

ARTUR TOPOLSKI

Hodowla Roślin Rolniczych — Nasiona Kobierzyc Sp. z o.o.

Ocena wartości testerów w krzyżowaniach topcrossowych kukurydzy (*Zea mays* L.)

Estimation of value of testers in topcrossing maize (*Zea mays* L.)

Przedmiotem analiz było potomstwo 6 linii wsobnych kukurydzy (różnych dla każdego roku) krzyżowanych z ośmioma testerami (układ czynnikowy). Cztery testery charakteryzowały się ziarnem szklistym (flint) a cztery ziarnem zębokształtnym (dent). Doświadczenia założono, w kolejnych dwóch latach, metodą bloków niekompletnych w dwóch powtórzeniach. W okresie wegetacji roślin określono: odporność na krzewienie (w skali 9°), rośliny nie porażone przez głownię oraz rośliny stojące przed zbiorem (w stopniach Bliss). Po zbiorze oceniono: zawartość suchej masy w ziarnie i plon ziarna z poletka. Przeprowadzono analizę wariancji GCA i SCA i oszacowano efekty dla obu zdolności kombinacyjnych korzystając z programu EKSPLAN. Zdolność kombinacyjną liczono osobno dla testerów flint i dent. W obu układach przeprowadzono obliczenia z 4, 3, i 2 testerami w grupie, eliminując kolejno najsłabsze testery. Biorąc pod uwagę koszty testowania i ilość informacji uzyskanych o testowanych liniach stwierdzono, że optymalny jest układ z 3 testerami. Stwierdzono przewagę addytywnego działania genów nad działaniem nieaddytywnym dla większości badanych cech. Najlepszymi liniami wśród użytych testerów flint okazały się linie K154 (udział tylko w dośw. z 2003 r.) i K296 (udział tylko w dośw. z 2004 r.) ze względu na wysoką dodatnią wartość efektu GCA dla plonu ziarna oraz K376 z powodu wysokich wartości GCA dla zawartości suchej masy w ziarnie. W grupie testerów dent w roku 2003 najlepsza była linia K182 z dodatnim efektem GCA dla plonu ziarna, a w 2004 linia S335 z dodatnim efektem dla suchej masy w ziarnie.

Słowa kluczowe: kukurydza, linie wsobne, testery, wartość informacyjna, zdolność kombinacyjna

The analysis concerned the offspring of 6 inbred lines of maize (different for each year) crossed with 8 testers using factorial design (North Carolina Design II). Four flint type and four dent type testers were applied. The experiments were carried in two successive years using incomplete block design with two replications. During the plants vegetation data were recorded for: resistance to tillering (in 9° scale), plants uninfected by smut and erect plants before harvest (both values in Bliss degrees). After harvest dry matter content of grain and grain yield from plot were assessed. Analyses of general and specific combining ability were done and their effects were estimated. The combining ability was assessed separately for flint type and dent type testers, with 4, 3 and 2 testers in a group, eliminating successively the weakest testers. Analysis of the cost of testing and the amount of information obtained on the tested lines showed that the design with 3 testers is likely to be optimal. The advantage of additive gene action over non-additive one was found for the majority of traits studied. K154, K296 and K376 lines from flint type testers, and K182 and S335 lines from dent type testers appeared to be most valuable.

Key words: combining ability, inbred lines, information value, maize, testers

WSTĘP

Obecna hodowla kukurydzy opiera się na wykorzystaniu zjawiska heterozji u odmian mieszańcowych, polegającym na większej bujności wzrostu i żywotności u pierwszego pokolenia mieszańców międzyliniowych. Początek tej metodzie dali niezależnie od siebie w pierwszych latach dwudziestego wieku dwaj Amerykanie Shull i East (Ruebenbauer, 1964).

