PROGRESS IN PLANT PROTECTION
58 (4): 251-255, 2018
ISSN 1427-4337

DOI: 10.14199/ppp-2018-034
Published online: 15.10.2018

Received: 19.04.2018 / Accepted: 11.09.2018

Genotype by environment interaction for thousand-grain weight in spring barley using additive main effects and multiplicative interaction model

Zastosowanie modelu AMMI do analizy interakcji genotypowo-środowiskowej masy tysiąca ziaren jęczmienia jarego

Anna Tratwal[1]*, Kamila Nowosad[2], Jan Bocianowski[3]

Summary

The objective of this study was to assess genotype by environment interaction of thousand-grain weight in spring barley grown in South-West Poland by using the AMMI model. The study comprised of 25 spring barley genotypes (five cultivars: Basza, Blask, Antek, Skarb and Rubinek as well as all possible 10 two-way mixtures and 10 three-way mixtures combinations), evaluated at eight locations (two locations in four years) in a randomized complete block design, with four replicates. Thousand-grain weight of the tested genotypes ranged from 39.55 g (for Antek/Rubinek in Bąków 2011) to 53.25 g (for Skarb in Bąków 2010), with an average of 45.60 g. In the AMMI analyses, 26.03% of the thousand-grain weight variation was explained by environment, 7.24% by differences between genotypes, and 14.48% by genotype by environment interaction. The cultivar Rubinek and mixtures Antek/Blask/Skarb and Antek/Rubinek/Skarb are recommended for further inclusion in the breeding program due to their high average thousand-grain weight and their high stability.

Key words: thousand-grain weight; AMMI; spring barley; stability

Streszczenie

Celem badań było zastosowanie modelu AMMI do estymacji interakcji genotypowo-środowiskowej masy tysiąca ziaren jęczmienia jarego rosnącego w południowo-zachodniej Polsce. Model AMMI zakłada addytywność efektów głównych genotypów i środowisk oraz efektów interakcji genotypowo-środowiskowej. Badanie obejmowało 25 genotypów jęczmienia jarego (pięć odmian: Basza, Blask, Antek, Skarb i Rubinek oraz wszystkie 10 możliwych mieszanek podwójnych i 10 mieszanek potrójnych), analizowanych w ośmiu środowiskach (dwie miejscowości w czterech latach) w doświadczeniach polowych, w układzie bloków losowanych kompletnych, w czterech powtórzeniach. Masa tysiąca ziaren badanych genotypów wynosiła od 39,55 g (dla Antek/Rubinek w Bąkowie w 2011 r.) do 53,25 g (dla Skarb w Bąkowie w 2010 r.), ze średnią masą tysiąca ziaren wynoszącą 45,60 g. Uzyskane wyniki wskazują, że 26,03% całkowitej zmienności wyjaśnić można zmiennością środowiskową, 7,24% przez różnice między genotypami, a 14,48% interakcją genotypowo-środowiskową. Uzyskane wyniki pozwalają rekomendować odmianę Rubinek oraz mieszanki Antek/Blask/Skarb i Antek/Rubinek/Skarb do wykorzystania w programach hodowlanych ze względu na dużą średnią masę tysiąca ziaren oraz dużą ich stabilność.

Słowa kluczowe: masa tysiąca ziaren; model AMMI; jęczmień jary; stabilność

[1]Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy
Władysława Węgorka 20, 60-318 Poznań
[2]Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
pl. Grunwaldzki 24A, 50-363 Wrocław
[3]Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań
*corresponding author: a.tratwal@iorpib.poznan.pl

Wstęp / Introduction

Praktyczne stosowanie integrowanej ochrony roślin wiąże się z wykorzystaniem, na ile to możliwe, wszelkich alternatywnych dla ochrony chemicznej metod zwalczania agrofagów. Zasadą jest, aby stosować różne metody, najbardziej efektywne i najmniej szkodliwe dla środowiska naturalnego w danym okresie rozwoju rośliny uprawnej.

