

Analiza stabilności i szerokiej adaptacji plonu ogólnego bulw odmian ziemniaka uprawianych na glebie lekkiej

Analysis of stability and wide adaptation of total tuber yield of potato varieties grown on light soil

Joanna Jankowska[✉], Milena Pietraszko[✉]

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Jadwisinie,
ul. Szaniawskiego 15, Jadwisin 05–140,
✉ e-mail: j.jankowska@ihar.edu.pl

The aim of the study was to assess the agricultural stability and the degree of wide adaptation of the total tuber yield of potato varieties grown in the years 2014–2017. For the analysis, 34 potato cultivars of different maturity groups of different uses were selected. The application was made using the AMMI model. Measures were used to evaluate the wide adaptation: superiority measure P_p , Eskridge's yield reliability measure R_i and a measure of Kang stability YS_i . For the analyzed parameters, significant differences between years, varieties and genotype \times year interaction were shown. Agriculturally stable varieties were obtained: seven in the total tuber yield. The ranking of varieties made it possible to conclude that the highest degree of wide adaptation in terms of the total yield was shown by the varieties: Mondeo, Ignacy, Gwiazda, Denar, Michalina and Lord.

Key words: genotype \times year interaction, potato, stability, total tuber yield

Celem badań była ocena stabilności rolniczej i stopnia szerokiej adaptacji plonu ogólnego bulw odmian ziemniaka uprawianych w latach 2014–2017 w centralnej Polsce (IHAR-PIB Oddział w Jadwisinie). Do analizy wytypowano 34 odmiany ziemniaka różnych grup wczesności o różnym przeznaczeniu. Wnioskowanie wykonano stosując model AMMI. Do oceny szerokiej adaptacji wykorzystano miary: nadrzędności plonowania P_p , miarę niezawodności przewagi plonowania R_i (tzw. miarę Eskridge'a) oraz miarę stabilności Kanga YS_i . Dla analizowanych parametrów wykazano istotne różnice pomiędzy latami, odmianami oraz interakcją genotyp \times rok. Wyłoniono siedem odmian ziemniaka plonujących stabilnie. Ranking odmian pozwolił na stwierdzenie, że największy stopień szerokiej adaptacji pod względem plonu ogólnego wykazały odmiany: Mondeo, Ignacy, Gwiazda, Denar, Michalina i Lord.

Słowa kluczowe: interakcja genotyp \times rok, ziemniak, stabilność, plon ogólny bulw

Producenci ziemniaka potrzebują odmian o wysokim potencjale plonotwórczym, odpornych na choroby oraz plonu o wysokiej jakości bulw. Plon jest jedną z najbardziej złożonych cech ziemniaka i zależy od uwarunkowanego genetycznie potencjału plonotwórczego odmiany oraz od jej reakcji na warunki środowiskowe. Dlatego też w analizie wyników doświadczeń odmianowych najbardziej interesująca, z punktu widzenia oceny stabilności i zdolności adaptacyjnej, jest interakcja genotypowo-środowiskowa (G \times E). Zróżnicowane reakcje roślin na czynniki środowiskowe, takie jak temperatura, wilgotność, gleba, obserwowane w różnych miejscach i latach wynikają z interakcji zachodzącej pomiędzy genotypem i środowiskiem. Wyniki tej interakcji stanowią bardzo ważną informację o odmianie zarówno dla hodowców ziemniaka jak i rolników. Dają wiedzę o zachowaniu się odmian oraz ich

reakcji na polepszenie lub pogorszenie warunków uprawy [Caliński 1967; Mądry i in. 2010]. Za najbardziej pożądane w hodowli, a później w uprawie, uważa się odmiany stabilne, o szerokiej zdolności adaptacyjnej, plonujące stosunkowo wysoko niezależnie od warunków. Wyniki oceny stabilności plonowania pozwoliłyby na wiarygodną rekomendację odmian do uprawy. Wskazanie odmian ziemniaka najlepiej plonujących w zróżnicowanych warunkach pogodowych czy siedliskowych, mogłoby stanowić uzupełnienie badań porejestrowych prowadzonych przez COBORU (Centralny Ośrodek Badań Odmian Roślin Uprawnych), na podstawie których aktualnie tworzona jest Lista odmian zalecanych do uprawy na obszarze województwa.

W literaturze dotyczącej stabilności odmian można spotkać dwie normy stabilności: stabilność w sensie biologicznym oraz stabilność

w sensie rolniczym [Becker, Leon 1988; Galek i in. 2000]. Genotyp względem danej cechy jest stabilny w sensie biologicznym, jeżeli średnia wartość cechy nie zmienia się w różnych środowiskach. Stabilność w sensie rolniczym oznacza, że średnia wartość cechy zmienia się proporcjonalnie do przeciętnej reakcji w różnych środowiskach. Przeciętna reakcja jest określana za pomocą średnich środowiskowych dla danej cechy [Becker, Leon 1988; Galek i in. 2000; Mądry, Rajfura 2003].

Metody statystyczne pozwalające ocenić stabilność odmian opierają się na modelach, stanowiących różne rozwinięcia modelu stałego i mieszanego jednozmienniej analizy wariancji dla dwukierunkowej klasyfikacji krzyżowej z interakcją [Bombik i in. 2003]. W ostatnich latach rozwinięto wykorzystanie modelu AMMI oraz biplotów typu GGE [Yan i in. 2007; Padarewski, Mądry 2012]. Coraz częściej w opracowaniach dotyczących badania interakcji odmian ze środowiskiem spotyka się ocenę ich stopnia szerokiej adaptacji. Według Iwańskiej i in. [2008], szeroką adaptacją odmiany określamy zdolność odmiany do relatywnie wysokiej produktywności, wyrażonej zdolnością do tworzenia plonu na relatywnie wysokim poziomie w zmiennych warunkach środowiskowych rejonu, lat lub systemów uprawy. Opracowano wiele metod i towarzyszących im miar statystycznych do analizy szerokiej adaptacji odmian mi.: miara nadrzędności plonowania P_i [Lin, Binns 1988], miara niezawodności przewagi plonowania R_i [Eskridge, Mumm 1992], miara stabilności Kanga YS_i [Kang 1993]. Obok stabilności, szeroka adaptacja odmiany do określonych warunków wydaje się być ważnym atrybutem rolniczym gatunków uprawnych, dlatego wymaga poszukiwania jak najlepszych metod jej oceny. Wykorzystania powyższych metod nie odnajduje się w literaturze związanej z cechami ziemniaka, w związku z czym podjęto próbę zastosowania ich i oceny w niniejszej pracy.