Nowoczesne rolnictwo i sektory produkcji z nim związane stawiają wysokie wymagania mieszańcom kukurydzy. Dla uzyskania wysokoplennych mieszańców o dobrej jakości niezbędne są odpowiednio dobrane linie wsobne. Dostęp do różnych genetycznie materiałów wyjściowych, ich grupowanie i trafna ocena linii pod względem przydatności do tworzenia najlepszych mieszańców pozwala uzyskać największy efekt heterozji w postaci wysokości i jakości plonu. Posiadanie dobrych linii wsobnych ma zasadnicze znaczenie nie tylko dla uzyskania dużego efektu heterozji w mieszańcach, ale też dla tworzenia nowych jeszcze lepszych linii kolejnych cykli chowu wsobnego i możliwości wyboru dobrych testerów do ich oceny hodowlanej (Kuriata i Topolski, 2006). Według szacunku Kiesselbacha, spośród około 100 tys. linii (zbadanych do 1951r.) tylko mniej więcej 60 było na tyle wartościowych by można je było wykorzystać w produkcji mieszańców handlowych (Allard, 1968).

Dla zdobycia informacji o wartościach linii w krzyżowaniach ocenia się ich zdolność kombinacyjną. Ocena ta dokonywana jest z zastosowaniem metod doświadczalnych i parametrów statystyczno genetycznych (Hoffman i in., 1979). Do parametrów tych zalicza się ogólną (GCA) i swoistą (SCA) wartość kombinacyjną.

Ogólna wartość kombinacyjna jest to średnia wartość cechy ilościowej mieszańców, uzyskanej przez krzyżowanie badanej formy w licznych kombinacjach, a więc jest to średnia wartość gamet jednego z rodziców - siła ich addytywnego oddziaływania.

Addytywne działanie genów ma charakter ustalony i stanowi o genetycznym uwarunkowaniu cechy. Im wyższa jest część addytywna wariancji, tym wyższa jest wariancja GCA.

W świetle powyższego linie o wysokiej ocenie GCA są liniami o najlepszej zdolności przekazywania najkorzystniejszych cech potomstwu.

Swoista wartość kombinacyjna wyraża różnicę pomiędzy przewidywaną ogólną wartością kombinacyjną, a rzeczywistą wartością określonej kombinacji krzyżówkowej.

Odnosi się więc do pojedynczych kombinacji krzyżówkowych, których wartość może być niższa lub wyższa od ogólnej wartości kombinacyjnej i jest częścią nieaddytywnych efektów działania genów (Ubysz-Borucka i in., 1985).

Składniki wariancji nieaddytywnej (SCA): dominacji i interakcji nieallelicznych (epistazy) są wysoce niestabilne. Znając wartość wariancji ogólnej i swoistej wartości kombinacyjnej można określić wartość ich wzajemnego stosunku, a to daje możliwość oceny sposobu działania genów warunkujących daną cechę (Lipińska, 1985). Ocena SCA ma znaczenie dla hodowli odmian mieszańcowych, ponieważ pozwala na znalezienie najlepszych kombinacji, w których jest łączona wysoka zdolność GCA i SCA.

Na wyższym poziomie wsobności dość powszechnie stosuje się najbardziej wydajny, jeżeli chodzi o ilość testowanych linii, układ krzyżowania czynnikowego (Węgrzyn, 1996). Układ czynnikowy linia \times tester pozwala na obliczenie zarówno GCA jak i SCA. Konieczność dążenia do coraz to lepszych, zróżnicowanych genetycznie materiałów przy otwarciu na różne dostępne zasoby stwarza problemy przy ich właściwej ocenie i grupowaniu.

Materiały wyjściowe pochodzą często ze źródeł, o których nie mamy pełnej informacji (np. mieszańce i linie innych firm, populacje o pochodzeniu których mamy częściowe informacje). Właściwy dobór partnerów rodzicielskich ogranicza rozmiary programów krzyżowań, równocześnie zwiększając ich efektywność. Doświadczenia polowe są jednym z droższych etapów hodowli. Określenie optymalnej liczby testerów, a zatem liczby obiektów do badania w doświadczeniach, pozwala uzyskać dobrą odpowiedź na temat zdolności kombinacyjnej badanych linii przy niezbyt wysokich kosztach.

Jeszcze jednym aspektem badania zdolności kombinacyjnej jest pytanie czy stosować testery o wysokiej zdolności GCA, czy o mniejszej w obawie przed przykrywaniem przez te pierwsze efektu badanych linii (Kaczmarek i in., 1992). Obecnie wiadomo, że szczególnie w ostatnich etapach badania powinno się stosować testery o wysokiej zdolności GCA. Wymienię tu dwa powody:

- interesują nas takie linie, które są zdolne dawać wysoki efekt heterozji z najlepszymi partnerami,
- połączenie, przy doborze takich testerów, wysokiego efektu GCA i SCA daje możliwość znalezienia gotowych formuł mieszańców.

