

ANALIZA INTERAKCJI GENOTYP-ŚRODOWISKO POD WZGLĘDEM  
UDZIAŁU BULW ZDEFORMOWANYCH W PŁONIE ZIEMNIAKA  
(*SOLANUM TUBEROSUM* L.) W ZMIENNYCH WARUNKACH  
METEOROLOGICZNYCH\*

Joanna Jankowska<sup>1</sup>, Milena Pietraszko<sup>1</sup>, Anna Wierzbicka<sup>1</sup>, Magdalena Grudzińska<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Zakład Agronomii Ziemiaka

<sup>2</sup>Zakład Przechowalnictwa i Przetwórstwa Ziemiaka

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy

Oddział w Jadwisinie, ul. Szaniawskiego 15, 05-140 Jadwisin

e-mail: j.jankowska@edu.pl

**Streszczenie.** W badaniach wykorzystano wyniki oceny odmian ziemniaka dotyczące udziału bulw zdeformowanych, uzyskane w doświadczeniach odmianowych w Zakładzie Agronomii Ziemiaka Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin-PIB, Oddział w Jadwisinie. Celem badań była ocena interakcji genotypowo-środowiskowej dotycząca deformacji bulw ziemniaka. Analizę wykonano za pomocą programu SERGEN 4. W badaniach wykorzystano 21 odmian ziemniaka uprawianych przez pięć lat na glebie lekkiej. Jako środowiska do analizy uwzględniono poszczególne lata badań (warunki klimatyczne: opad + temperatura powietrza). Na podstawie analizy genotypowo-środowiskowej wydzielono odmiany stabilne w zmieniających się warunkach środowiska oraz odmiany niestabilne. Przeprowadzono ocenę wpływu poszczególnych lat na uprawę wybranych odmian ziemniaka. Stwierdzono, że środowisko w dużym stopniu modyfikuje udział deformacji bulw w plonie.

**Słowa kluczowe:** interakcja genotyp-środowisko, stabilność, deformacje bulw, ziemniak, warunki meteorologiczne

## WSTĘP

Odmiany ziemniaka uprawiane w Polsce są mało poznane pod względem interakcji cech struktury plonu ze środowiskiem. W literaturze najczęściej można

---

\*Prezentowana publikacja zawiera wyniki badań przeprowadzonych na potrzeby pracy doktorskiej pt: Analiza zmienności oraz ocena stabilności plonu i wybranych cech bulw odmian ziemniaka uprawianych w różnych warunkach glebowo-klimatycznych.

spotkać prace na temat interakcji ze środowiskiem i oceny ich stabilności dotyczące plonu (Oleksiak i Mańkowski 2003, Jankowska i in. 2015) oraz odporności na *Phytophthora infestans* odmian ziemniaka (Tatarowska i in. 2003, Tatarowska i in. 2014). Wykonanie takiej analizy wymaga co najmniej 3 lat badań. Wówczas można zaobserwować reakcje poszczególnych odmian na zmiany warunków klimatycznych występujące podczas realizacji badań. Reakcja fenotypowa roślin na zmianę środowiska nie jest jednakowa dla wszystkich genotypów. Interakcja genotypowo-środowiskowa pozwala na poznanie reakcji cechy pod wpływem różnych środowisk (Freeman 1985). Dodatkowo można wytypować odmiany wykazujące tendencję do utrzymania stałej wartości cechy niezależnie od warunków środowiska (stabilność statyczna – biologiczna) lub odmiany, których wartość badanej cechy zmienia się proporcjonalnie wraz ze zmianami warunków środowiskowych do średniej środowiskowej wartości tej cechy (stabilność dynamiczna – rolnicza) (Becker i Leon 1988, Mądry i Rajfura 2003). Wyniki analizy mogą być przydatne podczas rekomendacji odmian dla praktyki rolniczej oraz mogą być wykorzystane w pracach hodowlanych.