Uprawa roślin w zasiewach mieszanych przyczynia się do zwiększenia bioróżnorodności na polach uprawnych. Dzięki poprawionej bioróżnorodności w łanie siewu mieszanego, w większym stopniu niż to ma miejsce w siewach czystych, działają rozmaite mechanizmy ekologiczne, przyczyniające się do zwiększenia wysokości i stabilności plonowania upraw (Finckh i wsp. 2000; Michalski i wsp. 2004; Gacek 2010).

Celem niniejszej pracy była ocena interakcji genotypowo-środowiskowej (GE) masy tysiąca ziaren odmian i mieszanek jęczmienia jarego z zastosowaniem modelu AMMI.

Materiały i metody / Materials and methods

Ścisłe doświadczenia polowe założone zostały w dwóch miejscowościach, tj. Hodowla Roślin Smolice Oddział Bąków Sp. z o.o. – Grupa IHAR, województwo opolskie (50°42' N, 18°28' E) i Zakład Doświadczalny Oceny Odmian Kościelna Wieś, województwo wielkopolskie (51°47' N, 18°00' E), w ciągu czterech sezonów wegetacyjnych (2010, 2011, 2012 i 2013). Doświadczenia zostały założone w czterech powtórzeniach, w układzie split-plot na poletkach o powierzchniach: 10 m^2 (Bąków) i 16,5 m^2 (Kościelna Wieś). Do badań użyto pięć odmian jęczmienia jarego – Basza (Ba), Blask (Bl), Antek (A), Skarb (S) i Rubinek (R) oraz ich 10 mieszanek dwuskładnikowych i 10 kombinacji trójskładnikowych. Udział komponentów mieszanek wynosił 1 : 1 (Ba/Bl, A/Ba, Ba/S, Ba/R, Bl/A, Bl/S, Bl/R, A/S, A/R, S/R) lub 1 : 1 : 1 (A/Ba/Bl, Ba/Bl/S, Ba/Bl/R, Ba/S/R, A/Bl/S, Bl/A/R, A/R/S, Bl/R/S, A/Ba/S, A/Ba/R).

Badane genotypy oraz ich mieszanki obserwowano pod kątem ciężaru masy tysiąca ziaren – jednego z ważniejszych elementów struktury polu. Przed zbiorem z każdego obiektu pobierano ręcznie po 100 kłosów, które następnie poddano omłóceniu. Uzyskane ziarno przeliczono na masę tysiąca ziaren.

Dwuczynnikowa analiza wariancji (ANOVA) została przeprowadzona do weryfikacji hipotezy o braku efektów genotypów (odmian i ich mieszanek), środowisk i interakcji genotypowo-środowiskowej masy tysiąca ziaren. Wartości średnie wyestymowane metodą najmniejszych kwadratów zostały równocześnie zastosowane w modelu AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction model) – model dwuczynnikowy, opisujący sumę efektów addytywnych (głównych) odmian i środowisk oraz efekty interakcji GE w multiplikatywnej postaci, GE – klasyfikacja lub interakcja genotypy × środowiska).

Model w pierwszej kolejności dopasowuje efekty addytywne dla genotypów (G) i środowisk (E), a następnie poprzez analizę składowych głównych (PCA) efekty multiplikatywne dla interakcji genotypowo-środowiskowej (GE). Model AMMI można zapisać jako (Gauch i Zobel 1990; Nowosad i wsp. 2017):

$$y_{ge} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_{n=1}^{N} \lambda_n \gamma_{gn} \delta_{en} + Q_{ge}$$

gdzie y_{ge} jest wartością średnią masy tysiąca ziaren dla genotypu g w środowisku e, μ jest średnią ogólną, α_g jest efektem genotypowym, β_e jest efektem środowiskowym, N jest liczbą składowych głównych w dopasowanym modelu, λ_n jest pierwiastkiem kwadratowym n-tej wartości własnej, γ_{gn} jest n-tą składową główną dla genotypu, δ_{en} jest n-tym wektorem własnym, Q_{ge} jest błędem. Do porównania stabilności genotypów zastosowano tzw. wartość stabilności modelu AMMI (ASV) (Purchase i wsp. 2000):

$$ASV = \sqrt{\left[\frac{SS_{IPCA1}}{SS_{IPCA2}}\left(IPCA_1\right)\right]^2 + \left(IPCA_2\right)^2}$$

