

KRZYSZTOF WÓJCIK¹**RAFAŁ KURIATA**²**SYLWIA LEWANDOWSKA**²¹ Małopolska Hodowla Roślin HBP Sp. z o. o., Oddział Nasiona Kobierzyc² Katedra Genetyki, Hodowli Roślin i Nasiennictwa, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Odziedziczalność i współzależność cech rolniczych kukurydzy

Heritability and relationships between maize agricultural traits

Materiał badawczy stanowiło 28 linii wsobnych kukurydzy. Doświadczenie polowe założono metodą losowanych bloków w trzech powtórzeniach w roku 2009 i 2010. Na podstawie analizy wariancji oszacowano odziedziczalność w szerokim sensie (h^2), a także genotypowy współczynnik zmienności (GCV). Ponadto obliczono współczynniki korelacji oraz wykonano analizę ścieżek Wrighta. Współczynnik odziedziczalności wahał się w przedziale od 0,58 dla grubości kolby i wysokości roślin do 0,76 dla liczby dni od siewu do pylenia. Najwyższe wartości GCV przyjmował dla wysokości zawieszenia pierwszej kolby, liczby rzędów ziaren oraz masy ziarna z kolby. Analiza ścieżek wykazała, że największy wpływ bezpośredni i pośredni na masę ziarna z kolby mają długość i grubość kolby, natomiast w mniejszym stopniu liczba dni do pylenia.

Słowa kluczowe: analiza ścieżek, kukurydza, odziedziczalność

Twenty eight inbred lines were investigated in the field experiment. The experiment was arranged in randomized complete block design with three replication in two vegetative seasons 2009 and 2010. Heritability in broad sense and genotypic coefficient of variation (GCV) were calculated based on analysis of variance. Wright's path analysis was made and coefficients of correlation were calculated. Days until shedding had relatively high heritability (0.76), whereas moderate values were obtained for ear diameter and ear height. The greatest values of GCV were obtained in case of ear height, ear rows number and ear grain weight. Path analysis revealed that ear length and diameter had directly and indirectly the most significant influence on ear grain yield.

Key words: heritability, maize, path analysis

WSTĘP

Rosnące wykorzystanie kukurydzy w wielu gałęziach gospodarki sprawia, że kukurydza jest jedną z trzech roślin zbożowych o największym areale uprawy w skali świata. Fakt ten powoduje nieustanne zapotrzebowanie na odmiany o wysokim potencjale plonowania oraz przystosowane do zmiennych warunków środowiska. Aby sprostać tym

wymaganiom hodowcy zmuszeni są do stałego ulepszania materiału hodowlanego oraz poddawania go dokładnej ocenie.

Linie wsobne są jednym ze źródeł materiałów wyjściowych w hodowli mieszańcowej kukurydzy (Troyer, 1990), co stwarza konieczność precyzyjnej ich oceny. Wprawdzie nie wykazano zależności między wydajnością linii, a wydajnością mieszańca powstałego z tych linii, jednak ich ocena może być przydatna w eliminowaniu genotypów o wartości kombinacyjnej poniżej średniej (Lee i Kannenberg, 2004). Głównym celem oszacowania współczynnika odziedziczalności jest możliwość porównania efektów selekcji prowadzonej w oparciu o różne strategie (Holland i in., 2003).

Plon jest cechą złożoną, stąd istotnym elementem efektywnego programu hodowlanego, wykorzystującego selekcję, jest poznanie istniejących zależności między plonem a pozostałymi cechami. Współczynnik korelacji prostej nie daje pełnej informacji o istniejących zależnościach, dlatego też warto jest poszerzyć badania o analizę ścieżek, która to stwarza możliwość poznania, zarówno efektów bezpośrednich, jak i pośrednich analizowanych cech struktury plonu (Wright, 1934).

Celem pracy było oszacowanie odziedziczalności oraz określenie istniejących zależności między wybranymi cechami plonotwórczymi linii wsobnych kukurydzy.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiło 28 linii wsobnych kukurydzy wybranych z kolekcji firmy Małopolska Hodowla Roślin — HPB Spółka z o.o. Spośród badanych obiektów 27 z nich to linie wsobne wyhodowane w Kobierzycach, natomiast linia F₂ jest linią otrzymaną w Państwowym Instytucie Badań Rolniczych (INRA). Spośród badanych linii 7 było liniami typu flint, 5 prezentowało typ pośredni (semident), a pozostałe 16 linii to linie zębokształtne. Doświadczenie zostało założone metodą losowanych bloków w trzech powtórzeniach w roku 2009 i 2010. Nasiona wysiano na dwurzędowych poletkach o powierzchni 5,04 m². Wykonano standardowe zabiegi pielęgnacyjne stosowane w uprawie kukurydzy. W okresie wegetacji określono liczbę dni od siewu do pylenia (PL), a na pięciu losowo wybranych roślinach z każdego poletka oznaczono wysokość roślin (WR) i wysokość osadzenia pierwszej kolby (WK). Po zbiorze na pięciu losowo wybranych kolbach określono: długość kolby (DK), grubość kolby (GK), liczbę rzędów ziaren (LRZ) oraz masę ziarna z kolby (MZK).

