



Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy Radzików,
Oddział w Jadwisinie, Zakład Agronomii Ziemiaka, ul. Szaniawskiego 15, 05-140 Jadwisin, Polska
e-mail: c.trawczynski@ihar.edu.pl

CEZARY TRAWCZYŃSKI

Ocena stabilności plonowania ziemniaka w uprawie ekologicznej

Assessment of potato yield stability in an organic cultivation

Abstrakt. Celem badań przeprowadzonych w latach 2021–2023 w sześciu lokalizacjach (Jadwisin, Krzyżewo, Lućmierz, Osiny, Tarnów, Węgrzce) w warunkach certyfikowanych ekologicznych pól doświadczalnych na dziesięciu odmianach jadalnych ziemniaka (bardzo wczesne: Pogoria, Surmia, Tonacja, wczesne: Arizona, Lilly, średnio wczesne: Connect, Irmina, Mariola, Red Lady, Soraya) była ocena stabilności plonu bulw i struktury wybranych odmian ziemniaka. Po zbiorze końcowym oceniono plon bulw oraz jego strukturę (udział bulw małych o średnicy poniżej 35 mm, bulw średnich o średnicy od 36 mm do 60 mm i bulw dużych o średnicy powyżej 60 mm). Wyniki opracowano na podstawie analizy wariancji z wykorzystaniem modelu AMMI, oceniając istotność zróżnicowania badanych czynników oraz ich udział w zmienności całkowitej. Następnie określono stopień szerokiej adaptacji odmian w stosunku do zróżnicowanych warunków środowiska na podstawie trzech miar (miara nadrzędności plonowania – P_i , miara niezawodności przewagi plonowania – R_i , miara stabilności Kanga – YS_i). W badaniach wykazano istotne zróżnicowanie w stosunku do analizowanych czynników: środowiska (E), odmian (G) i współdziałania ($E \times G$). Wykazano największy udział w zmienności czynnika środowiskowego na plon i jego strukturę. Najwyższy stopień szerokiej adaptacji (miary P_i i R_i) w stosunku do plonu bulw wykazały odmiany Arizona i Connect.

Słowa kluczowe: lokalizacja, odmiany ziemniaka, plon bulw, struktura, zmienność

WSTĘP

Ziemniak jest rośliną, która może być uprawiana w warunkach ekologicznych, szczególnie odmiany dobrze rokujące pod względem odporności na zarazę ziemniaka oraz wysoko plonujące. Powinny one charakteryzować się też cechami agrotechniczno-użytkowymi dostosowanymi do zmiennych warunków środowiska. Dlatego badania muszą być

prowadzone w zróżnicowanych warunkach zarówno pod względem klimatu, czyli różnych lokalizacjach, jak i właściwości gleby [Zarzyńska 2010, Tatarowska i in. 2012, Zarzyńska i in. 2023]. Badania odmian ziemniaka muszą zawierać też komponenty stresu abiotycznego, takie jak susza czy nadmierne opady, wysoka temperatura, czyli prowadzone powinny być w różnych latach [Jankowska i in. 2015]. Zwiększenie konkurencyjności uprawy ziemniaka w systemie ekologicznym może nastąpić po wprowadzeniu odmian, których uprawa zapewni uzyskiwanie wysokich, stabilnych plonów, jak również odpowiedni poziom cech jakościowych [Zarzyńska i Goliszewski 2005, 2015]. Plon i wiele cech jakości bulw ziemniaka w znacznej mierze determinowane są genetycznie, ale również warunki środowiska, tj. układ warunków pogodowych okresu wegetacji, typ gleby, na której są uprawiane, a także stosowana agrotechnika są czynnikami modyfikującymi te właściwości w większym lub mniejszym stopniu [Zarzyńska i Wroniak 2007, Zarzyńska i Pietraszko 2015, Przystalski i Lenartowicz 2020]. Poznanie interakcji, czyli współdziałania cech genotypowych z danym środowiskiem umożliwia uzyskanie pełnej wiedzy o odmianie i jej oddziaływania na różne warunki siedliskowe. Ocena zmienności tego oddziaływania w kontekście plonu i cech jakości może być miarą stabilności odmian. Poprawna ocena stabilności i analiza interakcji genotypowo-środowiskowej umożliwiającą rekomendację odmian, które wykazują dobre przystosowanie do różnych warunków środowiska [Gauch i in. 2008, Rymuza i in. 2017, Flis i Tatarowska 2019]. Znaczącą rolę w ocenie tych elementów odgrywa wybór odpowiedniej metody statystycznej. W opracowaniach dotyczących badania interakcji odmian ze środowiskiem wykorzystuje się ocenę miary stopnia szerokiej adaptacji. Miara stopnia szerokiej adaptacji odmian to zdolność odmiany do odpowiednio wysokiej produktywności w zmiennych warunkach środowiskowych odnoszących się do lokalizacji doświadczeń, lat badań czy systemu uprawy. Jednym z miar statystycznych do analizy szerokiej adaptacji odmian jest nadrzędność plonowania (P_i) [Lin i Binns 1988], niezawodność przewagi plonowania (R_i) [Eskridge i Mumm 1992] i miara stabilności Kanga (YS_i) [Kang 1993]. Realizacja badań z uwzględnieniem wyżej wymienionych czynników pozwoliła na wytypowanie odmian odpowiednich dla systemu ekologicznej produkcji ziemniaka. Z uwagi na specyfikę tego systemu dobór odmiany jest jednym z kluczowych elementów decydujących o powodzeniu uprawy. W pracy weryfikacji poddano hipotezę alternatywną zakładającą zróżnicowany wpływ czynnika środowiskowego na plonowanie odmian i strukturę bulw odmian ziemniaka wobec hipotezy zerowej mówiącej o braku różnic w tym względzie pomiędzy odmianami.