gdzie SS oznaczają sumy kwadratów dla pierwszej (IPCA1) i drugiej (IPCA2) składowej głównej dla interakcji, $IPCA_1$ i $IPCA_2$ są wartościami składowych głównych dla genotypów z modelu AMMI. ASV jest odległością od zera na dwuwymiarowym wykresie dwóch pierwszych składowych głównych. Niskie wartości ASV oznaczają większą stabilność genotypu poprzez środowiska. Poziom istotności w analizie PCA testowano testem F. Wszystkie analizy przeprowadzono z wykorzystaniem pakietu statystycznego GenStat 18.2.

Wyniki i dyskusja / Results and discussion

Trzy źródła zmienności były istotne statystycznie: 26,03% całkowitej zmienności MTZ wyjaśnić można zmiennością środowiskową, 7,24% przez różnice między genotypami, a 14,48% interakcją genotypowo-środowiskową (tab. 1). Dwie pierwsze składowe główne dla interakcji genotypowo-środowiskowej wyjaśniały łącznie 76,75% całego efektu masy tysiąca ziaren i były istotne statystycznie. Pierwsza składowa główna (IPCA 1) wyjaśniała 49,73% zmienności wywołanej przez interakcję, a IPCA 2 wyjaśniała 27,03%. Średnia MTZ badanych genotypów wynosiła od 39,55 g (dla Antek/Rubinek w Bąkowie w 2011 r.) do 53,25 g (dla Skarb w Bąkowie w 2010 r.), z wartością średnią MTZ równą 45,60 g (tab. 2). Średnia MTZ w środowiskach wynosiła od 43,35 g w Kościelnej Wsi w 2012 roku do 48,06 g w Kościelnej Wsi w latach 2010 i 2011 (tab. 2).

Na istotny wpływ interakcji genotypowo-środowiskowej na masę tysiąca ziaren jęczmienia jarego wskazują również

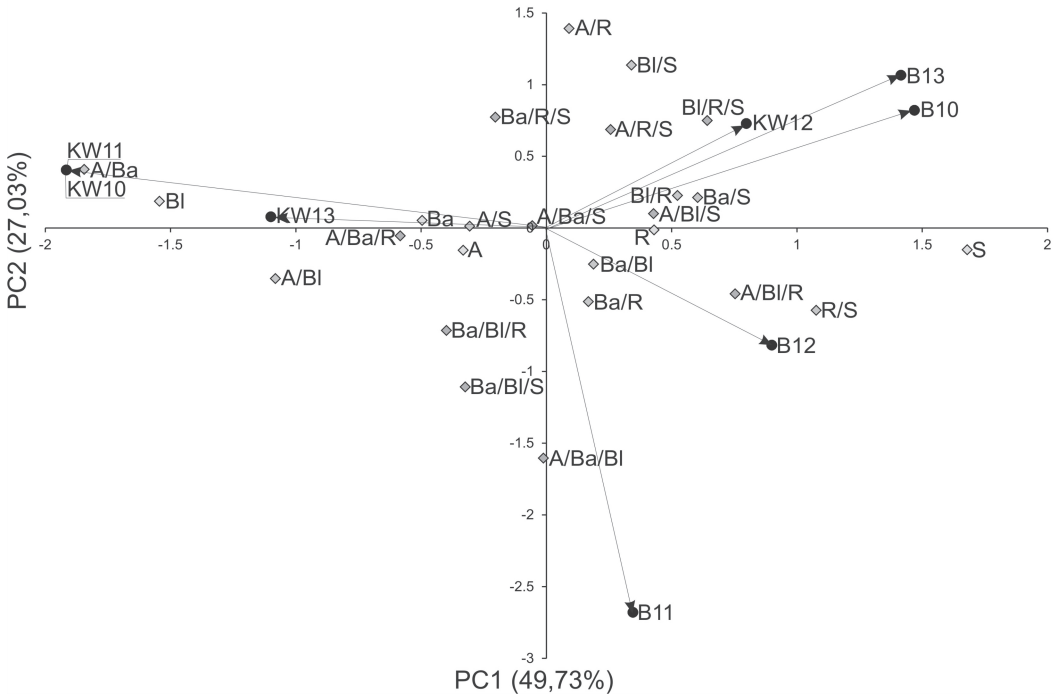
Tabela 1. Analiza wariancji dla efektów głównych i interakcyjnych masy tysiąca ziaren jęczmienia jarego
Table 1. Analysis of variance of main effects and interactions for spring barley thousand-grain weight

