

**HENRYK BUJAK**  
**KATARZYNA DMOCHOWSKA-HUBA**  
**STANISŁAW JEDYŃSKI**  
**JAN KARZMAREK**

Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

## Wykorzystanie selekcji indeksowej w hodowli kukurydzy z uwzględnieniem ważności cech\*

### Application of index selection in maize breeding with regard to economic weights of traits

W 2005 roku założono doświadczenia polowe metodą bloków niekompletnych w Smolicach i Kobierzycach. Materiał badawczy stanowiły 22 linie wsobne kukurydzy szklistej (typu flint) oraz 21 linii zębokształtnych (typu dent). Nasiona wysiano na poletkach  $5 \text{ m}^2$  w rozstawie  $75 \times 18,6 \text{ cm}$ . Na roślinach wykonano obserwacje cech bonitacyjnych: pylenia i znamionowania, a po zbiorach – pomiary cech użytkowych: długości kolby, liczby rzędów w kolbie, liczby ziaren w rzędzie, liczby ziaren w kolbie, masy kolby, masy osadki, procentowej zawartości suchej masy oraz masy ziarna z kolby. Otrzymane wyniki posłużyły do obliczenia trzech indeksów: indeksu wartości własnej  $I_s$ , indeksu obcego  $I_o$ , oraz indeksu ogólnego  $I_g$ . Wyliczono je w 2 wariantach: a) bez współczynników wag i b) z dodaniem do wzorów oszacowanych współczynników wartości ekonomicznej (wag poszczególnych cech). Ranking linii uwzględniający wagi cech wskazuje w większości przypadków na te same genotypy, dla których wyliczono indeksy bez współczynnika ważności cech. Po wprowadzeniu do obliczeń wag ekonomicznych otrzymano indeksy, które pozwoliły na wyłonienie najlepszych linii: S 50668-4, K 409, S 41798-1-2-2, S 50685, S 47225A. Wykorzystanie wag poszczególnych cech w indeksach, pozwala na lepszą charakterystykę linii i dzięki temu na efektywniejszy wybór linii.

**Słowa kluczowe:** indeks obcy, indeks ogólny, indeks własny, kukurydza, linie wsobne, wagi ekonomiczne

Twenty two flint lines and 21 dent lines of maize were grown in field trials at Smolice and Kobierzyce using incomplete block design. Seeds were sown on  $5 \text{ m}^2$  plots at  $75 \times 18.6 \text{ cm}$  spacing. The following characters were measured: pollen shed, silking, ear length, no. of rows/ear, no. of kernels/row, no. of kernels/ear, ear weight, cob weight, % dry matter and weight of grain/ear. The measurements of the characters were used to construct three indices: specific, foreign and general. Each index was computed with and without economic weights. In general, both variants of index gave similar rankings of the lines. After incorporating economic weights to the construction of indices the following

\* Publikacja finansowana z projektu pt. „Drugi program stypendialny dla doktorantów Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu”. Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Społecznego i środków regionalnych.

lines were selected as the most promising: S 50668-4, K 409, S 41798-1-2-2, S 50685, S 47225A. It is concluded that using economic weights in the construction of indices gives a better characterization of inbred lines and is helpful in the choice of parents for a particular cross combination.

**Key words:** economic weights, foreign index, general index, inbred lines, maize, specific index

#### WSTĘP

Dotychczas polscy hodowcy roślin nie stosowali metod indeksowych w pracach selekcyjnych. W wielu badaniach (Simmonds, 1987; Kaczmark i Bujak, 1992/1993; Hazel i in., 1994; Bujak i in., 2004, 2006) wykazano, że indeks selekcyjny oparty na kilku cechach jest bardziej skuteczny niż selekcja następcza i niezależnych poziomów brakowania i może stanowić narzędzie ułatwiające ocenę materiałów wyjściowych. Indeks jest wartością liczbową, reprezentującą kilka cech i może być uważany za supercechę. Wkład poszczególnych cech do wartości indeksu jest niejednakowy. Nadanie poszczególnym cechom wag ekonomicznych jest bardzo trudne. W literaturze światowej spotyka się głównie indeksy, które skonstruowano z pominięciem wag. Próby określenia wag ekonomicznych są niezwykle rzadkie i sporadycznie stosowane w hodowli roślin. Rzeczywisty wkład poszczególnych właściwości w super cechę nie jest jednakowy, dlatego indeksy wyliczane z takimi samymi współczynnikami wag ekonomicznych mogą być mniej skuteczne. Wprowadzenie wag ekonomicznych do indeksów powinno spowodować lepszą ocenę materiałów wyjściowych. Hodowcy stosujący metodę niezależnych poziomów brakowania (Simmonds, 1987), intuicyjnie wyznaczają wagi ekonomiczne cech, ale odbywa się to według niejasno sprecyzowanych kryteriów. Wykorzystując zmienność i współzależności między cechami można wyznaczyć algorytm pozwalający na precyzyjne określenie ważności cech.

