

JANUSZ ROGACKI

Hodowla Roślin Smolice Sp. z o.o. Grupa IHAR — PIB

Ocena wartości hodowlanej wybranych linii wsobnych kukurydzy (*Zea mays* L.)*

Assessment of breeding value of selected inbred lines of maize (*Zea mays* L.)

Celem pracy była ocena wartości hodowlanej 10 linii wsobnych o ziarnie zębokształtnym (dent) i 7 linii o ziarnie szklistym (flint) kukurydzy na podstawie plonowania 70 mieszańców eksperymentalnych powstałych w wyniku czynnikowego układu krzyżowania „dent × flint”. Materiał badawczy stanowiły linie wykorzystywane w programie hodowlanym przed 40. laty i obecnie. Poza linią F₂, którą wyhodowano w INRA we Francji, pozostałe linie zostały wyhodowane w Smolicach. Przeprowadzono dwie oddzielne serie doświadczeń porównawczych: dla 70 mieszańców eksperymentalnych oraz dla 17 rodzicielskich linii wsobnych w dwóch sezonach wegetacyjnych 2005 i 2006 oraz trzech miejscowościach. Wykazano, że elitarne linie sprzed 40. lat okazały się nieprzydatne do bezpośredniego wykorzystania w obecnie prowadzonym programie hodowli mieszańcowej kukurydzy. Wartości *per se* linii nie są wystarczające do prognozowania wartości cech ilościowych ich potomstwa mieszańcowego. Najwyższą ocenę wartości hodowlanej, mierzoną ogólną zdolnością kombinacyjną, plennością samej linii i jej wczesnością *per se*, uzyskała linia o ziarnie szklistym S61328. Uzyskany postęp genetyczny elitarnych linii wsobnych tworzących formuły mieszańców rejestrowanych przez Smolice w latach 1971–2006 wyniósł 59,4 kg/rok.

Słowa kluczowe: heterozja, linie wsobne, plon mieszańców, postęp hodowlany, *Zea mays* L.

The main objective of the present study was to evaluate the breeding value of 17 (10 dent and 7 flint) inbred lines of maize based on yield performance of 70 hybrids produced according to North Carolina II design “dent × flint”. Material consisted of lines used in a breeding program 40 years ago and nowadays. Except the line F₂, which have been developed in the INRA in France, other lines have been bred in Smolice. Two separate series of comparative trials were carried out: for 70 experimental hybrids and the 17 parental inbred lines in two growing seasons (2005; 2006), and three locations. It has been shown that 40-year-old elite lines have proved to be unsuitable for direct use in the currently run maize breeding program. The values *per se* of inbred lines are not sufficient to predict the value of quantitative traits of their hybrid offspring. The flint line S61328 obtained the highest score of breeding value, measured by general combining ability, grain yield of the line itself and its earliness *per se*. The breeding progress of elite inbred lines used in formulas of Smolice’s hybrid varieties registered between 1971–2006 has been estimated on 59.4 kg/year.

* Przedstawiony artykuł jest skrótoną wersją mojej rozprawy doktorskiej pod tym samym tytułem (promotor prof. dr hab. Józef Adamczyk), obronionej przed Radą Naukową IHAR 15. grudnia 2008 r w Radzikowie.

Redaktor prowadzący: Henryk J. Czembor

Key words: breeding progress, heterosis, hybrids yield, inbred lines, *Zea mays* L.

WSTĘP

Kukurydza uprawna (*Zea mays* L.) jest jedną z najwcześniej udomowionych roślin przez człowieka (Matsuoka i in., 2002). Z biegiem lat kukurydza dokonała „podboju” pól uprawnych całego Świata, stając się obok ryżu i pszenicy najważniejszym gospodarczo gatunkiem zbóż.

Na wartość hodowlaną linii wsobnych kukurydzy wpływa wiele czynników. Ocenę wartości hodowlanej linii rodzicielskich uzyskuje się przede wszystkim na podstawie potomstwa, czyli mieszańców F₁. Jednak dobry wynik wartości gospodarczej uzyskanych mieszańców to nie jedyny wyznacznik wartości hodowlanej linii wsobnych, aczkolwiek najważniejszy dla konsumenta, czyli rolnika uprawiającego odmiany mieszańcowe kukurydzy.

Drugi wyznacznik ważny dla zarządu firmy to dochodowość prowadzonej działalności hodowlano-nasiennej. Linie mateczne są źródłem nasion odmian mieszańcowych, których produkcja zależnie od sukcesu komercyjnego odmiany odbywa się na dziesiątkach, setkach lub tysiącach hektarów. Wysokość plonu matecznych linii wsobnych, jego jakość oraz tolerancja na stresy środowiskowe decydują o wynikach finansowych całego procesu hodowli mieszańców liniowych.

Trzeci punkt widzenia — hodowcy (autora), który decyduje o dalszych losach wyprowadzonych linii wsobnych jest nakierowany na przyszłość. Równoległe z sukcesem określonej linii jako składnika rodzicielskiego odmiany mieszańcowej o dużym udziale w repartycji, rozpoczynają się prace hodowlane zmierzające do wytworzenia nowych, ulepszonych linii kolejnej generacji.

Hodowla roślin w ogóle, a linii wsobnych i tworzonych z nich odmian mieszańcowych w szczególności, jest procesem ciągłym, wykorzystującym efekty prac wielu poprzednich pokoleń hodowców (Adameczyk i in., 2003; Królikowski i in., 1994). Dotyczy to zarówno przekazanego materiału genetycznego jak i metod hodowli. W ciągu ostatnich dziesięcioleci dokonał się olbrzymi postęp w obydwu tych dziedzinach. Dlatego kolejnym aspektem uwzględnionym w pracy było porównanie linii wsobnych, będących w użyciu na przełomie lat 60. i 70. XX wieku oraz linii wykorzystywanych aktualnie w smolickiej hodowli. Materiał badawczy poddano analizie genotypowo-środowiskowej oraz genetycznej w celu sprawdzenia, czy trendy zachodzące w hodowlach kukurydzy z krajów zachodnich korespondują ze zmianami obserwowanymi w smolicim programie hodowlanym.

Celem pracy była ocena wartości hodowlanej wybranych linii wsobnych kukurydzy wykorzystywanych w programie hodowli odmian mieszańcowych w Smolicach przed 40. laty i obecnie. Podjęto również próbę oceny uzyskanego postępu hodowlanego i odpowiedzi na pytanie o przydatność najstarszych linii wsobnych w obecnie realizowanym programie hodowlanym.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy

Materiał badawczy do analizy serii doświadczeń wielokrotnych stanowiło 10 linii wsobnych kukurydzy o ziarnie zęboksztalnym (dent), 7 linii o ziarnie szklistym (flint) — (tab. 1), oraz 70 mieszańców eksperymentalnych powstałych z przekrzyżowania linii zęboksztalnych ze szklistymi. Poza linią F₂, którą wyhodowano w INRA we Francji, pozostałe linie zostały wyhodowane w Smolicach.