Źródło zmienności Source of variation	Liczba stopni swobody Number of degrees of freedom	Suma kwadratów Sum of squares	Średni kwadrat Mean squares	Statystyka *F* *F*-Statistic	Procent wyjaśnianej zmienności Variability explained [%]
Genotypy (G) Genotypes	24	820	34,18	3,56***	7,24
Środowiska (E) Environment	7	2947	421,07	26,11***	26,03
GE Interakcja Interactions	168	1639	9,76	1,02*	14,48
IPCA 1	30	815	27,17	2,83***	49,73
IPCA 2	28	443	15,83	1,65*	27,03
Reszta – Residuals	55	381	6,93	1	–
Błąd – Error	576	5528	9,6	–	–

***P < 0,001 – P < 0.001, IPCA – składowa główna dla interakcji – principal component of interaction

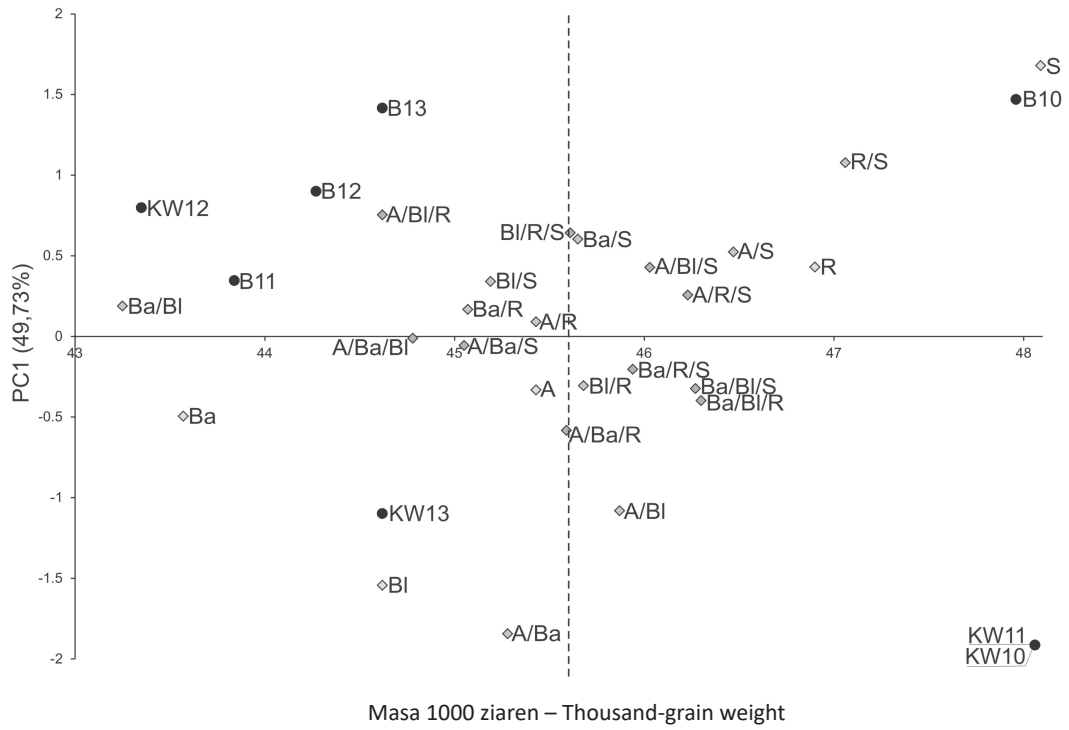
Tabela 2. Wartości średnie masy tysiąca ziaren dla genotypów i środowisk, wartości dwóch pierwszych składowych głównych testowanych odmian i mieszanek jęczmienia jarego oraz wartości stabilizacji modelu AMMI (ASV)
Table 2. Average values of thousand-grain weight, for genotypes and environments, principal component analysis values of tested spring barley cultivars and mixtures as well as AMMI stability value (ASV)

