

HENRYK CYGERT¹ZYGMUNT KRÓLIKOWSKI¹JAN KACZMAREK²JÓZEF ADAMCZYK¹¹ Hodowla Roślin Smolice Sp. z o.o.² Akademia Rolnicza Wrocław, Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa

Ocena współdziałania genotypowo- środowiskowego dla plonu ziarna mieszańców kukurydzy (*Zea mays* L.)

The effects of genotype-environment interaction on grain yield of maize (*Zea mays* L.) hybrids

W pracy oceniono plony ziarna wybranych 10 mieszańców kukurydzy badanych w doświadczeniach wstępnych z zastosowaniem pakietu statystycznego SERGEN 3, przeznaczonego do analizy serii doświadczeń odmianowych i genetyczno-hodowlanych umożliwiającego bardziej wszechstronną analizę interakcji mieszańców z miejscowościami i w latach. W analizie dokonano zestawienia średnich plonów ziarna tych mieszańców uzyskanych z doświadczeń 3-powtórzeniowych, zlokalizowanych w 5 miejscowościach w latach 1999–2000. Przedstawiono ogólną analizę wariancji. Zweryfikowano hipotezy o zerowych wartościach wszystkich efektów głównych lat, miejscowości, środowisk i mieszańców. Przeprowadzono szczegółowe testowanie hipotez o interakcji genotypów ze środowiskiem. Oceny efektów głównych i proste regresji od efektów środowiskowych przedstawiono na rysunkach. Dokonano podziału mieszańców na grupy o średnim plonowaniu, istotnie powyżej średniej ogólnej i istotnie poniżej średniej ogólnej. W dalszej analizie interakcji oceniono odchylenia interakcyjne oraz odchylenia środowiskowe. Przeprowadzono badania struktury interakcji ze względu na środowiska oraz ze względu na genotypy (mieszańce) i przedstawiono ich wyniki graficznie. Uzyskane wyniki pozwoliły zidentyfikować 5 stabilnych w plonowaniu mieszańców, które nie wykazały interakcji z latami, miejscowościami i ze środowiskami. Te mieszańce mogą być polecane do uprawy w całym kraju.

Słowa kluczowe: analiza regresji łącznej, kukurydza, mieszańiec, program SERGEN 3, współdziałanie $G \times E$

A detailed analysis of genotype $\times$ environment interaction was carried out among yields of ten hybrids of maize grown at five localities in the years 1999–2000. Statistical analysis was performed using computer package SerGen 3. The hybrids were divided into 3 groups: depending on whether they yielded at the average level above or below a grand mean. The results allowed to identify five stable hybrids which can be recommended for cultivation across all environments in Poland.

Key words: environment, hybrid, interaction $G \times E$, maize, program SERGEN 3, regression

WSTĘP

Rozwiązywanie zagadnień związanych z hodowlą i oceną nowych odmian roślin uprawnych dokonuje się przez prowadzenie doświadczeń powtarzanych w czasie i przestrzeni, tzn. w różnych sezonach wegetacyjnych i w różnych miejscowościach. Jeśli chcemy, aby badania dostarczyły jak najwięcej informacji o plonowaniu genotypów nie w jednym środowisku, lecz w określonym rejonie uprawnym i w różnych warunkach pogodowych, musimy zakładać doświadczenia w wielu miejscach przez kilka lat. Doświadczenia takie nazywamy wielokrotnymi i wieloletnimi lub seriami doświadczeń (Neyman, 1932; Przyborowski i Wileński, 1938; Elandt, 1956; Królikowski, 2001).

W analizie wyników serii doświadczeń odmianowych najbardziej interesującą z punktu widzenia oceny stabilności i zdolności adaptacyjnej genotypów, jest interakcja genotypowo-środowiskowa (z ang. $G \times E$, „genotype-environment interaction”) (Freeman, 1973; Mungomery i Shorter, 1974; Hill, 1975; Wood, 1976; Freeman i Crips, 1979; Lin, 1982; Freeman, 1985). Nazwą tą określamy zjawisko polegające na tym, że reakcja fenotypowa roślin na zmianę środowiska nie jest jednakowa dla wszystkich genotypów. W konsekwencji różnice obserwowane między porównywanymi genotypami zależą od środowiska, w którym są porównywane. Bardzo interesujące jest wykrycie genotypów, które uzyskują wysokie plony we wszystkich środowiskach, czyli są genotypami średnio wysoko plonującymi oraz stabilnymi tj. takimi, których plonowanie jest proporcjonalne do wydajności warunków środowiska. Wyniki analizy interakcji genotypów z różnymi środowiskami mogą być pomocne przy rekomendacji odmiany do praktyki rolniczej, czyli jej rejonizacji.