Tabela 1

Typ ziarna, przynależność do grupy pochodzeniowej oraz rok wyhodowania linii wsobnych
Grain type, heterotic group and the year of development of inbred lines

L.p. No.	Linia wsobna Inbred line	Typ ziarna Grain type	Grupa pochodzeniowa Heterotic group	Rok wyhodowania linii ¹ Year of development	Przykłady odmian zawierających linię wsobną The example of varieties that include inbred line
1	S72	Dent	nieznana (miesz. FUNK 72-75)	1965	IHAR 280, IHAR 262, Smolicki TC278, Tandem
2	S245	Dent	Idt ² , SSS ³	1988	Avia, Tenet, Wiarus, San, Glejt, Baca, Junak, Bułat
3	S41796	Dent	Idt	1996	Blask
4	S68911	Dent	Idt, SSS	2001	Smok
5	S63322-3	Dent	SSS, (Idt)	2001	Kozak
6	S63322-1	Dent	SSS, (Idt)	2002	
7	S67816	Dent	SSS, (Idt)	2001	
8	S63775	Dent	Idt, SSS, 354	2003	
9	S63963	Dent	354, SSS, (Idt)	2003	
10	S72846A-2	Dent	SSS, (Idt)	2004	
11	F ₂	Flint	F ₂ (populacja Lacaune)	1955	Tandem, Ruten, Deka, Melba
12	S14	Flint	nieznana (popul. Wielkopolska)	1964	IHAR 262
13	S41324A-2	Flint	F ₂ , EP1	1995	Fido, Wiarus, Proсна, San, Cedro, Bzura, Reduta
14	S61328	Flint	F ₂ , EP1	2001	Opoka, Smok, Kozak, Tur, Bielik, SMH 220, Bejm
15	S66191	Flint	F ₂ , EP1	2002	
16	S64673	Flint	F ₂ , EP1	2003	
17	S56601-2	Flint	F ₂ , CM7, EP1, Lancaster	2003	

¹ — Za rok wyhodowania linii przyjęto ten, w którym weszła ona pierwszy raz do formuły odmiany mieszańcowej badanej w doświadczeniach wstępnych, zwykle po 8-10 pokoleniach chowu wsobnego / Year of the development of inbred line is the year, in which the line entered the preliminary trials in the formula of experimental hybrid, usually after 8-10 years of self-pollination

² — Idt = Iowa Dent

³ — SSS = Stiff Stalk Synthetic

Wśród testowanych 70 mieszańców eksperymentalnych, znalazły się 3 odmiany mieszańcowe wpisane do Krajowego Rejestru:

— Blask nr 17 (S41796*S41324A-2) — liczba FAO 240 – 250, zarejestrowana w 2002 r.

— Smok nr 25 (S68911*S61328) — liczba FAO – 230, zarejestrowana w 2006 r.

— Kozak nr 32 (S63322-3*S61328) — liczba FAO – 250, zarejestrowana w 2006 r.

Metody badań

Przeprowadzono dwie oddzielne serie doświadczeń porównawczych: dla 70 mieszańców eksperymentalnych oraz dla 17 rodzicielskich linii wsobnych w dwóch sezonach wegetacyjnych 2005 i 2006 w następujących miejscowościach:

- Dłoń, woj. wielkopolskie, powiat rawicki, gmina Miejska Górka,
- Kobierzyce, woj. dolnośląskie, powiat wrocławski, gmina Kobierzyce,
- Łagiewniki, woj. wielkopolskie, powiat krotoszyński, gmina Kobylin.

Doświadczenia polowe założono metodą bloków kompletnych w trzech powtórzeniach na poletkach dwurzędkowych o powierzchni 5,0 m². Uzyskano stałą dla wszystkich obiektów obsadę w Dłoni i Łagiewnikach wynoszącą 8,0 roślin/m², a w Kobierzycach 7,2 rośliny/m². Obserwacje i pomiary wykonane w okresie wegetacji dla doświadczeń z mieszańcami i liniami rodzicielskimi, wchodziły w skład standardowych obserwacji dla doświadczeń ziarnowych kukurydzy.

Spójny układ miejscowości i lat umożliwił analizę statystyczną dla cech, korzystając z metodyki i programu statystycznego SERGEN 3 opracowanego w Instytucie Genetyki Roślin PAN w Poznaniu (Caliński i in., 1998). Dodatkowo korzystano z programu do planowania i analizy statystycznej doświadczeń hodowlanych EKSPLAN wersja 2 (Krajewski i in., 2006).

Przeprowadzono wieloczynnikową analizę wariancji oraz oceny efektu głównego dla plonu ziarna przy 15% zawartości wody (t/ha) oraz zawartości suchej masy w ziarnie w czasie zbioru (%).

WYNIKI

Doświadczenia z mieszańcami

W tabeli 2 przedstawiono wartości średnie analizowanych cech dla 28 spośród 70 mieszańców o istotnych odchyleniach od średniej ogólnej dla plonu ziarna wynoszącej 11,58 t/ha. Najwyższy plon — 13,60 t/ha uzyskał obiekt nr 32 (odmiana mieszańcowa Kozak) a najniższy — 8,64 t/ha, obiekt nr 1 (mieszaniec eksperymentalny S72*F₂).

Tabela 2

Wartości średnie analizowanych cech dla odmian mieszańcowych oraz mieszańców eksperymentalnych o istotnych odchyleniach od średniej ogólnej dla plonu ziarna
Mean values of analyzed traits for maize hybrids that have statistically significant effects for grain yield

Nr ob. No of entry.	Mieszaniec Hybrid	Plon ziarna (t/ha) Yield grain (t/ha)	Zaw. suchej masy w ziarnie (%) Dry matter content (%)
1	2	3	4
32	S63322-3*S61328 (KOZAK)	13,60	70,35
39	S63322*S61328	13,40	72,89
33	S63322-3*S66191	13,28	68,43
11	S245*S61328	13,05	71,94
25	S68911*S61328 (SMOK)	12,90	73,88
31	S63322-3*S41324A-2	12,87	72,25
12	S245*S66191	12,51	70,47
53	S63775*S61328	12,46	71,81

c. d. Tabela 2

1	2	3	4
17	S41796*S41324A-2 (BLASK)	12,34	71,46
10	S245*S41324A-2	12,21	72,63
13	S245*S64673	12,04	71,68
43	S67816*F2	11,07	71,74
44	S67816*S14	11,04	72,01
29	S63322-3*F2	10,84	70,97
65	S72846A-2*S14	10,72	70,89
36	S63322*F2	10,61	73,54
8	S245*F2	10,44	71,02
30	S63322-3*S14	10,43	70,52
58	S63963*S14	10,40	73,21
15	S41796*F2	10,33	72,95
7	S72*S56601-2	10,23	69,47
4	S72*S61328	10,21	71,86
50	S63775*F2	10,11	70,69
51	S63775*S14	10,03	71,06
64	S72846A-2*F2	9,71	74,55
6	S72*S64673	9,61	70,30
2	S72*S14	9,19	71,10
1	S72*F2	8,64	72,40
Średnia — Mean		11,58	71,49
NIR — LSD		0,96	1,45
NIR% — LSD%		8,30%	2,03%

Tabela 3

Średnie kwadraty zmienności zdolności kombinacyjnej linii dla plonu ziarna i zawartości suchej masy w ziarnie

Mean squares of combining ability of inbred lines for grain yield and dry matter content in grain

Źródło zmienności Source of variation	Liczba stopni swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat — Mean square		
		plon ziarna grain yield	zawartość suchej masy w ziarnie dry matter content	
Lata (T) — Years	1	169,79	0,01	
Miejscowości (P) — Locations	2	27,77	407,66	
Środowiska (E) — Environments	2	60,97**	33,26**	
GCA — Linie mateczne	Ogólna zdolność kombinacyjna (GCA) General combining ability (GCA)	9	2,25**	3,83**
	Interakcja GCA × środowiska GCA × environment interaction	18	0,11**	0,15**
GCA — Linie ojcowskie	Ogólna zdolność kombinacyjna (GCA) General combining ability (GCA)	6	4,71**	6,27**
	Interakcja GCA × środowiska GCA × environment interaction	12	0,15**	0,32**
SCA	Swoista zdolność kombinacyjna (SCA) Specific combining ability (SCA)	54	0,89**	4,25**
	Interakcja SCA × środowiska SCA × environment interaction	108	0,37**	0,45**
Błąd — Error		828	0,15	0,13

*, ** — Istotność na poziomie $\alpha = 0,05$ lub $\alpha = 0,01$, odpowiednio

*, ** — Significant at the level $\alpha = 0.05$ or $\alpha = 0.01$, respectively

Seria doświadczeń z mieszaneńcami dostarczyła danych empirycznych do wyliczenia efektów zdolności kombinacyjnej linii rodzicielskich. W tabeli 3 przedstawiono średnie kwadraty z łącznej analizy wariancji zdolności kombinacyjnej linii dla plonu ziarna i zawartości suchej masy w ziarnie. Wartości statystyki F wykazały istotnie różne od zera efekty ogólnej zdolności kombinacyjnej dla linii matecznych i ojcowskich jak i swoistej zdolności kombinacyjnej dla obydwu omawianych cech.

