 15.
- Annicchiarico P. 2002. Genotype \times environment interactions. Challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. FAO, Rome. Plant Production and Protection Paper 174.
- Annicchiarico P., Bellah F., Chiari T. 2006. Repeatable genotype-location interaction and its exploitation by conventional and GIS-based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria. *Eur. J. Agron.* 24: 70 — 81.
- Bombik A., Rymuza K., Stopa D. 2013. Potato yield depending on ridge shape and harvest time. Part I Total and commercial tuber yield. *Acta Sci. Pol. Agricultura.* 12 (4): 31 — 43.
- Bujak H., Tratwal G. 2011. Ocena stabilności plonowania odmian pszenicy ozimej na podstawie doświadczeń porejestrowych w Polsce. *Biul. IHAR 260/261*: 69 — 79.
- Bujak H., Tratwal A., Walczak F. 2012. Zmienność plonowania i cech użytkowych odmian pszenżyta ozimego w Winnej Górze (in Polish). *Ann. UMCS, LXVII (3), E*: 1 — 11.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z. 1997. A multivariate approach to analysis genotype-environment interactions. In: *Advances in Biometrical Genetics*. Krajewski P., Kaczmarek Z. (ed.). Institute of Plant Genetics, Polish Academy of Science, Poznań: 3 — 14.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P. 2003. Instrukcja użytkowania SERGRN 4. Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu, Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych w Poznaniu.
- Cotes J. M., Nuttez C. E., Martinex R., Estrada N. 2002. Analysing genotype by environment interaction in potato using yield-stability index. *Am. J. Potato Res.* 79: 211 — 218.
- Eland R. 1956. O pewnych testach interakcji w doświadczeniach wieloletnich i wielokrotnych. *Zagadnienie rejonizacji. Zast. Mat.*: 38 — 45.
- Gugała M., Zarzecka K., Sikorska A. 2014. Zachwaszczenie i plonowanie ziemniaka w zależności od zabiegów mechaniczno-chemicznych. *Fragm. Agron.* 31 (3): 50 — 57.
- Jankowska J., Pietraszko M., Lutomirska B. 2015. Analiza stabilności plonowania wybranych odmian ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.) na glebie lekkiej. *Fragm. Agronm.* 32 (3): 32 — 43.
- Kang M. S. 1988. Using genotype by environment interaction for crop cultivar development. *Adv. Agron.* 62: 199 — 253.
- Kołodziejczyk M. 2013. Fenotypowa zmienność plonowania, składu chemicznego oraz wybranych cech jakości bulw w średnio późnych i późnych odmianach ziemniaka jadalnego. *Acta Agrophysica* 20 (3): 411 — 422.
- Mądry W., Rajfura A. 2003. Analiza statystyczna miar stabilności na podstawie danych w klasyfikacji genotypy \times środowiska. Część I. Model mieszany Scheffego-Calińskiego i model regresji łącznej. *Coll. Biom.* 33: 181 — 206.
- Mądry W., Drzazga T., Laudański Z., Rajfura A., Krajewski P., Sieczko L. 2003. Statystyczna analiza adaptacji genotypów pszenicy ozimej na podstawie mieszanych modeli genotypowo-środowiskowych. *Fragm. Agronom.* 4 (80): 10 — 29.
- Mądry W., Mańkowski D. R., Kaczmarek Z., Krajewski P., Studnicki M. 2010. Metody statystyczne oparte na modelach liniowych w zastosowaniach do doświadczeń, genetyki i hodowli roślin. *Wyd. IHAR, Monogr. Rozpr. Nauk. IHAR-PIB* 34: 13 — 163.
- Mądry W., Iwańska M. 2011. Ilościowe miary szerokiej adaptacji odmian i ich zastosowanie w doświadczeniach wstępnych z pszenicą ozimą. *Biul. IHAR 260/266*: 193 — 217.
- Mądry W., Kang M. S. 2005. Scheffe-Caliński and Shukla Models: their interpretation and usefulness in stability and adaptation analyses. *J. Crop Improv.* 14 (1/2): 325 — 369.
- Mańkowski D. R. 2003. Ocena postępu w uprawie ziemniaka w Polsce w latach 1986–2001 Część I. Analiza stabilności plonowania wybranych odmian ziemniaka. *Biul. IHAR 228*: 185 — 191.

- Rymuza K., Bombik A. 2010. Genotype-environment interaction in evaluating yielding of selected edible potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. *Plant Breed. Seed Sci.* 62: 97 — 106.
- Sabaghnia N., Dehghani H., Sabaghpour S. H. 2006. Nonparametric methods for interpreting genotype × environment interaction of lentil genotypes. *Crop Sci.* 46: 1100 — 1106.
- Scapim C. A., Pacheco C. A., Amaral A. T., Vieira R. A., Pinto R. J., Conrado T. V. 2010. Correlations between the stability and adaptability statistics of popcorn cultivars. *Euphytica* 174: 209 — 218.
- Stefanova K. T., Buirchell B. 2010. Multiplicative mixed models for genetic gain assessment in lupine breeding. *Crop Sci.* 50: 880 — 891.
- Yan W., Kang M. S. 2003. *GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists and agronomists*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.