

ANTONI BOMBIK ¹
CZESŁAW STANKIEWICZ ²
JÓZEF STARCZEWSKI ³

¹ Katedra Doświadczalnictwa Rolniczego

² Zakład Genetyki i Fizjologii Roślin

³ Katedra Ogólnej Uprawy Roli i Roślin
Akademia Podlaska w Siedlcach

Interakcja genotypowo-środowiskowa w ocenie wybranych cech jakości ziemniaka

Genotype-environment interaction in the evaluation of selected potato quality characteristics

W badaniach przeprowadzonych w latach 1997–1999 określono zawartość witaminy C, skrobi, białka ogółem oraz sumę aminokwasów egzogennych w bulwach 2 odmian ziemniaka: jadalnej Irgi i przemysłowej Ekry. Interakcję genotypowo-środowiskową dla tych cech oceniono na podstawie efektów głównych (genotypów i lat) oraz specyficznych (interakcyjnych), wykorzystując standardową analizę wariancji dla doświadczeń wielokrotnych i test Tukeya. Obliczono również wariancję stabilności genotypów (s^2_i), charakteryzującą ich zmienność środowiskową oraz współczynnik ekowalencji (W_i), opisujący współdziałanie genotypu ze środowiskiem. Większość analizowanych cech jakości ziemniaka (poza zawartością aminokwasów egzogennych) uwarunkowana była przez odmiany (genotypy). Spośród dwóch badanych genotypów wyższą zawartością witaminy C i skrobi charakteryzowała się odmiana Ekra, natomiast wyższą zawartością białka ogółem odmiana Irga. Cechy jakości bulw modyfikowane były przez środowisko. Istotna była także interakcja genotypowo-środowiskowa, związana z różną reakcją odmian na zmienne warunki środowiska. Analiza tej interakcji nie pozwala na wskazanie bardziej stabilnego genotypu (dla jednych cech bardziej stabilna jest odmiana Irga, a dla drugich Ekra).

Słowa kluczowe: aminokwasy egzogenne, białko, interakcja genotypowo-środowiskowa, skrobia, stabilność genotypu, witamina C, ziemniak

In the studies carried out in 1997–1999, the content of vitamin C, starch and the total protein as well as the exogenous amino acids sum were determined in tubers of two potato varieties: Irga table potato and Ekra industrial potato. The genotype-environment interaction for these characteristics was evaluated based on the main effects (genotypes and years) and specific effects (interaction), with the use of standard variance analysis for multiple experiments and Tukey's test. The variance of the genotypes stability (s^2_i), which characterizes environmental variability of genotypes, was calculated in addition to the ecovalence coefficient (W_i), which describes the interaction of a genotype with the environment. Most of the analysed characteristics of potato quality (except the exogenous amino acids content) were influenced by the varieties (genotypes). As regards the two genotypes under study, a higher content of both vitamin C and starch was found in variety. Ekra, whereas a higher total protein

content was typical of var. Irga. The tuber quality characteristics were modified by the environment. The genotype-environment interaction, relating to the different reaction of varieties on changeable environmental conditions, was also significant. The analysis of this interaction did not allow to select satisfactorily stable genotype (variety Irga is more stable for some characteristics, whereas variety Ekra is more stable for the others).

Key words: exogenous amino acids, genotype-environment interaction, genotype stability, potato, protein, starch, vitamin C

WSTĘP

Istotnym elementem oceny wartości użytkowej ziemniaka jest zawartość składników pokarmowych w bulwach. Na podstawie składu chemicznego bulw przeprowadza się ocenę przydatności materiału hodowlanego na cele konsumpcyjne, przemysłowe lub paszowe. Wysoką jakość ziemniaka, zwłaszcza jadalnego, warunkuje występowanie w nim białka o wysokiej wartości biologicznej. Bulwy ziemniaka są również bogatym źródłem skrobi. Skład chemiczny bulw ziemniaka zależy od odmiany, jednak modyfikowany jest przez warunki klimatyczne okresu wegetacji oraz agrotechnikę (Roztropowicz, 1989; Bombik i Boligłowa, 1994). Wzajemne współdziałanie i zmiany środowiska, tj. warunków klimatycznych (temperatury, opadów, nasłonecznienia) oraz edaficznych (gleby, jej składu mineralnego i wilgotności) mogą być przyczyną różnic jakościowych ziemniaka (Teodorczyk, 1998).