Najczęściej w analizach interakcji genotyp-środowisko, środowisko rozumiane jest jako współdziałanie czynników: miejsce uprawy x rok. W niniejszej pracy analizowano wyniki doświadczenia prowadzonego w kilku latach w jednej miejscowości – Jadwisinie. Zatem za zmienne środowisko przyjęto kolejne lata badań (2006-2010), które różniły się warunkami meteorologicznymi: sumą opadu oraz temperaturą powietrza.

Celem badań była analiza wyników interakcji genotyp-środowisko dotycząca deformacji bulw 21 odmian ziemniaka uprawianych w zmiennych warunkach środowiskowych na glebie lekkiej piaszczystej w centralnej Polsce.

#### MATERIAŁY I METODY

W badaniach wykorzystano dane dotyczące udziału bulw zdeformowanych w plonie z doświadczeń odmianowych. Analizie poddano wyniki oceny odmian różnej wczesności, zebrane w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin-PIB, Oddział w Jadwisinie w latach 2006-2010. Doświadczenia polowe realizowano na glebie lekkiej, wytworzonej z piasków gliniastych. Ziemniaki uprawiano w 4-letnim zmianowaniu, po zbożach. Nawożenie organiczne stanowiła przyorana po żniwach podorywką słoma pszenna z dodatkiem azotu mineralnego oraz przyorywana jesienią orką przedzimową zielona masa poplonu ścierniskowego z gorczycy białej. Nawożenie mineralne fosforem i potasem stosowano w oparciu o zasobność gleby w przyswajalne formy tych składników – próby do oceny pobierano bezpośrednio po zbiorze przedplonu według normy: PN-R-04-028:1997. Każdego roku jesienią przed wykonaniem orki przedzimowej stosowano 17,5 kg·ha<sup>-1</sup> P i 99,6 kg·ha<sup>-1</sup> K. Wiosną

przed sadzeniem bulw stosowano zespół uprawek wiosennych wraz z uzupełniającym wysiewem nawożenia mineralnego azotem do dawki  $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ .

W kolejnych latach doświadczeń ziemniaki uprawiano w technologii standardowej z zachowaniem zbliżonego poziomu zabiegów agrotechnicznych. Chwasty niszczone mechanicznie do wschodów roślin, bezpośrednio przed wschodami i po wschodach, stosowano od 1 do 3 zabiegów chemicznych. W okresie wegetacji 1-4 razy wykonano zabiegi zwalczające stonkę ziemniaczaną oraz 1-5 zabiegów przeciwko zarazie ziemniaka według zaleceń Instytutu Ochrony Roślin – Państwowego Instytutu Badawczego.

Do zakładania doświadczeń używano materiał kwalifikowany dostarczany przez Centralny Ośrodek Badań Odmian Roślin Uprawnych w Słupi Wielkiej. Sadzeniaki odmian o krótszym okresie wegetacji (bardzo wczesne i wczesne) podkiełkowały przez okres 4-6 tygodni przed sadzeniem. Ziemniaki sadzono ręcznie, corocznie zachowano stały termin sadzenia – III dekada kwietnia. Zbiory przeprowadzono po uzyskaniu pełni dojrzałości roślin danej grupy wczesności. Podczas ich trwania pobierano próby o masie ok. 7-8 kg z każdego powtórzenia połowego do oceny cech jakości bulw. Próby oceniano ok. 2 tyg. po zbiorach. W ocenie występowania wad kształtu nie uwzględniano bulw o średnicy poniżej 35 mm, zgodnie z metodyką opracowaną w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin (Roztropowicz 1999).