Odmiany/Mieszanki Cultivars/Mixtures	Kod Code	Bąków				Kościelna Wieś				Średnia Mean	IPCAg1	IPCAg2	ASV
		2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013				
Basza	Ba	45,54	41,42	41,28	42,35	46,18	46,18	39,89	45,73	43,57	–0,495	0,053	0,91
Blask	Bl	44,25	41,55	41,84	41,55	49,40	49,40	41,77	47,23	44,62	–1,544	0,186	2,85
Antek	A	46,88	43,38	45,82	44,17	49,25	49,25	41,88	42,80	45,43	–0,332	–0,155	0,63
Skarb	S	53,25	46,93	49,01	48,88	47,10	47,10	46,58	45,88	48,09	1,680	–0,152	3,09
Rubinek	R	48,38	45,38	46,19	46,92	48,73	48,73	46,40	44,50	46,90	0,430	–0,013	0,79
Basza/Blask	Ba/Bl	45,09	41,93	42,38	41,83	44,50	44,50	41,88	43,90	43,25	0,188	–0,252	0,43
Antek/Basza	A/Ba	46,68	42,00	41,25	40,95	51,35	51,35	42,02	46,65	45,28	–1,845	0,408	3,42
Basza/Skarb	Ba/S	50,11	43,90	43,88	46,32	47,02	47,02	42,45	44,48	45,65	0,604	0,213	1,13
Basza/Rubinek	Ba/R	46,90	44,02	45,98	43,20	47,25	47,25	42,85	43,10	45,07	0,168	–0,514	0,60
Antek/Blask	A/Bl	45,92	44,77	44,24	43,97	50,85	50,85	41,83	44,52	45,87	–1,082	–0,353	2,02
Antek/Skarb	A/S	50,70	44,55	44,61	45,95	47,83	47,83	44,75	45,52	46,47	0,524	0,227	0,99
Antek/Rubinek	A/R	48,05	39,55	44,16	46,45	48,45	48,45	44,42	43,88	45,43	0,091	1,392	1,40
Blask/Skarb	Bl/S	49,54	40,88	42,64	45,80	47,75	47,75	44,02	43,12	45,19	0,340	1,136	1,30
Blask/Rubinek	Bl/R	46,69	43,50	44,92	44,60	48,95	48,95	43,52	44,30	45,68	–0,306	0,013	0,56
Rubinek/Skarb	R/S	51,70	47,65	46,11	45,82	47,28	47,28	46,05	44,58	47,06	1,077	–0,573	2,06
Antek/Basza/Blask	A/Ba/Bl	45,72	47,62	44,03	42,35	46,45	46,45	41,50	44,10	44,78	–0,012	–1,605	1,61
Antek/Blask/Skarb	A/Bl/S	48,27	43,90	45,35	45,83	47,38	47,38	44,80	45,35	46,03	0,428	0,100	0,79
Antek/Basza/Rubinek	A/Ba/R	47,22	44,15	43,40	43,67	49,65	49,65	43,26	43,75	45,59	–0,583	–0,055	1,07
Antek/Blask/Rubinek	A/Bl/R	47,16	44,23	44,73	44,90	45,48	45,48	42,20	42,77	44,62	0,754	–0,459	1,46
Antek/Basza/Skarb	A/Ba/S	48,23	43,38	43,21	42,60	47,68	47,68	43,84	43,77	45,05	–0,056	0,016	0,10
Blask/Rubinek/Skarb	Bl/R/S	48,93	42,25	43,84	47,30	46,95	46,95	44,08	44,55	45,61	0,642	0,750	1,40
Basza/Blask/Rubinek	Ba/Bl/R	47,09	45,95	46,05	45,12	49,20	49,20	41,61	46,15	46,30	–0,399	–0,714	1,02
Antek/Rubinek/Skarb	A/R/S	49,62	42,88	44,48	46,67	48,75	48,75	44,34	44,33	46,23	0,256	0,686	0,83
Basza/Blask/Skarb	Ba/Bl/S	47,85	47,95	44,44	43,38	49,07	49,07	43,42	45,00	46,27	–0,324	–1,108	1,26
Basza/Rubinek/Skarb	Ba/R/S	49,31	42,40	42,85	45,00	48,95	48,95	44,45	45,62	45,94	–0,204	0,773	0,86
Średnia – Mean		47,96	43,84	44,27	44,62	48,06	48,06	43,35	44,62	45,60	–	–	–
IPCAe1		1,47	0,35	0,90	1,42	–1,92	–1,92	0,80	–1,10	–	–	–	–
IPCAe2		0,82	–2,68	–0,82	1,06	0,40	0,40	0,73	0,08	–	–	–	–



