

HENRYK BUJAK
STANISŁAW JEDYŃSKI
JAN KARCZMAREK

Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa, Akademia Rolnicza we Wrocławiu

Ocena linii wsobnych kukurydzy na podstawie specyficznego, obcego i ogólnego indeksu selekcji

Evaluation of inbred lines of maize on the basis of specific, foreign and general selection indices

Badania wykonano na 20 liniach wsobnych kukurydzy w Kobierzycach i Smolicach. Oceniono wysokość roślin, długość kolby, liczbę rzędów w kolbie, liczbę ziaren i masę ziarna z kolby. Dla wymienionych cech wyliczono indeksy selekcyjne: „Is” — specyficzny, „Io” — obcy oraz „Iog” — ogólny. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że indeks wartości własnej (specyficzny) jest najlepszą miarą oceny wartości hodowlanej. Indeks obcy obniża wartość postępu genetycznego. Ze względu na niewielką ilość danych eksperymentalnych przydatność indeksu ogólnego nie mogła być wiarygodnie określona.

Słowa kluczowe: indeksy selekcyjne, kukurydza, linie wsobne

Studies were carried out on 20 inbred maize lines at two locations: Kobierzyce and Smolice. The following characters: plant height, ear length, no. of rows/ear, no. of grains/ear and grain weight/ear were included in the construction of three selection indices: specific (Is), foreign (Io) and general (Iog). The results indicated that specific index was the most efficient. Expected genetic advance was lower when foreign index was used. Adequate evaluation of general index could not be made because of insufficient experimental data.

Key words: inbred lines, maize, selection indices

WSTĘP

Indeks selekcyjny jest polecany jako obiektywna metoda równoczesnej selekcji na kilka cech, ponieważ uwzględnia sposób dziedziczenia, jak i genetyczne korelacje między nimi. Konstrukcję i wykorzystanie indeksów selekcji w hodowli kukurydzy można polecić na podstawie własnych, jak i innych badań (Bujak i in., 2004; Moll i in., 1975; Motto i Percznin, 1982; Rex, 1991; St. Marlin i in., 1982; Subandi i in., 1973; Suwantaradon i in.,

1975). Dotychczas jednakże niewiele jest badań, z których wynikałby jego praktyczne wykorzystanie w programach hodowlanych.

Hodowcy kukurydzy nie stosowali indeksów selekcyjnych z powodów natury technicznej, polegających na konieczności wykonania skomplikowanych obliczeń oraz trudności związanych ze znalezieniem odpowiednich wag ekonomicznych dla poszczególnych cech. W przypadku hodowli kukurydzy selekcja linii wsobnych opiera się głównie na bezpośrednich ocenach plonowania mieszańców w poszczególnych testach potopcrossowych.

Skuteczność metody selekcji zależy od zidentyfikowania genotypów o wysokim potencjale zdolności kombinacyjnej, dlatego znajomość genetycznego uwarunkowania poszczególnych elementów struktury plonu jest niezbędna do podejmowania decyzji przy tworzeniu formuł mieszańcowych. Stąd też informacje o wzajemnych współzależnościach między cechami są niezbędne w przypadku cech ilościowych.

Parametry genetyczno-statystyczne wyliczone dla określonej populacji są funkcjami składu genetycznego, sposobów działania genów warunkujących daną cechę, oraz modyfikującego wpływu czynników środowiska. Stąd też konstrukcja indeksu na podstawie parametrów genetyczno-statystycznych jest specyficzna. Jeżeli używa się takiego indeksu do wyboru pożądanych genotypów w innych populacjach lub środowiskach o odmiennej kombinacji parametrów genetycznych, indeks „specyficzny” staje się „obcym indeksem”. Z niniejszych rozważań powstają następujące pytania:

- jak skuteczny jest „obcy indeks” w porównaniu ze specyficznym indeksem własnym,
- czy istnieją możliwości skonstruowania ogólnego indeksu, który byłby skuteczny dla różnych populacji.