**Tabela 1.** Warunki meteorologiczne w okresie od maja do września w latach 2006-2010

**Table 1.** Meteorological conditions in months from May to September in the years 2006-2010

Rok Year	Miesiące / Months						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
Średnia temperatura powietrza / Average of air temperature (°C)							
2006	7,7	12,8	15,2	22,0	17,0	14,8	14,9
2007	7,8	13,1	17,7	17,6	17,8	10,8	13,8
2008	7,4	13,6	17,1	18,1	17,6	11,6	14,2
2009	9,7	12,3	17,3	21,3	17,3	14,2	15,4
2010	8,1	12,4	16,5	20,0	18,2	11,1	14,4
Suma opadów / Total rainfall (mm)							
2006	38,0	50,4	50,9	9,2	156,1	11,5	316,1
2007	16,3	78,4	109,6	54,1	74,3	103,7	436,4
2008	29,3	62,9	43,5	68,8	80,9	48,8	334,2
2009	0	80,8	72,4	85,6	83,1	18,8	340,7
2010	9,7	166,8	64,0	96,7	105,3	71,3	513,8
Współczynnik Sielianinowa / Sielianinow coefficient							
2006	1,65	1,26	1,75	0,13	2,95	0,26	1,33
2007	0,69	1,93	2,32	0,99	1,34	3,2	1,75
2008	1,37	1,64	0,84	1,22	1,48	1,4	1,33
2009	0	2,12	1,38	1,28	1,54	0,44	1,13
2010	0,39	4,34	1,29	1,55	2,22	2,14	1,99

Obserwacje meteorologiczne pochodziły z miejscowego Punktu Meteorologicznego zlokalizowanego na terenie IHAR-PIB, Oddział w Jadwisinie. Wykorzystane w badaniach dane meteorologiczne zestawiono w tabeli 1. Współczynnik Sielianinowa wyliczono z sumy opadów i temperatury na podstawie wzoru Molgi (Molga 1986):

$$K = \frac{P \cdot 10}{\Sigma t} \quad (1)$$

gdzie: K – współczynnik Sielianinowa; P – suma opadów w dekadzie;  $\Sigma t$  – suma średnich dekadowych temperatur powietrza.

Spośród 89 odmian ziemniaka do analizy interakcji wytypowano 21 (tab. 2), które występowały we wszystkich latach badań w jednym miejscu uprawy. Analizę interakcji genotyp x środowisko przeprowadzono za pomocą programu Sergen 4 (Caliński in. 2003). Środowiska były reprezentowane przez układ warunków klimatycznych w poszczególnych latach badań: 2006, 2007, 2008, 2009, 2010. Analizowano reakcję odmian (genotypów) ziemniaka na zmieniające się warunki w pięciu latach badań (środowiskach).

**Tabela 2.** Udział bulw zdeformowanych w latach 2006-2010 (%)

**Table 2.** The share of tuber deformations in the years 2006-2010 (%)

Odmiana Cultivar	2006	2007	2008	2009	2010	Średnia Mean
Denar	10,4	18,5	9,9	13,8	10,5	12,6
Lord	2,7	7,2	3,5	12,7	9,5	7,1
Korona	6,7	6,6	4,5	8,6	7,9	6,9
Owacja	6,5	18,0	6,4	12,8	16,5	12,0
Vineta	2,5	2,4	4,7	9,4	7,2	5,2
Adam	16,1	17,0	20,6	13,9	20,0	17,5
Bartek	3,8	8,0	24,1	19,2	27,6	16,5
Cekin	10,7	3,4	5,0	10,7	9,5	7,9
Elanda	32,0	18,4	9,7	4,6	8,0	14,5
Głada	35,1	8,6	12,8	9,6	20,3	17,3
Pasat	17,3	8,6	6,4	6,5	17,6	11,3
Roxana	13,6	13,7	11,6	20,0	18,4	15,5
Satina	9,6	8,8	9,5	24,1	10,8	12,6
Tajfun	9,3	3,6	5,4	6,3	9,1	6,7
Hinga	11,0	8,2	9,3	8,4	13,9	10,2
Inwestor	10,3	4,7	4,5	13,0	6,3	7,8
Pokusa	16,5	3,8	9,1	12,6	13,7	11,1
Rudawa	18,0	6,6	7,1	9,2	10,7	10,3
Syrena	23,8	5,1	8,0	15,2	13,0	13,0
Ślęza	9,5	4,9	6,9	8,8	10,2	8,1
Zeus	15,4	3,1	4,8	12,2	11,6	9,4
Średnia / Mean	13,4	8,5	8,8	12,0	13,0	x

## WYNIKI I DYSKUSJA

Badane odmiany wykazały zróżnicowanie pod względem udziału bulw zdeformowanych (tab. 2). Najniższy średni udział bulw z wadami kształtu notowano u odmiany wczesnej Vineta (5,2%), największy u odmiany średnio wczesnej Adam (17,5%) w 5-letnim okresie badań. W badaniach stwierdzono zróżnicowanie odmianowe dotyczące wad zewnętrznych bulw, co potwierdzają badania wielu autorów (Jakubowski 2012, Lutomirska i Jankowska 2012, Lutomirska i in. 2013, Zarzecka i in. 2014).