Celem badań była ocena stabilności rolniczej i stopnia szerokiej adaptacji plonu ogólnego bulw odmian ziemniaka uprawianych w zróżnicowanych warunkach pogodowych analizowanych lat, z zastosowaniem modelu AMMI, miary nadrzędności plonowania P_i , miary niezawodności przewagi plonowania R_i i miary stabilności Kanga YS_i . Warunki pogodowe analizowanych lat traktowano jako środowiska (środowisko = rok).

Materiały i Metody

Badania polowe

Badania przeprowadzono w latach 2014-2017 w centralnej Polsce, w IHAR-PIB Oddział

w Jadwisinie (52°45' N, 21°63' E). W badaniu uwzględniono 23 odmiany jadalne ziemniaka oraz 11 odmian skrobiowych należących do różnych grup wczesności (tab. 1). W poszczególnych latach badań uprawiano różną liczbę odmian, od 31 do 33. Wszystkie badane odmiany były wpisane do Krajowego Rejestru Odmian Ziemniaka, dwie z analizowanych odmian Mondeo i Syrena zostały wykreślone z rejestru w 2018 roku [Nowacki i in. 2019]

Doświadczenia zakładano metodą losowanych bloków w trzech powtórzeniach. Badania przeprowadzono na glebie lekkiej, o składzie granulometrycznym piasku gliniastego [PTG 2009]. Gleba w poszczególnych latach badań charakteryzowała się odczynem kwaśnym, wysoką zasobnością w przyswajalny fosfor, średnią w potas i średnią do niskiej w magnez (tab. 2).

Nawożenie organiczne pod ziemniaki stanowiła słoma pszena w dawce 4-5 t·ha⁻¹ przyorywana po żniwach podorywką z dodatkiem azotu mineralnego (1 kg N na 100 kg słomy) oraz zielona masa międzyplonu ścierniskowego z gorczycy białej w dawce 15-16 t·ha⁻¹ przyorywana jesienią orką przedzimową. Nawożenie mineralne fosforem i potasem stosowano w oparciu o zasobność gleby w przyswajalne formy tych składników. Każdego roku jesienią przed wykonaniem orki przedzimowej stosowano 17,5 kg P·ha⁻¹ (superfosfat wzbogacony – 17,4% P) i 99,6 kg K·ha⁻¹ (sól potasowa – 49,8% K). Nawożenie mineralne azotem (saletrzak – 27% N) stosowano wiosną bezpośrednio przed sadzeniem bulw do dawki 100 kg N·ha⁻¹. Chwasty niszczone stosując do wschodów roślin ziemniaka dwukrotnie obsypnik z łańcuchami. Bezpośrednio przed wschodami, po ostatnim obredleniu, zastosowano Linurex 500 SC w dawce 2 l·ha⁻¹, a po wschodach roślin ziemniaka Titus 25 WG w dawce 60 g·ha⁻¹. W okresie wegetacji 4 krotnie przeprowadzano zabiegi ochronne przeciwko zarazie ziemniaka (2 x Ridomil Gold MZ 67,8 WG – 2,5 kg·ha⁻¹; Pyton Consento 450 SC – 2 l·ha⁻¹; Revus 250 SC – 0,6 l·ha⁻¹) oraz 3 krotnie zwalczające stonkę ziemniaczaną (Actara 25 WG – 70 g·ha⁻¹; Apacz 50 WG – 40 g·ha⁻¹; SpinTor 240 SC – 0,15 l·ha⁻¹). Ziemniaki sadzono ręcznie w III dekadzie kwietnia w rozstawie 75x33 cm, a zbierano w III dekadzie września. Powierzchnia poletka wynosiła 14,85 m², a liczba roślin do zbioru 60. Zbiory bulw przeprowadzano po uzyskaniu pełni dojrzałości roślin, w fazie rozwoju 97-99 w skali BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry) [Klingauf 2001; Bleinholder i in. 2005]. Podczas zbiorów oceniano wielkość uzyskanego plonu

Tabela 1

Table 1

Lista odmian ziemniaka uwzględnionych w doświadczeniu

List of potato cultivars chosen for the investigation

Odmiana Cultivar	Grupa wczesności Maturity grup	Użytkowanie Use	Rok rejestracji Year of registration	Właściciel/hdowca Owner/breeder	Kraj Country
Denar	bardzo wczesne very early	jadalne/table	1999	HZ Zamarte	PL
Impalla		jadalne/table	2003	Agrico	NL
Lord		jadalne/table	1999	HZ Zamarte	PL
Milek		jadalne/table	2006	HZ Zamarte	PL
Riviera		jadalne/table	1999	Europlant	DE
Viviana		jadalne/table	2010	Europlant	DE
Altesse	wczesne early	jadalne/table	2009	PMHZ Strzekęcino	PL
Bellarosa		jadalne/table	2006	Europlant	DE
Gwiazda		jadalne/table	2011	HZ Zamarte	PL
Ignacy		jadalne/table	2012	PMHZ Strzekęcino	PL
Michalina		jadalne/table	2010	HZ Zamarte	PL
Owacja		jadalne/table	2006	PMHZ Strzekęcino	PL
Vineta		jadalne/table	1999	Europlant	DE
Boryna	średnio wczesne medium early	skrobiowe/starch	2012	PMHZ Strzekęcino	PL
Finezja		jadalne/table	2007	HZ Zamarte	PL
Głada		skrobiowe/starch	1994	PMHZ Strzekęcino	PL
Harpun		skrobiowe/starch	1993	PMHZ Strzekęcino	PL
Honorata		jadalne/table	2012	Europlant	DE
Jubilat		skrobiowe/starch	2011	PMHZ Strzekęcino	PL
Kaszub		skrobiowe/starch	2012	PMHZ Strzekęcino	PL
Laskara		jadalne/table	2013	PMHZ Strzekęcino	PL
Malaga		jadalne/table	2013	HZ Zamarte	PL
Oberon		jadalne/table	2012	HZ Zamarte	PL
Pasat		skrobiowe/starch	2002	PMHZ Strzekęcino	PL
Satina		jadalne/table	2000	Solana	DE
Tajfun		jadalne/table	2004	PMHZ Strzekęcino	PL
Zuzanna		skrobiowe/starch	2012	Europlant	DE
Jelly		jadalne/table	2005	Europlant	DE
Mondeo		średnio późne medium late	jadalne/table	2013	KWS
Pasja Pomorska	jadalne/table		2010	PMHZ Strzekęcino	PL
Syrena	skrobiowe/starch		2002	PMHZ Strzekęcino	PL
Hinga	późne late	skrobiowe/starch	1996	PMHZ Strzekęcino	PL
Inwestor		skrobiowe/starch	2005	PMHZ Strzekęcino	PL
Kuras		skrobiowe/starch	2007	Agrico	NL

Tabela 2

Table 2

Zawartość przyswajanych form P, K, Mg w glebie oraz pH gleby

Soil content available form of P, K, Mg and pH

Rok Year	pH w KCl pH in KCl	Zawartość w glebie (mg·kg ⁻¹) Content in the soil (mg kg ⁻¹)		
		P	K	Mg
2014	5,0	77	120	34
2015	5,3	75	108	33
2016	5,3	90	112	33
2017	4,5	81	155	22

ogólnego bulw z każdego poletka według metodyki opracowanej w IHAR [Roztropowicz 1999]. Zbiory wykonywano ręcznie.

