

HENRYK BUJAK
STANISŁAW JEDYŃSKI
JAN KARCZMAREK

Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa, Akademia Rolnicza we Wrocławiu

Zastosowanie indeksu restrykcyjnego do oceny materiałów wyjściowych kukurydzy

The use of restricted selection index in the evaluation of maize germplasm

W pracy przeprowadzono ocenę wartości hodowlanej linii wsobnych kukurydzy na podstawie klasycznego i restrykcyjnego indeksu selekcji. Materiał badawczy stanowiło 20 linii wsobnych kukurydzy. Indeksy selekcyjne wartości własnej (I_s) i restrykcyjny (I_R) linii obliczono na podstawie komponentów wariancji dla pięciu cech użytkowych: wysokości roślin, długości kolby, liczby rzędów ziaren w kolbie oraz liczby i masy ziaren z kolby. Indeks wartości własnej pozwala na wyróżnienie najbardziej wartościowych linii pod względem kompleksu analizowanych cech. Wśród biorących udział w badaniach można wyróżnić linie: 1450-9, 1470-12, 1487-1, 1511-1, K 182 i K 324 o najwyższych wartościach indeksu. Wprowadzając ograniczenie w selekcji dla długości kolby obliczone indeksy restrykcyjne pozwalają na wyróżnienie linii K 324, K182, 1470-8, 1470-12 i 1450-9, dla których uzyskano najwyższe wartości tego indeksu. Linie posiadające wysokie wartości obydwu indeksów nadają się do tworzenia formuł mieszańców pojedynczych i podwójnych kukurydzy.

Słowa kluczowe: indeks restrykcyjny, indeks selekcyjny, linie wsobne, kukurydza

Twenty inbred lines of maize were evaluated by means of classical (Smith's) and restricted selection indices. Both indices were based on variance components for the following characters: plant height, ear length, no. of rows per ear, no. of grains per ear and grain yield. The highest values of classical index were obtained for the lines 1450-9, 1470-12, 1487-1, 1511-1, K 182 and K 324. When restriction was imposed on ear length the most promising lines were K 324, K 182, 1471-8, 1470-12 and 1450-9. Lines having high values of both indices are suitable for developing single and double cross hybrid cultivars of maize.

Key words: inbred lines, maize, selection index, restricted selection index

WSTĘP

W selekcji indeksowej wybór osobników opiera się na wartości indeksu obliczonego na podstawie dwóch lub większej liczby cech. Wartość indeksu traktuje się jak pojedynczą cechę, co daje najlepsze oszacowanie wartości hodowlanej osobnika. W przypadku, gdy hodowca chce utrzymać wartości niektórych cech na takim samym poziomie można zastosować tzw. indeks restrykcyjny Kempthorne'a i Nordskoga (1959) lub jego późniejsze

modyfikacje zaproponowane przez Tallisa (1962) oraz Harvilla (1975). Oszacowania wartości współczynników selekcji (b_i), które maksymalizują korelacje między zbiorczą wartością hodowlaną (H) i wartością indeksu selekcyjnego (I), a jednocześnie nie zmieniają wartości danej cechy. Restrykcyjny indeks selekcyjny był wykorzystywany w hodowli pszenicy (Rossiella i Brown, 1980; Wells i Kofoed, 1986), owsa (Rossiella i Frey, 1975; Rossiella i in., 1977) oraz soi (Holbrook i in., 1989). Natomiast, nie ma doniesień literaturowych na temat jego wykorzystania w hodowli kukurydzy.

Celem pracy było oszacowanie wartości hodowlanej linii wsobnych kukurydzy za pomocą indeksu restrykcyjnego na podstawie kilku cech: masy ziaren z kolby, wysokości roślin, długości kolby, liczby rzędów ziaren w kolbie oraz liczby ziaren z kolby, przy założeniu, że cechą ograniczającą, czyli tą, której wartość pozostaje bez zmiany jest długość kolby.

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 m^2 w dwóch miejscowościach: Kobierzycy 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 obliczono wariancje i kowariancje fenotypowe i genetyczne dla badanych cech struktury plonu. Dla linii obliczono klasyczny indeks selekcji „ I_s ” jako liniową funkcję obserwowanych wartości fenotypowych poszczególnych cech według następującego równania (Smith, 1936; Hazel, 1943):

$$I_s = b_1P_1 + b_2P_2 + b_3P_3 + \dots + b_nP_n = \sum_{i=1}^n b_iP_i$$

gdzie:

I_s — indeks selekcji

P_i — wartość fenotypowa i -tej cechy

b_i — współczynnik indeksu, który jest tak obliczany, aby korelacja między H i I ($r_{(H, I)}$) 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.