Celem badań była ocena wartości informacyjnej testerów w krzyżowaniach topcrossowych w doświadczeniach czynnikowych z 2, 3 i 4 testerami.

MATERIAŁY I METODY

Materiałem badawczym w kolejnych 2 latach było 48 mieszańców (różnych dla każdego roku), powstałych ze skrzyżowania w układzie czynnikowym linia \times tester (North Carolina II Design) 12 linii matecznych S_6 (po 6 dla każdego roku) z 8 testerami. Wśród użytych testerów w każdym roku były 4 linie o ziarnie szklistym typu flint oraz 4 formy zębokształtne typu dent.

W 2003 roku w grupie testerów flint użyto linie: K188, K194, K376, K154 i w grupie testerów dent linie: K182, K324, S335, K192. Badane linie mateczne S_6 to: dwie formy semi-dent i cztery dent.

W roku 2004 w grupie testerów flint zamieniono linię K154 na linię K296, a w grupie testerów dent linię K192 na K231. Jako pozostałe testery użyto linie identyczne jak w 2003 roku. Badane linie mateczne S_6 to: po jednej formie flint i semi-dent oraz 4 formy dent.

Linie wykorzystane jako testery należały do najlepszych z hodowli w Smolicach i Kobierzycach. Linie mateczne pochodziły z: dwóch krzyżówek wstecznych (2 linie), dwóch mieszańców rodzicielskich (4 linie) i czterech mieszańców handlowych (6 linii).

Doświadczenia założono metodą bloków niekompletnych w 2 powtórzeniach na czarnej ziemi, kl. 1. Zmianowanie na polu doświadczalnym było następujące: kukurydza, pszenica

jara, bobik. Przed siewem nasiona zaprawiono mieszaniną zapraw Vitawax i Promet. W czasie wegetacji roślin przeprowadzono obserwacje liczby roślin porażonych przez głównię guzowatą (*Ustilago majdis*), odporność na krzewienie roślin (na kolejnych dziesięciu roślinach w skali 9 stopniowej, gdzie 9 = 0 lub 1 roślin krzewiących), liczba roślin wyległych przed zbiorem. Określono na podstawie tych obserwacji % roślin nie porażonych przez głównię oraz % roślin stojących przed zbiorem. Do obliczeń statystycznych obie te wartości przekształcono na stopnie Blissa. Po zbiorze ziarna oznaczono procentową zawartość suchej masy metodą podsuszkową i obliczono plon ziarna przy wilgotności 15%.

Na uzyskanych wynikach przeprowadzono analizę wariancji dla ogólnej i swoistej zdolności kombinacyjnej (GCA i SCA) metodą klasyfikacji krzyżowej dla linii oraz testerów, a następnie wykorzystując średnie oszacowano ogólne i swoiste efekty. Do sprawdzenia hipotez zerowych mówiących o zerowych efektach GCA linii i testerów oraz zerowych efektach SCA badanych mieszańców stosowano statystykę F. Testowane linie zestawiono w dwóch grupach: z testerami flint i testerami dent. Kolejne układy testowania były prowadzone z 4, 3 i 2 testerami a eliminowane były kolejno najslabsze testery w każdej grupie. Dla porównania wyniki zestawiono w tabelach.

Na podstawie porównania średnich kwadratów dla GCA i SCA określono sposoby działania genów dla badanych cech.

WYNIKI

Średnie kwadraty z analiz wariancji dla zdolności kombinacyjnych układów z 4, 3 i 2 testerami flint i dent w poszczególnych latach przedstawiono w tabelach 1–4.