Celem badań było wyznaczenie wag ekonomicznych metodą statystyczną dla każdej cechy oraz porównanie indeksów z wagami i bez wag.

#### MATERIAŁ I METODY

W 2005 roku przeprowadzono doświadczenia polowe metodą bloków niekompletnych w Smolicach i Kobierzycach z 43 liniami wsobnymi kukurydzy. Nasiona wysiano na poletkach 5 m<sup>2</sup> w rozstawie 75 × 18,6 cm. Na 10 roślinach każdego poletka wykonano obserwacje cech bonitacyjnych, a po zbiorach — pomiary cech użytkowych. Uzyskane wyniki posłużyły do obliczenia trzech indeksów selekcyjnych: własnego I<sub>s</sub>, obcego I<sub>o</sub> oraz ogólnego I<sub>OG</sub>. (Bujak i in., 2006; Hanson i in., 1957; Hazel, 1943; Singh, 1972). Do tworzenia wielowymiarowych indeksów wykorzystano 10 cech: pylenie, znamionowanie, długość kolby, liczbę rzędów, liczbę ziaren w rzędzie, liczbę ziaren w kolbie, masę kolby, masę osadki, procentową zawartość suchej masy i masę ziarna z kolby.

Wartości współczynników selekcyjnych dla poszczególnych cech wyliczono z wzoru:

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

gdzie:

*b* — 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.

Przy konstruowaniu indeksów na ogół nie uwzględniano wartości parametru „a”, który oznacza wagi ekonomiczne, czyli ważność w zespole cech. Wagi poszczególnych cech powinny być brane pod uwagę podczas selekcji. Do rozwiązania problemu ważności cech przyjęto model liniowy wektorowy, w którym szukano tylko jednego parametru wyrażającego wagę cechy. W tym celu wykorzystano metodę conjoint analysis, czyli addytywny pomiar średniej (Bąk, 2004, Walesiak, Bąk, 2000). W pierwszym etapie dla uzyskania profili (opcje wyboru) podzielono linie na rozłączne grupy jednorodne dla każdej cechy według testu (Haufe W. Geidel H. 1984). Następnie wykonano analizę uzyskanych profili według metodologii conjoint analysis. Otrzymuje się macierz użyteczności cząstkowych, w której liczba wierszy jest równa liczbie linii, a liczba kolumn jest równa liczbie poziomów wyróżnionych dla wszystkich zmiennych (cech). Relatywną ważność każdej cechy wyznaczono za pomocą formuły:

$$W_j^S = \frac{\max\{U_{jl}^S\} - \min\{U_{jl}^S\}}{\sum_{j=1}^m (\max\{U_{jl}^S\} - \min\{U_{jl}^S\})} \times 100\%$$

gdzie:  $U_{jl}^S$  — użyteczność cząstkowa  $l$ -tego poziomu  $j$ -tej zmiennej (cechy) dla  $s$ -tej linii,

$l_j$  — numer poziomu dla zmiennej (cechy)  $Z_j$ .

$m$  — liczba cech.

Średnią ważność cechy  $W_j$  obliczono na podstawie wzoru:

$$W_j = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S W_j^S$$

gdzie:  $S$  — liczba linii.

## WYNIKI

Wartości wag ekonomicznych oszacowano dla 10 cech linii kukurydzy, które uwzględniono w konstrukcji indeksów selekcyjnych. Masę ziarna z kolby uznano za najważniejszą cechę i nadano jej współczynnik 1. U pozostałych 9 cech oszacowano względne wartości wag ekonomicznych: pylenie 0,02, znamionowanie 0,02, długość kolby 0,06, liczbę rzędów 0,07, liczbę ziaren w rzędzie 0,06, liczbę ziaren w kolbie 0,15, masę kolby 0,42, masę osadki 0,06, procentową zawartość suchej masy 0,14. Najwyższe wartości wag uzyskano dla masy kolby 42%, a najniższe w przypadku pylenia i znamionowania po 2%.