Celem pracy jest przedstawienie wyników oceny i interpretacji interakcji genotyp $\times$ środowisko oraz stabilności genotypów dla 10 mieszańców kukurydzy pod względem plonu ziarna uzyskanych w doświadczeniach wstępnych w roku 1999 i 2000, zgodnie z możliwościami, jakie daje pakiet statystyczny SERGEN 3 (Czajka, 1996; Caliński i in., 1998).

MATERIAŁ I METODY

W analizie wykorzystano wyniki plonu ziarna dla 10 mieszańców (genotypów) badanych w doświadczeniach wstępnych w roku 1999 i 2000. Spośród 125 mieszańców badanych w tych latach, 10 wybranych do analizy mieszańców badano w obu latach w tych samych doświadczeniach. Doświadczenia założono metodą bloków niekompletnych (krata kwadratowa 5×5) w trzech powtórzeniach, na poletkach dwurzędkowych o powierzchni 10 m^2 . Doświadczenia wysiano w 5 miejscowościach, w dwóch latach, czyli w dziesięciu środowiskach. Po przeliczeniu plonu ziarna z poletka na plon z jednostki powierzchni w dt/ha z hektara przy 15% zawartości wody, wyniki opracowano statystycznie korzystając z pakietu statystycznego SERGEN 3 (Caliński i in., 1998).

WYNIKI I DYSKUSJA

Analiza wstępna

W analizie dokonano zestawienia średnich plonów dla mieszańców w poszczególnych środowiskach (miejscowości w danym roku) i miejscowościach (tab. 1 a i 1 b).

Tabela 1 a

Plon ziarna w dt/ha — wartości średnie dla mieszańców w poszczególnych środowiskach
Grain yield in dt/ha — mean values for hybrids in particular environments

Lata Years	Środowisko Environment	1999					Wartości średnie Mean values 1999
		Kobierzycze AB1	Łagiewniki AB2	Mikulice AB3	Radzików AB4	Smolice AB5	
Mieszaniec Hybrid							
SMH 1177-9910		114,3	108,0	107,7	116,7	94,0	108,1
KOC 9939		118,7	100,3	105,3	119,0	93,0	107,2
KOC 9943		114,3	98,0	116,3	115,3	85,0	105,8
KOC 9944		118,0	97,0	97,7	118,7	97,3	105,7
KOCKOSZ 99301		122,3	97,0	107,0	102,7	90,0	103,8
KOCKOSZ971102		122,0	98,7	94,0	118,7	80,7	102,8
KOCSWS 971104		116,7	103,7	111,0	106,3	90,3	105,6
Janna		94,3	80,0	103,7	91,7	78,3	89,6
Caraibe		108,3	95,7	99,0	103,7	98,7	101,0
Electra		115,7	110,0	106,7	122,7	98,0	110,6
Średnia Mean		114,5	98,8	104,8	111,5	90,5	104,0
Lata Years	Środowisko Environment	2000					wartości średnie mean values 2000
		Kobierzycze AB6	Łagiewniki AB7	Mikulice AB8	Radzików AB9	Smolice AB10	
Mieszaniec Hybrid							
SMH 1177-9910		118,0	124,3	118,3	122,0	87,3	114,0
KOC 9939		111,0	109,0	113,3	119,7	88,3	108,2
KOC 9943		110,3	119,0	126,0	128,7	102,7	117,3
KOC 9944		117,0	112,7	126,3	118,7	98,3	114,6
KOCKOSZ 99301		119,0	108,0	125,3	123,0	104,3	115,9
KOCKOSZ971102		123,3	119,3	112,3	113,3	107,0	115,1
KOCSWS 971104		116,3	112,3	113,7	120,7	97,7	112,1
Janna		86,3	86,0	108,3	92,3	73,7	89,3
Caraibe		112,3	111,7	116,3	100,3	96,0	107,3
Electra		115,7	119,3	116,7	127,0	101,3	116,0
Średnia Mean		112,9	112,2	117,7	116,6	95,7	111,0

Najwyższy średni plon dla wszystkich mieszańców uzyskano w środowisku AB8, tj. w Mikulicach w 2000 roku — 117,7 dt/ha, a najniższy w środowisku AB5, tj. w Smolicach w 1999 roku — 90,5 dt/ha. Spośród wszystkich miejscowości, w których przeprowadzono doświadczenia, najwyższy średni plon za dwulecie 1999–2000 uzyskano w Radzikowie — 114,1 dt/ha, natomiast najniższy w Smolicach — 93,1 dt/ha. Średni plon z miejscowości i lat wyniósł 107,5 dt/ha i należy go uznać za wysoki, natomiast w poszczególnych latach

przedstawiał się następująco: 104,0 dt/ha w 1999 roku, i 111,0 dt/ha w 2000 roku. Średni plon w roku 2000 był o 6,7% wyższy w stosunku do roku 1999.