Wykonano analizę wariancji dla wszystkich badanych cech wg modelu losowego:

$$y_{ikj} = \mu + g_i + \alpha_k + \delta_{ik} + \beta_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

gdzie:

μ — średnia ogólna, g_i — efekt i -tego genotypu, α_k — efekt k -tego środowiska, δ_{ik} — efekt interakcji między i -tym genotypem z k -tym środowiskiem, β_{jk} — efekt j -tego bloku w j -tym środowisku, ε_{ijk} — odchylenie losowe.

Lata w analizie wariancji zostały potraktowane jako środowiska. Obliczono oczekiwane wartości średnich kwadratów, a następnie oszacowano współczynniki odziedziczalności w szerokim sensie (genetyczny współczynnik determinacji) (Singh i Ceccarelli, 1993).

Obliczono genotypowy współczynnik zmienności (GCV), jako iloraz pierwiastka kwadratowego wariancji genotypowej i średniej dla danej cechy (Tefera i in., 2003). Obliczono fenotypowe współczynniki korelacji w oparciu o średnie z obu lat badań oraz wykonano analizę ścieżek Wrighta (Mądry i Pietrzykowski 1995, Williams i in., 1990).

WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

Analiza wariancji wykazała istotne zróżnicowanie linii wsobnych dla wszystkich badanych cech. Stwierdzono również istotność interakcji linii z latami dla: liczby dni do siewu do pylenia, wysokości roślin, wysokości zawieszenia pierwszej kolby, długości kolby, liczby rzędów ziaren oraz masy ziarna z kolby (tab. 1).

Tabela 1

Średnie kwadraty zmienności badanych cech
Mean square values of investigated traits

Cecha Trait	Lata Years Df=1	Powtórzenia w latach Replication/location Df=4	Linie Lines Df=27	Linie × lata Lines × years Df=27	Błąd Error Df=108
Liczba dni do pylenia Days to shedding	621,00**	14,04	71,83**	7,15**	1,62
Wysokość roślin (cm) Plant height	2966,88**	154,92	1112,73**	187,72**	71,17
Wysokość osadzenia pierwszej kolby (cm) Ear height	1853,36**	72,18	783,67**	106,80**	37,55
Długość kolby (cm) Ear length	13,26**	1,65	21,64**	2,16*	1,29
Grubość kolby (cm) Ear diameter	0,03	0,15	0,64**	0,08	0,05
Liczba rzędów ziaren Number of rows	1,92	0,40	18,64**	1,69*	0,95
Masa ziarna z kolby (g) Ear grain weight	9632,38**	126,31	1954,41**	210,67*	114,88

* Istotne na poziomie $\alpha = 0,05$; * Significant at the level $\alpha = 0,05$

** Istotne na poziomie $\alpha = 0,01$; ** Significant at the level $\alpha = 0,01$

W przypadku wszystkich analizowanych cech stwierdzono większą wartość genetycznego komponentu wariancji od tego odpowiadającego interakcji linii z latami, co świadczy o niewielkim wpływie środowiska (tab. 2). Genotypowy współczynnik zmienności (GCV) wahał się w zakresie od 3,76% do 27,67%. Stosunkowo wysokie wartości przyjmował on w przypadku masy ziarna z kolby (27,67%), wysokości zawieszenia pierwszej kolby (18%), liczby rzędów ziaren (12,49%) oraz długości kolby (12,33%). Obliczone współczynniki odziedziczalności w szerokim sensie zawierały się w przedziale od 0,58 do 0,76 (tab. 2). Najniższą wartością h^2 charakteryzowała się wysokość roślin i grubość kolby (0,58), zaś najwyższą liczba rzędów ziaren (0,70) oraz liczba dni do siewu do pylenia (0,76). Uzyskane małe wartości błędu standardowego świadczą o dużej precyzji oszacowania współczynnika odziedziczalności w przypadku analizowanych w pracy cech (Singh i Ceccarelli, 1993). Wysokie wartości genetycznego współczynnika

zmienności oraz odziedziczalności dla masy ziarna z kolby, liczby rzędów ziaren, długości kolby i wysokości osadzenia pierwszej kolby wskazują, że istnieje możliwość poprawy powyższych cech na drodze selekcji, co znajduje potwierdzenie w pracy Hefny (2011).