Celem badań była ocena i rekomendacja najbardziej korzystnych i stabilnych pod względem uzyskanego plonu bulw i jego struktury odmian ziemniaka do uprawy w systemie produkcji ekologicznej.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w latach 2021–2023 w sześciu lokalizacjach w warunkach certyfikowanych ekologicznych pól doświadczalnych na dziesięciu odmianach jadalnych ziemniaka o zróżnicowanej wczesności. Doświadczenia zlokalizowane były w następujących miejscowościach: Jadwisin – województwo mazowieckie, Krzyżewo – województwo podlaskie, Lućmierz – województwo łódzkie, Osiny – województwo lubelskie, Tarnów – województwo dolnośląskie, Węgrzce – województwo małopolskie (czynnik I rzędu). Badane odmiany należały do trzech grup wczesności (bardzo wczesne: Pogoria,

Surmia, Tonacja, wczesne: Arizona, Lilly, średnio wczesne: Connect, Irmina, Mariola, Red Lady, Soraya) – czynnik II rzędu. Doświadczenia prowadzono w układzie losowanych podbloków, w trzech powtórzeniach. Badania przeprowadzono w warunkach gleby lekkiej: Jadwisin, Krzyżewo, Lućmierz oraz na glebie średniej: Osiny, Tarnów i Węgrzce. Charakterystykę warunków glebowych doświadczeń przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka warunków glebowych w wybranych miejscowościach
Table 1. Characteristics of soil conditions at selected localizations

Miejscowość Localization	Charakterystyka gleby/ Soil characteristics					
	klasa class	kompleks complex	tekstura** textural classes	składnik ingredient	zasobność richness	pH
Jadwisin	IV b	żytni dobry good rye	piasek gliniasty loamy sand	P K Mg	bw ś w	6,4
Krzyżewo	IV b	żytni dobry good rye	piasek gliniasty loamy sand	P K Mg	w n n	5,4
Lućmierz	IV b	żytni dobry good rye	piasek gliniasty loamy sand	P K Mg	w n bw	5,5
Osiny	III b	żytni bardzo dobry very good rye	glina piaszczysta sandy loam	P K Mg	ś n w	6,0
Tarnów	III a	pszenny dobry wheat good	glina piaszczysta sandy loam	P K Mg	bw w w	6,6
Węgrzce	II b	pszenny dobry wheat good	glina loam	P K Mg	w bw w	6,5

pH w KCl/ pH in KCl, bw – bardzo wysoka/ very high, w – wysoka/high, ś – średnia/medium, n – niska/low

** FAO 2015

Lata badań pod względem układu warunków pogodowych w okresie wegetacji (kwiecień–wrzesień) znacznie się różniły (Tab. 2). Wartości współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa wskazują, że 2021 r. był dość wilgotny, 2022 r. dość suchy, a 2023 r. suchy. W 2021 r. we wszystkich lokalizacjach, z wyjątkiem Tarnowa w porównaniu z pozostałymi latami zanotowano największe opady. Średni poziom opadów w 2021 r. wyniósł 504,4 mm. Największe opady zanotowano w Węgrzcach, a najmniejsze w Tarnowie. W Tarnowie zanotowano również najniższą średnią temperaturę powietrza, natomiast najwyższą w Krzyżewie. W 2022 r. zanotowano mniejszy o 113,7 mm poziom opadów niż w 2021 r. Największymi opadami i najniższą średnią temperaturą powietrza w 2022 r. charakteryzował się Tarnów. Najmniejsze opady zanotowano w Jadwisinie, a najwyższą temperaturę powietrza w Węgrzcach. 2023 r. oprócz tego, że był suchy to również najcieplejszy. Średnia temperatura powietrza w 2023 r. za cały okres wegetacji wyniosła 16,3°C.

W 2021 r. zanotowano o 1,0°C, a w 2022 r. o 1,2°C niższą niż w 2023 r. średnią temperaturę powietrza. Największe opady w 2023 r. stwierdzono w Węgrzcach, a najmniejsze w Krzyżewie. Średnia temperatura powietrza najwyższa była w Lućmierzu, natomiast najniższa w Tarnowie (Tab. 2).

Tabela 2. Układ warunków pogodowych w okresach wegetacji (kwiecień–wrzesień) w latach badań
Table 2. The pattern of weather conditions in vegetation periods (April–September) in the years of experiment

Lata/Years	Miejscowość/Localization						Średnia Mean
	J	K	L	O	T	W	
suma opadów (mm)/ sum of rainfall (mm)							
2021	486,6	433,5	487,0	550,3	400,3	668,6	504,4
2022	318,3	406,1	435,2	328,9	452,0	403,7	390,7
2023	255,6	239,0	336,2	330,8	401,7	487,0	341,7
Średnia z lat 2021–2023 Mean from years 2021–2023	352,0	382,9	385,6	356,0	412,8	445,0	–
średnia temperatura powietrza (°C)/ mean air temperature (°C)							
2021	15,4	15,7	15,2	15,0	14,7	15,6	15,3
2022	15,5	14,4	15,8	15,0	13,7	16,4	15,1
2023	16,7	15,9	16,9	16,1	15,6	16,7	16,3
2021–2023	14,6	15,2	15,8	14,8	15,8	15,1	–
współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa (K)* Sielianinov's hydrothermal coefficients (K)*							
2021	1,70	1,65	1,70	1,85	0,98	1,75	1,61
2022	1,22	1,50	1,22	1,00	1,69	0,75	1,23
2023	0,89	0,55	0,90	0,96	0,90	0,87	0,85

J – Jadwisin, K – Krzyżewo, L – Lućmierz, O – Osiny, T – Tarnów, W – Węgrzce

* Wartość współczynnika Sielianinowa [Skowera 2014]: ekstremalnie sucho $k \leq 0,4$, bardzo sucho $0,4 < k \leq 0,7$, sucho $0,7 < k \leq 1,0$, dość sucho $1,0 < k \leq 1,3$, optymalnie $1,3 < k \leq 1,6$, dość wilgotno $1,6 < k \leq 2,0$, wilgotno $2,0 < k \leq 2,5$, bardzo wilgotno $2,5 < k \leq 3,0$, ekstremalnie wilgotno $k > 3,0$