Tabela 1 b

Plon ziarna w dt/ha — wartości średnie dla mieszańców w poszczególnych miejscowościach (średnie z dwóch lat)

Grain yield in dt/ha — mean value for hybrids in particular localities (two — year average)

Mieszaniec Hybrid	Kobierzyce	Łagiewniki	Mikulice	Radzików	Smolice	Średnia Mean
SMH 1177-9910	116,3	116,2	113,0	119,3	90,7	111,1
KOC 9939	114,8	104,7	109,3	119,3	90,7	107,7
KOC 9943	112,3	108,5	121,2	122,0	93,8	111,6
KOC 9944	117,5	104,8	112,0	118,7	97,8	110,2
KOCKOSZ 99301	120,7	102,5	116,2	112,8	97,2	109,9
KOCKOSZ971102	122,7	109,0	103,2	116,0	93,8	108,9
KOCSWS 971104	116,5	108,0	112,3	113,5	94,0	108,9
Janna	90,3	83,0	106,0	92,0	76,0	89,5
Caraibe	110,3	103,7	107,7	102,0	97,3	104,2
Electra	115,7	114,7	111,7	124,8	99,7	113,3
Średnia Mean	113,7	105,5	111,3	114,1	93,1	107,5

W wykonanej wstępnej analizie wariancji dla doświadczenia z 10 mieszańcami stwierdzono istotne zróżnicowanie plonowania we wszystkich miejscowościach na poziomie istotności 0,05, natomiast na poziomie istotności 0,01 różnice w plonowaniu mieszańców nie były istotne tylko w Radzikowie w 1999 roku (tab. 2 a).

Tabela 2 a

Wstępna analiza wariancji dla doświadczenia o blokach niekompletnych
Preliminary analysis of variance for the lattice design trials

Środowisko Environment	Mieszaniec Hybrid		Błąd Error		F
	stopnie swobody degrees of freedom	średnie kwadraty mean square	stopnie swobody degrees of freedom	średnie kwadraty mean square	
Kobierzyce 1999	9	1,99	20	0,46	4,33**
Łagiewniki 1999	9	2,02	20	0,31	6,51**
Mikulice 1999	9	1,30	20	0,16	8,35**
Radzików 1999	9	2,95	20	0,97	3,04*
Smolice 1999	9	1,54	20	0,35	4,47**
Kobierzyce 2000	9	3,08	20	0,60	5,15**
Łagiewniki 2000	9	3,37	20	0,20	16,50**
Mikulice 2000	9	1,19	20	0,06	18,59**
Radzików 2000	9	4,06	20	0,45	9,10**
Smolice 2000	9	3,01	20	0,32	9,54**
Wartości krytyczne	0,05*	2,39			
Critical values	0,01**	3,46			

Po analizie wstępnej wykonano ocenę efektów genotypowych, tj. odchylenie wartości dla każdego z mieszańców od średniej ogólnej w poszczególnych środowiskach (tab. 2 b). Najlepszym mieszańcem, który uzyskał tylko w środowisku AB8 ujemne odchylenie od średniej ogólnej był mieszaniec 10 (Electra), pozostałe mieszańce uzyskały ujemne

odchylenia w większej liczbie środowisk. Najwyższe dodatnie odchylenie +12,17 dt/ha uzyskał mieszaniec 1 w środowisku AB7, a najwyższe ujemne odchylenie -26,6 dt/ha uzyskał mieszaniec 8 w środowisku AB6.

Tabela 2 b

Oceny efektów genotypowych plonu dla poszczególnych środowisk
Estimation of genotypic effects for particular environments

Mieszaniec Hybrid	Środowisko Environment									
	Kobierzyce AB1	Łagiewniki AB2	Mikulice AB3	Radzików AB4	Smolice AB5	Kobierzyce AB6	Łagiewniki AB7	Mikulice AB8	Radzików AB9	Smolice AB10
SMH 1177-9910	-0,13	9,17	2,83	5,13	3,47	5,07	12,17	0,67	5,43	-8,33
KOC 9939	4,20	1,50	0,50	7,47	2,47	-1,93	-3,17	-4,33	3,10	-7,33
KOC 9943	-0,13	-0,83	11,50	3,80	-5,53	-2,60	6,83	8,33	12,10	7,00
KOC 9944	3,53	-1,83	-7,17	7,13	6,80	4,07	0,50	8,67	2,10	2,67
KOCKOSZ 99301	7,87	-1,83	2,17	-8,87	-0,53	6,07	-4,17	7,67	6,43	8,67
KOCKOSZ 971102	7,53	-0,17	-10,83	7,13	-9,87	10,40	7,17	-5,33	-3,23	11,33
KOCSWS 971104	2,20	4,83	6,17	-5,20	-0,20	3,40	0,17	-4,00	4,10	2,00
Janna	-20,13	-18,83	-1,17	-19,87	-12,20	-26,60	-26,17	-9,33	-24,23	-22,00
Caraibe	-6,13	-3,17	-5,83	-7,87	8,13	-0,60	-0,50	-1,33	-16,23	0,33
Electra	1,20	11,17	1,83	11,13	7,47	2,73	7,17	-1,00	10,43	5,67

Analiza ogólna genotypów

Z ogólnej analizy wariancji (tab. 3) wynika, że hipotezy: o równości efektów głównych miejscowości, środowisk, mieszańców oraz interakcja mieszańców ze środowiskiem na poziomie istotności 0,05 zostały odrzucone.