Celem pracy jest próba odpowiedzi na te pytania poprzez wykonanie analizy porównawczej specyficznych indeksów własnych (I_S), obcych (I_O) i ogólnych (I_{OG}) u kukurydzy. Do konstrukcji tych indeksów posłużyły parametry uzyskane z dwóch doświadczeń w Kobierzycach i Smolicach.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiło 20 linii wsobnych kukurydzy, z których 12 było liniami ustalonymi. 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 oraz liczbę i masę ziaren z kolby. Na podstawie oczekiwanych średnich kwadratów z analizy wariancji oszacowano komponenty wariancji i kowariancji dla badanych cech struktury plonu. Dla linii kukurydzy obliczono klasyczny indeks selekcji I_S (indeks własny) jako liniową funkcję obserwowanych wartości fenotypowych poszczególnych cech według następującego równania (Smith, 1936; Hazel, 1943):

$$\text{gdzie: } I_S = b_1P_1 + b_2P_2 + b_3P_3 + \dots + b_nP_n = \sum_{i=1}^n b_iP_i$$

I_s — indeks selekcji własny

P_i — wartość fenotypowa i-tej cechy

b_i — współczynnik indeksu, który jest tak obliczany aby korelacja $r_{(H, I)}$ między wartością hodowlaną (H) i indeksem (I) osiągnęła maksymalną wartość.

Wartości współczynników selekcji dla poszczególnych cech b_i obliczono z równania:

$$b_i = P^{-1} \times Ga$$

gdzie:

b_i — wektor kolumnowy wartości współczynników indeksu selekcji

P^{-1} — macierz odwrotna macierzy wariancji i kowariancji fenotypowych

G — macierz wariancji i kowariancji genotypowych

a — wektor kolumnowy wartości (wag) ekonomicznych.

Obliczony dla określonej populacji indeks jest specyficzny i w zasadzie nie powinno się go wykorzystywać w trakcie selekcji w innych populacjach i różnych środowiskach. Indeks własny (I_s) linii wyliczony dla jednego środowiska np. Kobierzyc, ale wykorzystany w innej miejscowości np. w Smolicach staje się automatycznie indeksem obcym (I_o). Odwrotnie indeks własny (I_s) wyliczony dla linii w Stolicach, a wykorzystany w środowisku Kobierzyc również jest indeksem obcym (I_o). Aby uniknąć konstruowania indeksów selekcji dla każdej populacji oddzielnie Hanson i Johnson (1957) zaproponowali tzw. ogólny indeks selekcji (I_{OG}), w którym wartości b_i oblicza się z następującego równania:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m b_i C_k P_{ijk} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m b_i D_k G_{ijk}$$

C_k — poprawka dla fenotypowej wariancji i kowariancji

D_k — poprawka dla genotypowej wariancji i kowariancji

Do opracowania takiego indeksu wykorzystano doświadczenia założone w Kobierzycach i Smolicach.

Postęp genetyczny wyliczono według wzoru:

$$\Delta G = s \cdot \left[\frac{W}{\sqrt{V_p}} \right]$$

gdzie:

s — różnicowy wskaźnik selekcji,

$$W = \sum a_i b_j G_{ij} \quad V_p = \sum b_i b_j P_{ij}$$

WYNIKI

Elementy struktury plonu rozważane w niniejszej pracy należą do cech ilościowych, które determinowane są sposobem działania genów, jak i znacznym wpływem środowiska. Stąd parametry genetyczno-statystyczne wyliczone dla jednej populacji w Kobierzycach mogą się różnić od wyników otrzymanych w Smolicach. W Kobierzycach występowały

bardziej korzystne warunki wegetacji, bowiem w Smolicach uprawia się kukurydzę na gorszych kompleksach glebowych i w roku badań występowały okresy posuchy w miesiącach wegetacji.

Tabela 1

Wariancje fenotypowe i genetyczne dla cech struktury plonu kukurydzy
Phenotypic and genetic variance and heritability for the studied traits of maize

	Komponenty Components	Wysokość roślin Plant height	Długość kolby Ear length	Liczba rzędów No. of rows/ear	Liczba ziaren z kolby No. of grains/ear	Masa ziarna z kolby Ear weight
Kobierzyce	wariancja genetyczna σ_g^2 genetic variance	142,914	3,22	5,19	4501,58	235,45
	wariancja błędu σ_e^2 error variance	83,389	1,30	2,71	2511,34	227,95
	wariancja fenotypowa σ_p^2 phenotypic variance	226,303	4,52	7,90	7012,93	463,43
	współczynnik odziedziczalności h^2 coefficient of heritability	0,63	0,71	0,66	0,64	0,51
Smolice	wariancja genetyczna σ_g^2 genetic variance	149,17	3,52	3,22	3368,90	126,07
	wariancja błędu σ_e^2 error variance	138,53	1,73	2,23	5315,40	206,70
	wariancja fenotypowa σ_p^2 phenotypic variance	287,70	5,25	5,46	8684,30	332,78
	współczynnik odziedziczalności h^2 coefficient of heritability	0,52	0,67	0,59	0,39	0,38

W tabelach 1 i 2 przedstawiono wariancje i kowariancje fenotypowe, genetyczne oraz błędu dla cech struktury plonu potrzebne do wyliczenia indeksów.