Restrykcyjny (ograniczający) indeks selekcji I_R — jest wyliczany, gdy hodowca chce utrzymać wartości niektórych cech na takim samym poziomie według Kempthorne'a i Nordstoga (1959) z późniejszymi modyfikacjami Tallisa (1962) i Harvilla (1975).

Oszacowania wartości b_i , które maksymalizują korelacje między H i I, a jednocześnie nie zmieniają wartości danej cechy uzyskuje się ze wzoru:

$$b_i = [I_{nn} - P^{-1}GC(C'GP^{-1}GC)^{-1}G'G]P^{-1}Ga$$

gdzie:

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

G — macierz wariancji i kowariancji genotypowej

C — macierz współrzędnych (współczynników) wektora

C' — transponowana macierz współrzędnych (współczynników) wektora

I_{nn} — macierz jednostkowa o wymiarach $n \times n$

dla $\Delta G1 = 0$ ($\Delta G2, \Delta G3, \Delta G4$ — bez ograniczeń)

$C' = (1 \ 0 \ 0 \ 0)$ jest wektorem.

Cechą, o niezmięnionej wartości, na którą nie była wywierana presja selekcyjna była długość kolby.

WYNIKI

W pracy porównano klasyczny indeks selekcji „ I_s ” z indeksem restrykcyjnym „ I_R ”. Procedurę obliczenia klasycznego indeksu selekcji „ I_s ” podano we wcześniejszych pracach (Smith, 1936; Hazel, 1943; Bujak i in., 2004). W celu wyliczenia indeksów selekcji konieczne jest obliczenie wariancji i kowariancji cech biorących udział w ich konstruowaniu, a następnie utworzenie genetycznej (G) i fenotypowej (P) macierzy tych wartości (tab. 1). Na ich podstawie obliczono współczynniki selekcji b_i dla poszczególnych cech, które przedstawiono w tabeli 2. Po podstawieniu dla poszczególnych cech wartości współczynników b_i otrzymujemy wzór na obliczenie indeksu „ I_s ” dla poszczególnych linii: $I_s = 0,950P_1 - 4,829P_2 + 0,786P_3 + 0,636P_4 + 0,885P_5$.

Tabela 1

Macierz wariancji i kowariancji genetycznej G
Genetic variance-covariance matrix G

	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
1	2	3	4	5	6
Wysokość roślin — Plant height	142,914	2,207	6,822	127,451	88,340
Długość kolby — Ear length	2,207	2,988	-1,645	-8,903	5,975
Liczba rzędów — No. of rows/ear	6,822	-1,645	4,753	78,042	9,194
Liczba ziaren — No of grains/ear	127,451	-8,903	78,042	4613,601	810,028
Masa ziarna z kolby — Ear weight	88,340	5,975	9,194	810,028	238,365

Macierz wariancji i kowariancji genotypowej P
Phenotypic variance-covariance matrix P

1	2	3	4	5	6
Wysokość roślin — Plant height	226,303	3,469	7,111	114,932	102,634
Długość kolby — Ear length	3,469	4,547	-1,819	12,220	14,624
Liczba rzędów — No. of rows/ear	7,111	-1,819	7,896	102,491	11,513
Liczba ziaren — No of grains/ear	114,932	12,220	102,491	7083,750	1108,634
Masa ziarna z kolby — Ear weight	102,634	14,624	11,513	1108,634	463,796

Tabela 2

Obliczenie współczynników b_i dla każdej z cech użytkowych kukurydzy
Calculation of b_i values for several traits of maize

						Wektor a Vector a		b_i
Wysokość roślin — Plant height	0,595	0,004	0,015	0,108	0,228	1		0,950
Długość kolby — Ear length	-0,051	0,658	-0,190	-4,996	-0,251	1		-4,829
Liczba rzędów — No. of rows/ear	0,304	-0,038	0,494	0,465	-0,438	1	=	0,786
Liczba ziaren — No of grains/ear	-0,007	-0,001	0,004	0,574	0,067	1		0,636
Masa ziarna z kolby — Ear weight	0,069	-0,005	0,001	0,498	0,322	1		0,885