*The value of the Sielianinov's coefficient [Skowera 2014]: extremely dry $k \leq 0,4$, very dry $0,4 < k \leq 0,7$, dry $0,7 < k \leq 1,0$, rather dry $1,0 < k \leq 1,3$, optimal $1,3 < k \leq 1,6$, rather humid $1,6 < k \leq 2,0$, humid $2,0 < k \leq 2,5$, very humid $2,5 < k \leq 3,0$, extremely humid $k > 3,0$

Badania przeprowadzono w technologii standardowej dla systemu uprawy ekologicznej z zachowaniem zbliżonego poziomu zabiegów agrotechnicznych we wszystkich miejscowościach. Chwasty niszczone mechanicznie, ochronę roślin ziemniaka w zakresie zwalczania zarazy ziemniaka wykonywano przy wykorzystaniu środka Miedzian 50 WP (tlenochlorek miedzi) w dawce $2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, a stonkę ziemniaczaną niszczone przy wykorzystaniu środka Spintor 240 SC (spinosad) w dawce $0,15 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$.

Ziemniaki wysadzono w drugiej lub trzeciej dekadzie kwietnia w rozstawie 75 cm × 33 cm, a zbierano w trzeciej dekadzie sierpnia (odmiany bardzo wczesne i wczesne) oraz drugiej lub trzeciej dekadzie września (odmiany średnio wczesne). Wielkość poletka wynosiła 14,85 m², a liczba roślin na poletku 60. Zbiory bulw przeprowadzono po uzyskaniu pełni dojrzałości roślin, w fazie rozwoju 97–99 w skali BBCH [Klingauf 2001]. Podczas zbioru określono plon ogólny bulw z każdego poletka oraz pobierano 5-kilogramowe próby w celu określenia struktury plonu: udział procentowy frakcji bulw małych o średnicy poniżej 35 mm, bulw średnich od 35 mm do 60 mm średnicy oraz bulw dużych o średnicy powyżej 60 mm [Roztropowicz 1999].

Wyniki badań opracowano statystycznie, posługując się programem Statistica 13.3, stosując analizę wariancji [TIBCO Software 2017] oraz wykorzystując do obliczeń Zestaw Przyrodnika. Analizę porównania średnich przeprowadzono z wykorzystaniem testu Tukeya na poziomie $p = 0,05$. Miary szerokiej adaptacji: miarę nadrzędności plonowania (P_i), miarę niezawodności przewagi plonowania (R_i) oraz Miarę stabilności Kanga (YS_i) wyznaczono w oparciu o wyniki uzyskane z analizy według modelu AMMI [StatSoft Polska Sp. z o. o. 2018].

WYNIKI I DYSKUSJA

Zróźnicowanie i udział czynników w zmienności

W badaniach wykazano istotne zróźnicowanie czynnika środowiskowego (E), lokalizacji doświadczeń (L) z latami (Y) oraz odmianowego (G) i ich współdziałania ($E \times G$). Udowodnione różnice odnosiły się w stosunku do plonu bulw i wszystkich wielkości bulw. Analiza cech według modelu AMMI wykazała, że wielkość plonu i jego struktura w największym stopniu zależały od warunków środowiska. W mniejszym stopniu zaznaczył się wpływ współdziałania środowiska z genotypem, zaś najmniejszy udział w zmienności stanowiło zróźnicowanie odmianowe. W zmienności plonu bulw czynnik środowiskowy stanowił 55,3%, współdziałanie środowiska z genotypem 25,1%, a czynnik odmianowy 13,6%. Podobną strukturę udziału tych czynników w zmienności plonu bulw potwierdziły Jankowska i Pietraszko [2021]. Zbliżony udział w zmienności całkowitej lokalizacji doświadczeń (58%) oraz znacznie mniejszy w stosunku do lat (9%), genotypu (8%) i ich współdziałania (6%) wykazali Flis i in. [2014]. W badaniach Sawickiej i Pszczółkowskiego [2017] dominującą rolę w zmienności plonu bulw i jego struktury odgrywało współdziałanie odmian i lat badań, które stanowiło do 92,7%, zaś najmniejszy udział stanowił genotyp, podobnie jak w przeprowadzonych badaniach własnych. Większy niż plonu bulw był wpływ środowiska na strukturę plonu, którego udział wahał się od 60% w stosunku do bulw średnich do 64,9% dla bulw małych. Większy wpływ na strukturę plonu bulw małych, średnich i dużych współdziałania odmian z latami, od 75,2% do 78,8% uzyskali Sawicka i Pszczółkowski [2017]. W innych badaniach Sawicka i Pszczółkowski [2004] wykazali, że dominującą rolę w zmienności całkowitej bulw wszystkich frakcji, małych, średnich i dużych odgrywały lata badań (62,4%–85%), a udział zmienności genotypowej wahał się od 11,4% do 34,1%.

W przeprowadzonych badaniach współdziałanie środowiska z genotypem na strukturę plonu stanowiło średnio 27,4%, a udział genotypu w zmienności wyniósł 8,5% (Tab. 3).

Tabela 3. Zestawienie wyników analizy wariancji w stosunku do odmian i miejscowości
Table 3. Comparison of the variance analysis in relation to varieties and localizations

Parametry Parameters	Efekty Effects	Miejscowość Localization (M)	Odmiana Cultivar (O)	M × O	Powtórzenie Replication	Błąd Error
Plon bulw Tuber yield	zmiennosc (%) variability (%)	55,3	13,6	25,1	1,9	4,1
	statystyka F F-statistica	64,7	119,9	13,0	4,0	–
	wartosc p p-value	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	–
Bulwy małe Small tubers	zmiennosc (%) variability (%)	64,9	8,3	24,6	0,6	1,6
	statystyka F F-statistica	241,0	181,3	31,5	3,1	–
	wartosc p p-value	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	–
Bulwy średnie Middle tubers	zmiennosc (%) variability (%)	60,0	7,9	30,9	0,5	0,7
	statystyka F F-statistica	256,9	372,7	85,9	5,9	–
	wartosc p p-value	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	–
Bulwy duże Large tubers	zmiennosc (%) variability (%)	63,0	9,2	26,6	0,4	0,8
	statystyka F F-statistica	336,6	393,5	66,6	4,2	–
	wartosc p p-value	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	–