Wyraźnie widać, że w Smolicach otrzymano niższe współczynniki odziedziczalności oraz zdecydowanie odmienne kowariancje genetyczne, środowiskowe i fenotypowe. W tabeli 3 podano poprawioną macierz wariancji i kowariancji fenotypowej, natomiast w tabeli 4 wyliczone współczynniki selekcji b_i dla każdej badanej cechy ilościowej. Tabela 5 przedstawia średnie wartości cech linii wsobnych kukurydzy oraz indeksy selekcyjne specyficzny (własny) „ I_s ” oraz ogólny „ I_{OG} ”.

Za najlepszą miarę oceny linii należy przyjąć indeks wartości własnej „ I_s ”. Ogólny indeks selekcji „ I_{OG} ” nie zawsze dawał wyższe wartości dla linii i testerów, które otrzymały najwyższe oceny indeksu własnego (tab. 5). Potwierdzeniem tego jest brak istotnej współzależności między nimi. Szczupłość badań nie pozwala jednak sformułować wiarygodnej opinii o szerszej przydatności indeksu ogólnego.

Indeks wartości własnej „ I_s ” (specyficzny) zastosowany do innych warunków środowiskowych można również uznać za tzw. "obcy indeks selekcyjny (I_o)". Wykonując analizę przydatności indeksu własnego, obcego i ogólnego obliczono wartości postępu genetycznego, które dla Kobierzyc i Smolic przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 2

Kowariancje fenotypowe i genetyczne dla cech struktury plonu kukurydzy
Phenotypic and genetic covariance for the studied traits of maize

	Komponenty Components	Wys. rośl. Dł. kolb.	Wys. rośl. L. rząd.	Wys. rośl. L. ziar.	Wys. rośl. Mas. ziar.	Dł. kolb. L. rząd.
Kobierzyce	Kowariancja genetyczna $Cov_{gi\ gj}$ Genetic covariance	2,03	8,87	146,55	89,92	-0,52
	Kowariancja błędu $Cov_{ei\ ej}$ Error covariance	0,41	-0,47	-34,99	10,40	2,44
	Kowariancja fenotypowa $Cov_{pi\ pj}$ Phenotypic covariance	2,44	8,40	111,56	100,32	1,92
		Dł. kolb. L. ziar.	Dł. kolb. Mas. ziar.	L. rząd. L. ziar.	L. rząd. Mas. ziar.	L. ziar. Mas. ziar.
	Kowariancja genetyczna $Cov_{gi\ gj}$ Genetic covariance	-0,75	9,86	119,76	14,56	874,89
	Kowariancja błędu $Cov_{ei\ ej}$ Error covariance	57,96	17,52	91,65	22,22	519,21
	Kowariancja fenotypowa $Cov_{pi\ pj}$ Phenotypic covariance	57,22	27,38	211,42	36,78	1394,10
		Dł. kolb. L. ziar.	Dł. kolb. Mas. ziar.	L. rząd. L. ziar.	L. rząd. Mas. ziar.	L. ziar. Mas. ziar.
	Kowariancja genetyczna $Cov_{gi\ gj}$ Genetic covariance	12,04	10,60	64,81	3,69	564,82
	Kowariancja błędu $Cov_{ei\ ej}$ Error covariance	172,96	40,35	169,87	36,32	1305,79
Smolice	Komponenty Components	Wys. rośl. Dł. kolb.	Wys. rośl. L. rząd.	Wys. rośl. L. ziar.	Wys. rośl. Mas. ziar.	Dł. kolb. L. rząd.
	Kowariancja genetyczna $Cov_{gi\ gj}$ Genetic covariance	0,91	-7,04	-231,46	-4,19	-0,58
	Kowariancja błędu $Cov_{ei\ ej}$ Error covariance	21,82	22,98	229,06	148,67	7,83
	Kowariancja fenotypowa $Cov_{pi\ pj}$ Phenotypic covariance	27,73	15,95	-2,39	114,48	7,25
		Dł. kolb. L. ziar.	Dł. kolb. Mas. ziar.	L. rząd. L. ziar.	L. rząd. M. ziar.	L. ziar. Mas. ziar.
	Kowariancja genetyczna $Cov_{gi\ gj}$ Genetic covariance	12,04	10,60	64,81	3,69	564,82
	Kowariancja błędu $Cov_{ei\ ej}$ Error covariance	172,96	40,35	169,87	36,32	1305,79
	Kowariancja fenotypowa $Cov_{pi\ pj}$ Phenotypic covariance	185,00	50,95	234,68	40,01	1870,62
		Dł. kolb. L. ziar.	Dł. kolb. Mas. ziar.	L. rząd. L. ziar.	L. rząd. M. ziar.	L. ziar. Mas. ziar.
	Kowariancja genetyczna $Cov_{gi\ gj}$ Genetic covariance	12,04	10,60	64,81	3,69	564,82

