

HENRYK BUJAK
STANISŁAW JEDYŃSKI
JAN KARCZMAREK
CECYLIA KARWOWSKA ¹
ZBIGNIEW KURCZYCH ¹
JÓZEF ADAMCZYK ²

Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa, Akademia Rolnicza we Wrocławiu

¹ Hodowla Roślin Rolniczych „Nasiona Kobierzyc” Sp. z o.o.

² Hodowla Roślin Smolice Sp. z o.o.

Wielocechowa analiza wartości hodowlanej linii wsobnych kukurydzy (*Zea mays* L.)

Evaluation of breeding value of inbred lines of maize on the basis of multitrait analysis

W pracy oszacowano wartość kombinacyjną linii wsobnych kukurydzy za pomocą indeksu dla kilku zintegrowanych cech oraz oceniono ich potencjał krzyżowania. Materiał badawczy stanowiło 48 mieszańców pojedynczych kukurydzy uzyskanych w wyniku krzyżowania 6 linii z 8 testerami o ziarnie szklistym. Doświadczenia polowe zostały założone metodą kraty kwadratowej w dwóch powtórzeniach w dwóch miejscowościach: Kobierzyce i Smolice. Analizy statystyczne wykonano przy użyciu programu SERGEN. Dla wszystkich linii i testerów obliczono indeksy wyrażające potencjał krzyżowania wykorzystując wartości pomiarów wszystkich cech. Przeprowadzona analiza zdolności kombinacyjnych wykazała istotność efektów GCA linii matecznych i testerów dla wysokości roślin, długości kolby, liczby rzędów ziaren w kolbie i liczby ziaren z kolby oraz SCA dla liczby ziaren z kolby. Istotną interakcję efektów GCA linii matecznych ze środowiskiem stwierdzono dla długości kolby oraz liczby i masy ziaren w kolbie, a GCA testerów dla długości kolby, liczby rzędów ziaren w kolbie i masy ziaren z kolby. Stwierdzono addytywne działanie genów dla wysokości roślin, długości kolby, liczby rzędów ziaren w kolbie oraz addytywne i nieaddytywne formy działania genów dla liczby ziaren z kolby. Wśród badanych form matecznych należy wyróżnić linie 1450-9, 1470-8 i 1470-12 oraz K 154, K 182 i K 324 o najwyższym potencjale krzyżowania. Na wyróżnienie zasłużyły mieszańce 1360-5-2 x K 194 i 1450-9 x K 154 o zwiększonej liczbie ziaren z kolby.

Słowa kluczowe: kukurydza, linie wsobne, potencjał krzyżowania, wartość kombinacyjna

Forty eight maize hybrids obtained by crossing of six lines with eight flint testers were sown in a square lattice with two replications at two locations (Kobierzyce, Smolice). Statistical analyses were performed according to the computer program SERGEN. Indices expressing crossing potential were calculated for all lines and testers. Significant GCA effects were estimated for plant height, ear length, no. of rows/ear and no. of seeds/ear. SCA effects were significant for no. of seeds/ear. Significant interaction of maternal GCA effects with environment was found for ear length, no. of seeds/ear and

seed weight/ ear whereas GCA effects for testers were significant in the case of ear length, no. of rows/ear and seed weight/ear. Plant height, ear length and no. of rows/ear were mostly determined by additive gene action. Both additive and non-additive gene action was involved in the inheritance of no. of grains/ear. The most promising lines were 1450-9, 1470-8, 1470-12, K 154, K 182 and K 324 which showed high crossing potential. The best hybrids were 1360-5 x K 194 and 1450-9 x K 154 which were characterized by high no. of seeds/ear.