Analiza interakcji środowiskowych zdolności kombinacyjnej linii rodzicielskich dla plonu ziarna pozwoliła stwierdzić, że ogólna zdolność kombinacyjna dla linii matecznych i ojcowskich wykazała istotną interakcję ze środowiskami na poziomie 0,01. Swoista zdolność kombinacyjna wykazała istotną interakcję ze środowiskiem na poziomie 0,01.

Ze szczegółowej analizy ogólnej zdolności kombinacyjnej dla plonu ziarna (tab. 4) widać wyraźnie, że najstarsze linie biorące udział w doświadczeniu (S72, F₂ i S14) wykazały największe ujemne wartości efektu głównego (obliczonego jako średnia mieszaneńców F₁ powstałych ze skrzyżowania tej linii z innymi). Statystycznie istotne na poziomie $\alpha = 0,05$ oceny efektu głównego dla linii matecznych, oprócz wspomnianej S72, uzyskały jeszcze linie S245, S68911 i S63322-3, dla których były to wartości dodatnie.

Tabela 4

Testowanie efektów ogólnej zdolności kombinacyjnej (GCA) linii wsobnych i jej interakcji ze środowiskami dla plonu ziarna i zawartości suchej masy w ziarnie
Effects of general combining ability (GCA) of inbred lines and their interaction with environments for grain yield and dry matter content

Linie: Lines:	Plon ziarna Grain yield			Zawartość suchej masy w ziarnie Dry matter content		
	ocena efektu głównego main effect estimation	stat. F dla efektu głównego stat. F for main effect	stat. F dla interakcji stat. F for interaction	ocena efektu głównego main effect estimation	stat. F dla efektu głównego stat. F for main effect	stat. F dla interakcji stat. F for interaction
1. ♀ S72	-1,67	84,82*	10,28**	-0,22	4,33	3,88*
2. ♀ S245	0,33	22,98*	1,46	-0,13	0,30	18,95**
3. ♀ S41796	0,15	9,75	0,71	-0,20	26,03*	0,54
4. ♀ S68911	0,28	55,64*	0,45	1,56	112,21**	7,69**
5. ♀ S63322-3	0,44	70,03*	0,87	-1,14	864,76**	0,53
6. ♀ S63322	0,36	6,16	6,75**	1,11	135,73**	3,19*
7. ♀ S67816	0,22	1,88	8,27**	0,22	4,36	3,89*
8. ♀ S63775	-0,11	12,83	0,31	-0,55	3,38	31,44**
9. ♀ S63963	0,02	0,02	7,25**	-0,09	1,15	2,37
10. ♀ S72846A-2	-0,03	0,02	15,45**	-0,57	20,33*	5,66**
11. ♂ F2	-1,30	399,92**	1,99	0,89	36,68*	11,48**
12. ♂ S14	-1,03	1203,55**	0,41	0,41	5,08	17,44**
13. ♂ S41324A-2	0,42	7,87	10,50**	1,27	81,67*	10,49**
14. ♂ S61328	1,00	753,48**	0,63	0,24	3,85	7,80**
15. ♂ S66191	0,89	7,41	50,40**	-1,63	29,17*	48,26**
16. ♂ S64673	0,06	0,53	2,80	-0,22	0,66	38,56**
17. ♂ S56601-2	-0,04	0,16	4,78**	-0,96	13,24	36,89**
Wartość krytyczna $\alpha = 0,05$ Critical value at $\alpha = 0.05$		18,51	3,01		18,51	3,01
Wartość krytyczna $\alpha = 0,01$ Critical value at $\alpha = 0.01$		98,50	4,63		98,50	4,63

Wśród linii ojcowskich istotnymi odchyleniami, i to na poziomie $\alpha = 0,01$, charakteryzowały się 2 stare linie F₂ i S14 (wartości ujemne) oraz S61328 (najwyższa wartość dodatnia). Efekty GCA 8 linii wykazały istotną, silną interakcję ze środowiskiem na poziomie istotności $\alpha = 0,01$. Były to linie: S72, S63322, S67816, S63963, S72846A-2, S41324A-2, S66191 i S56601-2. Dla pozostałych linii nie wykazano statystycznie istotnej interakcji środowiskowej dla ogólnej zdolności kombinacyjnej.

Rozpatrując ogólną zdolność kombinacyjną linii dla zawartości suchej masy w ziarnie widać, że w przeciwieństwie do plonu ziarna, różnice między liniami starymi i obecnie używanymi nie są duże. Spośród 17 linii, 8 uzyskało istotne, co najmniej na poziomie $\alpha = 0,05$, oceny efektu głównego dla GCA (tab. 4). Linie S68911, S41324A-2, S63322 i F2 uzyskały dodatnią ocenę efektu głównego, a S66191, S63322-3, S72846A-2 i S41796 – ocenę ujemną. Na uwagę zasługują siostrzane linie S63322 i S63322-3, których wartości GCA wyniosły odpowiednio 1,11 oraz -1,14. Zdecydowana większość linii wykazała istotną, co najmniej na poziomie $\alpha = 0,05$, interakcję ze środowiskiem dla tej cechy. Wyjątek stanowiły 3 linie: S41796, S63322-3 i S63963.

Testowanie efektów głównych swoistej zdolności kombinacyjnej dla plonu ziarna wykazało, że tylko 6 spośród 70 badanych mieszańców uzyskało efekty główne różne od zera na poziomie istotności co najmniej 0,05. Cztery z nich: 35, 4, 45 i 30 uzyskało ocenę ujemną efektu głównego a dwa: 62 i 32 ocenę dodatnią. Żaden z nich nie wykazał istotnej interakcji, wskazując na stabilność tego efektu genetycznego w poszczególnych środowiskach.

Testowanie efektów głównych swoistej zdolności kombinacyjnej dla zawartości suchej masy w ziarnie wykazało, że 19 mieszańców uzyskało efekty główne różne od zera na poziomie istotności co najmniej 0,05. Efekty główne SCA 8 mieszańców: 64, 5, 58, 38, 48, 31, 13 i 49, uzyskały ocenę dodatnią a 11 pozostałych – ocenę ujemną. Testowanie interakcji SCA ze środowiskiem wykazało, że 25 mieszańców wykazało istotną interakcję. W grupie mieszańców o istotnych efektach głównych dla SCA znalazł się tylko jeden obiekt – nr 69. Dla pozostałych 18 kombinacji krzyżówkowych nie wykazano istotnej interakcji swoistej zdolności kombinacyjnej ze środowiskiem dla zawartości suchej masy w ziarnie, wskazując na stabilność tego efektu genetycznego w poszczególnych środowiskach.

Doświadczenia z liniami rodzicielskimi mieszańców

W tabeli 5 przedstawiono wyniki dla plonu ziarna, z której wynika, że 9 linii wsobnych uzyskało istotne odchylenia od średniej ogólnej wynoszącej 5,07 t/ha. Wśród nich, 6 linii: S63322, S63775, S61328, S63322-3, S67816 oraz S245 uzyskało efekty dodatnie, a 3 linie: S72846A-2, F2 i S14 – efekty ujemne. 13 linii cechowało się istotną interakcją ze środowiskami, natomiast 4 linie: S245, S63322-3, S67816 i S14 wykazały się stabilnością plonowania w testowanych środowiskach.