Tabela 1

Analiza wariancji zdolności kombinacyjnych dla badanych cech w układzie z testerami flint 2003 roku
Variation analysis of combining abilities for all features in configuration with flint type testers in 2003

Źródło zmienności Variability	Liczba testerów w układzie Number of testers in configuration	Liczba stopni swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat — Mean square				
			plon ziarna grain yield	zawartość suchej masy dry matter content	odporność na krzewienie tillering resistance	głównia - rośliny zdrowe smuted - healthy plants	rośliny stojące erected plants
GCA linii GCA of lines	4 3	5 5	5,86** 5,69**	14,89** 12,08**	1,22** 1,36	188,15* 135,65	35,02 38,46
	2	5	4,75**	4,48**	1,61	145,41	11,29
GCA testerów GCA of testers	4 3 2	3 2 1	9,40** 8,87** 9,19**	30,82** 41,58** 13,29**	0,42 0,47 0,75	114,42 173,21 14,13	56,64 100,12 138,86
SCA mieszańców SCA of hybrids	4 3 2	15 10 5	0,53 0,33 0,27	2,30* 2,63* 0,97	2,14** 1,84* 0,46	45,85 48,56 134,21	69,35 76,66 14,63
Błąd Error	4 3 2	20 14 8	0,46 0,25 0,23	0,58 0,64 0,61	0,23 0,33 0,35	49,04 70,23 68,72	43,82 31,23 32,25

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

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

Tabela 2

Analiza wariancji zdolności kombinacyjnych dla badanych cech w układzie z testerami dent 2003 roku
Variation analysis of combining abilities for all features in configuration with dent type testers in 2003

Źródło zmienności Variability	Liczba testerów w układzie Number of testers in configuration	Liczba stopni swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat — Mean square				
			plon ziarna grain yield	zawartość suchej masy dry matter content	odporność na krzewienie tillering resistance	głownia - rośliny zdrowe smuted - healthy plants	rośliny stojące erected plants
GCA linii	4	5	7,35**	6,67**	2,22	93,08	66,67
GCA of lines	3	5	4,19**	3,56	2,73*	106,57	26,23
	2	5	1,58*	1,91	2,40	58,17	8,60
GCA testerów	4	3	2,46*	20,86**	2,28	195,37	232,00**
GCA of testers	3	2	2,51*	1,01	2,21	126,51	349,45**
	2	1	0,29	0,90	1,79	103,47	370,49**
SCA mieszańców	4	15	0,87	0,88	1,59	44,14	21,57
SCA of hybrids	3	10	0,60	0,99	1,65	31,56	24,81
	2	5	0,22	0,83	1,33	16,61	39,92
Błąd	4	20	0,44	0,89	0,99	76,42	34,59
Error	3	14	0,47	1,18	0,57	61,85	22,10
	2	8	0,45	1,09	0,83	67,55	21,675

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

Tabela 3

Analiza wariancji zdolności kombinacyjnych dla badanych cech w układzie z testerami flint 2004 roku
Variation analysis of combining abilities for all features in configuration with flint type testers in 2004

Źródło zmienności Variability	Liczba testerów w układzie Number of testers in configuration	Liczba stopni swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat — Mean square				
			plon ziarna grain yield	zawartość suchej masy dry matter content	odporność na krzewienie tillering resistance	głownia - rośliny zdrowe smuted - healthy plants	rośliny stojące erected plants
GCA linii	4	5	4,33**	12,81**	35,86**	78,00	62,20
GCA of lines	3	5	3,63**	16,22**	40,02**	122,92*	153,80*
	2	5	3,22**	13,39**	28,83**	187,37*	39,96
GCA testerów	4	3	5,20**	42,96**	22,77**	328,26**	26,69
GCA of testers	3	2	4,78**	31,88**	14,00**	486,83**	5,12
	2	1	4,31**	41,30**	13,05*	8,82	1,03
SCA mieszańców	4	15	0,83	3,73**	4,15*	108,22*	56,91
SCA of hybrids	3	10	0,63	2,72**	2,31	160,56**	35,86
	2	5	0,22	1,17*	2,71	180,47*	30,34
Błąd	4	20	0,27	0,28	1,51	46,60	44,04
Error	3	14	0,31	0,23	1,76	27,23	43,92
	2	8	0,32	0,20	1,51	39,85	25,68

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

W roku 2003 zmniejszenie liczby testerów powodowało, że dla odporności na krzewienie, głowni — rośliny zdrowe i wylegania przed zbiorem, zmienność średnich kwadratów dla GCA była nieistotna (tab. 1 i 2). Zasadniczy wpływ na to miał przebieg pogody. Występujące na początku czerwca i sierpnia okresy braku opadów połączone z wysokimi temperaturami powodowały wolniejszy przebieg wegetacji, co skutkowało mniejszym

krzewieniem roślin i wolniejszym rozwojem głowni, a warunki wilgotnościowe gleby nie sprzyjały występowaniu wylegania korzeniowego.