Key words: combining ability, crossing potential, inbred lines, maize

WSTĘP

Hodowcy zazwyczaj muszą brać pod uwagę kilka cech w czasie selekcji w programie hodowlanym (Adamczyk, 2005; Bujak i in., 2004). W przypadku kukurydzy zwraca się uwagę na wysokość roślin, długość kolby, liczbę rzędów ziaren, liczbę ziaren i masę ziarna z kolby oraz zawartość suchej masy. Do oceny wartości hodowlanej linii wsobnych na podstawie wymienionych cech można wykorzystać wartości GCA i SCA najczęściej w eksperymentach potopcrossowych (Adamczyk, 2005). Jednak przy ocenie wartości kombinacyjnych oddzielnie dla każdej cechy analizowane genotypy mogą często wykazywać dla jednej właściwości dodatnie, a dla drugiej ujemne wartości. Te rozbieżności oceny utrudniają podział linii wsobnych na bardziej lub mniej cenne. Próbę pokonania tych trudności zaproponowali u żyta Kaczmarek i Bujak (1993 a i 1993 b) oraz kukurydzy Bujak i wsp. (2004) wprowadzając parametry asocjacyjnej wartości kombinacyjnej.

Celem niniejszej pracy była ocena wartości hodowlanej linii wsobnych kukurydzy na podstawie wartości kombinacyjnych oraz potencjału krzyżowania tych linii wyrażonej poprzez analizę wielocechową oraz indeksy asocjacyjnej wartości kombinacyjnej Y_i i Y_{ij} .

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły mieszańce pojedyncze kukurydzy uzyskane w wyniku krzyżowania 6 linii matecznych z 8 testerami. Zarówno formy mateczne, jak i testery stanowiły linie wsobne. Doświadczenia polowe zostały założone metodą kraty kwadratowej w dwóch powtórzeniach na dwurzędowych poletkach o powierzchni 5 m² w dwóch miejscowościach: Kobierzyce i Smolice. W okresie wegetacji i po zbiorze określono: wysokość roślin, długość kolby, liczbę rzędów ziaren w kolbie, liczbę ziaren z kolby oraz masę ziaren z kolby. Przeprowadzono wstępną analizę wariancji oraz analizę wariancji zdolności kombinacyjnych dla dwóch miejscowości według metody losowanych bloków. Oszacowano efekty ogólnej zdolności kombinacyjnej linii matecznych i testerów oraz efekty swoistej zdolności kombinacyjnej mieszańców. Istotność efektów stwierdzono za pomocą testu F. Analizy statystyczne wykonano przy użyciu programu SERGEN (Caliński i in., 2003; Czajka, 1996). Dla wszystkich linii i testerów obliczono wielocechowe indeksy potencjału krzyżowania „ Y_i ” oraz „ Y_{ij} ” według wzorów:

$$Y_i = \hat{g}_0 + \sum_{k=1}^m b_k \hat{g}_k$$

gdzie:

$\hat{g}_0$ — efekty ogólnej zdolności kombinacyjnej cechy podstawowej

$\hat{g}_k$ — efekty ogólnej zdolności kombinacyjnej k -tej integrowanej cechy

b_k — współczynnik regresji k -tej integrowanej cechy.

$$Y_{ij} = \hat{g}_0^i + \hat{g}_0^j + \sum_{k=1}^m b_k (\hat{g}_k^i + \hat{g}_k^j)$$

$\hat{g}_0^i$ — efekty ogólnej zdolności kombinacyjnej cechy podstawowej i -tej formy matecznej

$\hat{g}_0^j$ — efekty ogólnej zdolności kombinacyjnej cechy podstawowej j -tej formy ojcowskiej

$\hat{g}_k^i$ — efekty ogólnej zdolności kombinacyjnej k -tej integrowanej cechy i -tej formy matecznej

$\hat{g}_k^j$ — efekty ogólnej zdolności kombinacyjnej k -tej integrowanej cechy j -tej formy ojcowskiej

b_k — współczynnik regresji k -tej integrowanej cechy.