Za zmienność plonu i innych cech ziemniaka odpowiedzialny jest czynnik odmianowy oraz środowisko. Udział genotypu i środowiska jest różny dla poszczególnych cech. Trętowski i wsp. (1989) stwierdzili, że czynnik odmianowy najsilniej determinuje zawartość skrobi w bulwach ziemniaka (ponad 50% zmienności ogólnej dla poszczególnych grup wczesności). W badaniach Bombika i wsp. (1996) wykazano, że interakcja genotypu i środowiska modyfikuje każdą z analizowanych cech ilościowych ziemniaka (od 2,8% zmienności ogólnej dla porażenia bulw rizoktoniozą do 47,6% dla zawartości skrobi).

Znajomość interakcji genotypowo-środowiskowej, rozumianej jako różna jego reakcja na określone czynniki środowiska, stanowi cenną informację o właściwościach samych genotypów, a zwłaszcza ich stabilności. Badanie interakcji genotypowo-środowiskowej wymaga przeprowadzenia serii doświadczeń z genotypami w wielu środowiskach, tj. w latach i, lub miejscowościach, bądź w różnych warunkach technologii uprawowych. Do oceny i interpretacji tej interakcji opracowano wiele metod statystycznych (m.in.: Aastveit i Mejza, 1992; Czajka, 1995; Pietrzykowski i in., 1996). Większość z nich oparta jest na modelach, stanowiących różne rozwinięcia modelu stałego i mieszanego jednozmiennej analizy wariancji dla dwukierunkowej klasyfikacji krzyżowej z interakcją.

Celem pracy jest analiza i interpretacja interakcji genotypowo-środowiskowej dla niektórych cech jakości bulw (m.in. zawartości witaminy C, skrobi oraz białka i jego składu aminokwasowego) dwóch odmian ziemniaka.

MATERIAŁ I METODY

Materiał doświadczalny stanowiły bulwy średnio wczesnych odmian ziemniaka: jadalnej Irga oraz skrobiowej Ekra. Bulwy te pochodziły z doświadczenia Katedry Ogólnej Uprawy Roli i Roślin, przeprowadzonego w Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Zawadach, w latach 1997–1999 na glebie kompleksu żytanego dobrego, klasa bonitacyjna IVb, w układzie split-block, w 4 powtórzeniach.

Ziemniaki sadzono w trzeciej dekadzie kwietnia, co 20 cm w rzędzie. Przedplonem dla ziemniaka w każdym roku było żyto. Corocznie, jesienią pod ziemniaki stosowano obornik w dawce 30 ton na 1 ha. Nawożenie fosforem i potasem stosowano również jesienią, po uprawie poźniwej w dawkach 90 kg P_2O_5 i 140 kg K_2O na 1 ha, a nawożenie azotem wiosną w dwóch zróżnicowanych poziomach: 60 i 120 kg N na 1 ha. Zbiór dokonano w fazie pełnej dojrzałości technicznej bulw ziemniaka. Do analiz chemicznych pobrano z każdego poletka doświadczalnego po trzy 3 kilogramowe próby bulw.

Chcąc dysponować informacjami o zmianach składu chemicznego odmian ziemniaka, jakie mogą zachodzić pod wpływem czynników środowiska i zabiegów agrotechnicznych (m.in. nawożenia lub sposobów uprawy) oznaczono przeciętny skład chemiczny bulw badanych odmian i jego fluktuację powodowaną warunkami atmosferycznymi.