Rys. 1. Biplot dla interakcji genotypowo-środowiskowej masy tysiąca ziaren odmian i mieszanek jęczmienia jarego w ośmiu środowiskach, przedstawiający efekty pierwszej i drugiej składowej głównej (IPCA 1 i IPCA 2, odpowiednio)

Fig. 1. Biplot for genotype by environment interaction of thousand-grain weight in spring barley cultivars and their mixtures in eight environments, showing the effects of primary and secondary components (IPCA 1 and IPCA 2, respectively)



Rys. 2. Biplot dla pierwszej składowej głównej dla interakcji (IPCA 1) i średniej masy tysiąca ziaren. Linia pionowa w środku biplota oznacza średnią ogólną

Fig. 2. Biplot for the primary component of interaction (IPCA 1) and average mass of thousand-grain weight. Vertical line at the centre of biplot is the general mean

wyniki badań innych autorów (Gołębiewski i wsp. 2012; Elakhdar i wsp. 2017; Laidig i wsp. 2017; Ziemińska i Tkaczuk 2017).

Wykres typu biplot dla analizy AMMI (rys. 1) przedstawia stabilność genotypów i środowisk oraz specyfikę interakcji genotypowo-środowiskowej. Dla badanych genotypów, wartości pierwszej składowej głównej dla interakcji wynosiły od –1,845 (Antek/Basza) do 1,680 (Skarb), natomiast dla badanych środowisk od –1,92 (Kościelna Wieś 2010 r. i 2011 r.) do 1,47 (Bąków 2010 r.) (rys. 1). Stabilność genotypu rozważana jest jako stała reakcja na zmienność warunków środowiskowych, stres biotyczny i abiotyczny, czynniki agronomiczne czy warunki pogodowe. Odmiana Blask i mieszanka Antek/Basza oddziaływały pozytywnie ze środowiskiem w Kościelnej Wsi w 2013 roku, a negatywnie w Bąkowie w 2010 roku (rys. 1, 2), natomiast odmiana Skarb wykazywała odwrotne odziaływanie z tymi środowiskami niż odmiana Blask. Mieszanka Antek/Basza/Blask oddziaływała pozytywnie w Bąkowie w 2011 roku, a negatywnie w Kościelnej Wsi w latach 2010 i 2011. Niektóre genotypy mają wysoką adaptację, jednakże większość z nich ma specyficzną adaptację środowiskową. Wartości stabilizacji AMMI (ASV) ukazują zmienność stabilności masy tysiąca ziaren 25 genotypów (tab. 2). Według Purchase i wsp. (2000) genotyp jest stabilniejszy im wartość ASV jest bliższa zeru. Konsekwentnie, mieszanki Antek/ /Basza/Skarb (z AVS równym 0,10), Basza/Blask (0,43), Blask/Rubinek (0,56) i Basza/Rubinek (0,60) są najbardziej stabilne (tab. 2). Natomiast mieszanka Antek/Basza (3,42) oraz odmiany Skarb (3,09) i Blask (2,85) były najmniej stabilne (tab. 2). Odmiana Rubinek oraz mieszanki Antek/ /Blask/Skarb i Antek/Rubinek/Skarb, ze stosunkowo dużą średnią masą tysiąca ziaren (odpowiednio – 46,90 g, 46,03 g i 46,23 g) i dobrą stabilnością (ASV równe, odpowiednio – 0,79, 0,79 i 0,83) są rekomendowane do włączenia do dalszych prac w programach hodowlanych (tab. 2, rys. 2).