**Indeksy selekcyjne linii wsobnych kukurydzy**  
**Selection indices for the inbred lines of maize**

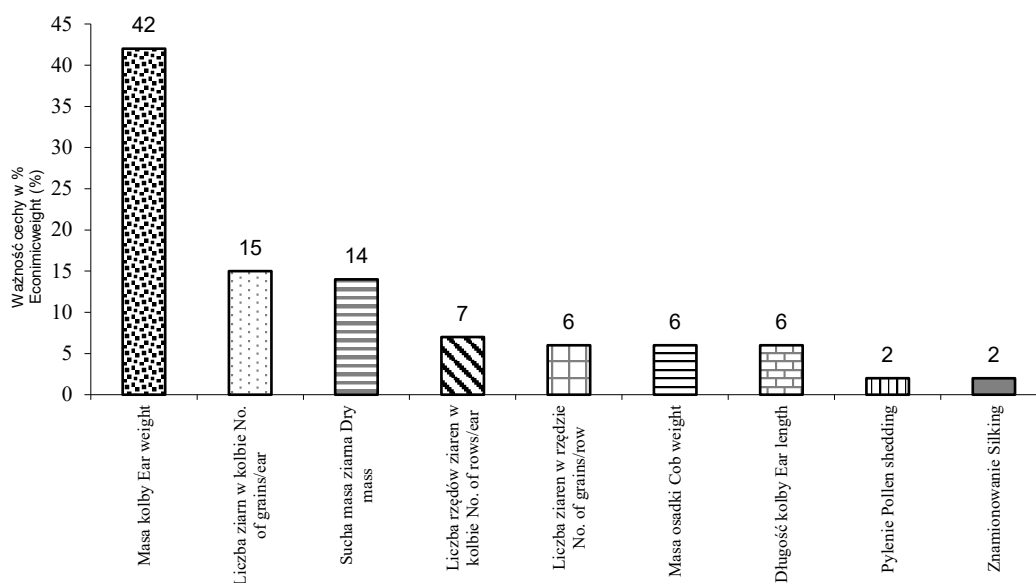
Linie Lines	Indeks wartości własnej I <sub>s</sub> Specific index		Indeks obcy I <sub>o</sub> Foreign index		Indeks ogólny I <sub>og</sub> General index	
	Bzw.	Zwe.	Bzw.	Zwe.	Bzw.	Zwe.
S50668-4	427,60	101,85	462,01	101,17	388,00	244,22
K409	318,04	97,38	378,69	84,74	448,61	239,64
S41798-1-2-2	365,26	84,27	376,53	77,73	395,64	226,34
S50685	377,99	83,93	386,67	77,40	391,07	223,65
S47225A	349,98	81,08	365,55	75,41	390,00	219,12
S54569A	382,66	76,15	365,54	69,63	385,68	220,75
S55591	324,61	73,62	327,91	64,66	403,70	215,10
K339	329,47	67,18	317,54	58,21	370,40	199,38
S56028A	334,71	64,59	312,46	56,46	386,85	206,04
K412	412,65	64,08	356,21	61,05	333,50	202,81
S49759-2-3	396,53	60,41	344,17	59,10	302,28	187,72
K189	251,10	59,74	247,16	45,53	390,58	191,11
K244	344,16	58,92	300,69	49,91	368,96	198,55
K384	286,58	57,00	267,47	46,37	378,91	190,23
S4-4s	303,17	54,62	267,52	42,21	381,17	190,78
S57571	307,23	53,40	273,44	45,62	380,55	193,00
K324	367,72	51,29	299,76	46,47	318,99	183,54
S54585	337,97	49,38	272,29	41,68	349,26	188,84
S49379	267,61	47,34	226,22	34,04	386,35	185,53
K242	350,90	46,93	274,96	38,38	343,70	184,85
S48582	270,55	46,04	227,20	32,73	390,03	184,77
S56349A-4	305,88	45,33	245,39	36,38	336,79	176,76
S56119A	304,62	42,52	245,12	34,81	330,59	170,37
S66208A	331,10	38,15	242,31	29,94	303,71	165,25
S336A	311,57	35,98	233,30	28,01	305,18	158,47
S65341A	234,34	35,11	169,60	16,25	390,37	173,24
K389	294,89	34,24	221,92	24,87	334,81	162,11
K231	306,59	33,27	218,25	24,46	307,49	159,33
S43047	288,11	30,46	197,06	17,75	340,33	163,32
K405	336,09	25,39	220,27	18,11	282,54	149,01
S41053	201,58	20,05	113,66	2,42	351,98	150,91
K194	171,22	14,71	94,20	-2,95	338,62	133,95
K411	154,03	13,47	80,43	-7,09	375,67	140,09
S70026A	247,60	12,85	123,90	-3,66	333,35	145,77
K404	215,03	9,45	49,90	-27,42	297,62	116,55
K417	210,96	7,98	27,63	-35,72	278,73	104,86
K408	234,14	5,98	99,36	-12,03	350,78	144,09
S311	236,43	5,31	95,77	-13,65	336,50	139,85
K403	140,54	5,19	2,22	-37,81	302,49	98,33
K346	303,39	3,87	120,24	-14,42	275,64	127,99
K410	105,15	3,27	51,40	-52,25	341,20	99,33
K341	228,79	3,23	70,92	-20,87	299,44	123,68
K167	160,85	2,54	31,61	-25,28	343,18	125,91
Współczynnik korelacji r Coefficient of correlation	0,79		0,73		0,98	