Jako cechę podstawową przyjęto masę ziaren z kolby, właściwość najbardziej związaną z plonem z jednostki z powierzchni. Pozostałe cechy użytkowe są elementami struktury plonowania i uwzględniane są przez hodowców podczas prowadzenia selekcji.

WYNIKI

Każda z analizowanych cech (wysokość roślin, długość kolby, liczba rzędów ziaren w kolbie, liczba ziaren z kolby, masa ziaren) charakteryzuje się zmiennością. W tabeli 1 przedstawiono średnie kwadraty zmienności z analiz wariancji.

Z przedstawionych danych wynika istotne zróżnicowanie genotypów dla GCA linii matecznych, GCA testerów ojcowskich oraz SCA mieszańców tylko dla jednej cechy — liczby ziaren z kolby. Istotna zmienność dla genotypów i zdolności kombinacyjnych pozwalają na oszacowania efektów GCA linii i testerów. W tabeli 2 przedstawiono wyniki tych oszacowań. Efekty GCA były w większości istotne tylko dla wysokości roślin. Na wyróżnienie zasługuje linia 1470-12 dająca istotne dodatnie efekty dla wysokości roślin i długości kolby. W przypadku pozostałych linii napotyka się na trudności jednoznacznej oceny ze względu na równoczesne występowanie dodatnich i ujemnych efektów.

W przypadku testerów, którymi były ustalone linie wsobne (tab. 2) istotne efekty są jeszcze mniej częste. Na wyróżnienie zasługuje tester S 335 ze względu na istotny dodatni efekt dla liczby ziaren z kolby, przy braku pogorszenia pozostałych właściwości. Inne testery np. K 154 zmniejsza w swoim potomstwie liczbę ziaren z kolby, K 192 obniża wysokość roślin, a K 376 długość kolby przy zwiększeniu liczby rzędów. Łączne rozpatrywanie kilku cech wyraźnie utrudnia jednoznaczną ocenę testerów.

Tabela 1

Średnie kwadraty zmienności linii wsobnych i mieszańców kukurydzy (Kobierzyce, Smolice)
The mean squares for the studied traits of maize

Źródło zmienności Source of variability	Liczba stopni swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat Mean square				
		wysokość roślin plant height	długość kolby ear length	liczba rzędów ziaren w kolbie no. of kernels rows/ear	liczna ziaren z kolby no. of kernels/ear	masa ziaren z kolby weight of kernels/ear
Środowiska Environments	1	99912,0**	154,1**	3,2	191696,0**	150820,8**
Powtórzenia × Środowiska Replications × Environments	2	57,5	2,5	1,5	15378,0	642,5
Genotypy Genotypes	47	262,9*	3,0**	2,9**	4242,0**	301,7
GCA linii GCA of lines	5	997,6**	11,6**	6,6**	8196,0**	
GCA testerów GCA of testers	7	349,7*	3,5*	8,6**	7172,0**	
SCA mieszańców SCA of hybrids	35	143,4	1,7	1,2	3091,2*	
Genotypy × Środowiska Genotypes × Environments	47	169,1	3,5**	3,2**	2914,8*	483,5**
Błąd Error	94	156,8	1,6	1,5	2013,9	275,2

* Istotność na poziomie $\alpha = 0,05$; Significant at $\alpha = 0.05$ ** Istotność na poziomie $\alpha = 0,01$; Significant at $\alpha = 0.01$

Tabela 2

Efekty ogólnej wartości kombinacyjnej linii oraz indeks potencjału krzyżowania Y_i linii matecznych i esterów (Kobierzyce, Smolice)
Effects of general combining ability (GCA) and crossing potential (Y_i) of mother lines and testers