W przeprowadzonych doświadczeniach najniższy średni udział bulw o wadliwym kształcie uzyskano w latach 2007 i 2008 (tab. 2). Wyniki wstępnej analizy wskazują, iż w 2006 roku notowano największe zróżnicowanie pomiędzy odmianami. Świadczy o tym wartość F na poziomie istotności  $p = 0,01$  (tab. 3). Można stwierdzić, że warunki, jakie panowały w poszczególnych latach badań, zadecydowały o niskim lub wysokim udziale bulw zdeformowanych w plonie.

**Tabela 3.** Wyniki wstępnej analizy wariancji – wpływ lat badań na udział bulw zdeformowanych w plonie

**Table 3.** Results of preliminary analysis of variance – impact of years of research on share of deformed tubers in yield

Środowisko Environment	Genotyp / Genotype		Błąd / Error		Wartość F F value
	Stopnie swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat Mean squares	Stopnie swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat Mean squares	
2006	20	221,0	42	37,6	5,88**
2007	20	86,3	42	39,6	2,18*
2008	20	81,4	42	22,5	3,62**
2009	20	68,6	42	35,6	1,93*
2010	20	86,1	42	44,9	1,92*

\* istotne na poziomie  $p = 0,05$  / significant at the level of  $p = 0,05$ ; \*\* istotne na poziomie  $p = 0,01$  / significant at the level of  $p = 0,01$

Wyniki ogólnej analizy wariancji i średnie kwadraty przedstawiono w tabeli 4. Wykazano istotne różnice efektów głównych dla środowiska oraz interakcji genotyp x środowisko. Sumy kwadratów interakcji genotyp x środowisko podzielono na regresję efektów interakcyjnych względem środowiska i odchylenie od regresji. Odrzucono hipotezę o braku istotnych odchyleń od regresji efektów interakcyjnych względem środowiska. Stwierdzono, że udział bulw z wadami był różny, jako odpowiedź na zróżnicowane warunki klimatyczne w poszczególnych latach badań. O wpływie warunków badań na występowanie wad świadczą wcześniejsze badania autorki (Lutomirska i Jankowska 2012).

**Tabela 4.** Ogólna analiza wariancji występowania bulw zdeformowanych w plonie 21 odmian ziemniaka  
**Table 4.** General analysis of variance for occurrence of tuber deformations in the yield of 21 potato cultivars

Źródło zmienności Source of variation	Liczba stopni swobody Degrees of freedom	Suma kwadratów Sum of squares	Średni kwadrat Mean square	Wartość F F value
Środowisko Environment	4	451,84	112,96	9,41*
Genotyp Genotype	20	1356,34	67,82	
Interakcja genotyp x środowisko Genotype x environment interaction	80	2265,34	28,32	2,36*
Regresja względem środowiska Regression on environment	20	449,19	22,46	
Odchylenie od regresji Deviation from regression	60	1816,43	30,27	2,52*
Błąd doświadczeń Experimental error	210		12,01	

\* istotne na poziomie  $p = 0,01$  / significant at the level of  $p = 0.01$

Wyniki analizy interakcji genotyp-środowisko badanych odmian ziemniaka przedstawiono w tabeli 5. Stwierdzono, że spośród ocenianych odmian siedem charakteryzowało się istotnym efektem głównym: Korona, Vineta, Adam, Cekin, Roxana, Tajfun i Ślęza. Pozytywny efekt uzyskano u dwóch odmian: Adam i Roksana – oznacza to, iż wydały one więcej bulw o niepożądanym kształcie niż pozostałe. U odmian: Korona, Vineta, Cekin, Tajfun i Ślęza – wystąpił efekt negatywny, a udział bulw zdeformowanych w ich plonie był niższy niż średnia wszystkich analizowanych odmian.