Warunki meteorologiczne

Warunki meteorologiczne podczas realizacji badań monitorowano przy pomocy Stacji Meteorologicznej Campbell (Campbell Scientific Inc.) zlokalizowanej około 4 km od doświadczeń polowych. Rozpatrywano sumę opadów oraz średnią temperaturę powietrza podczas wegetacji roślin ziemniaka w miesiącach od kwietnia do końca września. W celu dokładnego scharakteryzowania warunków termiczno-wilgotnościowych w latach badań, obliczono współczynnik hydrotermiczny Sielianiowa, na podstawie sumy średnich dobowych temperatur i sumy opadów atmosferycznych dla każdego miesiąca [Skowera i in. 2014].

Lata badań: 2014, 2016, 2017 były ciepłe i wilgotne, o czym świadczyły wartości współczynnika hydrotermicznego Sielianiowa dla okresów wegetacji. Natomiast rok 2015 można określić

jako ciepły i suchy. Rozkład opadów w poszczególnych miesiącach wegetacji był nierównomierny. W roku 2014 nadmiar opadów wystąpił w kwietniu, czerwcu i sierpniu, w maju notowano dostateczną ich ilość, natomiast w lipcu i wrześniu niedobór. W roku 2015 nadmiar opadów zanotowano w kwietniu, w maju i w lipcu była dostateczna ich ilość, natomiast niedobór opadów zanotowano w czerwcu i we wrześniu. Cały okres wegetacji ziemniaka w roku 2016 charakteryzował się nadmiarem opadów, tylko we wrześniu obserwowano ich niedobór. W 2017 roku w kwietniu i maju był znaczny niedobór opadów, natomiast pozostałe miesiące wegetacji charakteryzowały się nadmiarem opadów. Najwyższe średnie temperatury zanotowano w lipcu 2014 roku i sierpniu 2015 roku (tab.3)

Analizy statystyczne

Wyniki badań poddano analizie statystycznej. W procesie analizy wykorzystano średnie nie obciążone ilością obserwacji (ang. unbiased).

Tabela 3
Table 3

Sumy opadów i średnia temperatura powietrza w latach 2014–2017
Sums of atmospheric precipitation, average air temperatures in four growing seasons

Rok/miesiąc	Suma opadów (mm)						
	Sum of rainfall (mm)						
Year/month	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
2014	10,3	14,1	15,8	21,4	18,3	14,7	15,8
2015	8,3	12,9	17,5	19,6	22,5	15,1	16,0
2016	9,3	15,3	18,7	19,6	18,4	15,7	16,2
2017	7,3	14,1	18,1	18,4	19,4	13,8	15,2
Średnia temperatura powietrza (°C)							
Mean air temperature (°C)							
2014	61,1	41,3	69,8	23,5	79,2	11,9	286,8
2015	27,8	39,5	15,4	62,6	8,6	36,6	190,5
2016	31,4	92,2	85,4	103,6	61,4	9,5	383,5
2017	8,9	10,1	107,5	78,8	57,0	140,8	403,1
Współczynnik hydrotermiczny Sielianiowa (K)							
Sielianinov's hydrothermal Coefficient (K)							
2014	2,0	0,9	1,5	0,4	1,4	0,3	1,1
2015	1,1	1,0	0,3	1,0	0,1	0,8	0,7
2016	1,1	1,9	1,5	1,7	1,1	0,2	1,3
2017	0,4	0,2	2,0	1,4	1,0	3,4	1,4

$K \leq 0,4$ – skrajnie suchy; $0,4 < K \leq 0,7$ – bardzo suchy; $0,7 < K \leq 1$ – suchy; $1,0 < K \leq 1,3$ – dość suchy; $1,3 < K \leq 1,6$ – optymalny; $1,6 < K \leq 2,0$ – umiarkowanie wilgotny; $2,0 < K \leq 2,5$ – wilgotny; $2,5 < K \leq 3,0$ – bardzo wilgotny; $K > 3,0$ – skrajnie wilgotny (Skowera i in. 2014).

Ze względu na braki w obserwacjach wielkości plonu odmian ziemniaka (dane nieortogonalne), analizę AMMI przeprowadzono w dwuetapowym podejściu. W pierwszym etapie analizowano wyniki z każdego roku oddzielnie. W drugim etapie przeprowadzono analizę łączną (ang. combined analysis) na podstawie średnich z pierwszego etapu.

Dla każdej zmiennej wykonano analizę wariancji, następnie wykonano analizę interakcji genotyp \times środowisko (rok) z zastosowaniem modelu AMMI. Szczegółowej interpretacji poddano ocenę istotności składowych addytywnych i multiplikatywnych modelu. Wykonano biploty, pierwszy dla średnich genotypowych i środowiskowych względem składowej środowiskowej IPC(1), drugi dla dwóch pierwszych składowych środowiskowych IPC (1) i IPC (2). Na podstawie pierwszego biplotu oceniono rodzaj i wielkości efektu interakcyjnego dla poszczególnych genotypów i środowisk (lat). Na podstawie drugiego biplotu określono efekt interakcji pod kątem stabilności plonowania badanych odmian oraz wskazano genotypy, które charakteryzowały się relatywnie wysokim plonem w roku badań o określonych warunkach termiczno-wilgotnościowych (wskazano genotypy o wąskiej, lokalnej adaptacji) [Annicchiarico 2002; Kaya i in. 2006].

Ocenę adaptacji badanych odmian przeprowadzono na podstawie dwóch ilościowych miar i porządkowej miary stopnia szerokiej adaptacji odmiany [Iwańska i in. 2008, 2009; Mądry i Iwańska 2011 a, b] tj.:

- miary nadrzędności plonowania i -tej odmiany P_i [Lin i Binns 1988],
- miary niezawodności przewagi plonowania i -tej odmiany R_i [Eskridge i Mumm 1992],
- miary Kanga średniego plonu i jego stabilności YS_i [Kang 1993].