Analiza plonu bulw

Wpływ różnych czynników środowiskowych na plon bulw stanowi główny element oceny wartości użytkowej odmiany. Wykazano istotne zróżnicowanie plonu bulw pomiędzy wszystkimi lokalizacjami. Największy plon bulw $37,45 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ uzyskano w Tarnowie, na glebie średniej o składzie granulometrycznym gliny piaszczystej, o najbardziej optymalnym rozkładzie i zbliżonych do średniej z wielolecia opadach. Najmniejszy plon bulw $20,02 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ uzyskano w Krzyżewie, na glebie lekkiej, o składzie granulometrycznym piasku gliniastego. W lokalizacji tej było najbardziej sucho w jednym z lat badań. Niezależnie od lokalizacji największy plon bulw $31,13 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ uzyskano w 2022 r., najbardziej umiarkowanym w stosunku do opadów i temperatury powietrza. Najbardziej niesprzyjający plonowaniu (średni plon $19,92 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) był 2023 r., w którym zanotowano najniższe opady i najwyższą temperaturę powietrza. Spadek plonu w głównej mierze wynika z braku opadów, czyli wystąpienia suszy glebowej niż wysokiej temperatury powietrza w okresie wegetacji [Boguszewska-Mańkowska i in. 2022]. Warunki pogodowe w latach mają na ogół bardziej istotny wpływ na plon bulw niż lokalizacja, jeżeli chodzi o udział czynnika środowiskowego w ogólnej zmienności, co potwierdzili Zarzecka i in. [2004]. Potwierdziły to też

Jankowska i Pietraszko [2021], wykazując, że warunki pogodowe w latach badań miały ponad trzykrotnie większy wpływ na wielkość plonu bulw niż odmiana i interakcja genotyp \times rok. W badaniach Kołodziejczyka [2013] udział czynnika pogodowego stanowił ponad 76% zmienności całkowitej plonu bulw, właściwości odmianowe wyjaśniały 4,2% zmienności, a współdziałanie odmian z latami odpowiadało za 17,9% zmienności. Największy udział warunków pogodowych w latach na plon bulw, ponad 95% w zmienności, odnotowali Sawicka i Pszczółkowski [2004], a czynnik genotypowy stanowił tylko ok. 3% zmienności. Niezależnie od lokalizacji i lat badań najwyższej plonowały odmiany Connect i Arizona, odpowiednio 34,96 t·ha⁻¹ i 33,47 t·ha⁻¹. Odmiany te charakteryzowały się nie tylko najwyższym plonem bulw w lokalizacjach, ale też w ocenie szerokiej adaptacji najlepszymi wartościami miar dla tej cechy w porównaniu z pozostałymi odmianami. W literaturze takie odmiany określa się jako idealne, czyli wykazujące dobrą adaptację zarówno do korzystnych, jak i niekorzystnych środowisk [Kaya i in. 2006, Yan i in. 2007, Flis i in. 2014].

Tabela 4. Plon bulw (t·ha⁻¹) w zależności od odmiany i miejscowości (średnie z lat 2021–2023)
Table 4. Yield of tubers (t·ha⁻¹) in relation to variety and localization
(means with years 2021–2023)

Odmiana/ Cultivar	Miejscowość/Localization						Średnia Mean
	Jadwisin	Krzyżewo	Lućmierz	Osiny	Tarnów	Węgrzce	
Pogoria	23,18	17,13	22,56	25,00	30,63	25,81	24,05 ^c
Surmia	27,51	18,66	22,97	23,34	34,05	28,62	25,86 ^{bc}
Tonacja	24,77	15,98	23,24	25,78	31,67	25,55	24,50 ^c
Arizona	33,63	24,16	24,68	37,33	48,62	32,40	33,47 ^a
Lilly	29,94	19,33	24,72	28,04	34,14	28,03	27,37 ^b
Connect	24,96	28,07	27,40	43,60	54,15	31,60	34,96 ^a
Irmina	27,82	19,70	20,94	33,24	37,87	19,72	26,55 ^b
Mariola	25,66	21,32	20,11	36,48	33,54	17,05	25,69 ^{bc}
Red Lady	18,04	13,91	20,57	22,56	31,87	14,43	20,23 ^d
Soraya	26,36	21,90	23,52	31,21	37,92	20,93	26,97 ^b
Średnia/Mean	26,19 ^c	20,02 ^e	23,07 ^d	30,66 ^b	37,45 ^a	24,41 ^d	–
Rok/Year							
2021	30,73	21,74	28,30	37,18	34,97	26,15	29,84 ^b
2022	30,31	26,05	29,24	35,58	37,97	27,66	31,13 ^a
2023	17,52	12,26	11,68	19,21	39,41	19,43	19,92 ^c

Średnie wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie na poziomie $p = 0,05$ według testu Tukeya/ Mean values indicated by the same letters mean differences not statistically significant at $p = 0,05$ level, according to Tukey's test

Tabela 5. Udział bulw małych w plonie (%) w zależności od odmiany i miejscowości (średnie z lat 2021–2023)

Table 5. Share of small tubers in the yield (%) in relation to variety and localization (mean with years 2021–2023)