Istotną interakcję ze środowiskiem wykazały odmiany: Denar, Owacja, Bartek, Elanda, Glada, Satina, Syrena i określono je jako niestabilne. Pozostałe odmiany uznano za stabilne w sensie rolniczym (Caliński 1967, Mądry i in. 2010). Analizy regresji interakcji wykazują brak istotności oraz istotne odchylenia od regresji interakcyjnej dla odmian: Owacja, Bartek, Elanda, Glada, Satina. Świadczy to o nieliniowym charakterze interakcji genotypów ze środowiskiem.

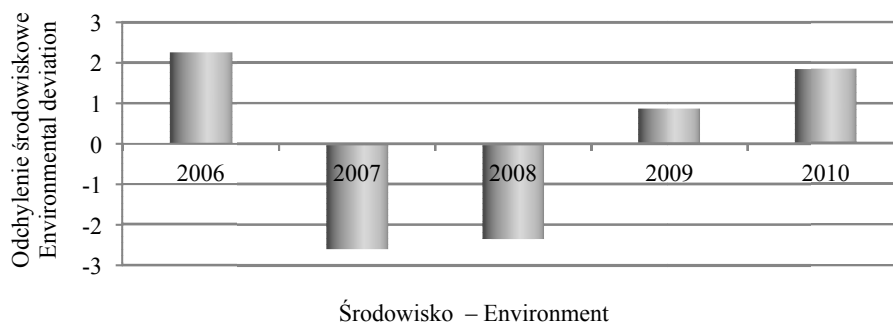
Średnio późną odmianę Zeus można zaliczyć do genotypów stabilnych intensywnych – wykazała istotną regresję interakcyjną i dodatni współczynnik regresji oraz większe wartości badanej cechy w sprzyjających powstawaniu deformacji środowiskach (Becker i Leon 1988, Mądry i Rajfura 2003). Jednak istotne odchylenie od regresji może świadczyć o jej nieliniowej reakcji na zmieniające się warunki środowiska (tab. 5). Świadczy o tym dodatni współczynnik regresji (1,19) oraz wysoki współczynnik determinacji  $R^2 = 82,87\%$ .

**Tabela 5.** Analiza interakcji genotyp-środowisko bulw zdeformowanych  
**Table 5.** Analysis of genotype-environment interaction of deformed tubers

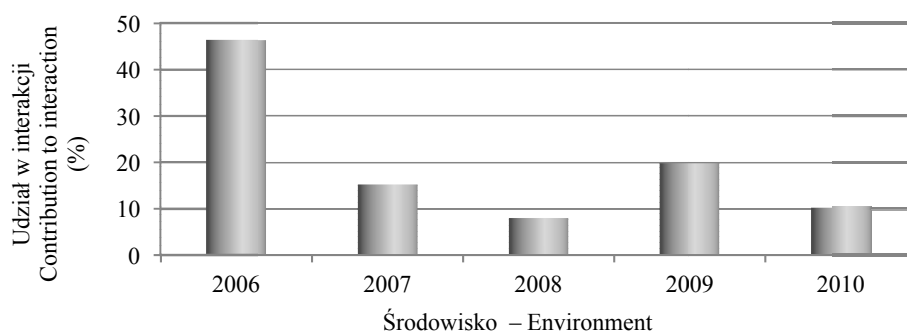
Genotyp Genotype	Ocena efektu głównego Estimate of main effect	Wartość staty- styki F dla efektu główne- go F-statistic for main effect	Statystyka F dla interakcji $G^1 \times E^2$ F statistic for interaction $G^1 \times E^2$	Statystyka F dla regresji interakcji F statistic for regression interaction	Statystyka F dla odchyień od regresji F-statistic for deviations from regression
Denar	1,50	0,42	2,36*	5,03	1,17
Lord	-3,99	4,23	1,64		
Korona	-4,26	29,17**	0,27		
Owacja	0,93	0,11	3,31**	0,87	3,42*
Vineta	-5,87	17,61*	0,85		
Adam	6,41	12,18*	1,47		
Bartek	5,44	1,33	9,76**	0,18	12,29**
Cekin	-3,27	26,81**	0,17		
Elanda	3,41	0,50	10,18**	0,00	13,57**
Głada	6,16	2,12	7,81**	1,49	6,96**
Pasat	0,13	0,00	1,59		
Roxana	4,33	10,72*	0,76		
Satina	1,42	0,26	3,4**	0,02	4,51**
Tajfun	-4,38	112,07**	0,07		
Hinga	-0,95	1,21	0,32		
Inwestor	-3,37	7,31	0,68		
Pokusa	0,03	0,00	0,72		
Rudawa	-0,80	0,34	0,83		
Syrena	1,90	0,64	2,46*	3,75	1,46
Śleza	-3,07	68,73**	0,06		
Zeus	-1,71	1,58	0,80	14,51*	0,18