Tabela 3

Ogólna analiza wariancji
General analysis of variance

Źródło zmienności Source of variability	Stopnie swobody Degrees of freedom	Suma kwadratów Sum of squares	Średni kwadrat Mean squares	Stat F. F Stat.	Wartość krytyczna F F critical values	
					0,05	0,01
Lata — Years	1	12,11	12,11	6,28	7,71	21,2
Miejscowość — Locality	4	61,35	15,34	7,95*	6,39	15,98
Środowiska — Environments	4	7,72	1,93	14,94**	2,42	3,41
Mieszaniec — Hybrid	9	41,57	4,62	9,68**	1,93	
Mieszaniec × Lata — Hybrid × Years	9	4,29	0,48			
Mieszaniec × Miejscowość Hybrid × Locality	36	18,50	0,51			
Mieszaniec × Środowiska Hybrid × Environments	36	9,21	0,26	1,98**	1,48	1,73
Regresja względem środowiska Regression/environment	9	1,14	0,13	2,31**	1,54	1,84
Odchylenie od regresji Deviation from regress	27	8,07	0,30			
Błąd doświadczenia — Error	200		0,13			

Odrzucenie hipotezy o braku równości efektów głównych mieszańców oraz o braku interakcji mieszańców $\times$ środowisko, świadczy o niestabilnym plonowaniu mieszańców w poszczególnych miejscowościach i środowiskach, oraz ich reakcji na zmienne warunki środowiskowe. Tylko hipoteza o równości efektów głównych lat nie została odrzucona, czyli nie stwierdzono różnic w plonowaniu mieszańców w poszczególnych latach.

Dokonane w analizie wariancji rozbięcie sumy kwadratów dla interakcji mieszańców $\times$ środowisko na dwa składniki: dla regresji efektów interakcyjnych względem środowiska i odchylenia od regresji, umożliwiło testowanie hipotezy o braku interakcji poziomu plonowania mieszańców ze środowiskami. Ta hipoteza została odrzucona, o czym świadczy wynik wyższej wartości statystyki F ($F = 2,31$) od wartości krytycznej na poziomie 0,01 ($F = 1,73$).

Analiza interakcji genotyp $\times$ lata i genotyp $\times$ środowisko

Ponieważ przeprowadzona analiza ogólna nie daje pełnej odpowiedzi na zasadnicze pytanie dotyczące różnic między mieszańcami pod względem efektów głównych oraz interakcji z latami i miejscowościami, wykonano analizę szczegółową (tab. 4 a).

Tabela 4 a

Analiza szczegółowa — testowanie poszczególnych mieszańców i ich interakcji
In detail analysis — testing of particular hybrids and their interactions

Mieszaniec Hybrid	Ocena efektu głównego Value of main effect	Stat. F dla efektu głównego F Stat. for main effect	Statystyka F dla interakcji z : F-statistic for interaction with:		
			latami years	miejscowościami locations	środowiskami environments
SMH 1177-9910	3,55	5,78	0,14	2,16	1,87
KOC 9939	0,25	0,24	35,07**	7,74*	0,22
KOC 9943	4,05	6,67	2,13	1,86	2,11
KOC 9944	2,65	2,00	0,26	0,34	3,02*
KOCKOSZ 99301	2,35	1,97	2,39	1,29	2,41
KOCKOSZ971102	1,41	0,31	1,11	1,20	5,47**
KOCSWS 971104	1,35	0,67	0,02	0,13	2,33
Janna	-18,05	1602,16**	64,18**	56,24**	0,18
Caraibe	-3,32	4,73	0,05	2,91	2,01
Electra	5,78	148,97**	2,71	17,93**	0,19
Wartości krytyczne Critical values					
F 0,05*		7,71	7,71	6,39	2,24
F 0,01**		21,20	21,20	5,98	3,41

Z przeprowadzonej analizy mieszańców wynika, że dwa spośród dziesięciu ocenianych mieszańców uzyskały efekt główny różny od zera na poziomie istotności 0,05 i 0,01. Mieszaniec 8 uzyskał efekt ujemny a mieszaniec 10 efekt dodatni. Porównując te dwa mieszańce zauważamy, że najbardziej od średniego poziomu plonowania odbiegał mieszaniec 8, który wykazał istotną interakcję zarówno w latach jak i w miejscowościach. Mieszaniec 10 wykazał interakcję tylko w miejscowościach, był mieszańcem najwyżej plonującym i nie ulegał wpływom środowiska i lat (nie wykazał interakcji w latach i miejscowościach). Oprócz mieszańca 8, interakcję w latach wykazał również mieszaniec 2, a interakcję ze środowiskiem, mieszańce 4 i 6. Mieszańce te należy zaliczyć do wysoko plonujących, ale mniej stabilnych.