W doświadczeniach przeprowadzonych w 2004 roku analiza wariancji wykazała istotne zróżnicowanie dla większości cech we wszystkich układach. Najmniej cech wykazuje jednak istotność w układzie z 2 testerami (tab. 3 i 4).

Tabela 4
Analiza wariancji zdolności kombinacyjnych dla badanych cech w układzie z testerami dent 2004 roku
Variation analysis of combining abilities for all features in configuration with dent type testers in 2004

Źródło zmienności Variability	Liczba testerów w układzie Number of testers in configuration	Liczba stopni swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat — Mean square				
			plon ziarna grain yield	zawartość suchej masy dry matter content	odporność na krzewienie tillering resistance	głownia - rośliny zdrowe smuted - healthy plants	rośliny stojące erected plants
GCA linii GCA of lines	4 3	5 5	9,93** 7,72**	25,99** 12,26**	13,79** 15,12**	152,54** 180,25**	479,42** 361,06**
	2	5	6,33**	9,08**	7,78	84,58*	392,49**
GCA testerów GCA of testers	4 3	3 2	0,72 1,02	22,11** 11,73**	18,59** 18,30*	78,81* 70,43*	342,97** 465,94**
	2	1	0,46	3,92	6,36	121,55*	8,24
SCA mieszaneńców SCA of hybrids	4 3 2	15 10 5	0,80 1,08 0,53	3,10** 1,58 1,77	3,94 3,52 4,74	59,32** 51,00* 22,40	80,77 77,91 74,67
Błąd Error	4 3	20 14	0,55 0,55	0,83 0,83	2,49 3,09	12,81 14,88	43,44 41,92
	2	8	0,52	0,90	2,19	17,53	26,56

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

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

Poza wpływem warunków meteorologicznych, ogólnie można stwierdzić (dla obu lat), że najmniejsza ilość istotnych efektów dla cech występuje dla układów z 2 testerami, a eliminacja testerów nie zawsze wpływała na zmniejszenie ilości istotnych efektów.

Wśród testerów flint wyróżnić należy linię K376 za dodatni efekt GCA dla zawartości suchej masy (s.m.) w ziarnie, a linię K154 (biorącą udział w testowaniu tylko w 2003 r.) i linię K296 (która miała udział w testowaniu w 2004 r.) za dodatni efekt GCA dla plonu ziarna (tab. 5).

Wśród testerów dent największymi pozytywnymi efektami GCA wyróżniły się: linia K182 dla plonu ziarna i linia S335 dla zawartości s.m. w ziarnie (tab. 6).

Zestawienie porównań tych testerów, które powtarzały się w latach 2003-04 wykazuje, że mimo innego zestawu testowanych linii i interakcji genotypy \times lata ich ogólna ocena jest podobna. Wagi efektów genotypowych poszczególnych testerów są trochę zmienione ale ogólne kierunki działania tych efektów w układach są zbliżone (tab. 5 i 6).

Na przykładzie wyróżnionych linii widać jak trudno jest połączyć wszystkie korzystne wartości GCA w jedną całość. U większości z tych linii, poza K154, stwierdzono inne niekorzystne efekty GCA, a u linii K182, zarówno korzystny efekt dla głowni jak i niekorzystny dla krzewienia (w 2004 r.). Można jednak polecić te linie jako testery,

ponieważ dla zasadniczych cech wnoszą do testowania wysoce istotną pozytywną ogólną wartość kombinacyjną.

Tabela 5

Efekty ogólnej wartości kombinacyjnej testerów flint
Effects of general combining ability of the flint testers

2003					
tester	plon ziarna grain yield	zawartość suchej masy dry matter content	odporność na krzewienie tillering resistance	głównia -rośliny zdrowe smuted - healthy plants	rośliny stojące erected plants
K154	1,26**	0,11	-0,26	1,22	-3,39
K188	-0,82**	0,06	-0,05	-0,75	1,04
K194	0,04	-2,17**	0,17	3,64	1,09
K376	-0,48*	1,99**	0,14	-4,11	1,26
2004					
K296	0,94**	-0,37*	-1,80**	-3,19	-0,32
K188	-0,44**	-0,51**	-0,22	7,12**	-1,91
K194	-0,57**	-1,93**	1,68**	1,54	1,89
K376	0,07	2,82**	0,33	-5,47**	0,34