Wysokość roślin; Plant height = Wys. rośl.

Liczba rzędów; No. of rows/ear = L. rząd.

Masa ziarna z kolby; Ear weight = Mas. ziar.

Długość kolby; Ear length = Dł. kolb.

Liczba ziaren; No. of grains/ear = L. ziar.

Tabela 3

Poprawiona macierz wariancji i kowariancji P
Corrected phenotypic variance-covariance matrix

	Wysokość roślin Plant height	Długość kolby Ear length	Liczba rzędów No. of rows/ear	Liczba ziaren No. of grains/ear	Masa ziarna z kolby Ear weight
Wysokość roślin Plant height	30,03	2,71	1,63	0,80	14,96
Długość kolby Ear length	2,71	0,55	0,72	18,49	5,20
Liczba rzędów No. of rows/ear	1,63	0,72	0,60	24,74	4,23
Liczba ziaren No. of grains/ear	0,80	18,49	24,74	908,05	194,51
Masa ziarna z kolby Ear weight	14,96	5,20	4,23	194,51	36,61

Tabela 4

Obliczenie współczynników selekcji b_i dla indeksu ogólnego (I_{OG}) dla cech użytkowych kukurydzy
Calculation of b_i values for several traits of maize for general indices

						Wektor a		b_i
Wysokość roślin Plant height	-0,063	0,794	-0,384	-0,025	0,092	1		-2,089
Długość kolby Ear length	0,794	-7,867	5,468	0,175	-0,770	1		18,330
Liczba rzędów No. of rows/ear	-0,384	5,468	4,182	-0,081	-0,671	1	=	-18,940
Liczba ziaren No of grains/ear	-0,025	0,175	-0,081	-0,06	0,028	1		-0,305
Masa ziarna z kolby Ear weight	0,092	-0,770	0,026	0,028	0,026	1		5,661

Po podstawieniu do wartości współczynników b_i otrzymujemy wzór na obliczenie indeksu ogólnego (I_R) dla linii: $I_{OG} = -2,089P_1 + 18,330P_2 - 18,940P_3 - 0,305P_4 + 5,661P_5$

Tabela 5

Średnie wartości cech linii wsobnych kukurydzy oraz specyficzny (I_S) i ogólny (I_{OG}) indeks selekcyjny
Mean value of several traits of inbred lines of maize for specific (I_S) and general (I_{OG}) selection indices

Linie wsobne Inbred lines	Wysokość roślin Plant height	Długość kolby Ear length	Liczba rzędów No. of rows/ear	Liczba ziaren No. of grains/ear	Masa ziarna z kolby Ear weight	Indeks I_S Index I_S	Indeks I_{OG} Index I_{OG}
K324	172,00	14,85	14,40	430,30	107,55	286,60	-155,71
1487-1	196,00	13,35	19,00	387,50	99,13	304,09	9,91
1470-8	202,00	16,00	14,40	361,90	110,66	297,99	98,52
1470-12	187,50	16,50	16,20	357,90	109,04	283,00	112,11
1450-9	206,50	15,50	13,60	332,30	106,81	240,55	145,62
K182	188,50	15,55	12,40	354,40	111,65	282,55	114,70
1511-1	195,00	13,10	15,60	360,80	90,94	293,01	6,92
1516-13	202,00	13,35	16,40	288,40	95,03	275,93	-81,55
K376	197,00	15,25	17,20	310,60	79,91	280,94	-57,87
S335	179,50	16,50	11,80	311,70	94,42	266,86	-37,82
K188	197,00	12,66	13,80	290,60	76,42	272,58	-66,83
1554-11	173,50	12,80	13,60	275,30	84,01	249,73	6,27
K154	201,50	15,00	11,80	224,90	85,53	254,05	46,17
1291-2	174,50	12,20	15,60	287,70	65,07	260,10	180,42
K192	174,00	14,07	11,30	283,10	68,56	252,17	-96,81
1360-5-2	168,00	15,95	12,40	277,70	68,54	247,29	-17,78
1471-12	193,00	16,40	13,20	218,20	75,25	245,33	22,90
1470-15	193,50	18,15	9,40	200,30	80,59	238,36	117,82
K194	176,00	17,10	13,60	212,80	70,58	244,28	-100,07
1522-2	175,00	12,00	13,20	154,20	66,38	214,79	143,48