Linie mateczne Mother lines	Wysokość roślin Plant height	Długość kolby Ear length	Liczba rzędów ziaren w kolbie No. of kernels rows/ear	Liczba ziaren z kolby No. of kernels/ear	Masa ziaren z kolby Weight of kernels/ear	Indeks Y_i Index Y_i
1291-2	-7,61**	-1,06**	0,49**	17,87*	-5,90	-30,30
1360-5-2	-4,14*	0,31	-0,44*	-4,20	-4,49	-6,51
1450-9	6,72**	0,08	0,10	-14,53*	1,86	10,91
1470-8	2,91	0,22	0,18	11,39	1,64	8,53
1470-12	4,37*	0,68**	0,33	11,27	6,00	22,41
1470-15	-2,24	-0,23	-0,65**	-21,81*	0,88	-2,62
Testery — Testers						
K 154	4,15	0,32	-0,32	-32,49**	2,87	65,62
K 182	4,07	0,25	-0,45*	-8,00	1,18	62,07
K 188	-1,22	0,47	-0,25	-1,49	-5,03	-25,15
K 192	-6,19*	0,23	-0,80**	13,17	-2,12	-96,19
K 194	-3,10	0,29	0,27	-13,31	1,21	-44,55
K 324	4,15	-0,36	0,27	14,28	4,67	68,55
K 376	-0,77	-0,54*	1,17*	10,22	-2,62	-13,93
S 335	-1,09	0,27	0,12	17,61*	-0,16	-16,42

* Istotność na poziomie $\alpha = 0,05$; Significant at $\alpha = 0.05$ ** Istotność na poziomie $\alpha = 0,01$; Significant at $\alpha = 0.01$

W tabeli 3 przedstawiono efekty SCA dla liczby ziaren z kolby. Istotne i dodatnie efekty GCA linii matecznych i testerów nie przeniosły swoich walorów na efekty SCA mieszańców, ponieważ linie 1360-5-2 i K 194 oraz 1450 i K 154 dały mieszańce o wysokich efektach SCA, natomiast te same linie 1450 i K 154 oceniane pod względem GCA wykazały istotne ujemne efekty, a kolejna para rodziców 1360-5-2 i K 194 brak istotnych efektów. Można więc wnioskować, że nie należy rozpatrywać pojedynczej cechy w oderwaniu od pozostałych ze względu na ich wzajemne oddziaływanie o charakterze fizjologicznym i genetycznym.

Tabela 3

Efekty swoistej wartości kombinacyjnej dla liczby ziaren z kolby (Kobierzyce, Smolice)
Effects of specific combining ability (SCA) for number of kernels per ear

Linie Lines	Testery Testers	K 154	K 182	K 188	K 192	K 194	K 324	K 376	S 335
1291-2		-24,28	30,43	-7,94	14,75	5,63	9,14	23,50	-51,23**
1360-5-2		-10,76	-15,10	10,37	10,27	59,70**	-27,39	-24,38	-2,71
1450-9		43,43*	-3,97	24,16	-16,30	7,83	-59,81**	1,30	3,37
1470-8		-6,99	0,41	-34,90	13,99	0,42	31,98	-6,16	1,25
1470-12		2,02	2,83	7,12	-34,84	-45,01	35,40	15,91	16,57
1470-15		-3,40	-14,59	1,19	12,13	-28,58	10,67	-10,17	32,75

* Istotność na poziomie $\alpha = 0,05$; Significant at $\alpha = 0,05$

** Istotność na poziomie $\alpha = 0,01$; Significant at $\alpha = 0,01$

Tabela 4

Indeks potencjału krzyżowania Y_{ij} wartości kombinacyjnej mieszańców
Index of crossing potential of maize hybrids (Y_{ij})

Linie wsobne Inbred lines	1291-2	1360-5-2	1450-9	1470-8	1470-12	1470-15
K 154	31,56	47,71	59,70	65,83	78,25	41,71
K 182	36,52	52,67	67,66	70,78	83,21	46,67
K 188	-46,57	-30,42	-18,42	-12,30	0,12	-36,42
K 192	-113,78	-97,63	-85,63	-79,51	-67,09	-103,63
K 194	-71,84	-55,69	-43,69	-37,57	-25,15	-61,69
K 324	49,11	65,26	77,26	83,38	95,80	59,26
K 376	-32,32	-16,17	-4,17	1,95	14,37	-22,17
S335	-33,20	-17,05	-5,06	1,06	13,49	-23,05