Bzw. — Bez wag ekonomicznych; without economic weights

Zwe. — Z wagami ekonomicznymi; with economic weight

Przedstawione wagi wynikają z rzeczywistej zmienności cech i mogą być modyfikowane przez hodowców w konstrukcji indeksów w zależności od celów hodowlanych. W naszych badaniach nie wprowadzono modyfikacji i oszacowane wartości wag wykorzystano do obliczenia indeksów.

W tabeli 1 zamieszczono trzy indeksy selekcyjne: indeks wartości własnej  $I_S$ , indeks obcy  $I_O$  oraz indeks ogólny  $I_{OG}$  bez uwzględnienia ważności cech i z wagami ekonomicznymi. Ranking linii uległ zmianie po uwzględnieniu wag ekonomicznych zarówno w przypadku indeksu wartości własnej jak i indeksu obcego.. Po wprowadzeniu wag na drugim miejscu pod względem wartości indeksu własnego znalazła się linia K 409 dzięki wysokiej masie kolby. Ważność tej cechy oszacowano na 42% (rys. 1).



**Rys. 1. Wartości ekonomiczne cech (%) opisujących linie wsobne kukurydzy**  
**Fig. 1. Average economic weights for the characters of the maize inbred lines**

Na podstawie wartości indeksów z wagami wybrano najlepsze linie: S 50668-4, K 409, S 41798-1-2-2, S 50685, S 47225A. W przypadku indeksu ogólnego  $I_{OG}$  uszeregowanie linii było prawie takie samo w obydwu wariantach indeksu, o czym świadczy z bardzo wysoki współczynnik korelacji  $r = 0,98$ . Należy podkreślić, że podane kryteria ważności cech wynikają z ich charakteru zmienności. W pracy selekcyjnej często kierujemy się różnymi celami. Dla przykładu, jeżeli celem będzie wczesność odmiany kukurydzy, to pyleniu i znamionowaniu hodowca może nadać większą ważność.

## DYSKUSJA

Jednoczesny wybór roślin na podstawie dwóch lub większej liczby cech o określonych wartościach stanowi selekcję nazywaną metodą niezależnych poziomów brakowania.

Metoda ta jednak nie uwzględnia związków zachodzących między cechami. i może czasami doprowadzić do eliminowania wybitnych osobników, które mają słabsze wartości tylko pod względem jednej cechy. W prezentowanej pracy przedstawiono wskaźnikową metodę selekcji, która opiera się na indeksach skonstruowanych na podstawie 9 cech. Selekcja indeksowa w znacznym stopniu łagodzi niedoskonałości metody niezależnych poziomów brakowania, ponieważ pozwala na kompensowanie niskiej oceny jednej cechy wysokimi wartościami pozostałych. Przydatność metody wskaźnikowej w trakcie selekcji wykazało wielu autorów, (Singh, Bellmann, 1972; Hazel i in., 1994; Kaczmarek, Bujak, 1992/93; Bujak i in., 2006).

Hazel i wsp. (1994) piszą, że metoda indeksowa jest bardziej skuteczna niż selekcja według niezależnych poziomów brakowania. Magnussen (1990), uważa, że wprowadzenie dodatkowo wag ekonomicznych poprawi jednocześnie postęp genetyczny cech ujętych w indeksie.

W naszych badaniach wszystkim cechom nadano taką samą ważność, a następnie wykorzystując własny algorytm oparty na metodzie addytywnego pomiaru średniej (conjoint analysis) uzyskano wagi ekonomiczne, które uwzględniono w trakcie konstruowania indeksu.