Odmiana Cultivar	Miejscowość /Localization						Średnia Mean
	Jadwisin	Krzyżewo	Lućmierz	Osiny	Tarnów	Węgrzce	
Pogoria	14,21	1,98	7,88	0,57	3,83	6,02	5,75 ^d
Surmia	10,37	2,86	7,25	1,82	8,87	7,73	6,48 ^{cd}
Tonacja	11,80	2,06	9,61	1,33	3,90	6,18	5,81 ^d
Arizona	13,05	1,03	5,36	0,32	2,83	6,92	4,92 ^e
Lilly	17,90	3,37	11,33	1,46	10,21	15,14	9,90 ^a
Connect	12,06	1,46	14,47	0,58	6,78	9,08	7,41 ^c
Irmia	8,77	2,02	10,48	0,63	7,14	13,01	7,01 ^c
Mariola	19,67	2,45	8,26	4,24	11,51	14,32	10,07 ^a
Red Lady	6,20	1,17	6,75	0,26	5,17	5,11	4,11 ^f
Soraya	14,82	1,77	10,57	3,73	9,83	11,01	8,62 ^b
Średnia/Mean	12,88a	2,02d	9,20b	1,49e	7,01c	9,45b	–
Rok/Year							
2021	10,23	2,26	5,29	3,13	9,89	7,87	6,44 ^b
2022	8,37	0,77	4,63	0,40	5,14	9,36	4,78 ^c
2023	20,06	3,02	17,68	0,96	6,00	11,13	9,81 ^a

Średnie wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie na poziomie $p = 0,05$ według testu Tukeya/ Mean values indicated by the same letters mean differences not statistically significant at $p = 0.05$ level, according to Tukey's test

Analiza wielkości bulw w plonie

Struktura plonu bulw stanowi jedną z podstawowych cech decydujących o przydatności odmiany do określonego kierunku produkcji. Udział w plonie bulw małych, o średnicy poniżej 35 mm w głównej mierze decyduje o wielkości uzyskiwanego plonu handlowego bulw. Bulwy o średnicy poniżej 35 mm stanowią frakcję niehandlową, stąd pożądany jest jak najmniejszy udział tej frakcji w plonie. W badaniach wykazano, że w Osinach na glebie średniej, o zbliżonych do średniej z wielolecia opadach w dwóch kolejnych latach oraz ciepłych uzyskano najmniej bulw małych w plonie. Najwięcej bulw małych w plonie stwierdzono w Jadwisinie, na glebie lekkiej, gdzie w dwóch latach zanotowano opady poniżej średniej z wielolecia i we wszystkich latach było ciepło. Niezależnie od lokalizacji najwięcej bulw małych w plonie 9,81% uzyskano w roku najbardziej suchym i ciepłym (2023), a najmniej 4,78% w roku z opadami zbliżonymi do średniej wieloletniej i umiarkowanie ciepłym (2022). Spośród odmian istotnie najmniejszym udziałem bulw małych w plonie charakteryzowała się odmiana Soraya (2,62%). Najwięcej bulw małych wykazano u odmian Mariola (10,07%) i Lilly (9,90%).

Tabela 6. Udział bulw średnich w plonie (%) w zależności od odmiany i miejscowości (średnia z lat 2021–2023)

Table 6. Share of middle tubers in the yield (%) in relation to variety and localization (mean with years 2021–2023)

Odmiana Cultivar	Miejscowość /Localization						Średnia Mean
	Jadwisin	Krzyżewo	Lućmierz	Osiny	Tarnów	Węgrzce	
Pogoria	80,91	68,58	85,01	40,81	57,75	54,68	64,62 ^e
Surmia	84,22	63,37	79,61	56,78	49,14	57,54	65,11 ^e
Tonacja	83,68	73,10	82,52	64,87	55,13	62,14	70,27 ^c
Arizona	75,85	66,51	71,92	43,93	45,02	53,10	59,39 ^f
Lilly	75,01	82,68	75,17	66,66	60,66	69,15	71,56 ^c
Connect	78,22	79,40	80,57	46,34	50,60	72,44	67,93 ^d
Irmia	86,83	82,14	86,11	40,47	55,14	71,54	70,37 ^c
Mariola	74,40	88,65	82,98	74,15	67,92	74,28	77,07 ^a
Red Lady	87,38	82,38	88,77	64,07	56,50	60,77	73,31 ^b
Soraya	77,00	76,52	79,12	50,36	56,27	65,88	67,52 ^d
Średnia/Mean	80,37 ^a	76,33 ^b	81,18 ^a	54,85 ^d	55,41 ^d	64,15 ^c	–
Rok/Year							
2021	83,31	77,85	79,39	62,35	63,41	79,17	74,25 ^a
2022	81,06	68,67	84,99	53,73	59,74	53,09	66,88 ^b
2023	76,74	82,49	79,16	48,46	43,09	60,20	65,02 ^c

Średnie wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie na poziomie $p = 0,05$ według testu Tukeya/ Mean values indicated by the same letters mean differences not statistically significant at $p = 0.05$ level, according to Tukey's test

W doświadczeniach na glebie lekkiej (Jadwisin, Krzyżewo, Lućmierz) stwierdzono też większy udział w plonie bulw średnich niż w doświadczeniach na glebie średniej (Osiny, Tarnów, Węgrzce). Niezależnie od lokalizacji istotnie najczęściej bulw średnich w plonie (74,25%) odnotowano w 2021 r., o największych opadach w okresie wegetacji. Istotnie najczęściej bulw średnich w plonie uzyskano u odmiany Mariola (77,07%), a istotnie najmniej stwierdzono u odmiany Arizona (59,39%).

Udział bulw dużych w plonie kształtował się odwrotnie niż bulw średnich. Istotnie więcej bulw dużych uzyskano na glebie średniej (Osiny, Tarnów, Węgrzce) niż na glebie lekkiej (Jadwisin, Krzyżewo, Lućmierz). Istotnie najmniejszy udział bulw dużych uzyskano w roku z nadmiarem opadów (2021). Istotnie więcej bulw dużych stwierdzono w roku z niedoborem opadów (2023), co mogło wynikać z mniejszej liczby zawiązanych bulw, a przez to ich dorastania do większej średnicy. Najwięcej bulw dużych odnotowano w 2022 r., w którym opady najbardziej zbliżone były do średniej z wielolecia. Spośród odmian najczęściej bulw dużych w plonie stwierdzono u odmiany Arizona (35,68%), a najmniej u odmiany Mariola (12,84%). Podobnie dużą zmiennością charakteryzowała się struktura bulw pomiędzy latami i odmianami w badaniach Sawickiej i Pszczółkowskiego [2004, 2017], co tłumaczyli głównie nierównomiernym rozkładem opadów w latach oraz

zróznicowaną wczesnością odmian. Wykazali ponadto, że ogólnie największą zmiennością w stosunku do badanych czynników charakteryzowała się frakcja bulw dużych, o średnicy powyżej 6 cm [Sawicka i Pszczołkowski 2004, 2017]. Z obecnych badań własnych wynika, że udział bulw małych w stosunku do odmian był podobny do uzyskanych przez Sawicką i Pszczołkowskiego [2004 i 2017], natomiast znacznie mniej uzyskali oni bulw dużych w plonie. Z kolei Zarzyńska i Goliszewski [2015] uzyskali znacznie więcej bulw średnich (82,5%).