Obliczenia statystyczne wykonano w programie Statistica 13.3 [TIBCO Software Inc., 2017] z dodatkiem Zestaw przyrodnika w wersji 1.0 [StatSoft Polska Sp. z o. o. 2018].

Wyniki

Wartości ocenianej cechy różniły się pomiędzy badanymi odmianami oraz latami badań. W tabeli 4 przedstawiono średnie wartości plonu ogólnego bulw ocenianych odmian ziemniaka w czterech latach.

Najwyższy średni plon ogólny odmian ziemniaka uzyskano w 2016 roku, natomiast najniższy w 2015 roku (tab. 4). Średnio dla czterech lat badań najwyżej plonowały odmiany: Mondeo, Michalina, Ignacy, Gwiazda.

Na podstawie analizy wariancji wg. modelu AMMI stwierdzono, że wielkość plonu ogólnego ziemniaka w największym stopniu zależała od roku (58,6%), następnie od odmiany (17,0%) oraz od interakcji odmiana \times rok (środowisko) (15,0%) (tab. 5). Stwierdzono, istotność wszystkich składowych interakcyjnych (IPC1, IPC2, IPC3). Udział w zmienności interakcji wynosił 61,8% dla IPC(1), 20,3% dla IPC(2) oraz 13,9% dla IPC(3). Dwie pierwsze składowe (IPC1 i IPC2) odpowiadały łącznie za 82,1% całego efektu interakcyjnego.

Na podstawie analizy wykresu średnich plonowania względem IPC1 stwierdzono, największy dodatni efekt interakcyjny u odmiany Kuras, która reagowała relatywnie wyższymi plonami w latach o korzystnych warunkach pogodowych (rys. 1a). Największy ujemny efekt interakcyjny stwierdzono dla odmian Michalina, Gwiazda i Ignacy, które plonowały relatywnie lepiej podczas występowania słabszych warunków pogodowych. Efekty bliskie 0 uzyskano dla genotypów: Miłek, Jelly, Mondeo, Zuzanna, Pasat, Riviera i Syrena, co jest potwierdzeniem stabilności tych odmian pod względem plonowania. Najwyższy efekt główny otrzymano dla odmian: Mondeo, Michalina, Ignacy, Gwiazda. Były to odmiany, które uzyskały w analizowanych latach plony wyższe niż przeciętne. Odmianami o najniższym efekcie głównym (najniższym przeciętnym plonowaniu) były Pasja Pomorska i Głada.

Analiza biplotu dla dwóch pierwszych składowych interakcyjnych: IPC(1) i IPC(2) pozwoliła na wskazanie odmian o wysokiej adaptacji do konkretnych warunków w analizowanych latach (rys. 1b). Odmiany: Denar, Zuzanna, Harpun, Finezja i Malaga plonowały najwyżej w latach 2014 i 2015. Warunki termiczno-wilgotnościowe panujące w roku 2016 sprzyjały plonowaniu odmian Zuzanna, Syrena, Miłek oraz Altesses. Natomiast w warunkach występujących w 2017 roku najwyższe plony uzyskano u odmian Hinga, Pasja Pomorska, Oberon, Zuzanna oraz Lord.

W tabeli 6 przedstawiono miary stopnia szerokiej adaptacji dla odmian ziemniaka objętych badaniami. Pierwszą rozpatrywaną miarą szerokiej adaptacji była miara nadrzędności plonowania P_i . Im wartość tej miary jest bliższa zeru tym odmiana posiada wyższy stopień szerokiej adaptacji. Kolejnym badanym parametrem była miara niezawodności plonowania odmiany R_i , która wyrażała prawdopodobieństwo plonowania danej odmiany powyżej średniej środowiskowej. Odmiana dla której R_i przyjmuje wartość 1, plonuje powyżej średniej środowiskowej dla całego badanego okresu, zatem taka odmiana wykazuje najwyższy

Tabela 4

Table 4

Średnie wartości plonu ogólnego bulw (t·ha⁻¹) w latach badańMean values of total tuber yield (t·ha⁻¹) in years of research

Odmiana Cultivar	Plon ogólny (t·ha ⁻¹) Total tuber field (t·ha ⁻¹)				Średnia Mean	Odchylenie standardowe Standard deviation				2014-2017
	2014	2015	2016	2017		2014	2015	2016	2017	
Denar	54,97	31,4	71,6	55,23	53,3	4,32	3,74	3,99	0,83	14,49
Impalla	49,87	25,2	57,53	52,33	46,23	3,61	5,8	4,14	1,19	13,46
Lord	55,3	30,47	67,63	58,73	53,03	3,89	3,7	6,88	3,09	14,93
Milek	48,9	27,3	48,27	41,1	41,39	3,41	3,96	3,62	2	9,52
Riviera	-*	26,3	48,33	47,07	40,57	-	6,14	6,68	4,04	11,57
Viviana	54,6	19,93	59,5	47,7	45,43	5,88	2,81	17,12	3,16	17,85
Altesse	44,43	31,87	69,6	47,4	48,33	0,83	0,92	3,61	6,15	14,53
Bellarosa	34,57	23,87	60,6	48,47	41,88	1,98	3,06	2,16	2,31	14,65
Gwiazda	54,13	31,03	73,4	64,47	55,76	2,02	2,21	7,08	3,04	16,9
Ignacy	56,33	29,4	80,07	59,93	56,43	2,56	1,05	7,54	4,01	19,23
Michalina	53,57	31,57	78,3	68,17	57,9	1,8	2,39	4,02	4,21	18,56
Owacja	50,53	28,17	67,17	55,1	50,24	1,22	5,12	7,14	8,4	15,64
Vineta	39,47	28,73	67,47	48,73	46,1	2,49	3,29	5,81	6,07	15,38
Boryna	-	33,67	50,57	36,37	40,2	-	7,12	2,51	2,54	8,82
Finezja	45,8	36,7	59,47	41,7	45,92	3,02	7	5,82	9,66	10,58
Glada	42,07	29,17	-	37,3	36,18	2,02	8,65	-	4,35	7,51
Harpun	42,67	25,13	52	33,87	38,42	0,68	4,94	3,49	2,51	10,81
Honorata	49,3	39	55,23	-	47,84	4,2	3,91	4,41	-	7,98
Jubilat	48,87	31,37	59,2	30,8	42,56	1,1	9,07	2,56	13,35	14,39
Kaszub	41,53	33,27	49,23	32,73	39,19	2,41	2,85	3,49	6,25	7,86
Laskara	-	28,63	69,97	48,37	48,99	-	7,72	7,5	7,05	19,03
Malaga	52,53	31,23	-	38,1	40,62	3,27	6,36	-	4,49	10,32
Oberon	54,57	47	67,73	43,4	51,6	2,47	6,64	12,89	7,36	13,17
Pasat	46,9	-	55,37	49,43	50,57	1,21	-	2,85	5,68	4,97
Satina	55,77	40,83	70,43	43,47	52,63	2,25	5,16	8,44	3,85	13,09
Tajfun	51,7	44,17	55,83	45,2	49,23	2,68	3,91	4,25	5,83	6,21
Zuzanna	39,77	29,87	59,17	41,8	42,65	1,13	6,98	2,91	11,21	12,45
Jelly	45,63	34,3	69,8	38,23	46,99	2,1	7,9	3,34	8,36	15,3
Mondeo	56,6	49,83	72,63	-	59,69	0,72	10,32	2,65	-	11,46
Pasja Pomorska	44,67	26,73	54,2	24,17	37,44	0,92	5,3	5,73	3,04	13,53
Syrena	51,47	34,8	68,9	-	51,72	3,18	8,79	2,55	-	15,54
Hinga	46,43	29,73	56,1	28,6	40,22	1,71	4,95	6,32	6,81	12,92
Inwestor	40,5	25,9	55,37	32,2	38,49	1,21	7,83	4,27	2,45	12,19
Kuras	44,37	39,93	55,7	30,53	42,63	0,63	7,32	4,75	6,87	10,58
Średnia / Mean	48,32	32,02	62,07	44,22	x	6,23	7,86	10,16	11,86	x