W literaturze światowej z zakresu hodowli roślin, stosowanie wag ekonomicznych było niezwykle rzadkie, a w polskiej w ogóle niestosowane. Stąd nie mieliśmy możliwości porównania własnych wyników z innymi badaniami. W pracy oprócz indeksu wartości własnej  $I_s$  przedstawiono również indeks obcy  $I_o$  i ogólny  $I_{OG}$ . Z wcześniejszych opracowań (Bujak i in., 2006; Hanson i Johnson, 1957; Caldwell i Weber, 1965) wynika, że indeksy własne  $I_s$  i indeksy obce  $I_o$  dawały wyższe wartości postępu genetycznego od indeksu ogólnego  $I_{OG}$ .

Jak wynika z tabeli 1 wykorzystanie wag ekonomicznych w indeksach spowodowało obniżenie ich bezwzględnej wartości liczbowej ale współczynnik korelacji między indeksami bez wag i z wagami wynosił dla  $I_s$  0,79, a dla  $I_o$  0,73. Wyniki te wskazują na zmiany w uszeregowaniu linii pod względem ich wartości indeksowej, a tym samym mogą mieć wpływ na decyzje selekcyjne.

W przypadku indeksu ogólnego, który może być stosowany u różnych populacji, współczynnik korelacji na poziomie  $r = 0,98$  wskazuje, że te indeksy dają podobną ocenę wartości hodowlanej. Jednak jak wynika z wcześniejszych badań stosując indeks  $I_{OG}$  uzyskuje się niższe wartości postępu genetycznego (Bujak i in., 2006).

#### WNIOSKI

1. Wprowadzenie do indeksów wag dla poszczególnych cech zmieniło ranking linii, a tym samym wartość hodowlaną materiałów wyjściowych. Można przypuszczać, że uwzględnienie w indeksach wag ekonomicznych cech przyczyni się do wyższej efektywności selekcji.
2. Wszystkie trzy indeksy mogą być stosowane przy prowadzeniu selekcji. Najlepszą miarą służącą do oceny linii jest indeks wartości własnej  $I_s$ , a następnie indeks: obcy

- $I_O$ . Aby uniknąć obliczania oddzielnie dla każdej populacji indeksu, można stosować również indeks ogólny.
3. W przypadku stosowania indeksu ogólnego  $I_{OG}$  nie jest konieczne uwzględnianie wag ekonomicznych, ponieważ obydwa indeksy z wagami i bez wag dają prawie takie same uszeregowanie linii.

#### LITERATURA

- Bąk A. 2004. Dekompozycyjne metody preferencji w badaniach marketingowych. Wyd. Akademia Ekonomiczna we Wrocławiu
- Bujak H., Jedyński St., Kaczmarek J. 2004. Zastosowanie indeksu selekcyjnego do oceny wartości hodowlanej. Rozprawy i monografie Instytutu Genetyki Roślin PAN, Poznań: 207 — 222.
- Bujak H., Kaczmarek J., Jedyński St., Dmochowska-Huba K. 2006. Postęp hodowlany u kukurydzy na podstawie selekcji wskaźnikowej. Materiały konferencyjne: Przyrodnicze uwarunkowania produkcji roślinnej. SGGW, Warszawa.
- Caldwell B. E., Weber C. R. 1965. General average and specific 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.
- Haufe W., Geidel H. 1984. Vorschlag eines Schatzverfahrens zur Klassifizierung von Versuchsergebnissen. *Arbeitsgemeinschaft der Saatzuchtleiter. A-8952 Irdning*: 257 — 290.
- Hazel L. N. 1943. The genetic basis for constructing selection index. *Genetics* 28: 476 — 490.
- Kaczmarek J., Bujak H. 1992/1993. Analiza genetyczna integralności systemu kilku cech użytkowych żyta z wykorzystaniem asocjacyjnej wartości kombinacyjnej. *Biul. Inform. AR-T Olsztyn* 34: 165 — 177.
- Magnussen S. 1990. Economic weights for maximum simultaneous genetic gain. *Theor. Appl. Genet.* 79: 289 — 293.
- Simmonds N. W. 1987. Podstawy hodowli roślin. PWRiL Warszawa
- Singh R. K., Bellmann K. 1972. Problems of generalization of selection indices. *Theor. Appl. Genet.* 42: 331 — 334.
- Walesiak M., Bąk A. 2000. Conjoint analysis w badaniach marketingowych. Wyd. AE we Wrocławiu.