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

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

Tabela 6

Efekty ogólnej wartości kombinacyjnej testerów dent
Effects of general combining ability of the dent testers

2003					
tester	plon ziarna grain yield	zawartość suchej masy dry matter content	odporność na krzewienie tillering resistance	głównia -rośliny zdrowe smuted - healthy plants	rośliny stojące erected plants
S335	-0,04	0,51	0,18	-4,25	3,13
K182	0,48*	0,34	-0,69	4,28	-5,69**
K192	-0,65**	1,16**	0,32	4,73	4,46*
K324	0,22	-2,02**	0,19	-4,75	-1,90
2004					
S335	0,11	1,71**	-0,07	-3,54**	-6,95**
K182	0,22	0,38	-2,01**	3,58**	-0,90
K231	-0,40	-0,57*	1,10*	-1,31	6,86**
K324	0,07	-1,52**	0,98*	1,28	0,99

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

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

Biorąc pod uwagę koszty testowania i ilość informacji uzyskanych o testowanych liniach najbardziej optymalny wydaje się być układ z 3-ma testerami (tab. 7–10). Wyniki te są zbieżne z wnioskami uzyskanymi przez Kaczmarka i wsp. (1992) dla analizy wartości informacyjnej testerów w doświadczeniach topcrossowych z żytem.

W badaniach wykazano też celowość stosowania w testowaniu podziału na grupę testerów flint i dent. Niektóre linie miały korzystny efekt tylko z jedną grupą testerów np. 1450-9 w 2003r. (tab. 7 i 9) i 1560-17 w 2004 r. (tab. 8 i 10).

Tabela 7

Efekty ogólnej wartości kombinacyjnej dla testowanych linii z testerami flint 2003 roku
Effects of general combining ability of the tested lines with flint testers in 2003

Linia Line	Liczba testerów Number of testers	Plon ziarna Grain yield	Zawartość suchej masy Dry matter content	Odporność na krzewienie Tillering resistance	Głownia - rośliny zdrowe Smuted - healthy plants	Rośliny stojące Erected plants
1291-2	4	-1,94**	3,02**	0,41	2,21	-4,74
	3	-2,40**	3,80**	0,21	4,87	-8,53
	2	-3,20**	4,00**	1,75	0,53	-5,90
1360-5-2	4	-2,21**	3,14**	0,18	11,52**	-2,86
	3	-2,17**	2,49**	0,36	12,62	0,30
	2	-1,46*	0,44	-0,75	15,91	2,11
1450-9	4	1,22**	-2,19**	-0,88**	-9,80*	1,65
	3	1,31*	-2,06*	-0,87	-11,80	0,28
	2	0,93*	-1,87*	-0,75	-17,65	-1,58
1470-8	4	1,00*	-0,66	-0,86**	3,39	-1,80
	3	1,10*	-0,67	-1,10	0,38	-0,84
	2	1,30*	0,74	-0,25	18,05	-1,68
1470-12	4	0,98*	-1,43**	0,48	-1,97	3,72
	3	0,96*	-1,31*	0,18	0,17	4,49
	2	0,83*	-1,88**	-1,25	1,19	4,95
1470-15	4	0,95*	-1,89**	0,67*	-5,35	4,04
	3	1,20**	-2,25**	1,23	-6,24	4,30
	2	1,60**	-1,43*	1,25	-12,03	2,10

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

Tabela 8

Efekty ogólnej wartości kombinacyjnej dla testowanych linii z testerami flint 2004 roku
Effects of general combining ability of the tested lines with flint testers in 2004