Analiza chemiczna obejmowała oznaczenie zawartości: witaminy C (metodą miareczkową Pijanowskiego), skrobi (ekstrakcja 2n kwasem mrówkowym i 1n wodorotlenkiem sodu, a następnie reakcja barwna z antronem i oznaczenie spektrofotometryczne), białka ogółem (oznaczenie azotu ogólnego metodą Kjeldahla i przemnożenie go przez współczynnik białkowy 6,25) w bulwach ziemniaka oraz sumy aminokwasów egzogennych w białku (przy pomocy analizatora aminokwasów, po uprzedniej kwaśnej hydrolizie 6n kwasem solnym).

Interakcję genotypowo-środowiskową, rozumianą jako reakcję, wrażliwość genotypu, na określone czynniki siedliska (i związaną z tym jego stabilność) oceniono na podstawie efektów głównych (genotypów i lat) oraz specyficznych (interakcyjnych), wykorzystując standardową analizę wariancji dla doświadczeń wielokrotnych i test Tukeya (Trętowski i Wójcik, 1991). Dla opisanych w tej pracy cech, dla których wystąpiła istotna interakcja genotypowo-środowiskowa obliczono również:

— wariancję stabilności genotypów, charakteryzującą zmienność środowiskową *i*-tego genotypu (Shukla, 1972; Pietrzykowski i in., 1996):

$$s_i^2 = \frac{\sum_j (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_{i.})^2}{s-1}$$

— współczynnik ekowalencji, opisujący współdziałanie *i*-tego genotypu ze środowiskami (Wricke, 1965; Pietrzykowski i in., 1996):

$$W_i = \sum_j (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{.j} + \bar{\bar{y}}..),$$

gdzie:

$\bar{y}_{ij}$ jest średnią cechy z n powtórzeń dla i -tego genotypu w j -tym środowisku,

$\bar{y}_{i.}$ jest średnią brzegową z sn obserwacji dla i -tego genotypu (s — liczba środowisk),

$\bar{y}_{.j}$ jest średnią brzegową z gn obserwacji dla j -tego środowiska (g — liczba genotypów),

$\bar{\bar{y}}_{..}$ jest średnią ogólną z sgn obserwacji w serii doświadczeń.

WYNIKI

Poziom witaminy C (tab. 1) modyfikowały zarówno odmiany, jak i lata. Różna była również reakcja odmian w poszczególnych latach. Więcej witaminy C zawierały bulwy odmiany Ekra w porównaniu z Irgą (odpowiednio: 12,45 i 11,65 mg% w św.m.). Najwyższą zawartość tego składnika (średnio dla odmian 14,96 mg% w św.m.) uzyskano w 1999 roku, charakteryzującego się wśród lat, w których prowadzono doświadczenie, najniższą sumą opadów (165,7 mm) i najwyższą średnią temperaturą powietrza (18,0°C) za okres wegetacji ziemniaka, w którym poziom witaminy C w świeżej masie bulw odmiany Irga osiągnął 14,50 mg%, a u odmiany Ekra 15,42 mg%.

Tabela 1

Zawartość witaminy C (w mg% św.m.) u odmian ziemniaka w latach 1997–1999
Vitamin C content (in mg % f.w.) in potato varieties in 1997–1999

Odmiany Varieties	Lata Years			Średnio dla odmian Means for varieties
	1997	1998	1999	
Irga	10,08	10,38	14,50	11,65
Ekra	10,65	11,27	15,42	12,45
Średnio dla lat Means for years	10,36	10,82	14,96	
NIR _{0,05} dla lat		0,32		0,27
LSD _{0,05} for years				
NIR _{0,05} dla odmian				
LSD _{0,05} for varieties				
NIR _{0,05} dla interakcji lata × odmiany				
LSD _{0,05} for years × varieties interaction				0,52

Zawartość skrobi (tab. 2), podobnie jak witaminy C, była istotnie wyższa w bulwach odmiany Ekra w porównaniu z odmianą Irga (odpowiednio: 17,54 i 12,03% w św.m.). Również dla syntezy skrobi najkorzystniejszy układ warunków pogodowych wystąpił w 1999 roku, w którym zawartość skrobi kształtowała się w granicach 12,68% u odmiany Irga i 18,06% w świeżej masie u odmiany Ekra z tym, że u jadalnej Irgi poziom skrobi w latach 1998 i 1999 nie różnił się istotnie.