Tabela 7. Udział bulw dużych w plonie (%) w zależności od odmiany i miejscowości (średnia z lat 2021–2023)

Table 7. Share of large tubers in the yield (%) in relation to variety and localization (mean with years 2021–2023)

Odmiana Cultivar	Miejscowość/Localization						Średnia Mean
	Jadwisin	Krzyżewo	Lućmierz	Osiny	Tarnów	Węgrzce	
Pogoria	4,87	29,42	7,10	58,61	38,41	39,28	29,61 ^b
Surmia	5,40	33,75	13,13	41,38	41,97	34,72	28,39 ^b
Tonacja	4,33	24,83	7,86	33,78	40,96	31,66	23,90 ^{cd}
Arizona	11,08	32,45	22,71	55,74	52,14	39,97	35,68 ^a
Lilly	7,08	13,93	13,48	31,86	29,12	15,70	18,53 ^e
Connect	9,71	19,13	4,94	53,06	42,61	18,46	24,65 ^c
Irmia	4,38	15,83	3,40	58,88	37,71	15,44	22,61 ^d
Mariola	5,88	8,88	8,74	21,60	20,56	11,38	12,84 ^f
Red Lady	6,41	16,43	4,46	35,65	38,32	34,11	22,56 ^d
Soraya	8,17	21,70	10,30	45,90	33,88	23,10	23,84 ^{cd}
Średnia/Mean	6,73 ^f	21,63 ^d	9,61 ^e	43,65 ^a	37,57 ^b	26,38 ^c	–
Rok/Year							
2021	6,45	19,88	15,31	34,51	26,69	12,95	19,30 ^c
2022	10,56	30,55	10,37	45,86	35,11	37,54	28,33 ^a
2023	3,19	14,48	3,15	50,58	50,91	28,66	25,16 ^b

Średnie wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie na poziomie $p = 0,05$ według testu Tukeya/ Mean values indicated by the same letters mean differences not statistically significant at $p = 0.05$ level, according to Tukey's test

Analiza stabilności odmian

Analiza stopnia szerokiej adaptacji na podstawie trzech miar pozwoliła na ocenę stabilności odmian. Pierwsza miara, stopień nadrzędności (P_i) określa, że wartość liczbowa bliższa 0 stanowi o wyższym stopniu szerokiej adaptacji. Druga miara wyrażająca prawdopodobieństwo kształtowania cechy odmiany powyżej średniej środowiskowej (R_i) wskazuje, że odmiana o wartości 1 charakteryzuje się cechą powyżej średniej środowiskowej dla badanego okresu, czyli najwyższym stopniem szerokiej adaptacji. Trzecia miara Kanga (YS) stanowi średnią genotypową cechy odmiany oraz wariancji stabilności. Im wyższa wartość miary Kanga (YS_i) dla odmiany tym wyższy jest jej stopień szerokiej adaptacji [Mądry i Iwańska 2011].

Tabela 8. Wskaźniki stabilności i adaptacji dla plonu i jego struktury
 Table 8. Stability and adaptation indicators for the yield and its structure

Odmiana Cultivar	Miara Measure	Plon bulw Tuber yield	Fracje bulw – średnica Tubers fraction – diameter		
			<35 mm	35–60 mm	>60 mm
Pogoria	<i>Pi</i>	162	33	305	165
	<i>Ri</i>	0,11	0,28	0,33	0,61
	<i>YSi</i>	1	2	1	10
Surmia	<i>Pi</i>	145	33	245	174
	<i>Ri</i>	0,44	0,39	0,39	0,61
	<i>YSi</i>	4	4	2	9
Tonacja	<i>Pi</i>	156	31	152	281
	<i>Ri</i>	0,22	0,33	0,50	0,56
	<i>YSi</i>	2	3	7	5
Arizona	<i>Pi</i>	46	42	405	47
	<i>Ri</i>	0,94	0,11	0,17	0,89
	<i>YSi</i>	11	1	-1	12
Lilly	<i>Pi</i>	114	8	127	354
	<i>Ri</i>	0,50	0,72	0,72	0,11
	<i>YSi</i>	9	11	9	1
Connect	<i>Pi</i>	32	27	227	235
	<i>Ri</i>	0,78	0,50	0,67	0,33
	<i>YSi</i>	5	4	4	8
Irimina	<i>Pi</i>	116	30	220	280
	<i>Ri</i>	0,56	0,50	0,56	0,39
	<i>YSi</i>	5	5	8	3
Mariola	<i>Pi</i>	136	16	51	580
	<i>Ri</i>	0,50	0,72	0,78	0,17
	<i>YSi</i>	3	8	12	-1
Red Lady	<i>Pi</i>	234	54	124	300
	<i>Ri</i>	0,11	0,06	0,72	0,33
	<i>YSi</i>	-1	-1	10	2
Soraya	<i>Pi</i>	113	20	220	293
	<i>Ri</i>	0,50	0,72	0,50	0,39
	<i>YSi</i>	8	9	3	4

Pi – miara nadrzędności plonowania; *Ri* – miara niezawodności przewagi plonowania; *YSi* – miara stabilności Kanga

Pi – superiority measure; *Ri* – eskridey's yield reliability measure; *YSi* – Kang's stability measure