Po podstawieniu wartości współczynników b_i otrzymujemy wzór na obliczenie indeksu wartości własnej linii:

$$I_s = 0,950P_1 - 4,829P_2 + 0,786P_3 + 0,636P_4 + 0,885P_5.$$

W czasie prowadzenia selekcji często zachodzi potrzeba nie zmieniania wartości niektórych cech. W przypadku, gdy wartość jednej lub kilku cech jest na optymalnym poziomie, a inne wymagają jeszcze poprawy prowadzi się selekcję w obrębie cech, które wymagają ulepszenia, starając się zachować na niezmiennym poziomie te, które wcześniej uzyskały właściwy poziom. W takich sytuacjach klasyczny indeks selekcji „ I_s ” nie jest przydatny, ponieważ nie uwzględnia różnego traktowania poszczególnych właściwości. Do obliczenia indeksu selekcyjnego w przypadku utrzymania wartości jednej lub kilku cech na niezmiennym poziomie, przy dalszym prowadzeniu selekcji na pozostałe cechy Kempthorne i Nordskog (1959), Tallis (1962) oraz Harvill (1975) zaproponowali nowy indeks nazwany restrykcyjnym. W niniejszej pracy przyjęto ograniczenie dla długości kolby, które oznaczono jako cechę x_2 . Stosując to ograniczenie w tabeli 3 przedstawiono nową macierz $C'G$, powstałą jako wynik iloczynu transponowanego wektora macierzowego współczynników (C') oraz macierzy genetycznej (G). W tabeli 4 podano współczynniki selekcji b_i obliczone dla indeksu restrykcyjnego. Na ich podstawie przedstawiono wzór do obliczenia indeksów I_R dla poszczególnych linii wsobnych kukurydzy: $I_R = 0,982P_1 - 0,283P_2 + 0,521P_3 + 0,622P_4 + 0,850P_5$.

Tabela 3

Macierz wariancji i kowariancji fenotypowych otrzymana po zastosowaniu ograniczenia w selekcji dla długość kolby (cecha x_2)

Phenotypic variance-covariance matrix obtained after restriction on ear length

$C'G = (0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0) =$	142,914	2,207	6,822	127,451	88,340
	2,207	2,988	-1,645	-8,903	5,975
	6,822	-1,645	4,753	78,042	9,194
	127,451	-8,903	78,042	4613,601	810,028
	88,340	5,975	9,194	810,023	223,365

Obliczenie współczynników selekcji b_i dla klasycznego oraz restrykcyjnego indeksu przeprowadzono przy założeniu takich samych wag ekonomicznych ($a = 1$) dla każdej z analizowanych przez struktury plonu.

W tabeli 5 przedstawiono średnie wartości cech oraz wartości klasycznego „ I_s ” oraz restrykcyjnego „ I_R ” indeksu selekcyjnego dla poszczególnych linii kukurydzy. Pomędzy indeksami występuje pewna zgodność, o czym świadczy współczynnik korelacji ($r = 0,87$).

Z reguły linie o wyższych wartościach klasycznego indeksu I_S również przy restrykcji na długość kolby zachowują najwyższe wartości. Mogą być jednak wyjątki, jak np. linia 1450-9 o niskiej wartości indeksu „ I_S ” przy zastosowanej restrykcji została wyceniona wysoko, uzyskując w rankingu piąty wynik pod względem wielkości.

Tabela 4

Obliczenie współczynników b_i dla indeksu dla cech użytkowych kukurydzy
Calculation of b_i values for several traits of maize for the restricted indices

	Wektor a Vector a					b_i	
Wysokość roślin — Plant height	0,996	-0,006	0,003	0,017	-0,011	1	0,982
Długość kolby — Ear length	-0,720	0,025	0,537	2,905	-1,950	1	-0,283
Liczba rzędów — No. of rows/ear	0,042	0,057	0,969	-0,169	0,114	1	0,521
Liczba ziaren — No of grains/ear	0,001	0,002	-0,001	0,995	0,003	1	0,662
Masa ziarna z kolby — Ear weight	0,006	0,008	-0,004	-0,023	1,015	1	0,850

Po podstawieniu do wartości współczynników b_i otrzymujemy wzór na obliczenie indeksu restrykcyjnego (I_R) dla linii: $I_R = 0,982P_1 - 0,283P_2 + 0,521P_3 + 0,622P_4 + 0,850P_5$