Wyższą zawartością białka ogółem w bulwach (tab. 3) charakteryzowała się odmiana jadalna Irga (9,11% s.m.) w porównaniu z przemysłową Ekra (7,81% s.m.). Niezależnie od stałych czynników doświadczenia (odmian, a zwłaszcza nawożenia azotem), znaczny wpływ na tę cechę wywarły warunki meteorologiczne w poszczególnych sezonach

wegetacyjnych. Najwyższy poziom białka w bulwach Irgi (10,17% s.m.) i Ekry (9,26% s.m.) uzyskano w 1997 roku, roku o najwyższej sumie opadów (284,5 mm) i przeciętnej temperaturze powietrza (17,4°C) w całym okresie wegetacji ziemniaka.

Tabela 2

Zawartość skrobi (w % św.m.) u odmian ziemniaka w latach 1997–1999
Starch content (in % f.w.) in potato varieties in 1997–1999

Odmiany Varieties	Lata Years			Średnio dla odmian Means for varieties
	1997	1998	1999	
Irga	11,23	12,18	12,68	12,03
Ekra	17,11	17,45	18,06	17,54
Średnio dla lat Means for years	14,17	14,82	15,37	
NIR _{0,05} dla lat	0,33			
LSD _{0,05} for years				
NIR _{0,05} dla odmian				0,28
LSD _{0,05} for varieties				
NIR _{0,05} dla interakcji lata × odmiany				0,54
LSD _{0,05} for years × varieties interaction				

Tabela 3

Zawartość białka ogółem (% s.m.) u odmian ziemniaka w latach 1997–1999
Total protein content (in % d.m.) in potato varieties in 1997–1999

Odmiany Varieties	Lata Years			Średnio dla odmian Means for varieties
	1997	1998	1999	
Irga	10,17	8,36	8,79	9,11
Ekra	9,26	6,90	7,28	7,81
Średnio dla lat Means for years	9,72	7,63	8,04	
NIR _{0,05} dla lat	0,38			
LSD _{0,05} for years				
NIR _{0,05} dla odmian				0,32
LSD _{0,05} for varieties				
NIR _{0,05} dla interakcji lata × odmiany				0,62
LSD _{0,05} for years × varieties interaction				

Skład aminokwasowy białka bulw ziemniaka (tab. 4) podlegał znacznym wahaniom w kolejnych latach badań. Poziom aminokwasów egzogennych w białku bulw ziemniaka odmiany Ekra (średnio 27,81 g/100 g białka) istotnie zależał od warunków pogodowych, natomiast u odmiany Irga (średnio 27,44 g/100 g białka) takiej reakcji nie odnotowano.

Przedstawione w tabeli 5 parametry stabilności wskazują, że w zasadzie dla każdej z badanych cech (poza zawartością skrobi) większa była zmienność środowiskowa odmiany Ekra (genotyp ten dla tych cech charakteryzował się wyższą wariancją stabilności), zwłaszcza dla sumy aminokwasów egzogennych. Współdziałanie genotypów ze środowiskiem było zbliżone (niewielkie różnice między współczynnikami ekowalencji

dla odmian), jednak dla zawartości witaminy C i białka ogółem współdziałanie to było wyższe u odmiany Irga, natomiast dla zawartości skrobi i sumy aminokwasów endogennych u odmiany Ekra.