Z analizy szczegółowej dla zawartości suchej masy w ziarnie wynika, że 9 linii wsobnych uzyskało istotne odchylenia od średniej ogólnej wynoszącej 71,10 % (tab. 5). Wśród nich 3 linie: S61328, S41324A-2 i S64673 – uzyskały efekt dodatni dla efektu głównego, a 6 pozostałych: S63322-3, S41796, S72846A-2, S67816, S245 i S63775 uzyskały efekt ujemny. Z wyjątkiem 4 linii: S61328, S41324A-2, S63775 i S63322-3, które

nie wykazały istotnej interakcji ze środowiskami, pozostałe charakteryzowały się znacznym wpływem warunków glebowo-klimatycznych na zawartość suchej masy w ziarnie podczas zbioru.

Tabela 5

Ocena efektów głównych linii wsobnych oraz testowanie interakcji genotypowo-środowiskowej dla plonu ziarna i zawartości suchej masy w ziarnie
Main effects estimation of inbred lines and their interactions with environments for grain yield and dry matter content

Linie Lines	Plon ziarna Grain yield				Zawartość suchej masy w ziarnie Dry matter content			
	wartość ef. głównego (t/ha) value of main effect (t/ha)	ocena efektu głównego main effect estimation	statystyka F dla efektu głównego statistic F for main effect	stat. F dla interakcji ze środowisk. stat. F for interaction with environmen ts	wartość ef. głównego (%) value of main effect (%)	ocena efektu głównego main effect estimation	statystyka F dla efektu głównego statistic F for main effect	stat. F dla interakcji ze środowisk. stat. F for interaction with environmen ts
1. ♀ S72	5,45	0,39	0,45	30,47**	71,49	0,39	1,51	4,59*
2. ♀ S245	5,55	0,48	46,52*	0,46	68,26	-2,84	25,36*	14,66**
3. ♀ S41796	5,47	0,41	3,29	4,60*	65,62	-5,48	47,89*	29,00**
4. ♀ S68911	5,82	0,75	5,94	8,66**	70,48	-0,62	4,07	4,30*
5. ♀ S63322-3	5,84	0,77	105,02**	0,52	64,35	-6,75	743,08**	2,83
6. ♀ S63322	6,76	1,69	32,06*	8,21**	70,62	-0,48	0,16	69,29**
7. ♀ S67816	5,77	0,70	65,29*	0,70	67,77	-3,33	29,52*	17,40**
8. ♀ S63775	6,54	1,47	23,57*	8,44**	69,18	-1,92	73,82*	2,32
9. ♀ S63963	4,21	-0,86	5,88	11,54**	68,61	-2,49	10,03	28,59**
10. ♀ S72846A-2	1,11	-3,96	80,33*	18,03**	66,97	-4,12	164,30**	4,79**
11. ♂ F ₂	3,38	-1,69	59,12*	4,47*	73,75	2,65	7,69	42,18**
12. ♂ S14	4,27	-0,80	42,92*	1,36	74,89	3,79	9,72	68,29**
13. ♂ S41324A-2	5,37	0,30	1,09	7,58**	77,51	6,41	834,74**	2,27
14. ♂ S61328	6,29	1,23	23,75*	5,83**	78,23	7,13	3722,12**	0,63
15. ♂ S66191	4,09	-0,98	2,71	32,87**	73,23	2,13	8,04	26,13**
16. ♂ S64673	4,43	-0,64	10,48	3,56*	74,97	3,87	19,42*	35,64**
17. ♂ S56601-2	5,82	0,75	15,22	3,40*	72,77	1,67	11,22	11,52**
Wartość krytyczna 0,05 Critical value at $\alpha = 0.05$			18,51	3,04			18,51	3,04
Wartość krytyczna 0,01 Critical value at $\alpha = 0.01$			98,50	4,72			98,50	4,72

Analiza efektów heterozji

Tabela 6 przedstawia efekty heterozji mieszańców względem średniej wartości rodziców dla plonu ziarna a także procentową wartość heterozji w plonie mieszańca. Heterozja *per se*, rozumiana jako różnica plonu mieszańca i średniej obojga rodziców była znaczna i zawierała się w przedziale od 4,22 t/ha (ob. 1) do 10,02 t/ha (ob. 68). Heterozja procentowa, rozumiana jako stosunek heterozji *per se* do średniego plonu obojga rodziców zawierała się w przedziale od 73,8% (ob. 4) do 386,1% (ob. 68). Z kolei procentowa wartość heterozji w plonie mieszańca jest stosunkiem heterozji *per se* do plonu mieszańca pokazując, jaka część jego plonu jest wynikiem heterozji.

Efekty heterozji mieszańców względem średniej wartości rodziców dla plonu ziarna
Comparison of hybrids heterosis and mean grain yield of parental inbred lines

♀\♂		F ₂	S14	S41324A-2	S61328	S66191	S64673	S56601-2
S72	a ¹	4,42	4,86	5,41	5,87	4,77	4,94	5,64
	b ²	4,22	4,33	5,17	4,34	6,20	4,67	4,59
	c ³	95,7%	88,9%	95,5%	73,8%	130,0%	94,4%	81,5%
	d ⁴	48,9%	47,1%	48,9%	42,5%	56,5%	48,6%	44,9%
S245	a	4,46	4,91	5,46	5,92	4,82	4,99	5,68
	b	5,98	5,92	6,75	7,13	7,69	7,05	6,60
	c	133,8%	120,4%	123,6%	120,3%	159,6%	141,2%	116,0%
	d	57,2%	54,6%	55,3%	54,6%	61,5%	58,5%	53,7%
S41796	a	4,43	4,87	5,42	5,88	4,78	4,95	5,65
	b	5,90	6,09	6,92	6,54	7,50	6,50	6,69
	c	133,4%	124,9%	127,7%	111,1%	156,9%	131,2%	118,6%
	d	57,2%	55,5%	56,1%	52,6%	61,1%	56,7%	54,3%
S68911	a	4,60	5,04	5,59	6,05	4,95	5,12	5,82
	b	5,94	6,36	6,63	6,85	7,89	6,79	5,44
	c	129,3%	126,0%	118,6%	113,1%	159,4%	132,5%	93,6%
	d	56,4%	55,8%	54,2%	53,1%	61,4%	57,0%	48,3%
S63322-3	a	4,61	5,06	5,60	6,07	4,96	5,14	5,83
	b	6,23	5,37	7,27	7,53	8,32	6,74	5,44
	c	135,2%	106,3%	129,7%	124,2%	167,6%	131,3%	93,4%
	d	57,5%	51,5%	56,5%	55,4%	62,6%	56,8%	48,3%
S63322	a	5,07	5,52	6,06	6,53	5,42	5,60	6,29
	b	5,54	5,06	6,54	6,87	7,54	6,47	5,14
	c	109,4%	91,8%	107,8%	105,3%	139,0%	115,5%	81,8%
	d	52,2%	47,9%	51,9%	51,3%	58,2%	53,6%	45,0%
S67816	a	4,58	5,02	5,57	6,03	4,93	5,10	5,80
	b	6,50	6,02	6,08	6,76	7,15	7,07	6,06
	c	142,0%	119,8%	109,2%	112,0%	145,1%	138,5%	104,5%
	d	58,7%	54,5%	52,2%	52,8%	59,2%	58,1%	51,1%
S63775	a	4,96	5,41	5,95	6,42	5,31	5,48	6,18
	b	5,15	4,62	5,81	6,05	7,52	6,18	5,28
	c	104,0%	85,6%	97,6%	94,2%	141,6%	112,6%	85,5%
	d	51,0%	46,1%	49,4%	48,5%	58,6%	53,0%	46,1%
S63963	a	3,79	4,24	4,79	5,25	4,15	4,32	5,01
	b	6,75	6,16	6,99	6,81	8,22	7,90	6,85
	c	177,8%	145,1%	146,0%	129,6%	198,2%	182,8%	136,5%
	d	64,0%	59,2%	59,3%	56,5%	66,5%	64,6%	57,7%
S72846A-2	a	2,24	2,69	3,24	3,70	2,60	2,77	3,46
	b	7,47	8,03	8,77	9,27	10,02	8,64	7,99
	c	333,2%	298,5%	271,1%	250,6%	386,1%	312,1%	230,8%
	d	76,9%	74,9%	73,1%	71,5%	79,4%	75,7%	69,8%