Graficzny obraz oceny efektu głównego i proste regresji efektów interakcyjnych względem środowiska oraz podział na mieszańce o dodatnim i ujemnym plonowaniu w stosunku do średniego efektu głównego (odchylenie od średniej ogólnej) przedstawiono na rysunku 1.

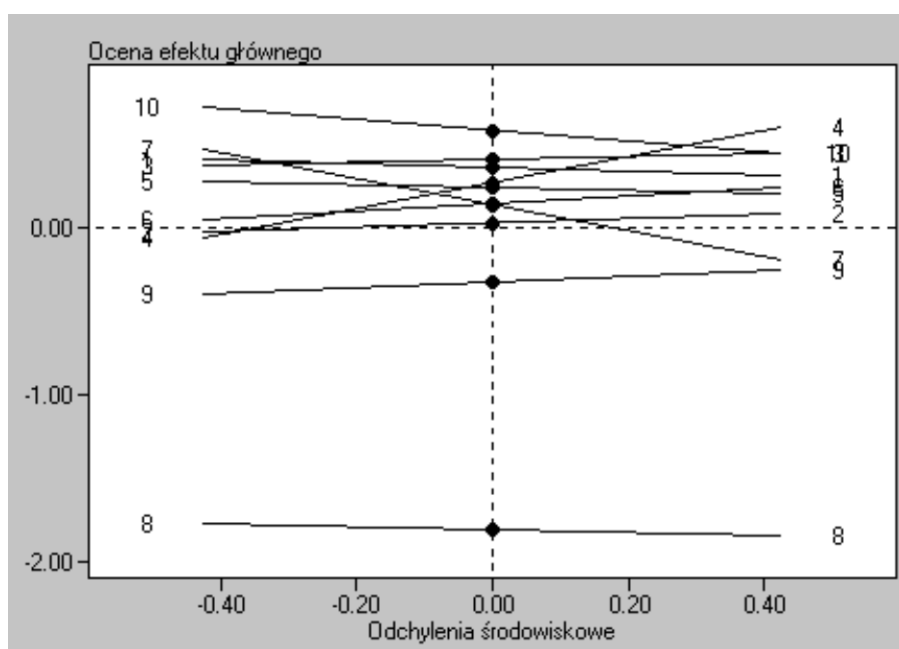
Regresję poszczególnych mieszańców względem środowiska, wartość współczynnika regresji i współczynnika determinacji oraz statystykę F regresji dla testowania hipotezy zerowej tej regresji, statystykę odchylen, czyli testowanie hipotezy zerowej odchylen od tej regresji przedstawiono w tabeli 4 b. Na poziomie istotności 0,05 zależnością regresyjną charakteryzuje się mieszaniec 10, przy bardzo wysokim współczynniku determinacji (92,2%) i ujemnym współczynniku regresji.

Tabela 4 b

Testowanie regresji interakcji poszczególnych mieszańców względem środowiska Testing for regression of interaction of particular hybrids against environment				
Mieszaniec Hybrid	Współczynnik Coefficient		Statystyka F dla: F statistic for:	
	regresji regression	determinacji (%) determination	regresji regression	odchylen deviation
SMH 1177-9910	-1,09	1,05	0,03	2,47
KOC 9939	1,31	13,15	0,45	0,25
KOC 9943	0,80	0,50	0,02	2,80*
KOC 9944	7,81	33,58	1,52	2,67*
KOCKOSZ 99301	-0,88	0,53	0,02	3,19*
KOCKOSZ971102	2,33	1,65	0,05	7,17**
KOCWS 971104	-7,88	44,15	2,37	1,74
Janna	-0,87	7,22	0,23	0,22
Caraibe	1,74	2,50	0,08	2,61
Electra	-3,27	92,20	35,46	0,02
Wartości krytyczne Critical values				
F 0,05*			10,13	2,65
F 0,01**			34,12	3,88

Mieszańca tego można określić jako mieszaniec ekstensywny, który wykazał pozytywną interakcję ze środowiskami o niższych plonach, a negatywną ze środowiskami o wyższych plonach. Jest to mieszaniec o wysokim efekcie głównym, tj. plonujący znacznie wyżej niż średnia ze wszystkich porównywanych mieszańców, stabilny w latach i można go polecać do uprawy w warunkach mniej sprzyjających. Mieszaniec ten kontrastuje z mieszańcem 4, który ma wysoki dodatni współczynnik regresji i jest mieszańcem intensywnym (rys. 1).