Tabela 4

Zawartość aminokwasów egzogennych (w g/100 g białka) u odmian ziemniaka w latach 1997–1999
Exogenous amino acids content (in g/100 g of protein) in potato varieties in 1997–1999

Odmiany Varieties	Lata Years			Średnio dla odmian Means for varieties
	1997	1998	1999	
Irga	27,50	26,64	28,18	27,44
Ekra	27,81	30,38	25,25	27,81
Średnio dla lat Means for years	27,66	28,51	26,72	
NIR _{0,05} dla lat	1,37			
LSD _{0,05} for years				
NIR _{0,05} dla odmian				n.i.
LSD _{0,05} for varieties				n.s.
NIR _{0,05} dla interakcji lata × odmiany				2,24
LSD _{0,05} for years × varieties interaction				

Tabela 5

Parametry stabilności dla wybranych cech jakości ziemniaka
Stability parameters for selected potato quality characteristics

Cechy jakości Quality characteristics	Parametry stabilności Stability parameters	Odmiany Varieties	
		Irga	Ekra
Zawartość witaminy C	s_i^2 ¹⁾	6,10	6,73
Vitamin C content	W_i ²⁾	0,0196	0,0182
Zawartość skrobi	s_i^2	0,54	0,23
Starch content	W_i	0,0518	0,0542
Zawartość białka ogółem	s_i^2	0,89	1,61
Total protein content	W_i	0,0564	0,0546
Suma aminokwasów egzogennych	s_i^2	0,60	6,58
Exogenous amino acids sum	W_i	5,5458	5,5795

¹⁾ s_i^2 — Wariancja stabilności genotypu

¹⁾ s_i^2 — The variance of genotype stability

²⁾ W_i — Współczynnik ekowalencji

²⁾ W_i — Ecovalence coefficient

PODSUMOWANIE

W badaniach własnych wykazano, że na cechy jakości bulw ziemniaka znaczący wpływ mają cechy genetyczne odmian oraz środowisko, a zwłaszcza warunki atmosferyczne okresu wegetacji.

Zawartość witaminy C jest dość silną cechą odmianową, uwarunkowaną genetycznie, jednak modyfikowaną przez warunki siedliskowe. W badaniach wykazano, że zawartość

witaminy C w bulwach jest tym większa im większe jest nasłonecznienie i wyższa temperatura powietrza w czasie wegetacji, a tym mniejsza im więcej opadów.

Zawartość skrobi należy również do cech związanych głównie z genotypem, modyfikowanym przez temperaturę i opady w okresie wegetacji ziemniaka. Niskoskrobiowa odmiana jadalna Irga z reguły zawiera mniej tego składnika niż wysokoskrobiowa odmiana przemysłowa Ekra. Małej zmienności koncentracji skrobi u odmiany Ekra można dopatrywać się w silnym jej uwarunkowaniu genetycznym u tej odmiany. Kumulacji skrobi w bulwach u obydwu odmian sprzyjało ciepłe lato o małej ilości opadów.

Badane odmiany charakteryzowały się zróżnicowaną, uwarunkowaną genetycznie, predyspozycją do gromadzenia białka w bulwach, jednak jak większość cech jakościowych, cecha ta również modyfikowana jest przez czynniki siedliska. Wyższa zawartość białka w bulwach odmiany jadalnej Irga sugeruje, że na zawartość tego składnika duży wpływ mają cechy genetyczne, co jest zgodne z dostępnym piśmiennictwem, według którego odmiany charakteryzujące się wyższą zawartością skrobi w bulwach gromadzą na ogół mniej białka.

Z żywieniowego punktu widzenia istotna jest nie tylko ilość białka w bulwach ziemniaka, ale także jego wartość odżywcza, którą warunkuje odpowiednio zrównoważony skład aminokwasów, przede wszystkim aminokwasów egzogennych. Spośród badanych odmian jadalna Irga była bardziej odporna na zmienne warunki środowiskowe niż przemysłowa Ekra, u której w roku o chłodnym lecie i małej ilości opadów suma aminokwasów egzogennych w białku była wyższa w porównaniu z jej zawartością w sezonie wegetacyjnym o ciepłym lecie.