Na podstawie analizy plonu bulw najlepszy stopień nadrzędności (P_i) oraz plonowania powyżej średniej środowiskowej (R_i) uzyskały odmiany Connect i Arizona. Według miary Kanga (YS_i) najlepszą stabilność uzyskały odmiany Arizona, Lilly i Soraya. Dla bulw małych w plonie największą stabilność wszystkich trzech miar wykazano u odmian Lilly i Mariola. Wymagają one więc uwagi ze względu na skłonność do uzyskiwania małych bulw, niehandlowych. Dalsze badania powinny więc być skierowane na eliminację tej cechy lub dostosowanie zabiegów uprawowych do ograniczenia jej występowania. Największym stopniem szerokiej adaptacji dla wszystkich trzech miar w kształtowaniu udziału bulw średnich w plonie charakteryzowały się odmiany Lilly, Mariola i Red Lady, a bulw dużych uzyskano najwięcej dla odmian: Arizona, Pogoria i Surmia. Z dotychczasowych badań wynika, że struktura plonu bulw charakteryzuje się małą stabilnością w stosunku do właściwości odmian [Sawicka i Pszczółkowski 2004, 2017]. Według Sawickiej i Pszczółkowskiego [2004] najbardziej ustabilizowaną cechą struktury plonu były bulwy średnie o średnicy 4–5 cm, a najmniej bulwy duże o średnicy powyżej 6 cm. Określenie efektów zmienności genotypowo-środowiskowej jest racjonalnym i pożądanym działaniem mającym na celu dopasowanie z szerokiej puli dostępnych odmian odpowiednich do konkretnych warunków środowiska czy systemu produkcji, w tym ekologicznego. Powinny to być odmiany o podwyższonej odporności na choroby grzybowe oraz wysokoplonujące, co również podkreślili inni badacze, typując określone kreacje. Badania Przystalskiego i Lenartowicza [2023] wykazały, że były to odmiany Tajfun i Otolia, Jankowska i Pietraszko [2021] stwierdziły, że 7 spośród 34 odmian nie wykazało interakcji ze środowiskiem i uznano je za stabilne rolniczo pod względem uzyskanego plonu, a na pierwszym miejscu w rankingu miar szerokiej adaptacji uplasowała się odmiana Mondeo. Tego typu wyniki badań odmianowych z zastosowaniem określonego modelu i miar statystycznych wskazywać mogą hodowcom kierunek dalszych prac, a rolnikom wybór odmian o szerokiej adaptacji do warunków środowiska, czyli stabilnych [Paderewski i Mądry 2010, Flis i Tatarowska 2019].

WNIOSKI

1. Wykazano istotny wpływ środowiska, genotypu oraz ich współdziałanie na wielkość plonu i strukturę bulw.
2. Stwierdzono największy udział w zmienności całkowitej czynnika środowiskowego (miejsca uprawy i badanych lat) na plon i strukturę plonu.
3. Odmiana Arizona charakteryzowała się najlepszymi wartościami liczbowymi w stosunku do wszystkich trzech miar szerokiej adaptacji dla plonowania, odmiany Lilly, Mariola i Red Lady dla udziału bulw średnich, a odmiany Pogoria, Surmia i Arizona dla udziału bulw dużych w strukturze plonu.
4. Miary szerokiej adaptacji – Miara nadrzędności plonowania (P_i), Miara niezawodności przewagi plonowania (R_i) i miara stabilności Kanga (YS_i) mogą być przydatnymi charakterystykami liczbowymi oceny przystosowania nowych odmian ziemniaka do konkretnych warunków środowiskowych.

PIŚMIENNICTWO

Boguszewska-Mańkowska D., Zarzyńska K., Wasilewska-Nascimento B., 2022. Potato (*Solanum tuberosum* L.) plant shoot and root changes under abiotic stresses – yield response. *Plants* 11(24), 3568. <https://doi.org/10.3390/plants11243568>