Tabela 5

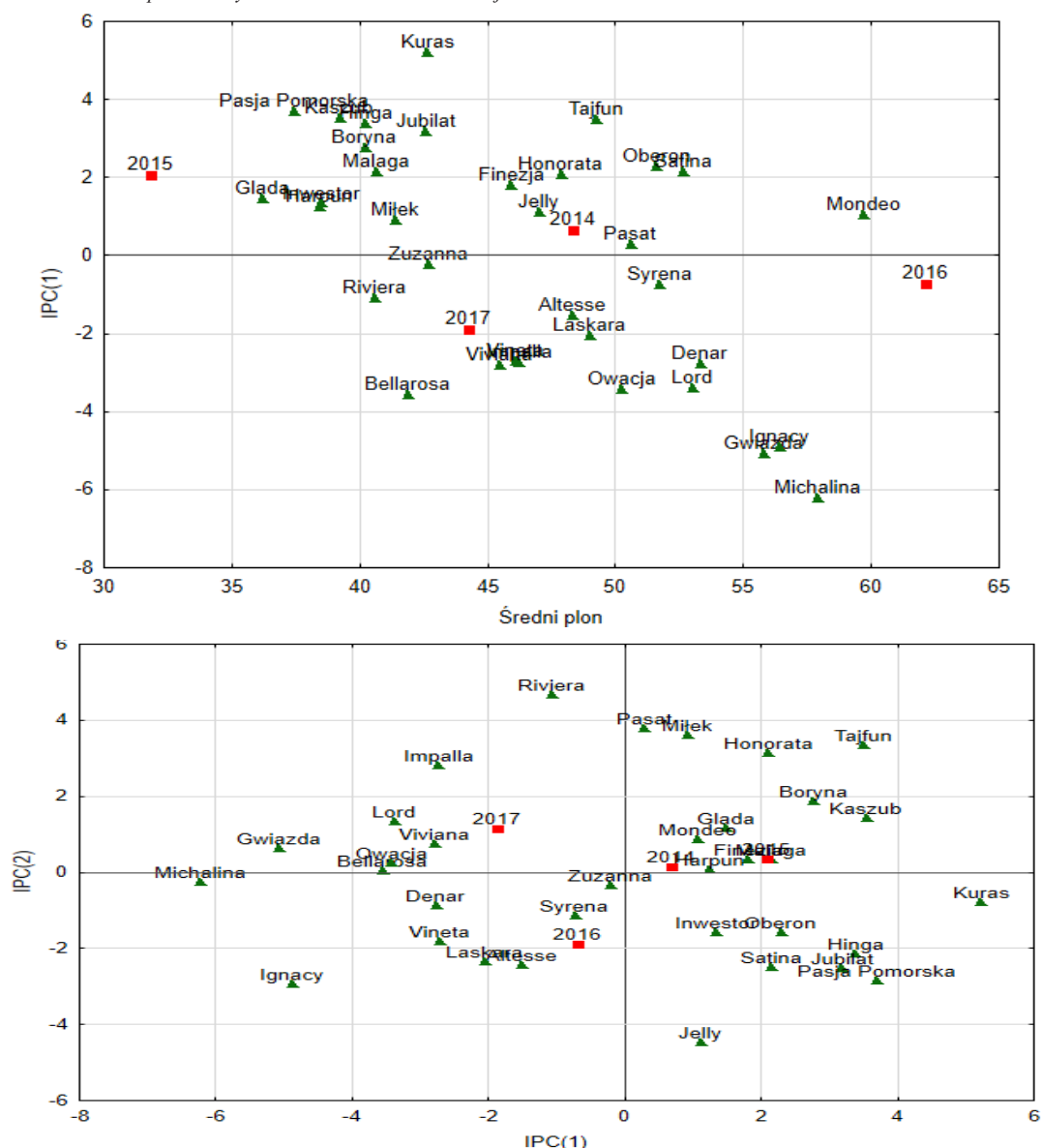
Table 5

Zestawienie wyników analizy wariancji dla analizowanych odmian ziemniaka w czterech latach badań

Comparison of the variance analysis results for analyzed potato varieties in four years of research

Efekty Effects	DS	MS	Procent zmienności Percent of variability	F	wartość p p-value
Ogół Total	380	203,7	100		
Rok Year	3	15133,0	58,6	51,62	0,000
Bloki w latach Blocks in year	8	293,2	3,0	14,69	0,000
Odmiana Cultivar	33	399,2	17,0	20,00	0,000
Odmiana × rok Cultivar × year	90	128,7	15,0	6,44	0,000
IPC 1	35	204,3	9,2 (61,8)*	6,44	0,000
IPC 2	33	71,2	3,0 (20,3)	4,03	0,000
IPC 3	22	73,3	2,1 (13,9)	4,73	0,000
Błąd Error	246	20,0	6,3		

* - procentowy udział w zmienności interakcji



Rys. 1. Biploty uzyskane w analizie AMMI dla plonu bulw a) IPC (1)/średni plon bulw; b) IPC (1)/IPC (2)

Fig. 1. Biplots from AMMI analysis for tuber yield: a) IPC (1)/mean tuber yield; b) IPC (1)/IPC (2)