¹ a — Średnia arytmetyczna plonu ziarna obojga rodziców (t/ha) — Mean grain yield of both parental inbreds (t/ha)

² b — Heterozja *per se* wyrażona jako różnica plonu mieszańca i średniego plonu obojga rodziców (t/ha) — Heterosis *per se* expressed as the difference between the yield of hybrid and mean yield of both parents (t/ha)

³ c — Heterozja procentowa, wyrażona jako stosunek heterozji *per se* do średniego plonu obojga rodziców — Percent of heterosis, expressed as the ratio of heterosis *per se* and mean yield of both parents

⁴ d — Procentowa wartość heterozji w plonie mieszańca — Percent of heterosis expressed in hybrid yield

Procentowa wartość heterozji w plonie mieszańców eksperymentalnych wyniosła od 42,5% do 79,4%. Najniższą heterozję wykazały mieszańce z linią S72, następnie

z liniami S63775, S63322 oraz S56601-2. Natomiast najwyższą heterozję wykazały mieszańce z linią S72846A-2, której wartości przekraczające 200, a nawet 300% daleko odbiegały od pozostałych mieszańców o wysokiej heterozji, zwłaszcza mających w swojej formule linie S66191 i S63963.

Zupełnie inaczej wyglądają wartości heterozji dla zawartości suchej masy w ziarnie w momencie zbioru. W obydwu seriach doświadczeń uzyskano zbliżoną średnią ogólną tej cechy wynoszącą 71,49% dla mieszańców i 71,10% dla linii rodzicielskich. Tylko 28 spośród 70 badanych mieszańców wykazało dodatni efekt heterozji, akumulując w ziarnie więcej suchej masy niż średnia rodziców. Zwyżka ta była nieznaczna i wynosiła maksymalnie 4,19% suchej masy w przypadku mieszańca nr 64. Zdecydowanie częściej, bo w 41 przypadkach, mieszańce akumulowały mniej suchej masy w ziarnie niż średnia rodziców. Na przykład wszystkie mieszańce z liniami matecznymi S72 i S63775 oraz z liniami ojcowskimi S61328 i S66191 wykazały brak heterozji dla tej cechy.

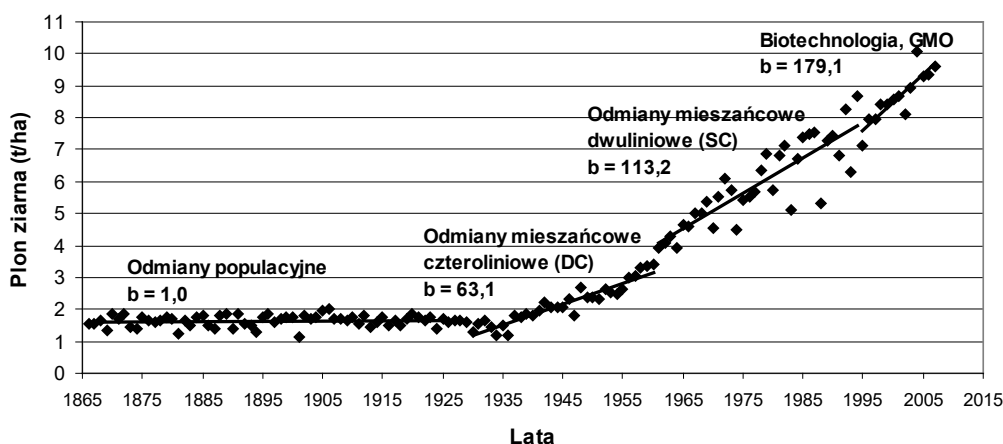
DYSKUSJA

W krajowym rejestrze od lat nie ma zarejestrowanych odmian populacyjnych kukurydzy. Zwycięstwo technologii mieszańcowej w tym gatunku wydaje się bezdyskusyjne z wielu powodów (Hunter, 1999).

Młodzi adepci hodowli twórczej mogą co najwyżej poczytać o odmianach populacyjnych w literaturze, chyba że za swoisty typ takiej odmiany uzna się rosnące tu i ówdzie w Polsce plantacje rozszczepiającego się pokolenia F₂ wysiewane przez rolników z nasion własnych. W konfrontacji z takim widokiem, szczególnego znaczenia nabiera jedna z głównych zalet odmian mieszańcowych — wyrównanie roślin, zwłaszcza w sytuacji mechanizacji zbioru (Goldman, 1999). Inne zalety sprzyjające przechodzeniu na hodowlę mieszańcową to wg wspomnianego autora łatwość kastrowania roślin kukurydzy oraz tolerancja na stropy biotyczne i abiotyczne mieszańców. Podstawową przyczyną pozostaje oczywiście zwyżka plonu, jaką cechują się odmiany mieszańcowe w stosunku do odmian populacyjnych (rys. 1).

Jak pisze Duvick (1999): „Odmiany populacyjne są kolekcją poszczególnych roślin mieszańcowych, z których każda wykazuje heterozję i inne cechy składające się na plon w większym lub mniejszym stopniu. Plonem odmiany populacyjnej jest średnia z plonu wszystkich tworzących ją mieszańcowych kombinacji. Najwyżej plonująca kombinacja z takiej odmiany z definicji będzie przewyższać plonem średnią z wszystkich roślin mieszańcowych ją tworzących.

Celem hodowli mieszańcowej jest identyfikacja a następnie wierne rozmnażanie wyróżniających się genotypów mieszańcowych. Praktycznie cała komercyjna hodowla mieszańcowa oparta jest na krzyżowaniu linii wsobnych. Linie plonują nisko, ale ich mieszańcowe potomstwo odznacza się wysoką heterozją w stosunku do plonu i innych cech, jak szybkość osiągnięcia dojrzałości i wysokość roślin. Mieszańce kukurydzy przeważnie plonują od dwóch do trzech razy więcej aniżeli linie rodzicielskie.”



Wartości "b" (regresje) wskazują średnie przyrosty plonów w $\text{kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$; dane z USDA za Troyer'em (2006) – uzupełnione

Rys. 1. Średnie plony ziarna kukurydzy w USA oraz rodzaje uprawianych odmian od zakończenia wojny secesyjnej do 2007

Values "b" (regressions) shows mean gains of yield ($\text{kg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$); data from USDA -Troyer (2006) – supplemented
Fig. 1. Average grain yield in the USA and types of cultivated varieties since the end of American Civil War till 2007

W omawianym doświadczeniu stosunek plonu mieszańca do średniej linii rodzicielskich zawierał się w szerszym przedziale i wynosił dla mieszańców eksperymentalnych od 1,74 do 4,85. Stosunek średniej ogólnej doświadczenia z mieszańcami (11,58 t/ha) do średniej doświadczenia z liniami wsobnymi (5,07 t/ha), wyniósł 2,28.

Bardzo wysoki efekt heterozji dla danego mieszańca może wskazywać na niski plon linii rodzicielskich. Linia S72846A-2 będąca komponentem matecznym mieszańca nr 68 o najwyższym efekcie heterozji, osiągnęła w doświadczeniu najniższy plon *per se*, wynoszący zaledwie 1,11 t/ha. Jest to wartość oznaczająca problemy z samorozmnożeniem linii. Niski efekt heterozji przeciwnie, może wskazywać na dobre plonowanie linii rodzicielskich i tym samym mniejszy udział heterozji w całkowitym plonie osiąganym przez mieszańca. Zaobserwowano wyraźnie niższe efekty heterozji dla mieszańców z najwyższymi plonującymi liniami matecznymi S63322 i S63775, czy linią ojcowską S61328. Kolejnym powodem niskiego efektu heterozji może być po prostu niski plon mieszańca, zwłaszcza jeżeli plon komponentów rodzicielskich pozostaje na przyzwoitym poziomie. Dobrym przykładem są tutaj mieszańce z linią mateczną S72 czy S56601-2 wśród linii ojcowskich.