Linia Line	Liczba testerów Number of testers	Plon ziarna Grain yield	Zawartość suchej masy Dry matter content	Odporność na krzewienie Tillering resistance	Głownia - rośliny zdrowe Smuted - healthy plants	Rośliny stojące Erected plants
1390-19	4	-1,02**	1,92**	-1,67**	0,24	0,91
	3	-1,16**	2,13**	-2,73**	-0,47	2,52
	2	-1,21**	2,34**	-3,25**	4,73	0,67
1417-3	4	-0,25	1,03**	2,07**	4,21	-5,68
	3	0,08	1,93**	2,59**	6,68**	-9,75**
	2	-0,48	1,26**	2,82**	8,97*	-6,09
1560-5	4	0,48*	-0,62**	-3,68**	-4,73	0,85
	3	0,60*	-0,76**	-4,23**	-7,53**	-0,52
	2	0,96*	-0,47	-3,96**	-9,27*	-2,24
1560-10	4	-0,72**	0,48*	2,07**	1,61	4,07
	3	-0,71*	0,22	2,56**	3,16	7,26*
	2	-0,60	0,84*	2,48**	5,23	3,66
1560-17	4	0,92**	-1,14**	-0,21	-3,03	-1,34
	3	0,94**	-1,42**	-0,10	-2,84	-1,96
	2	1,15**	-0,89**	0,25	-5,96	0,13
1565-24	4	0,59**	-1,66**	1,42**	1,70	1,20
	3	0,26	-2,10**	1,90**	1,01	2,45
	2	0,18	-3,08**	1,66*	-3,70	3,88

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

Tabela 9

Efekty ogólnej wartości kombinacyjnej dla testowanych linii z testerami dent 2003 roku
Effects of general combining ability of the tested lines with dent testers in 2003

Linia Line	Liczba testerów Number of testers	Plon ziarna Grain yield	Zawartość suchej masy Dry matter content	Odporność na krzewienie Tillering resistance	Głownia - rośliny zdrowe Smuted - healthy plants	Rośliny stojące Erected plants
1291-2	4	-2,26**	2,21**	1,02	4,83	-6,06
	3	-2,65**	2,89	1,20	5,36	-6,53
	2	-1,72*	2,24	-0,42	1,34	5,41
1360-5-2	4	-2,05**	1,89**	0,82	2,88	-2,47
	3	-1,80*	2,45	2,23**	7,11	-3,08
	2	-1,93*	3,76	2,58	6,59	-3,64
1450-9	4	1,07**	-0,39	0,09	-6,99	0,02
	3	1,65*	-0,48	0,80	-7,06	-2,94
	2	2,51*	-1,39	1,08	-3,57	-2,06
1470-8	4	1,46**	-0,61	-0,14	3,51	9,03
	3	1,57*	-1,22	-0,45	-0,69	6,08
	2	1,78*	-2,60	0,58	-2,27	1,49
1470-12	4	0,42	-1,29*	-1,80	-2,62	3,71
	3	-0,04	-1,91	-2,63**	-6,46	4,33
	2	-0,86	-0,88	-2,42	-7,34	2,59
1470-15	4	1,36**	-1,82**	0,00	0,39	-4,23
	3	1,27*	-1,73	-1,15	4,73	2,13
	2	0,22	-1,12	-1,42	4,26	-3,79

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

Tabela 10

Efekty ogólnej wartości kombinacyjnej dla testowanych linii z testerami dent 2004 roku
Effects of general combining ability of the tested lines with dent testers in 2004

Linia Line	Liczba testerów Number of testers	Plon ziarna Grain yield	Zawartość suchej masy Dry matter content	Odporność na krzewienie Tillering resistance	Głownia - rośliny zdrowe Smuted - healthy plants	Rośliny stojące Erected plants
1390-19	4	-1,57**	1,91**	-1,27*	-1,49	-4,45
	3	-1,71**	1,23**	-2,30**	-5,27**	-5,77*
	2	-2,28**	2,10**	-1,03	-5,05	-5,43
1417-3	4	-0,17	1,76**	1,58*	9,34**	-17,06**
	3	-0,01	1,10*	1,51	10,57**	-15,91**
	2	-0,43	1,01	1,92*	10,29**	-16,94**
1560-5	4	0,40	0,06	-2,18**	-2,81*	4,82
	3	0,29	0,05	-1,91*	-2,47	3,78
	2	0,65	-0,04	-2,88*	-0,74	1,32
1560-10	4	-1,15**	0,32	0,75	-0,04	10,91**
	3	-1,11**	0,33	1,13	0,28	13,03**
	2	-0,96*	-0,02	0,13	-2,14	14,31**
1560-17	4	1,17**	-0,83*	-0,18	-1,06*	7,78**
	3	1,21**	0,09	0,22	0,24	10,12**
	2	1,89**	-0,48	-0,02	-2,72	13,57**
1565-24	4	1,32**	-3,21**	1,30*	-3,94**	-2,00
	3	1,34**	-2,79**	1,34	-3,34	-5,24
	2	1,13*	-2,57**	1,88	0,36	-6,83*