Wśród najbardziej wyrównanych w sensie braku interakcji względem średniej środowiskowej są mieszańce 5 i 3; mieszaniec 3 ma najniższy współczynnik determinacji (także najniższą wartość F dla regresji). Mniej wyrównane są mieszańce 6 i 9 o stosunkowo niskim współczynniku determinacji i niskiej wartości F dla regresji. Natomiast mieszańce 10, 7 i 4 odznaczają się dużą zależnością regresyjną od średniej środowiskowej, wyrażającą się wysokim współczynnikiem determinacji. Wśród nich, mieszańce 7 i 10 należy zaliczyć do ekstensywnych, a mieszaniec 4 do intensywnych.



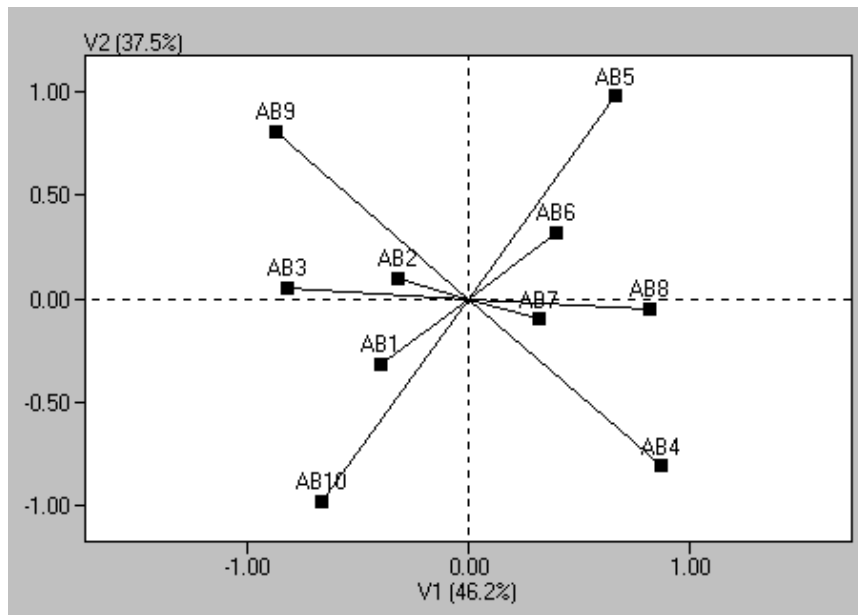
Rys. 1. Efekty główne i proste regresji efektów interakcyjnych mieszańców względem środowiska
 Fig. 1. Main effects and regression lines of interaction effects of hybrids on environment

Badanie struktury interakcji ze względu na środowisko i na mieszańce

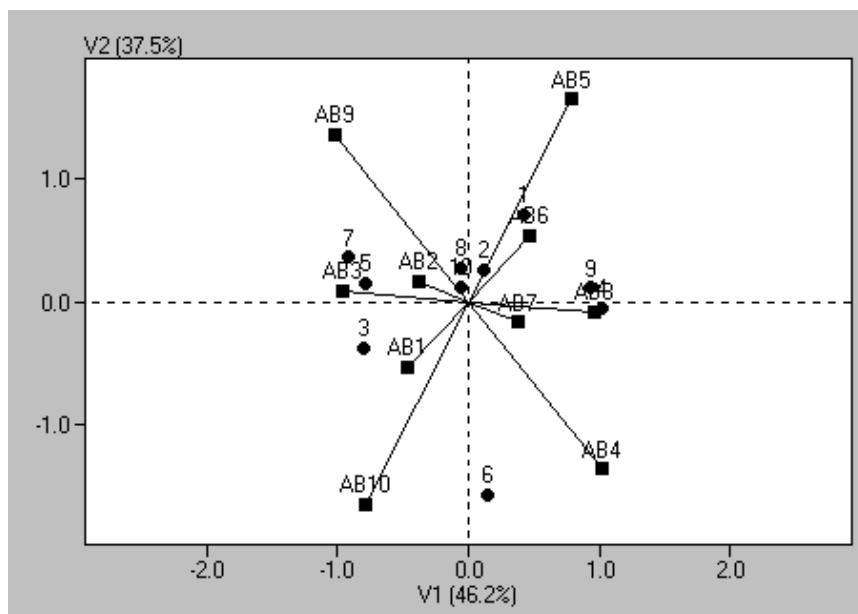
Z pomocą analizy składowych głównych wyznaczono współczynniki kontrastów między mieszańcami, a następnie otrzymano oceny tych kontrastów w poszczególnych środowiskach (rys. 2). Okazało się, że najbardziej odbiegającymi od innych jest środowisko AB5 o bardzo wysokich składowych i środowisko AB10 o obu składowych bardzo niskich. Najbardziej odległymi od siebie są środowiska AB5 i AB10 oraz środowiska AB4 i AB9, natomiast najbliższe są środowiska AB1 i AB2 oraz AB7 i AB6.