W przypadku trzech zarejestrowanych odmian biorących udział w doświadczeniu, procentowy udział heterozji w plonie mieszańca wynosił: 56,1% dla odmiany Blask; 53,1% dla odmiany Smok i 55,4% dla odmiany Kozak. W świetle badań przeprowadzonych na odmianach mieszańcowych kukurydzy, w ciągu ostatnich lat stosunek ten nie uległ istotnym zmianom, wskazując na stały udział heterozji w plonie najważniejszych odmian

mieszańcowych swojej epoki, wynoszący od 50 do 65% (Duvick, 1999). Stale zwiększający się plon odmian mieszańcowych odbywa się głównie w wyniku ustawicznej poprawy plonowania linii rodzicielskich, czyli poprzez nie-heterozyjny składnik plonu mieszańca. Troyer (2006) analizując te same dane dochodzi do wniosku, że procentowy udział heterozji w odmianach mieszańcowych zmniejsza się nieznacznie w ciągu ostatnich lat (~2% na dekadę), ponieważ procentowa zwyżka plonu w liniach rodzicielskich zachodzi szybciej niż w mieszańcach.

Zawartość suchej masy w ziarnie w momencie zbioru linii *per se* wyraźnie różnicują obiekty na dwie grupy: linie mateczne o ziarnie zębokształtnym oraz linie ojcowskie o ziarnie szklistym. Zawartość suchej masy dla linii zębokształtnych była wyraźnie niższa i zawierała się w przedziale od 64,35% do 71,4%, natomiast linii szklistych od 72,77% do 77,51%. Takie dobieranie komponentów rodzicielskich w odmianach mieszańcowych kukurydzy, gdzie donorem wczesności jest linia o ziarnie szklistym, stanowi powszechnie stosowaną praktykę w naszej strefie klimatycznej (Adamczyk, 2005). Tylko 28 mieszańców spośród 70 wykazało się nieznaczną heterozją, akumulując maksymalnie 6,0% więcej suchej masy w stosunku do średniej rodziców. Tak małe odchylenia wartości mieszańców F_1 od średniej arytmetycznej swoich rodziców, wynoszące w analizowanym doświadczeniu od -4% do 6%, wskazują na odmienny sposób dziedziczenia tej cechy niż plonu ziarna. Kuriata i in. (2003), badał 8 linii wsobnych kukurydzy w układzie półdialelicznym i zastosował stosunek GCA do SCA dla wykazania sposobu dziedziczenia zawartości suchej masy w ziarnie. Obliczony stosunek wyniósł 12,10, co wskazuje na przewagę addytywnego działania genów warunkujących tę cechę.

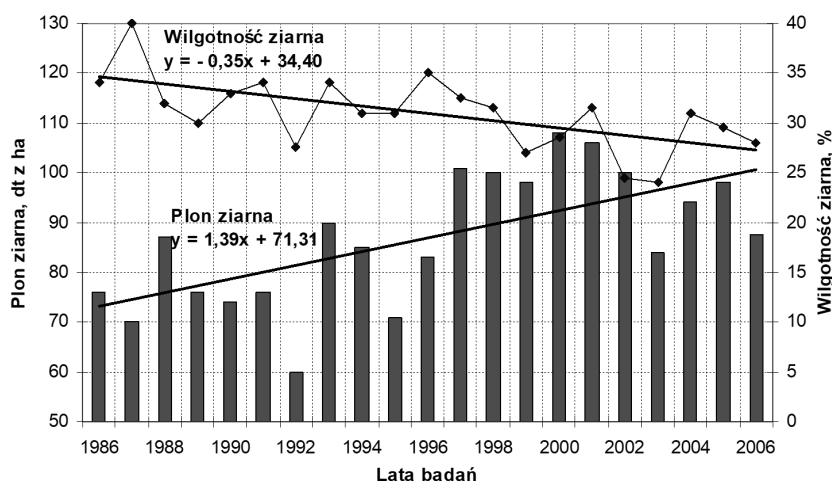
Zmniejszający się w ciągu ostatnich lat udział heterozji w plonie odmian mieszańcowych w wyniku szybszego podnoszenia plonu linii rodzicielskich może skłonić do wysnucia wniosku, że najwyżej plonujące linie *per se* dadzą najlepiej plonujące mieszańce. Jak mylące może być to przekonanie, widać wyraźnie, gdy porównamy plon ziarna samych linii rodzicielskich z plonem osiągniętym przez ich potomstwo mieszańcowe. Dla przykładu linia mateczna S72 wyhodowana w latach 60. ubiegłego wieku uzyskała plon ziarna *per se* na przyzwoitym poziomie 5,45 t/ha (0,39 efektu głównego), natomiast mieszańce z tą linią plonowały najgorzej spośród wszystkich badanych, uzyskując wartość ogólnej zdolności kombinacyjnej na poziomie -1,67. Z kolei jedna z najnowszych linii ojcowskich S66191 uzyskała niski plon ziarna *per se* 4,09 t/ha (-0,98 efektu głównego), natomiast mieszańce z tą linią uzyskały jedno z najwyższych plonów w doświadczeniu, uzyskując wartość GCA na poziomie 0,89. To rozchodzenie się wartości *per se* linii oraz ich ogólnej zdolności kombinacyjnej nie było jednak powszechne w badanym materiale. Dla 10 linii wsobnych wartości *per se* oraz GCA są zbieżne, co zdaje się potwierdzać obserwacje pierwszych hodowców kukurydzy mieszańcowej (Richey, 1946) „wydaje się, że nie ma pełnych danych wykazujących ujemną relację pomiędzy liniami rodzicielskimi a ich mieszańcami. Przeciwnie, wyżej plonujące linie mają stałą tendencję do tworzenia wyżej plonujących mieszańców.”

Próby skorelowania plonu linii wsobnych *per se* z ich ogólną zdolnością kombinacyjną podejmował między innymi Sprague (1964), ale korelacje ciągle nie były wystarczająco wysokie, by gwarantować wybór właściwych linii wsobnych na podstawie ich plonu *per*

se (Duvick, 1999). Jest to zbieżna opinia z Troyer'em (2006), który pisze: „Pomimo użycia potencjalnie użytecznych baz danych i procedur statystycznych do przewidywania wyników mieszańców pojedynczych, hodowcy kukurydzy muszą wykonać tysiące krzyżówek, by znaleźć wśród nich kilka lepszych odmian mieszańcowych.”

Nie zmienia to faktu, że najplenniejsze kombinacje mieszańcowe w rozpatrywanym doświadczeniu tworzą linie mateczne S63322-3 oraz jej linia siostrzana S63322 i ojcowska S61328, które uzyskały odpowiednio czwarty plon *per se* (5,84 t/ha), pierwszy (6,76 t/ha) oraz trzeci (6,28 t/ha) wśród 17 badanych linii wsobnych. Potwierdza to opinię hodowców, że lepsze linie wsobne tworzą lepsze mieszańce (Troyer, 2006). W uzyskaniu najwyższych plonów w doświadczeniu obydwu mieszańcom niewątpliwie pomogły dodatnie efekty swoistej zdolności kombinacyjnej. Nie addytywne działanie genów, w tym epistaza, może odpowiadać za 3–4% wykazywanej heterozji, co często decyduje o „być lub nie być” odmiany mieszańcowej (Troyer, 2000).