Otrzymane wyniki obrazują, że obce indeksy użyte w programach hodowlanych będą mniej skuteczne od własnych. To stwierdzenie jest w pełni zgodne z wynikami Hansona i Johnsona (1957) u soi oraz Caldwell i Webera (1965) u pszenicy. W naszych badaniach indeks ogólny dawał jeszcze mniejsze wartości postępu genetycznego, co wskazywałoby na jego mniejszą przydatność w hodowli kukurydzy. Podobne zjawisko zaobserwowali w swoich badaniach Singh i Bellmann (1972). Hanson i Johnson (1957) dowodzą, że

ogólny indeks selekcji jest skuteczny w programach hodowlanych i tylko nieco gorszy od indeksu specyficznego. Niestety wyniki naszych badań nie mogą w pełni poprzeć tej tezy, co może wynikać z faktu, iż nie mamy jeszcze nagromadzonych odpowiednio wystarczających danych.

Tabela 6

Postęp genetyczny dla różnych indeksów selekcyjnych
Expected genetic advance by different selection indices

Miejscowość Location	Specyficzny indeks (I_s) Specific index	Obcy indeks (I_o) Foreign index	Ogólny indeks (I_{oc}) General index
Kobierzyce	156,62	43,64	34,04
Smolice	104,02	126,82	81,63

WNIOSKI

1. Indeks wartości własnej (specyficzny) linii jest najlepszą miarą oceny wartości hodowlanej.
2. Wykorzystanie indeksu własnego jako obcego w innej miejscowości obniża wartość postępu genetycznego.
3. Dla ogólnego indeksu selekcji otrzymano najniższe wartości postępu genetycznego. Jego przydatność na obecnym etapie badań jest trudna do określenia ze względu na niewielką ilość danych eksperymentalnych.

LITERATURA

- Bujak H., Jedyński S., Kaczmarek J. 2004. Zastosowanie indeksu selekcyjnego do oceny wartości hodowlanej. Rozprawy i Monografie Instytutu Genetyki Roślin PAN: 207 — 222.
- Caldwell B. E., Weber C. R. 1965. General, average and specific selection indices for yield in F_4 and F_5 soybean populations. Crop. Sci. 5: 223 — 226.
- Hanson W. D., Johnson H. W. 1957. Methods for calculating and evaluating a general selection index obtained by pooling information from two or more experiments. Genetics 42: 421 — 432.
- Hazel L. N. 1943. The genetic basis for constructing selection index. Genetics 28: 476 — 490.
- Miller J. D., Jonnes N. I., Lyrence P. M. 1978. Selection indices in sugarcane. Crop. Sci. 18: 369 — 372.
- Rex B. 1991. Retrospective index weights used in multiple trait selection in a maize breeding program. Crop. Sci. 31: 1174 — 1179.
- Singh R. K., Bellmann K. 1972. Problems of generalization of selection indices. Theor. Appl. Genet. 42: 331 — 334.
- Smith H. F. 1936. A discriminated function for plan selection. Ann. Eugenies. 7: 240 — 250.
- St. Marlin S. K., Loesch P. J. Jr., Demopulos-Rodriguez. J. T., Wiser W. 1982. Selection indices for the improvement of opaque- 2 maize. Crop. Sci. 22: 478 — 485.
- Subandi Compton W. A., Empig L. T. 1973. Comparison of the efficiencies of selection indices for three traits in two variety crosses of corn. Crop. Sci. 13: 184 — 186.
- Suwantaradon K., Eberhart S. A., Mock J. J., Owens J. C., Quthrie W. D. 1975. Index selection for several agronomic traits in the BSSS 2 maize population. Crop. Sci. 15: 827 — 833.