Tabela 6

Table 6

Zestawienie miar szerokiej adaptacji dla plonu ogólnego

Wide adaptation degree estimation for total tuber yield

Odmiana Cultivar	Miara nadrzędności plonowania P_i Superiority measure P_i	Miara niezawodności przewagi plonowania R_i Eskridey's yield reliability measure	Miara stabilności Kanga YS_i Kang's stability measure YS_i
Altesse	126	0,75	22
Bellarosa	241	0,25	10
Boryna	357	0,33	5
Denar	73	0,75	31
Finezja	177	0,25	15
Głada	265	0,00	-1
Gwiazda	52	0,75	33
Harpun	346	0,00	2
Hinga	331	0,00	6
Honorata	131	0,67	21
Ignacy	61	0,75	34
Impalla	176	0,50	17
Inwestor	342	0,00	3
Jelly	170	0,50	20
Jubilat	279	0,25	11
Kaszub	338	0,25	4
Kuras	282	0,25	12
Laskara	157	0,67	23
Lord	78	0,75	30
Malaga	211	0,33	8
Michalina	43	0,75	31
Miłek	289	0,25	9
Mondeo	9	1,00	36
Oberon	107	0,75	27
Owacja	105	0,75	25
Pasat	176	0,33	26
Pasja Pomorska	410	0,00	1
Riviera	334	0,33	7
Satina	98	0,75	29
Syrena	63	1,00	28
Tajfun	146	0,75	24
Vineta	159	0,50	16
Viviana	217	0,50	14
Zuzanna	227	0,00	13

możliwy stopień szerokiej adaptacji. Ostatnim badanym wskaźnikiem szerokiej adaptacji była miara Kanga YS_i . Stanowi ona pewną funkcję ważoną rang zarówno dla średniej genotypowej plonu odmiany oraz wariancji stabilności. Im wyższa jest wartość YS_i dla odmiany tym wyższy jest jej stopień szerokiej adaptacji.

Stwierdzono że, największa zgodność uporządkowania odmian w rankingu miar szerokiej adaptacji występowała dla odmian o najwyższym stopniu szerokiej adaptacji. Odmiana Mondeo została zgodnie przyporządkowana na pierwsze miejsce w rankingu przez wszystkie trzy rozpatrywane miary stopnia szerokiej adaptacji (tab. 6). Zgodnie z miarą niezawodności plonowania odmiany R_i , odmiany Mondeo i Syrena cechowały się największym prawdopodobieństwem uzyskania plonów powyżej średniej środowiskowej. Według oceny Kanga YS_p , za odmiany o najszerzym stopniu szerokiej adaptacji do warunków środowiska uznano: Mondeo, Ignacy, Gwiazda, Denar, Michalina i Lord.

Dyskusja

W niniejszej pracy przedstawiono ocenę plonu oraz wyniki analizy interakcji genotypowo-środowiskowej 34 odmian ziemniaka. Wykonano ją na podstawie cyklu czteroletniego doświadczenia polowego przeprowadzonego w Centralnej Polsce. Uznanie lat za zmienne środowiska jest możliwe, ponieważ każdy rok charakteryzują inne, odrębne warunki środowiskowe dla uprawianych roślin [Oleksiak i Mańkowski 2003]. Warunki klimatyczne panujące w latach badań mają duży wpływ na udział środowiska w interakcji GxE, a charakter i stopień interakcji w poszczególnych środowiskach zależy bardziej od warunków meteorologicznych panujących w danym roku niż od lokalizacji miejsca doświadczenia [Drzazga i Krajewski 2001; Wójtowicz 2013]. Wyniki badań własnych potwierdzają tę tezę. Warunki meteorologiczne miały ponad trzykrotnie większy wpływ na wielkość plonu ogólnego bulw, niż odmiana i interakcja genotyp x rok. Czynniki pogodowe najsilniej oddziaływały na wielkość plonu ogólnego bulw także w badaniach Kołodziejczyka [2013]. Wielkość plonu ogólnego i handlowego bulw w największym stopniu determinowane były warunkami meteorologicznymi w poszczególnych latach (ponad 76% zmienności całkowitej). Właściwości odmianowe wyjaśniały 4,2% zmienności, z kolei interakcja odmian z latami odpowiadała w 17,9% za zmienność plonu ogólnego. Również w badaniach Sawickiej i Pszczółkowskiego [2004]

warunki meteorologiczne wyjaśniały ponad 95% wariacji plonu ogólnego oraz handlowego bulw, właściwości odmian ponad 3%, a interakcja tych czynników niespełna 1% całkowitej zmienności. Autorzy nie podają jednak udziału błędu doświadczenia, który może stanowić nawet ok. 50% zmienności całkowitej [Bombik i Boligłowa 1994].

Najwyższy plon ogólny stwierdzono w 2016 roku, co było związane z korzystnym układem warunków meteorologicznych w okresie wegetacji roślin. Z badań Głuskiej [2004] wynika, że orientacyjne potrzeby wodne dla odmian wczesnych w okresie od maja do września wynoszą 300 mm, a dla odmian późnych 362 mm. Kowalik i Scalenghe [2009] twierdzą, że średnie zapotrzebowanie ziemniaka na wodę w Polsce wynosi 315 mm w sezonie wegetacyjnym. Według Kalbarczykó [2009], optymalne warunki pogodowe, sprzyjające uzyskaniu wysokich plonów to umiarkowana średnia temperatura powietrza w okresie maj–wrzesień (średnio 15,2°C) i sumy opadów wynoszące około: 45 mm w maju, 65 mm w czerwcu, 90 mm w lipcu, 75 mm w sierpniu i 60 mm we wrześniu. Niedobór opadów i wysoka temperatura w 2015 wpłynęły na znaczne ograniczenie plonowania, o ok 50% w stosunku do 2016 roku. Inni badacze również wykazali wyraźny spadek plonów przy niedoborze opadów [Sawicka, Krochmal-Marczak 2005; Dziezyc i in. 2012].

Analiza interakcji genotyp × rok pozwoliła na wytypowanie odmian stabilnych rolniczo pod względem plonowania w zmiennych warunkach meteorologicznych w poszczególnych latach badań. Udowodniono, że siedem odmian nie wykazało interakcji ze środowiskiem i uznano je za stabilne rolniczo pod względem uzyskanego plonu. Były to odmiany: Miłek, Jelly, Mondeo, Zuzanna, Pasat, Riviera i Syrena. Pozostałe odmiany uznano za plonujące niestabilnie, podlegające silnym wpływom warunków środowiska. Odmiany te można by uznać za tzn. odmiany nieprzewidywalne [Mądry i in. 2010]. Jednak czteroletni okres badań jest zbyt krótki by móc w ten sposób ocenić odmianę. Wyniki badań własnych, podobnie jak w dwuletnich badaniach Flis i in. [2014] prowadzonych w trzech krajach, również wyłoniły odmianę Finezja jako niestabilną pod względem plonowania. Uzyskany wynik dotyczący odmiany Finezja był także zgodny z badaniami Rymuzy i in. [2017], które realizowano w trzech miejscowościach w Polsce w czterech latach badań.