Spójny układ miejscowości i lat umożliwił zbadanie interakcji genotypowo-środowiskowej dla przeprowadzonej serii doświadczeń z mieszańcami i liniami wsobnymi. Najważniejszą kwestią z punktu widzenia rolnika jest w niej ocena stabilności plonowania poszczególnych odmian mieszańcowych. Odmiany nie mogą uzyskiwać takich samych plonów w różnych miejscowościach i kolejnych latach, gdyż warunki glebowe i atmosferyczne (a zwłaszcza letnie susze) powodują w naszym klimacie bardzo duże różnice w plonach kukurydzy w poszczególnych sezonach (rys. 2, Heimann i in., 2007).



Wartości "y" (regresje) wskazują średnie przyrosty plonów w dt ha⁻¹ rok⁻¹ (Heimann i in., 2007)

Rys. 2. Kukurydza — użytkowanie na ziarno. Plon i wilgotność ziarna w badaniach COBORU w ostatnim 20-leciu

Values "y" (regressions) shows mean gains of yield (dt ha⁻¹ rok⁻¹); (Heimann i in., 2007)

Fig. 2. Maize — grown for grain. Grain yield and dry matter content at the official COBORU trials in the last 20 years

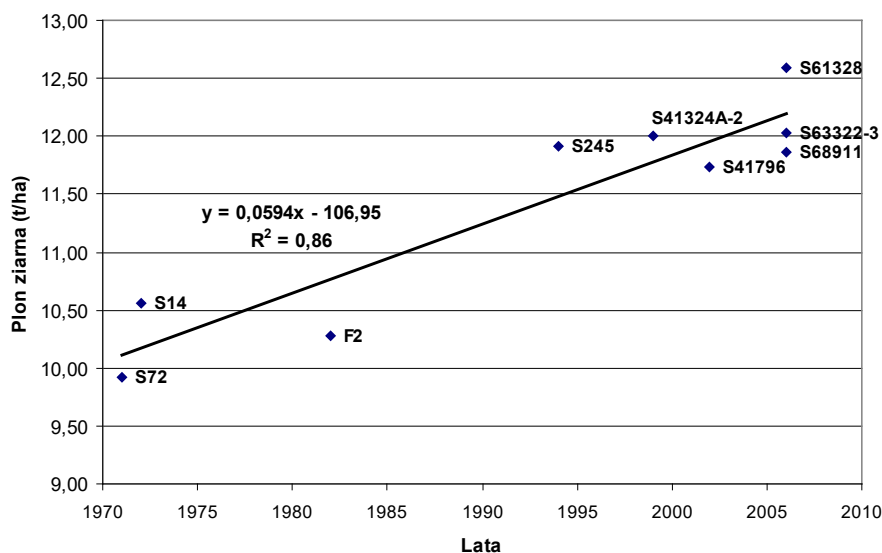
Ważna jest pozycja odmiany w relacji do plonowania innych, testowanych razem w różnych miejscowościach i/lub latach o zróżnicowanych średnich plonach środowiskowych (Eberhart i Russell, 1966, 1969). Badanie regresyjnej zależności plonu mieszańca od

średnich środowiskowych umożliwia określenie go jako stabilnego, intensywnego lub ekstensywnego w całym spektrum badanych środowisk. Rolnicy najbardziej cenią sobie odmiany stabilne lub lekko ekstensywne (Troyer, 2000). W omawianej serii doświadczeń z mieszaneńcami, odchylenia 6 analizowanych środowisk od średniej ogólnej wynoszącej 11,58 t/ha nie były znaczne, co znacznie utrudniało badanie interakcji genotypowo-środowiskowej. Wyliczone efekty GCA linii rodzicielskich wykazały, że 9 linii nie uzyskało istotnej interakcji ze środowiskiem dla plonu ziarna (tab. 4). Oznacza to, że mieszaneńce zawierające w swojej formule wspomniane linie wykazują się stabilnością plonowania w poszczególnych środowiskach. Z kolei w doświadczeniu porównawczym samych linii wsobnych, przy średniej ogólnej dla plonu ziarna wynoszącej 5,07 t/ha, odchylenia środowiskowe były nieznacznie większe. Warunki glebowo-klimatyczne występujące w poszczególnych środowiskach miały duży wpływ na plonowanie linii. Zwłaszcza susza w sezonie 2006, która spowodowała największą obniżkę plonów w miejscowościach Dłoń oraz Łagiewniki, wykazała niejednakową reakcję linii wsobnych na ten stresowy czynnik abiotyczny. Większość linii cechowała się istotną interakcją ze środowiskami. Wyjątkiem od tej reguły okazały się 4 linie, których najmniejsza statystyka F dla interakcji genotypowo-środowiskowej oznaczała stabilność w plonowaniu (tab. 5). Trzy z nich, S245, S63322-3 oraz S14, nie wykazały dla plonu ziarna istotnej interakcji zarówno dla swojego efektu GCA jak i *per se*. Ponieważ ilość linii wsobnych jest wielokrotnie mniejsza od potencjalnych krzyżówek mieszaneńcowych, selekcja na stabilność plonowania już na poziomie linii *per se* może okazać się wydajniejszą metodą (Janick, 1999).

W pracy wykorzystano tylko niektóre z linii wsobnych wchodzących w skład formuł pierwszych smolickich mieszaneńców liniowych kukurydzy. Umożliwiło to jednak zastosowanie czynnиковego układu krzyżowań (North Caroline II Design) i wyliczenie zdolności kombinacyjnej dla linii wsobnych, które odegrały istotną rolę w ostatnim 40. leciu programu hodowlanego w Smolicach. Ogólna zdolność kombinacyjna jest bardzo ważna, gdyż wynika z łącznych, addytywnych efektów genetycznych, które pomagają liniom uzyskiwać dobre wyniki w wielu testowanych środowiskach (Troyer, 2000). Wyniki efektów ogólnej zdolności kombinacyjnej dla plonu ziarna wskazują jednoznacznie, że najstarsze linie biorące udział w doświadczeniu tworzyły najgorzej plonujące mieszaneńce. Efekty główne GCA dla poszczególnych linii wyniosły: -1,67 (85,6 %) dla S72, -1,30 (88,8 %) dla F₂, oraz -1,03 (91,1 %) dla S14. Ocena zawartości suchej masy w ziarnie nie wykazała ewidentnej przewagi linii obecnie używanych nad starszymi. Należy jednak nadmienić, że w przypadku każdego gatunku poddawanego ocenie wartości gospodarczej w procesie rejestracji odmiany, cecha ta ma znaczenie tylko w relacji do plonu — sama wysoka zawartość suchej masy w ziarnie nie zapewni mieszaneńcowi wpisu do krajowego rejestru odmian. Ma to natomiast znaczenie w przypadku, gdy mieszaneńcom o podobnym poziomie plonowania towarzyszy znacząca różnica w zawartości suchej masy w ziarnie. Mieszaneńce nr 32 i 39 o najwyższym plonie w doświadczeniu uzyskały odpowiednio 13,6 t/ha i 13,4 t/ha, natomiast różniły się istotnie w zawartości suchej masy, uzyskując odpowiednio 70,35% i 72,89% (tab. 2). Liniami matecznymi obydwu mieszaneńców są odpowiednio S63322-3 i S63322, których drogi w procesie wyprowadzania linii wsobnych

rozeszły się dopiero po czwartym zapyleniu wsobnym. Dalsze prowadzenie chowu wsobnego pozwoliło na uzyskanie linii S63322, łączącej w sobie wysoki plon (zbliżony do S63322-3), ale o znacznie wyższej zawartości suchej masy w swoim potomstwie mieszańcowym, stanowiąc rzadki przypadek złamania silnej korelacji ujemnej między tymi cechami ilościowymi.