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

Postęp w hodowli mieszańców kukurydzy jest ściśle związany z intensyfikacją hodowli linii wsobnych o dużych korzystnych efektach GCA i różnorodnością posiadanego materiału (Allard, 1968; Królikowski i Adamczyk, 2000). Różnorodność ta daje możliwość sumowania w mieszańcach efektów gamet rodziców (linii wsobnych) w różnych *loci*.

Ilorazy średnich kwadratów GCA i SCA były większe od 1 (poza jednym przypadkiem — tab. 1: odp. na krzewienie). Świadczy to o zdecydowanie addytywnym sposobie działania genów, co pozwala na skuteczną selekcję linii. Podobne wyniki uzyskano w innych badaniach (Kadłubiec i in., 2000; Kuriata i Topolski, 2006).

WNIOSKI

1. Najlepszymi wśród użytych testerów flint okazały się linie: K154 i K296 ze względu na wysoką dodatnią wartość efektu GCA dla plonu ziarna oraz linia K376 ze względu na wysoką wartość GCA dla zawartości suchej masy w ziarnie. W grupie testerów dent należy wyróżnić linię K182, wykazującą wysoką dodatnią wartość efektu GCA dla plonu ziarna i dodatni efekt GCA dla roślin nieporażonych przez głownię w 2004 roku oraz linię S335 za wysoką dodatnią wartość efektu GCA dla zawartości suchej masy w ziarnie.
2. Najbardziej optymalnym dla testowania efektów ogólnej wartości kombinacyjnej okazał się układ krzyżowania z trzema testerami. Dał on dostateczną ilość informacji wartościach o badanych genotypach i jest optymalny ze względu na koszty prowadzenia doświadczeń. Eliminacja testerów do tej liczby nie pogarszała możliwości różnicowania linii ze względu na efekty GCA dla badanych cech.
3. Niektóre z badanych linii wykazują lepsze efekty GCA z jedną grupą testerów, co potwierdza słuszność testowania z podziałem testerów na grupy flint i dent.
4. Na podstawie porównania średnich kwadratów dla ogólnej i swoistej zdolności kombinacyjnej wykazano przewagę addytywnego działania genów dla większości badanych cech, co świadczy o możliwości poprawy tych cech w następnych cyklach hodowli linii wsobnych.

LITERATURA

- Allard R. W. 1968. Podstawy hodowli. PWRiL, Warszawa.
- Hoffman W., Mudra A., Plarre W. 1979. Szczegółowa hodowla roślin. PWRiL, Warszawa.
- Kaczmarek J., Kadłubiec W., Grochowski L. 1992. Analiza wartości informacyjnej testerów w doświadczeniach topcrossowych żyta. Biul. IHAR 181/182: 3 — 12.
- Kadłubiec W., Karwowska C., Kurczych Z., Kuriata R., Walczowska-Kurczych S. 2000. Zdolność kombinacyjna linii wsobnych kukurydzy. Biul. IHAR 216/2: 371 — 378.
- Królikowski Z., Adamczyk J. 2000. Badanie zróżnicowania genetycznego linii wsobnych kukurydzy (*Zea mays* L.) i ich efektów heterozji. Biul. IHAR 215: 255 — 263.
- Kuriata R., Topolski A. 2006. Wartość hodowlana linii wsobnych kukurydzy z hodowli w Kobierzycach. Biul. IHAR 240/241: 167 — 173.
- Lipińska J. 1985. Ogólna i swoista zdolność kombinacyjna w hodowli roślin. Biul. IHAR 156: 91 — 101.
- Ruebenbauer T. 1964. Kukurydza. PWRiL, Warszawa.

Ubysz-Borucka L., Mądry W., Muszyński W. 1985. Podstawy statystyczne genetyki cech ilościowych w hodowli roślin. Wydawnictwo SGGW-AR, Warszawa.

Węgrzyn S. 1996. Teoretyczne oszacowanie komponentów wariancji genetycznych w czynnikiem modelu krzyżowania. *Biul. IHAR* 200: 7 — 13.