Tabela 5

Średnie wartości cech linii wsobnych kukurydzy oraz klasyczny (I_S) i restrykcyjny (I_R) indeks selekcyjny
Mean value of several traits of inbred lines of maize and specific (I_S) and restricted (I_R) 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_R Index I_R
K324	172,00	14,85	14,40	430,30	107,55	286,60	531,40
1487-1	196,00	13,35	19,00	387,50	99,13	304,09	524,00
1470-8	202,00	16,00	14,40	361,90	110,66	297,99	520,60
1470-12	187,50	16,50	16,20	357,90	109,04	283,00	503,29
1450-9	206,50	15,50	13,60	332,30	106,81	240,55	503,05
K182	188,50	15,55	12,40	354,40	111,65	282,55	502,60
1511-1	195,00	13,10	15,60	360,80	90,94	293,01	497,74
1516-13	202,00	13,35	16,40	288,40	95,03	275,93	463,36
K376	197,00	15,25	17,20	310,60	79,91	280,94	459,31
S335	179,50	16,50	11,80	311,70	94,42	266,86	451,97
K188	197,00	12,66	13,80	290,60	76,42	272,58	442,85
1554-11	173,50	12,80	13,60	275,30	84,01	249,73	416,56
K154	201,50	15,00	11,80	224,90	85,53	254,05	412,41
1291-2	174,50	12,20	15,60	287,70	65,07	260,10	410,38
K192	174,00	14,07	11,30	283,10	68,56	252,17	407,22
1360-5-2	168,00	15,95	12,40	277,70	68,54	247,29	398,00
1471-12	193,00	16,40	13,20	218,20	75,25	245,33	391,50
1470-15	193,50	18,15	9,40	200,30	80,59	238,36	382,91
K194	176,00	17,10	13,60	212,80	70,58	244,28	367,49
1522-2	175,00	12,00	13,20	154,20	66,38	214,79	327,70

Z przeprowadzonych badań wynika, że stosowanie indeksu restrykcyjnego przy nierównych kryteriach selekcji jest bardziej uzasadnione niż wyliczanie klasycznego indeksu selekcji.

WNIOSKI

1. Indeks wartości własnej linii wsobnych kukurydzy pozwala na wyróżnienie najbardziej wartościowych pod względem kompleksu analizowanych cech. Wśród biorących udział w badaniach linii można wyróżnić: 1450-9, 1470-12, 1470-8, 1487-1, 1511-1, K 182 i K324 o najwyższych wartościach indeksu.
2. Wprowadzając ograniczenie w selekcji dla długości kolby obliczone indeksy restrykcyjne pozwalają na wyróżnienie linii K 324, K 182, 1487-1, 1470-8, 1470-12 i 1450-9 o najwyższych wartościach tego indeksu.
3. Spośród badanych linii można wyróżnić linie K 182, K 324, 1470-12, 1470-8, 1487-1 i 1450-9 posiadające wysokie wartości obydwu indeksów selekcyjnych I_S oraz I_R . Linie te nadają się do tworzenia formuł mieszańców pojedynczych i podwójnych kukurydzy.
4. Stosowanie restrykcyjnego indeksu selekcyjnego przy nierównych kryteriach selekcji jest bardziej uzasadnione niż wyliczanie indeksu klasycznego.

LITERATURA

- Bujak H., Jedyński S., Kaczmarek J. 2004. Zastosowanie indeksu selekcyjnego do oceny wartości hodowlanej. Rozprawy i Monografie Instytutu Genetyki Roślin PAN Poznań 11: 207 — 222.
- Harville D. A. 1975. Index selection with proportionality constraints. *Biometrics* 31: 223 — 225.
- Hazel L. N. 1943. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics* 28: 476 — 490.
- Holbrook C. C., Burton J. W., Carter T. E. Jr. 1989. Evaluation of recurrent restricted index selection for increasing yield while holding seed protein constant in soybean. *Crop Sci.* 29: 324 — 329.
- Kemphorne O., Nordskog A. W. 1959. Restricted selection indices. *Biometrics* 15: 10 — 19.
- Rossielle A. A., Frey K. J. 1975. Application of restricted selection indices for grain yield improvement in oats. *Crop Sci.* 15: 544 — 547.
- Rossielle A. A., Eagles H. A., Frey K. J. 1977. Application of restricted selection indexes for improvement of economic value in oats. *Crop Sci.* 17: 359 — 361.
- Rossielle A. A., Brown A. G. P. 1980. Selection for resistance to *Septoria nodorum* in wheat. *Euphytica* 2: 337 — 346.
- Smith H. F. 1936. A discriminant function for plan selection. *Ann. Eugenics.* 7: 240 — 250.
- Tallis G. M. 1962. A selection index for optimum genotype. *Biometrics* 18: 120 — 122.