Wyodrębniono odmiany o wysokim dodatnim efekcie głównym: Gwiazda, Ignacy, Michalina i Mondeo, czyli takie które plonowały wyżej

niż średnia odmianowa (rys. 1a, tab. 4). Według Bombika i innych [2007], odmiany o wysokim dodatnim efekcie głównym mogą być rekomendowane do uprawy w zmiennych lub mniej sprzyjających warunkach uprawy. Wykazali oni, że zmienność plonu bulw ziemniaka determinowana była przez efekty interakcyjne lat z badanymi czynnikami i błąd doświadczenia.

Genotypy o szerokiej adaptacji to takie, które charakteryzują się uzyskiwaniem wyższych plonów niż średnia środowiskowa w znacznej większości badanych środowisk [Annicchiarico 2002; Tollenaar, Lee 2002]. Na podstawie badań stwierdzono, że spośród ocenianych odmian największa ich zgodność uporządkowania w rankingu miar szerokiej adaptacji pod względem plonowania dotyczyła odmian: Mondeo, Ignacy, Gwiazda, Denar, Michalina i Lord (tab. 6). Odmiany te odznaczały się zdolnością do gromadzenia plonu na wysokim poziomie w zmiennych warunkach meteorologiczno-glebowych (tab. 4).

Założenia oraz wyniki przeprowadzonego doświadczenia są zgodne z badaniami Loserta i in. [2017] którzy stwierdzili, że trend plonowania odmian można zidentyfikować jedynie poprzez obserwacje plonów przez kilka sezonów wegetacyjnych. W grupie analizowanych odmian, wyróżniała się odmiana Mondeo, która była stabilna w sensie rolniczym oraz znajdowała się na pierwszym miejscu w rankingu miar szerokiej adaptacji względem plonowania. Odmiana Mondeo spełniła warunki genotypu idealnego [Kaya i in. 2006]. W praktyce rolniczej, a także w hodowli poszukuje się właśnie takich odmian - stabilnych pod względem plonowania, odznaczających się szeroką zdolnością adaptacyjną do zróżnicowanych warunków.

Podsumowanie

Interakcja genotyp \times rok pozwoliła wskazać odmiany ziemniaka stabilne i niestabilne rolniczo pod względem plonowania. Oceniono reakcję tych odmian na zmienne warunki lat badań (środowisk) oraz ich adaptację do tych warunków. Zastosowane miary porządkujące tj. stopnia szerokiej adaptacji oraz miara ilościowa – stabilności Kanga, umożliwiły wykonanie rankingu odmian o relatywnie najwyższym (wśród badanych odmian) plonie ogólnym bulw.

Uzyskane wyniki badań odmianowych mogą być pomocne w pracach hodowlanych nad tworzeniem nowych genotypów ziemniaka oraz mogą ułatwić rolnikom wybór odmian stabilnych oraz o szerokiej bądź wąskiej adaptacji do warunków glebowo-klimatycznych gospodarstwa.

Wnioski

1. Wielkość plonu ogólnego bulw zależała istotnie od odmiany, warunków lat badań oraz interakcji odmiana \times rok.
2. Udział interakcji odmiana \times rok w zmienności ogólnej dla wielkości uzyskiwanego plonu wynosił 15%.
3. Szczegółowa analiza AMMI pozwoliła stwierdzić, że odmiany Miłek, Jelly, Mondeo, Zuzanna, Pasat, Riviera i Syrena były stabilne rolniczo pod względem plonowania w badanych warunkach meteorologicznych.
4. Ocena stopnia szerokiej adaptacji odmian do warunków uprawy przeprowadzona za pomocą dwóch miar ilościowych i porządkowej miary Kanga, pozwoliła na stwierdzenie, że najwyższy stopień szerokiej adaptacji do warunków uprawy występujących w badanym okresie wykazały odmiany: Mondeo, Ignacy, Gwiazda, Denar, Michalina i Lord.
5. Pod względem plonowania odmianę Mondeo można określić jako odmianę idealną tzn. nie wykazującą interakcji ze środowiskiem, o szerokiej adaptacji do zróżnicowanych warunków meteorologicznych, charakteryzującą się najwyższym plonem ogólnym spośród porównywanych odmian.

Literatura

- Annicchiarico, P. 2002. Genotype \times environment interaction: challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. *Plant Production and Protection, Fao, Rome*, (174), 85–86.
- Becker H. C., Leon J. 1988. Stability Analysis in Plant Breeding. *Plant Breeding*, 101(1), 1–23. DOI: 10.1111/j.1439-0523.1988.tb00261.x
- Bleinholder H., Buhr L., Feller C., Hack H., Hess M., Klose R., Meier U., Stauss R., van den Boom T., Weber E., Lancashire P. D., Munger P. 2005. Compendium of Growth Stage Identification Keys for Mono- and Dicotyledonous Plants. Klucz do określania faz rozwojowych roślin jedno- i dwuliściennych w skali BBCH. Tłum. Adameczewski K., Matysiak K. *Instytut Ochrony Roślin*, 15–19, 28–33, 40–43.
- Bombik A., Boligłowa E., 1994. Zmienność cech jakości ziemniaka jadalnego spowodowana nawożeniem dolistnym. *Fragmenta Agronomica*, 2, 52-57.
- Bombik A., Stankiewicz C., Starczewski J. (2003). Interakcja genotypowo-środowiskowa w ocenie wybranych cech jakości ziemniaka. *Biuletyn IHAR (226/227/2)*, 539-546.
- Bombik A., Rymuza K., Markowska M., Stankiewicz C. 2007. Variability analysis of selected quantitative characteristics in edible potato varieties. *Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura*, 6(3), 5–15.