Strukturę interakcji polegającą na ocenie kontrastów między środowiskami dla poszczególnych mieszańców pokazano graficznie na rysunku 3.

Mieszańce skupiają się w pewne grupy, przy czym grupa z mieszańcami 2, 8 i 10 ulokowała się bardzo blisko środka układu, podczas gdy grupa z mieszańcami 7, 5 i 3 ulokowała się stosunkowo daleko od środka układu, a najdalej ulokował się samodzielnie mieszaniec 6. Mieszańce skupiające się w grupy i leżące bardzo blisko siebie, są mieszańcami o stosunkowo małej interakcji tzn. są bardzo zbliżonymi pod względem plonowania. Ich cechą wspólną jest nie tylko podobny potencjał plonowania ale także brak różnic w reakcji na warunki środowiska.



Rys. 2. Przedstawienie środowisk w układzie składowych głównych
Fig. 2. Representation of environments in the system of principal components



Rys. 3. Przedstawienie mieszańców w układzie składowych głównych
Fig. 3. Representation of hybrids in the system of principal components

Wartości statystyki F dla interakcji różnic między mieszańcami przedstawiono w tabeli 5. Mieszańce, które mają najmniejsze wartości, czyli mają najkrótszy dendryt są mieszańcami o najbliższym podobieństwie względem interakcji ze środowiskiem, są to mieszańce 2 i 8 oraz mieszańce 8 i 10. Mieszańce 2, 8 i 10 należą do grupy mieszańców o małej interakcji, odznaczającymi się małymi różnicami w plonowaniu w poszczególnych środowiskach. Mieszańcami o dużej interakcji, przekraczającej wartości krytyczne nawet na poziomie 0,01 były mieszańce: 1 i 6, 3 i 4, 4 i 6, 4 i 7, 5 i 6, 5 i 9 oraz 6 i 7. Mieszańce te odznaczały się dużymi różnicami w plonowaniu w poszczególnych środowiskach.

Interesujące jest jednocześnie graficzne przedstawienie środowisk i mieszańców (rys. 4). Z rysunku wynika, że ze środowiskami AB4 i AB10 (o wysokiej ujemnej interakcji) koresponduje mieszaniec 6, ze środowiskiem AB3 mieszańce 5 i 7, ze środowiskiem AB8 mieszańce 9 i 4, oraz ze środowiskiem AB5 mieszaniec 1.

Tabela 5

Wartości statystyki F dla interakcji różnic między mieszańcami
F-statistic values for interaction of differences among hybrids

Mieszaniec Hybrid	KOC 9939	KOC 9943	KOC 9944	KOCKOSZ 99301	KOCKOSZ 971102	KOCSWS 971104	Janna	Caraibe	Electra
SMH 1177-9910									
KOC 9939	0,49								
KOC 9943	2,79**	1,32							
KOC 9944	1,88	1,18	3,96**						
KOCKOSZ 99301	2,93*	1,25	1,13	3,25*					
KOCKOSZ 971102	5,23**	3,36*	2,54*	3,63**	4,44**				
KOCSWS 971104	2,00	1,26	0,96	4,57**	0,91	4,72**			
Janna	0,56	0,05	1,11	1,62	1,03	3,39*	0,82		
Caraibe	0,65	0,77	3,39*	0,70	3,66**	3,36*	3,39*	1,02	
Electra	0,79	0,21	1,21	1,71	1,13	2,84*	0,79	0,10	0,99
Wartości krytyczne Critical values									
F 0,05*	2,42								
F 0,01**	3,41								