- Eskridge K.M., Mumm R.F., 1992. Choosing plant cultivars based on the probability of outperforming a check. *Theor. Appl. Genet.* 84(3), 494–500. <https://doi.org/10.1007/BF00229512>
- FAO, 2015. World reference database for soil resources 2014. International soil classification system for naming soil and creating legends for soil maps. Update 2015. *World Soil Resources Report 106*, pp.192.
- Flis B., Domański L., Zimnoch-Guzowska E., Polar Z., Pousa S.A., Pawlak A., 2014. Stability analysis of agronomic traits in potato cultivars of different origin. *Am. J. Pot. Res.* 91, 404–413. <https://doi.org/10.1007/s12230-013-9364-6>
- Flis B., Tatarowska B., 2019. Analiza interakcji genotypowo-środowiskowej w odniesieniu do wybranych cech użytkowych ziemniaka jadalnego w różnych systemach uprawy. *Biul. IHAR* 286, 239–242. <https://doi.org/10.37317/biul-2019-0054>
- Gauch H.G., Piepho H.P., Annicchiarico P., 2008. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. *Crop Sci.* 48(3), 866–889.
- Jankowska J., Pietraszko M., 2021. Analiza stabilności i szerokiej adaptacji plonu ogólnego bulw odmian ziemniaka uprawianych na glebie lekkiej. *Biul. IHAR* 294, 61–72. <https://doi.org/10.37317/biul-2021-0007>
- Jankowska J., Pietraszko M., Lutomińska B., 2015. Analiza stabilności plonowania wybranych odmian ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.) na glebie lekkiej. *Fragm. Agron.* 32(3), 32–43.
- Kang M.S., 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences for growers. *Agron. J.* 85(3), 754–757. <https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500030042x>
- Kaya Y., Akçura M., Taner S., 2006. GGE-biplot analysis of multi-environment yield trials in bread wheat. *Turk. J. Agric. For.* 30(5), 325–337.
- Klingauf F., 2001. Growth stages of mono-and dicotyledonous plants. *BBCH Monograph*, 2nd ed. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry.
- Kołodziejczyk M., 2013. Fenotypowa zmienność plonowania, składu chemicznego oraz wybranych cech jakości bulw średnio późnych i późnych odmian ziemniaka jadalnego. *Acta Agrophys.* 20(3), 411–422.
- Lin C.S., Binns M.R., 1988. A superiority measure of cultivar performance for cultivar × location data. *Can. J. Plant Sci.* 68(1), 193–198. <https://doi.org/10.4141/cjps88-018>
- Mądry W., Iwańska M., 2011. Ilościowe miary szerokiej adaptacji odmian i ich zastosowanie w doświadczeniach wstępnych z pszenicą ozimą. *Biul. IHAR* 260/261, 81–95. <https://doi.org/10.37317/biul-2011-0025>
- Paderewski J., Mądry W., 2012. Zastosowania modelu AMMI do analizy reakcji odmian na środowiska. *Biul. IHAR* 263, 161–188. <https://doi.org/10.37317/biul-2012-0082>
- Przystalski M., Lenartowicz L., 2020. Yielding stability of early maturing potato varieties: Bayesian analysis. *J. Agric. Sci.* 158(7), 564–573. <https://doi.org/10.1017/S0021859620000945>
- Przystalski M., Lenartowicz T., 2023. Organic system vs. conventional – a Bayesian analysis of Polish potato post-registration trials. *J. Agric. Sci.* 161(1), 97–108. <https://doi.org/10.1017/S0021859623000084>
- Roztropowicz S., 1999. Metodyka obserwacji, pomiarów i pobierania prób w agrotechnicznych doświadczeniach z ziemniakiem. *Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Oddział w Jadwisinie*, 1–50.
- Rymuza K., Radzka E., Lenartowicz T., 2017. Analiza interakcji genotypowo-środowiskowej średnio wczesnych jadalnych odmian ziemniaka. *Biul. IHAR* 281, 59–68.
- Sawicka B., Pszczółkowski P., 2004. Fenotypowa zmienność struktury plonu odmian ziemniaka w warunkach środkowo-wschodniej Polski. *Biul. IHAR* 232, 53–66.
- Sawicka B., Pszczółkowski P., 2017. Fenotypowa zmienność plonu i jego struktury bardzo wczesnych i wczesnych odmian ziemniaka. *Fragm. Agron.* 34(1), 76–91.
- Skowera B., 2014. Zmiany warunków hydrotermicznych na obszarze Polski (1971–2010). *Fragm. Agron.* 31(2), 74–87.
- StatSoft Polska Sp. z o.o., 2018. Zestaw Przyrodnika wersja 1.0, www.statsoft.pl
- 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. *Am. J. Pot. Res.* 89, 73–81.

- TIBCO Statistica, 2017. TIBCO Statistica v. 13.3.0, TIBCO Software Inc, Palo Alto, CA, USA. <https://www.tibco.com/products/tibco-statistica> [dostęp: 04.03.2024].
- Yan W., Kang M. S., Ma B., Woods S., Cornelius P.L., 2007. GGE Biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Sci.* 47(2), 643–653. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0374>
- Zarzecka K., Antolak M., Pszczółkowski P., 2004. Plonowanie dziesięciu średnio wczesnych odmian ziemniaka w warunkach Podlasia. *Zesz. Nauk. AP, Rol. Siedlce* 65, 59–63.
- Zarzyńska K., 2010. Struktura plonu bulw ziemniaków uprawianych w systemie ekologicznym i integrowanym w różnych warunkach środowiskowych. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 55(4), 181–185.
- Zarzyńska K., Goliszewski W., 2005. Rozwój roślin ziemniaka w zależności od systemu produkcji, jakości gleby i odmiany. *Biul. IHAR* 237/238, 133–141.
- Zarzyńska K., Goliszewski W., 2015. Odmianowe zróżnicowanie produktywności roślin ziemniaka uprawianych w systemie ekologicznym i integrowanym. *Fragm. Agron.* 32(3), 113–120.
- Zarzyńska K., Pietraszko M., 2015. Influence of climatic conditions on development and yield of potato plants growing under organic and conventional systems in Poland. *Am. J. Potato Res.* 92(4), 511–517.
- Zarzyńska K., Trawczyński C., Pietraszko M., 2023. Environmental and agronomical factors limiting differences in potato yielding between organic and conventional production system. *Agriculture* 13, 901. <https://doi.org/10.3390/agriculture13040901>
- Zarzyńska K., Wroniak J., 2007. Różnice w jakości plonu bulw ziemniaków uprawianych w systemie ekologicznym w zależności od niektórych czynników agrotechnicznych. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 52(4), 148–158.

Źródło finansowania: Dotacja Celowa (obszar 6, zad. 6.1) MR i RW dla IHAR-PIB Radzików na 2024 rok.

Abstract. The aim of the research carried out in 2021–2023 in six localizations (Jadwisin, Krzyżewo, Lućmierz, Osiny, Tarnów, Węgrzce) in the conditions of certified ecological experimental fields on ten edible potato cultivars (very early: Pogoria, Surmia, Tonacja, early: Arizona, Lilly and medium early: Connect, Irmina, Mariola, Red Lady, Soraya) was to assess the stability of tuber yield and structure of selected potato cultivars. After the final harvest, tuber yield and its structure was assessed (the share of small tubers with a diameter below 35 mm, medium tubers with a diameter from 36 mm to 60 mm and large tubers with a diameter above 60 mm). The results were prepared based on the analysis of variance using the AMMI model, assessing the significance of the diversity of the studied factors and their share in the total variability. Then, the degree of wide adaptation of varieties to various environmental conditions was determined based on three measures (the measure of yield superiority – P_i , Eskridge's yield reliability measure – R_i , Kang's stability measure – YS_i). The studies showed significant differences in relation to the analyzed factors: environment (E), cultivars (G) and interaction ($E \times G$). The greatest contribution to the variability of the environmental factor was found on the tuber yield and its structure. The highest degree of broad adaptation (P_i and R_i measures) in relation to tuber yield was demonstrated by the following cultivars Arizona and Connect.

Keywords: localization, potato cultivar, tuber yield, structure, variability

Otrzymano/Received: 18.03.2024
Zaakceptowano/Accepted: 15.11.2024
Opublikowano/Publication: 13.01.2025