Na rysunku 3 przedstawiono ogólną zdolność kombinacyjną (GCA) dla plonu ziarna (t/ha) elitarnych linii wsobnych biorących udział w doświadczeniu. Miejsce osadzenia nazwy linii na osi czasu zostało uwarunkowane datą rejestracji pierwszej odmiany mieszańcowej z daną linią w swojej formule. Dla przykładu, linia S72 weszła w skład formuły 4-liniowego mieszańca IHAR 280 (S27*S42/S72*S48) zarejestrowanego w 1971 r., a odmiana Kozak (S63322-3*S61328), mająca w formule 2 linie obecnie używane w programie, została wpisana do Krajowego Rejestru w 2006 r. Dane empiryczne wszystkich obiektów pochodziły z tej samej serii doświadczeń, dlatego regresja dla średnich plonów mieszańców z tymi liniami względem lat pozwoliła ustalić rzeczywisty postęp hodowlany dokonany w ciągu ostatnich 35 lat. Wyniósł on w smolickim programie hodowli kukurydzy 59,4 kg/ rok.



Rys. 3. Regresja ogólnej zdolności kombinacyjnej (GCA) plonu ziarna linii elitarnych względem lat rejestracji odmian mieszańcowych z daną linią

Fig. 3. Regression of general combining ability (GCA) for grain yield of elite inbred lines to years of hybrid registration with these lines

Regresyjna zależność plonu odmian w badaniach rejestrowych COBORU (rys. 2) za ostatnie 21 lat wykazała przyrosty plonów rzędu 139 kg/rok (Heimann i in., 2007). Jest to wynik ulepszania zarówno praktyk rolniczych jak i genetycznych właściwości odmian zgłaszanych od badań rejestrowych w Polsce. Jeżeli przyjąć, że postęp hodowlany ma

średnio 50% udział we wzroście plonów nowych odmian (Duvick, 2005), wyliczony w doświadczeniu roczny przyrost plonu wynoszący 59,4 kg znajduje się bardzo blisko tej wartości.

Analiza efektów ogólnej zdolności kombinacyjnej ma jeszcze jedno fundamentalne zastosowanie. Doświadczenia hodowców pokazały bowiem, że linie rodzicielskie, które wypadają najlepiej w mieszańcach, są jednocześnie najlepszymi rodzicami nowych krzyżówek hodowlanych do wyprowadzania linii kolejnych cykli (Smith i in., 1999).

Analizując rysunek 3, trudno nie zgodzić się z Forrestem Troyer'em (2000), który uważa, że przy wyborze rodziców do nowych krzyżówek hodowlanych trzeba dobierać najlepsze z możliwych linii w danym czasie: „Z uwagi na ciągle dokonujący się postęp hodowlany, dobre linie wsobne mają wartość czasową jak odsetki od kapitału – straty czasu nie da się odrobić”.

WNIOSKI

1. Elitarne linie sprzed 40. lat okazały się nieprzydatne do bezpośredniego wykorzystania w obecnie prowadzonym programie hodowli mieszańcowej kukurydzy.
2. Nawet wysoka zawartość suchej masy w ziarnie w przypadku mieszańców z liniami F₂ i S14 nie rekompensuje różnicy dzielącej te linie z liniami używanymi obecnie pod względem zdolności kombinacyjnej.
3. W obecnie prowadzonej hodowli linii wsobnych właściwym podejściem wydaje się być zwiększenie ilości segregujących potomstw we wczesnych pokoleniach chowu wsobnego w celu uchwycenia korzystnych rekombinantów (np. S63322 ↔ S63322-3).
4. Wartości *per se* linii nie są wystarczające do prognozowania wartości cech ilościowych ich potomstwa mieszańcowego.
5. Do zaawansowanych doświadczeń polowych powinny trafiać tylko linie o zadowalającej ocenie *per se* ze względu na ekonomiczny aspekt produkcji nasiennej.
6. Najwyższą ocenę wartości hodowlanej, mierzoną ogólną zdolnością kombinacyjną, plennością samej linii i jej wczesnością *per se*, uzyskała linia o ziarnie szklistym S61328. Z uwagi na ilość odmian mieszańcowych zarejestrowanych i zgłoszonych do badań rejestrowych z tą linią, można określić ją mianem linii elitarniej.
7. Uzyskany postęp genetyczny elitarnych linii wsobnych tworzących formuły mieszańców rejestrowanych przez Smolice w latach 1971–2006 wyniósł 59,4 kg/rok.

LITERATURA

- Adamczyk J., Cygert H., Czajczyński J. 2003. 50 lat hodowli kukurydzy mieszańcowej w Polsce — dorobek i perspektywy. Biul. IHAR 230: 423 — 431.
- Adamczyk J. 2005. Genetyczne podstawy hodowli kukurydzy (*Zea mays* L.). W: Górny A. G. (red.) Zarys genetyki zbóż. Tom 2. Pszenżyto, kukurydza i owies. wyd. IGR PAN Poznań: 279 — 310.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P., Siatkowski I. 1998. Metodyka statystyczna i obsługa programu SERGEN przeznaczonego do analizy serii doświadczeń odmianowych i genetyczno-hodowlanych. Podręcznik użytkownika programu SERGEN 3. Poznań 1998.

- Duvick D. N. 1999. Heterosis: Feeding people and protecting natural resources. In: The genetics and exploitation of heterosis in crops. Coors J. G., Pandey S. (ed.) Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin: 19 — 29.
- Duvick D. N. 2005. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Advances in Agronomy* 86: 83 — 145.
- Eberhart S. A., Russell W. A. 1966. Stability parameters in comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36 — 40.
- Eberhart S. A., Russell W. A. 1969. Yield and stability for a 10 line diallel of single cross and double cross maize hybrids. *Crop Sci.* 9: 357 — 361.
- Goldman I. L. 1999. Inbreeding and outbreeding in the development of a modern heterosis concept. w: The genetics and exploitation of heterosis in crops. Coors J. G., Pandey S. (red.) Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin: 7 — 18.
- Heimann H., Janiak W., Siódmiak J. 2007. Kukurydza. W: Lista opisowa odmian. Rośliny rolnicze 2007, Słupia Wielka, 2007: 110 — 139.
- Hunter R. B. 1999. Heterosis for the development and promotion of the seed industry. In: The genetics and exploitation of heterosis in crops. Coors J. G., Pandey S. (ed.) Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin: 305 — 311.
- Janick J. 1999. Exploitation of heterosis: uniformity and stability. In: The genetics and exploitation of heterosis in crops. Coors J. G., Pandey S. (ed.) Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin: 319 — 333.
- Krajewski P., Kaczmarek Z., Czajka S. 2006. Podręcznik użytkownika programu EKSPLAN wersja 2. Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu. Poznań 2006.
- Królikowski Z., Adameczyk J., Kurczych Z. 1994. Czterdzieści lat hodowli kukurydzy w Polsce — dorobek i perspektywy. *Biul. IHAR* 191: 11 — 23.
- Kuriata R., Kadłubiec W., Adameczyk J., Cygert H. 2003. Analiza dialleliczna mieszańców pojedynczych kukurydzy. *Biul. IHAR* 230: 417 — 422.
- Matsuoka, Y., Vigouroux Y., Goodman M. M., Sanchez J.G., Buckler G. E., Doebley J. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99: 6080 — 6084.
- Richey F. D. 1946. Hybrid vigor and corn breeding. *J. Am. Soc. Agron.* 38: 833 — 841.
- Smith O.S., Hoard K., Shaw F., Shaw R. 1999. Prediction of Single-Cross Performance. w: The genetics and exploitation of heterosis in crops. Coors J. G., Pandey S. (ed.) Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin: 277 — 285.
- Sprague G. F. 1964. Early testing and recurrent selection. In: Gowen J. W. (ed.) *Heterosis*. Hafner Publ. Company, New York: 400 — 417.
- Troyer A. F. 2000. Temperate Corn – background, behavior, and breeding. In: *Specialty Corns*, Second edition. Hallauer A. R. (ed.). CRC Press LLC.: 393 — 466.
- Troyer A. F. 2006. Adaptedness and heterosis in corn and mule hybrids. *Crop Sci.* 46: 528 — 543.