Wyznaczono, zatem jedną cechę podstawową, masę ziaren z kolby, która jest wektorem dla hierarchicznie uporządkowanych pozostałych z nią współdziałających i wyliczono wspólny indeks Y_i świadczący o potencjale krzyżowania linii matecznych i testerów oraz Y_{ij} dla mieszańców. Bezwzględne wartości indeksów potencjału krzyżowania dla linii (tab. 2) są zgodne z indeksami wyliczonymi dla potencjału krzyżowania poszczególnych par mieszańców (tab. 4). Komentując wyniki tabeli 4 można zauważyć, że testery K 154 i K182 o wysokich wartościach Y_i w krzyżowaniu z liniami 1470-8 i 1472-12 dawały wysokie wartości indeksów Y_{ij} potencjału krzyżowania mieszańców. Podobne zjawisko obserwowano w przypadku testera K 324. Wyniki powyższych porównań świadczą

o przydatności obliczania wielowymiarowych indeksów w heterozyjnej hodowli kukurydzy.

WNIOSKI

1. Analiza wariancji wykazała istotność zróżnicowania środowisk, genotypów oraz ich interakcje ze środowiskiem dla badanych cech za wyjątkiem plonu ziarna.
2. Stwierdzono istotną zmienność ogólnej zdolności kombinacyjnej linii i testerów dla wszystkich cech, natomiast swoistej zdolności kombinacyjnej mieszańców jedynie dla liczby ziaren z kolby.
3. Analiza efektów GCA linii i testerów oddzielnie dla poszczególnych cech nie daje wystarczających informacji o wartości linii, ze względu na różne wagi dodatnich i ujemnych wartości dla rozpatrywanych cech.
4. Linie o wysokich efektach GCA dla poszczególnych cech nie przenosiły pozytywnych efektów na SCA mieszańców.
5. Linie o wyliczonych dodatnich wyższych wartościach indeksu Y_j dla ogólnej wartości kombinacyjnej dawały również wysokie wartości indeksów potencjału krzyżowania Y_{ij} dla swoistej wartości kombinacyjnej mieszańców. Wyniki świadczą o przydatności obliczania wielowymiarowych indeksów w heterozyjnej hodowli kukurydzy.

LITERATURA

- Adamczyk J. 2005. Genetyczne podstawy hodowli kukurydzy (*Zea mays* L.). W: Zarys genetyki zbóż., t. 2, Wyd. Inst. Genetyki Roślin PAN, Poznań.
- Bujak H., Kaczmarek J., Jedyński S., Karwowska C., Kurczych Z., Adamczyk J. 2004. Ocena wartości hodowlanej materiałów wyjściowych kukurydzy (*Zea Mays* L.) Rozprawy i Monografie Instytutu Genetyki Roślin PAN Poznań 11: 243 — 249.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P., Siatkowski I., 1998. Podręcznik użytkownika programu Sergen 3. Inst. Genetyki Roślin PAN, Poznań.
- Czajka S. 1996. Metody analizy serii doświadczeń wielokrotnych i wieloletnich zakładanych w układzie o blokach niekompletnych. Listy Biometryczne — Biometrical Letters 32: 101 — 129.
- Kaczmarek J., Bujak H. 1993 a. Analiza genetyczna integralności systemu kilku cech użytkowych żyta z wykorzystaniem asocjacyjnej wartości kombinacyjnej. Biul. Inf. AR-T Olsztyn 34: 165— 177.
- Kaczmarek J., Bujak H. 1993 b. Homeostaza odmian i rodów żyta. Zesz. Nauk. AR Wrocław 223: 101— 103.