Wnioski / Conclusions

1. Biplot AMMI pozwala na wizualizację efektów głównych genotypów w różnych środowiskach, a także bardzo ważnej interakcji genotypowo-środowiskowej.
2. Model AMMI dostarcza przydatnego narzędzia w diagnozowaniu interakcji GE i poprawie precyzji estymacji. Umożliwia grupowanie genotypów na podstawie podobieństwa obserwowanej cechy i identyfikacji potencjalnych trendów poprzez środowiska.
3. Wyniki analizy AMMI wykazały znaczącą interakcję genotypowo-środowiskową dla masy tysiąca ziaren.
4. Odmianę Rubinek oraz mieszanki Antek/Blask/Skarb i Antek/Rubinek/Skarb rekomenduje się do wykorzystania w programach hodowlanych jęczmienia jarego ze względu na dużą średnią masę tysiąca ziaren oraz ich dużą stabilność.

Literatura / References

Elakhdar A., Kumamaru T., Smith K.P., Brueggeman R.S., Capo-chichi L.J.A., Solanki S. 2017. Genotype by environment interactions (GEIs) for barley grain yield under salt stress condition. Journal of Crop Science and Biotechnology 20 (3): 193–204. DOI: 10.1007/s12892-017-0016-0.

Finckh M.R., Gacek E.S., Goyeau H., Lannou Ch., Merz U., Mundt C.C., Munk L., Nadziak J., Newton A.C., de Vallavieille-Poppe C., Wolfe M.S. 2000. Cereal variety and species mixtures in practice, with emphasis on disease resistance. Agronomie 20 (7): 813–837. DOI: 10.1051/agro:2000177.

Gacek E. 2010. Sugestie wynikające z wieloletnich badań mieszanek odmianowych jęczmienia i pszenicy. Materiały Konferencji Naukowej „Znaczenie gospodarcze i biologia plonowania upraw mieszanych". Poznań/Zielonka, 3–5 marca 2010: 1–9.

Gauch H.G., Zobel R.W. 1990. Imputing missing yield trial data. Theoretical and Applied Genetics 79 (6): 753–761. DOI: 10.1007/BF00224240.

Gołębiewski D., Myszka K., Burek J., Mańkowski D.R., Boros D. 2012. Badania zmienności genetycznej i wpływu środowiska na cechy determinujące wartość browarną ziarna rodów jęczmienia jarego włączonych do badań przedrejestrowych w 2011 roku. [Study of genetic variation and environmental impact on traits that determine malting quality of spring barley lines included in preliminary trials in 2011]. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin 263: 19–31.

Laidig F., Piepho H.-P., Rentel D., Drobek T., Meyer U. 2017. Breeding progress, genotypic and environmental variation and correlation of quality traits in malting barley in German official variety trials between 1983 and 2015. Theoretical and Applied Genetics 130 (11): 2411–2429. DOI: 10.1007/s00122-017-2967-4.

Michalski T., Kowalik I., Idziak R., Horoszkiewicz-Janka J. 2004. Mieszanki jako ekologiczna metoda uprawy zbóż. Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie. Monografia. Przemysłowy Instytut Mechanizacji Rolnictwa, Poznań: 28–36.

Nowosad K., Liersch A., Poplawska W., Bocianowski J. 2017. Genotype by environment interaction for oil content in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) using additive main effects and multiplicative interaction model. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding 77 (2): 293–297. DOI: 10.5958/0975-6906.2017.00039.6.

Purchase J.L., Hatting H., van Deventer C.S. 2000. Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. South African Journal of Plant and Soil 17 (3): 101–107. DOI: 10.1080/02571862.2000.10634878.

Ziemińska J., Tkaczuk C. 2017. Wpływ terminu siewu i odmiany na plonowanie jęczmienia jarego w warunkach środkowo-wschodniej Polski. [Effect of sowing date and variety on yielding of spring barley in central-eastern Poland]. Fragmenta Agronomica 34 (1): 126–134.