Badane odmiany indywidualnie reagowały na zmienne warunki środowiska. Można powiedzieć o różnej stabilności tych odmian, jako wyniku większej lub mniejszej podatności na zmiany swoich cech przy oddziaływaniu na nie różnych środowisk. Interakcja genotypu ze środowiskiem dla cech o znaczeniu technologicznym powinna być jak najmniej (stabilność typu biologicznego). Cechy te winny utrzymywać się na stałym poziomie, niezależnie od warunków siedliska, w odróżnieniu od cech związanych z plonowaniem roślin, gdzie stabilność biologiczna byłaby niepożądana, ponieważ poprawa warunków agrotechnicznych nie miałaby wpływu na plonowanie roślin.

WNIOSKI

1. Na większość analizowanych cech jakości ziemniaka (poza zawartością aminokwasów egzogennych) miały wpływ odmiany (genotypy). Spośród badanych genotypów wyższą zawartością witaminy C i skrobi charakteryzowała się odmiana przemysłowa Ekra, natomiast wyższą zawartością białka ogółem odmiana jadalna Irga.
2. Cechy jakości bulw u badanych odmian ziemniaka modyfikowane były przez środowisko. Istotna była również dla tych cech interakcja genotypowo-środowiskowa, związana z niejednakową reakcją odmian na zmienne warunki środowiska. Analiza tej interakcji nie pozwala na wskazanie bardziej stabilnego genotypu (dla jednych cech bardziej stabilną jest odmiana Irga, dla drugich Ekra).

3. Poznanie reakcji odmian na warunki środowiska umożliwia ukierunkowanie prac hodowlanych, warunkujących stabilne z punktu widzenia biologicznego cechy jakości bulw. Umożliwi to również wybór takich genotypów, które są najlepsze pod względem określonych cech w badanych środowiskach (miejscowościach lub latach), a ocenę współdziałania genotypu ze środowiskiem należy uwzględniać w opracowaniach zaleceń agrotechnicznych do nowo wprowadzanych do uprawy odmian.

LITERATURA

- Aastveit A. H., Mejza S. 1992. A selected bibliography on statistical methods for the analysis of genotype $\times$ environment interaction. *Biul. Oceny Odmian*, 24–25: 83 — 87.
- Bombik A., Boligłowa E. 1994. Zmienność cech jakości ziemniaka jadalnego spowodowana nawożeniem dolistnym. *Fragm. Agronom.* 2 (42): 52 — 57.
- Bombik A., Starczewski J., Skrzyczyński T. 1996. Ocena odmianowej i spowodowanej zmianowaniem zmienności plonu bulw i innych cech ziemniaka. *Biul. IHAR* 200: 393 — 397.
- Czajka S. 1995. Metody analizy doświadczeń wielokrotnych i wieloletnich zakładanych w układach o blokach niekompletnych. *Biometrical Letters*, 32: 101 — 129.
- 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.
- Roztropowicz S. 1989. Środowiskowe, odmianowe i nawozowe źródła zmienności składu chemicznego bulw ziemniaka. *Fragm. Agronom.* 1 (21): 33 — 76.
- Shukla G. K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity* 29: 237 — 245.
- Teodorczyk A. 1998. Charakterystyka niektórych cech kulinarnych ziemniaka jadalnego w świetle literatury. *Biul. Inst. Ziemn.* 28: 35 — 53.
- Trętowski J., Boligłowa E., Bombik A. 1989. Zmienność plonu i zawartość skrobi u odmian ziemniaka różnych grup wczesności. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 382: 69 — 77.
- Trętowski J., Wójcik A. R. 1991. *Metodyka doświadczeń rolniczych*. WSRP, Siedlce.
- Wricke G. 1965. Die Erfassung der Wechselwirkung zwischen Genotyp und Umwelt bei quantitativen Eigenschaften. *Z. Pflanzenzüchtung*, 53: 266 — 343.