<sup>1</sup> odmiana / cultivar; <sup>2</sup> środowisko → opad + temperatura powietrza / environment → rainfall + air temperature; \* istotne na poziomie  $p = 0,05$  / significant at the level of  $p = 0,05$ ; \*\* istotne na poziomie  $p = 0,01$  / significant at the level of  $p = 0,01$

Lata badań różnicowały udział bulw z wadami w plonie. Lata 2007 i 2008 charakteryzowały się niskim udziałem w plonie bulw zdeformowanych i wynosiły od 8,5 do 8,8% (tab. 2). Jednostajne warunki atmosferyczne panujące w omawianych sezonach wegetacyjnych (brak okresowego występowania suszy lub nadmiaru opadów) znacznie ograniczyły udział takich bulw – w omawianych latach notowano ujemne odchylenie środowiskowe odpowiednio: -2,6 i -2,4 (rys. 1, tab. 1). Niestety, lata o takim układzie czynników meteorologicznych w naszym klimacie występują znacznie rzadziej niż lata determinujące występowanie deformacji bulw. Dodatnie odchylenia środowiskowe – wysoki udział bulw z wadami w plonie (%), notowano w latach 2006, 2009, 2010 (tab. 5). Największy wpływ na powstawanie omawianego defektu bulw miały warunki środowiskowe roku 2006 – udział w interakcji 46,5% (rys. 2).



**Rys. 1.** Odchylenia środowiskowe dla lat w analizie stabilności bulw zdeformowanych odmian ziemniaka  
**Fig. 1.** Environmental deviations for the years in stability analysis of deformed tubers of potato cultivars



**Rys. 2.** Znaczenie środowiska w interakcji genotyp-środowisko  
**Fig. 2.** Contribution of the environment to the genotype-environment interaction

W tym okresie wegetacyjnym odnotowano suszę i okresowe zalanie pola (tab. 1), notowano większe zróżnicowanie występowania udziału bulw zdeformowanych w plonie niż w innych latach (tab. 2 i 3), a występowanie bulw z wadami kształtu było dużo większe niż w latach 2007 i 2008. Tym samym potwierdzona została zależność wykazana przez wielu autorów, że stres związany ze zmiennymi warunkami hydrotermicznymi powoduje u roślin ziemniaka pogorszenie jakości plonu przez wydawanie bulw o nieprawidłowym kształcie (Levy i Veilleux 2007, Lutomirska i Jankowska 2012, Rykaczewska 2013). W przeprowadzonych badaniach potwierdzono, iż głównymi czynnikami różnicującymi udział bulw zdeformowanych w polonie odmian ziemniaka były nierównomierne rozkłady sumy opadów i temperatura powietrza (tab. 1). Niedobór lub nadmiar wody w glebie w krytycznych fazach rozwoju rośliny ziemniaka oddziaływały na wielkość analizowanej



cechy. Według Jabłońskiego (2012), Krzysztofik i Nawary (2003) oraz Van Loona (1981) na ograniczenie występowania deformacji bulw mają wpływ niektóre zabiegi agrotechniczne.