Dendryt najkrótszy

The shortest dendrite

$$F(1,2) = 0,49$$

$$F(2,8) = 0,05$$

$$F(8,10) = 0,10$$

$$F(10,7) = 0,79$$

$$F(7,3) = 0,96$$

$$F(3,6) = 2,54$$

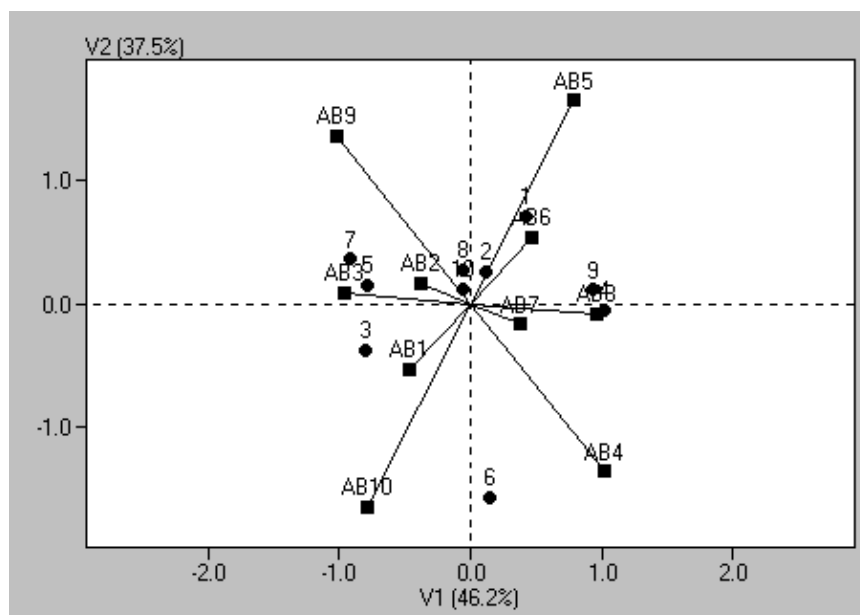
$$F(7,5) = 0,91$$

$$F(1,9) = 0,65$$

$$F(9,4) = 0,70$$

Można to interpretować tak, że jeśli mieszaniec charakteryzuje się interakcją dodatnią z danym środowiskiem to jest najlepiej zaadaptowanym w danym środowisku, warunki tego środowiska są dla niego najbardziej korzystne. Mieszańce kukurydzy, dla których w doświadczeniach stwierdzono odchylenie interakcyjne w niektórych środowiskach dodatnie a w innych ujemne, uznać należy za mało plastyczne, ulegające presji środowiska.

Nie oznacza to, że są one bezwartościowe, ale powinny być rejonizowane dla pewnych, ściśle określonych rejonów uprawy.



Rys. 4. Jednoczesne przedstawienie środowisk i mieszańców w układzie składowych głównych
Fig. 4. Simultaneous representation of environments and hybrids in the system of principal components

WNIOSKI

1. Analiza plonu ziarna badanych mieszańców z zastosowaniem nowoczesnego programu statystycznego SERGEN 3 dostarczyła dużo informacji o stabilności ich plonowania.
2. Stwierdzono interakcję mieszańców ze środowiskami, natomiast nie stwierdzono interakcji mieszańców z latami.
3. Najplenniejszy mieszaniec 10 (Electra) wykazał się tylko interakcją z miejscowościami, jest mieszańcem ekstensywnym, zalecanym do uprawy w warunkach mniej korzystnych.
4. Pięć mieszańców: SMH 1177-9910, KOC 9939, KOC 9943, KOCKOSZ 99301 i KOCSWS 971104 nie wykazało żadnej interakcji z latami, miejscowościami i ze środowiskami, są to najbardziej stabilne mieszańce polecane do uprawy w całym kraju.
5. Najniżej plonujący mieszaniec 8 (Janna) wykazał bardzo dużą interakcję zarówno w latach jak i w miejscowościach, jest mieszańcem niestabilnym i przez to mało wartościowym.

LITERATURA

- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P., Siatkowski I. 1998. Podręcznik użytkownika programu SERGEN 3. IGR PAN Poznań.
- Czajka S. 1996. Metody analizy serii doświadczeń wielokrotnych i wieloletnich zakładanych w układzie bloków niekompletnych. Listy Biometryczne — Biometrical Letters 32: 101 — 129.
- Elandt R. 1956. O pewnych testach interakcji w doświadczeniach wieloletnich i wielokrotnych. Zagadnienie rejonizacji. Zast. Matemat. 3: 8 — 45.
- Freeman G.H. 1973. Statistical methods for the analysis of genotype-environment interactions. Heredity 31: 339 — 354.
- Freeman G. H. 1985. The analysis and interpretation of interactions. J. Appl. Statist. 12: 3 — 10.
- Freeman G. H., Crisp P. 1979. The use of related variables in explaining genotype-environment interactions. Heredity 42: 1 — 11.
- Hill J. 1975. Genotype-environment interactions — a challenge for plant breeding. J. Agricult. Sci. Cambridge. 85: 477 — 493.
- Królikowski Z. 2001. Zmienność liczby liści okrywowych kolb linii wsobnych kukurydzy (*Zea mays* L.) na tle różnych środowisk. Biul. IHAR 217: 139 — 150.
- Lin C. S. 1982. Grouping genotypes by a cluster method directly related to genotype-environment interaction mean square. Theor. Appl. Genet. 26: 277 — 280.
- Mungomery V. E., Shorter R., Byth D .E. 1974. Genotype x environment interactions and environmental adaptation. 1. Pattern analysis application to soy bean populations. Aust. J. Agricult. Res. 25: 59 — 72.
- Neyman J. 1932. O metodach opracowywania doświadczeń wielokrotnych. Roczn. Nauk Rol. i Leśn. 28: 154 — 210.
- Przyborowski J., Wileński H. 1938. Analiza zmienności wyników doświadczeń wielokrotnych. Roczn. Nauk Rol. i Leśn. 44: 3 — 19.
- Wood J. I. 1976. The use of environmental variables in the interpretation of genotype-environment interaction. Heredity 37: 1 — 7.