- Caliński T. 1967. Model analizy wariancji dla doświadczeń wielokrotnych. *Rocznik Nauk Rolniczych*, Seria A(93), 549–579.
- Dziężyk H., Chmura K., Dmowski Z. 2012. Określenie wpływu warunków opadowych na plonowanie ziemniaka bardzo wczesnego i wczesnego w południowej Polsce. *ITP Woda Środowisko Obszary Wiejskie*, 12(3(38)), 133–141.
- Drzazga T., Krajewski P., 2001. Zróżnicowanie środowisk pod względem stopnia interakcji w seriach doświadczeń z pszenicą ozimą. *Biul. IHAR*, 218/219, 111–115.
- Eskridge K. M., Mumm R. F. 1992. Choosing plant cultivars based on the probability of outperforming a check. *Theoretical and Applied Genetics*, 84(3), 494–500. DOI: 10.1007/BF00229512
- 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. *American Journal of Potato Research*, 91(4), 404–413. DOI: 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. *Biuletyn IHAR*, (286), 239–242.
- Galek R., Bujak H., Kaczmarek J. 2000. Ocena stabilności cech bonitacyjnych i technologicznych w kolekcji żyta jarego na podstawie pięciu parametrów statystycznych. *Biul. IHAR*, (216), 69–76.
- Głuska A. 2004. Wpływ zmiennego rozkładu opadów na cechy bulw ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.) oraz wyznaczenie okresu krytycznego wrażliwości na niedobór wody u odmian o różnej długości okresu wegetacji. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, (496), 217–227.
- Iwańska M., Mądry W., Drzazga T., Rajfura A. 2008. Zastosowanie miar statystycznych do oceny stopnia szerokiej adaptacji odmian pszenicy ozimej na podstawie serii doświadczeń przedrejestrowych. *Biul. IHAR* 250: 67 - 86.
- Iwańska M., Mądry W., Rajfura A., Drzazga T. 2009. Porównanie syntetycznych wskaźników stopnia adaptacji odmian na przykładzie serii doświadczeń przedrejestrowych z pszenicą ozimą. *Biul. IHAR* 253: 31 — 45.
- Kalbarczyk R., Kalbarczyk E. 2009. Potrzeby i niedobory opadów atmosferycznych w uprawie ziemniaka średnio późnego i późnego w Polsce. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, (03), 129–140.
- Kang M. S. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences for growers. *Agronomy Journal*, (85), 754–757.
- Kaya Y., Akçura M., Taner S. 2006. GGE-Biplot Analysis of Multi-Environment Yield Trials in Bread Wheat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30(5), 325–337.
- Klingauf F. 2001. *Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. BBCH Monograph*. (2. wyd.). Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry. Pobrano z http://www.jki.bund.de/fileadmin/dam_uploads/_veroeff/bbch/BBCH-Skala_englisch.pdf
- Kołodziejczyk M. 2013. Fenotypowa zmienność plonowania, składu chemicznego oraz wybranych cech jakości bulw średnio późnych i późnych odmian ziemniaka jadalnego. *Acta Agrophysica*, 2013, 20(3), 411–422.
- Kowalik P. J., Scalenghe R. 2009. Water needs of energy crops – one of the environmental problems of Poland., 1–9.
- Lin C. S., Binns M. R. 1988. A Superiority Measure of Cultivar Performance for Cultivar × Location Data. *Canadian Journal of Plant Science*, 68(1), 193–198. DOI: 10.4141/cjps88-018
- Losert D., Maurer H. P., Marulanda J. J., Würschum T. 2017. Phenotypic and genotypic analyses of diversity and breeding progress in European triticale (× *Triticosecale* Wittmack). *Plant Breeding*, 136(1), 18–27. DOI: 10.1111/pbr.12433
- Mądry W., Iwańska M. 2011 a. Ilościowe miary szerokiej adaptacji odmian i ich zastosowanie w doświadczeniach wstępnych z pszenicą ozimą. *Biul. IHAR* 260/261: 81 — 95.
- Mądry W., Iwańska M. 2011 b. Przydatność metod oraz miar statystycznych do oceny stabilności i adaptacji odmian: przegląd literatury. *Biul. IHAR* 260/261: 193 — 218.
- 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. *Biuletyn IHAR*, 34, 13–163.
- Mądry W., Rajfura A. 2003. Analiza statystyczna miar stabilności na podstawie danych w klasyfikacji genotypy x środowiska. Część III. Porównanie estymatorów i testów w rozpatrywanych modelach z dwóch grup oraz przykład liczbowy. *Colloquium Biometricum*, 33, 221–234.
- Nowacki W., Barbaś P., Boguszewska-Mańkowska D., Jankowska J., Pietraszko M., Trawczyński C., Zarzyńska K., Michalak K., Urbanowicz J. 2019. *Charakterystyka Krajowego rejestru odmian ziemniaka*. IHAR-PIB, Jadwisin ss. 43.
- Oleksiak T., Mańkowski D. R. 2003. Ocena stabilności plonowania wybranych odmian pszenicy ozimej na podstawie wyników badań ankietowych z lat 1990–2001. *Biuletyn IHAR*, 228, 4–10.
- Padarewski J., Mądry W. 2012. Zastosowania modelu AMMI do analizy reakcji odmian na środowiska. *Biul. IHAR*, 263, 161–188.
- PTG 2009. Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych – PTG 2008. *Roczn. Glebozn. – Soil Sci. Ann.*, 60 (2), 5–16.
- Roztropowicz S. 1999. *Metodyka obserwacji, pomiarów*

- i pobierania prób w agrotechnicznych doświadczeniach z ziemniakiem.* (T. 1–200). 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. *Biuletyn IHAR*, (281), 59–68.
- Sawicka B., Krochmal-Marczak B. 2005. Wpływ czynników agrometeorologicznych na długość faz rozwojowych bardzo wczesnych i wczesnych odmian ziemniaka. *Acta Agrophysica*, 6(1), 225–236.
- Sawicka B., Pszczółkowski P. 2004. Fenotypowa zmienność struktury plonu odmian ziemniaka w warunkach środkowo-wschodniej Polski. *Biuletyn IHAR*, (232), 53–66.
- Skowera B., Kopcińska J., Kopeć B. 2014. Changes of thermal and precipitation conditions in Poland in 1971–2013. *StatSoft Polska Sp. z o.o.* 2018. Zestaw Przyrodnika wersja 1.0. www.statsoft.pl.
- TIBCO Software Inc. 2017. <http://statistica.io>
- Tollenaar M., Lee E. A. 2002. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crops Research*, 75(2–3), 161–169. DOI: 10.1016/S0378-4290(02)00024-2
- Wójtowicz M. 2013. Rola czynników środowiskowych i agrotechnicznych w kształtowaniu wielkości i jakości plonu rzepaku ozimego (*Brassica napus* L.). Monografie i rozprawy naukowe 45/2013: 1–111. IHAR-PIB. Radzików
- Yan W., Kang M. S., Ma B., Woods S., Cornelius P. L. 2007. GGE Biplot vs. AMMI Analysis of Genotype-by-Environment Data. *Crop Science*, 47(2), 643–653. DOI: 10.2135/cropsci2006.06.0374