W badaniach przeprowadzonych w IHAR-PIB w Jadwisinie na glebie lekkiej wykazano 14 odmian stabilnych co do skłonności wydawania bulw z wadami kształtu. Istotna interakcja genotypowo-środowiskowa siedmiu odmian: Denar, Owacja, Bartek, Elanda, Głada, Satina i Syrena wykazuje niejednakową reakcję badanych odmian na zróżnicowane warunki meteorologiczne. Uzyskane przez autorów wyniki potwierdzają badania prowadzone przez Flisa i in. (2014). Zróżnicowana reakcja odmian na warunki środowiska oraz duża rotacja odmian w Krajowym Rejestrze Odmian (Nowacki i in. 2015) wskazują na konieczność badania nowych odmian pod kątem ich interakcji ze środowiskiem i stabilności cech. Warto wspomnieć, iż czynnik odmianowy jest jednym z istotniejszych elementów decydujących o jakości bulw.

#### WNIOSKI

1. Analiza interakcji genotyp-środowisko z zastosowaniem programu SERGEN 4 dostarcza dużo cennych informacji o stabilności odmian ziemniaka pod względem wydawania bulw zdeformowanych w plonie.
2. Zmienne warunki środowiskowe reprezentowane przez sumę opadu oraz temperaturę powietrza zarówno determinują, jak i ograniczają udział deformacji bulw w plonie odmian ziemniaka.
3. Wobec wzrastających wymagań konsumentów i producentów w pracach hodowli ziemniaka ważne jest zwrócenie uwagi na ograniczenie skłonności genotypów do tworzenia bulw zdeformowanych w wyniku występowania stresu abiotycznego.

#### PIŚMIENNICTWO

- Becker H.C., Leon J., 1988. Stability Analysis in Plant Breeding. *Plant Breed.*, 101, 1-23.
- Caliński T., 1967. Model analizy wariancji dla doświadczeń wielokrotnych. *Rocz. Nauk Rol. Seria A*, 93, 549-579.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P., 2003. Podręcznik użytkownika programu Ser-gen 4. IGR PAN, Poznań, 1-65.
- 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. *Am. J. Potato Res.* 91, 404-413.
- Freeman G.H., 1985. The analysis and interpretation of interactions. *J. Appl. Stat.*, 12, 3-10.
- Jabłoński K., 2012. Jak nawadniać ziemniaki? <http://kpodr.pl/index.php/component/content/article/38-okopowe/1320-jak-nawadnia-ziemniaki>
- Jakubowski T., 2012. Assessment of potato tuber parenchyma of seed-potatoes irradiated with microwaves. *Agric. Eng.*, 4, 25-33.

- Jankowska J., Pietraszko M., Lutomirska B., 2015. Analiza stabilności plonowania wybranych odmian ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.) na glebie lekkiej. *Fragm. Agron.*, 32, 32-43.
- Krzysztofik B., Nawara P., 2003. Zmiany właściwości bulw ziemniaka wynikające z czynników agrotechnicznych. *Acta Agroph.*, 2, 777-786.
- Levy D., Veilleux R.E., 2007. Adaptation of potato to high temperatures and salinity-a review. *Am. J. Potato Res.*, 84, 487-506.
- Lutomirska B., Jankowska J., 2012. Występowanie deformacji i spękań bulw ziemniaka w zależności od warunków meteorologicznych i odmiany. *Biul. IHAR*, 266, 131-142.
- Lutomirska B., Szutkowska M., Nowacki W., Pietraszko M., Jankowska J., 2013. Występowanie wad kształtu bulw w plonie odmian i zaawansowanych materiałów hodowlanych ziemniaka. *Biul. IHAR*, 267, 121-130.
- Mądry W., Mańkowski D.R., Kaczmarek Z., Krajewski P., Studnicki M., 2010. Metody statystyczne oparte na modelach liniowych w zastosowaniach do doświadczalnictwa, genetyki i hodowli roślin. *Biul. IHAR* 34, 13-163.
- Mądry W., Rajfura A., 2003. Analiza statystyczna miar stabilności na podstawie danych w klasyfikacji genotypy x środowiska. Część I. Model mieszany Scheffego-Calińskiego i model regresji łącznej. *Colloq. Biom.*, 33, 181-205.
- Molga M., 1986. Podstawy klimatologii rolniczej. PWRL, Warszawa.
- Nowacki W., Boguszevska-Mańkowska D., Czerko Z., Goliszewski W., Grudzińska M., Jankowska J., Pietraszko M., Trawczyński C., Wierzbicka A., Zarzyńska K., Michalak T., 2015. Charakterystyka Krajowego Rejestru Odmian Ziemniaka. IHAR-PIB, Oddział Jadwisin XVIII, 1-36.
- Oleksiak T., Mańkowski D.R., 2003. Ocena stabilności plonowania wybranych odmian pszenicy ozimej na podstawie wyników badań ankietowych z lat 1990-2001. *Biul. IHAR*, 22, 4-10.
- Roztropowicz S., 1999. Metodyka obserwacji, pomiarów i pobierania prób w agrotechnicznych doświadczeniach z ziemniakiem. IHAR-PIB, Oddział Jadwisin, 1-50.
- Rykaczewska K., 2013. The impact of high temperature during growing season on potato cultivars with different response to environmental stresses. *Am. J. Plant Sci.*, 4, 2386-2393.
- Tatarowska B., Flis B., Zimnoch-Guzowska E., 2014. Stabilność reakcji odpornościowej odmian ziemniaka na *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary w testach laboratoryjnych. *Biul. IHAR*, 271, 91-107.
- Tatarowska B., Flis B., Zimnoch-Guzowska E., 2003. Ocena stabilności odporności na *Phytophthora infestans* u odmian ziemniaka. *Biul. IHAR*, 228, 291-304.
- Van Loon C.D., 1981. The effect of water stress on potato growth, development and yield. *Am. Potato J.* *Am. Potato J.*, 58, 51-69.
- Zarzecka K., Gugala M., Dołęga H., Sikorska A., 2014. Występowanie wad bulw w plonie ziemniaka po zastosowaniu użyźniacza glebowego UGmax. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska Lub. – Pol.*, XIX, 70-80.

ANALYSIS OF GENOTYPE-ENVIRONMENT INTERACTION IN TERMS  
OF THE SHARE OF DEFORMED TUBERS IN YIELD OF POTATO  
(*SOLANUM TUBEROSUM* L.) IN VARYING METEOROLOGICAL  
CONDITIONS

*Joanna Jankowska*<sup>1</sup>, *Milena Pietraszko*<sup>1</sup>, *Anna Wierzbicka*<sup>1</sup>, *Magdalena Grudzińska*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Potato Agronomy

<sup>2</sup>Department of Potato Storage and Processing

Plant Breeding and Acclimatization Institute – National Research Institute

Research Division Jadwisin, ul. Szaniawskiego 15, 05-140 Jadwisin

e-mail: j.jankowska@edu.pl

**Abstract.** The study was conducted with the use of data regarding the evaluation of potato tuber deformations, collected during varietal experiments at the Potato Agronomy Department, Plant Breeding and Acclimatization Institute - National Research Institute, Division in Jadwisin, Poland. The purpose of the study was the estimation of tuber deformations in the genotype x environment interaction. The analysis was performed using the SERGEN 4 software. The study included 21 potato cultivars, cultivated for a period of five years on a light soil. Particular years of the investigations were taken as different environments (weather conditions → rainfall + air temperature). Among the cultivars tested in variable environmental conditions, stable and unstable cultivars were identified. Moreover, an estimation of the influence of the particular years on the cultivation of the chosen potato cultivars was performed. It was found, the environment profoundly modifies the share of tuber deformation in the yield.

**Key words:** genotype-environment interaction, stability, tuber deformations, potato, weather conditions