Tabela 2

Wariancje fenotypowe (σ_p^2), genetyczne (σ_g^2), interakcje genotyp \times środowisko (σ_{ik}^2), średnie, genotypowe współczynniki zmienności (GCV) oraz współczynniki odziedziczalności (h^2) badanych cech
Phenotypic (σ_p^2), genotypic (σ_g^2), genotype \times years (σ_{ik}^2), variances, means, genetic coefficients of variation (GCV), and heritabilities (h^2) for investigated traits

Cecha Trait	σ_p^2	σ_g^2	σ_{ik}^2	Średnia Mean	GCV [%]	Odziedziczalność Heritability h^2	SE
Liczba dni do pylenia Days to pollen shed	14,25	10,78	1,84	87,44	3,76	0,76	0,025
Wysokość roślin (cm) Plant height	264,19	154,17	38,85	169,07	7,34	0,58	0,041
Wysokość osadzenia pierwszej kolby (cm) Ear height	173,44	112,81	23,08	59,00	18,00	0,65	0,034
Długość kolby (cm) Ear length	4,83	3,25	0,29	14,61	12,33	0,67	0,020
Grubość kolby (cm) Ear diameter	0,16	0,09	0,01	3,91	7,79	0,58	0,028
Liczba rzędów ziaren Number of rows	4,03	2,82	0,25	13,45	12,49	0,70	0,018
Masa ziarna z kolby (g) Ear grain weight	437,44	290,62	31,93	69,11	27,67	0,66	0,023

Tabela 3

Współczynniki korelacji prostej badanych cech
Simple correlation coefficients among investigated traits

	WR	WK	DK	GK	LRZ	MZK
PL	0,26*	0,45*	0,27*	0,08	0,05	0,28*
WR	—	0,71*	0,20*	0,19*	0,19*	0,27*
WK		—	0,04	0,01	0,12	0,13
DK			—	0,48*	0,17*	0,69*
GK				—	0,49*	0,71*
LRZ					—	0,57*

* Istotne na poziomie $\alpha = 0,05$; * Significant at the level $\alpha = 0,05$

Obliczone fenotypowe współczynniki korelacji (tab. 3) wskazują na istnienie dodatniej zależności między masą ziarna z kolby, a liczbą dni do pylenia, wysokością roślin, długością i grubością kolby oraz liczbą rzędów ziaren. Dodatnią zależność stwierdzono również między wysokością osadzenia kolby, a liczbą dni do pylenia oraz wysokością roślin. Liczba rzędów ziaren była dodatnio skorelowana z grubością i długością kolby oraz wysokością roślin. Grubość kolby była dodatnio skorelowana z długością kolby i wysokością roślin. Podobne zależności między plonem a liczbą dni do pylenia, wysokością

roślin i wysokością osadzenia pierwszej kolby wykazał Badu-Aparku (2007), zaś między plonem a długością i grubością kolby (Oktem, 2008) oraz Mohammedi i in. (2003). W badaniach Mohammedi i in. (2003) wykazali ponadto istnienie dodatniej zależności między plonem a liczbą rzędów ziaren.

W celu dokładniejszej analizy zależności badanych cech wykonano analizę ścieżek, której wyniki przedstawiono w tabeli 4. Dodatni i istotny, chociaż o niewielkiej wartości, współczynnik korelacji między liczbą dni do pylenia a masą ziarna z kolby (0,28) wynikał niemal w takim samym stopniu z istotnego efektu bezpośredniego (0,11) oraz efektu pośredniego poprzez długość kolby (0,12). Na istotny współczynnik korelacji między wysokością roślin a masą ziarna z kolby (0,27) składa się nieistotny efekt bezpośredni dla wysokości roślin (0,04) oraz efekty pośrednie o niewielkiej wartości. Bezpośredni efekt długości kolby na masę ziarna z kolby jest istotny (0,45) i stanowi ok. 2/3 wartości współczynnika korelacji. Stwierdzono również znaczący wpływ pośredni poprzez grubość kolby (0,15). W przypadku grubości kolby efekt bezpośredni jest dodatni, statystycznie istotny (0,31) i stanowi blisko połowę wartości współczynnika korelacji między grubością kolby a masą ziarna z kolby. Wykazano również znaczący wpływ pośredni poprzez długość kolby (0,22, co stanowi ok. 1/3 wartości współczynnika korelacji) oraz poprzez liczbę rzędów ziaren na kolbie (0,16). Bezpośredni efekt liczby rzędów ziaren jest dodatni (0,33) i stanowi ponad połowę wartości współczynnika korelacji między liczbą rzędów ziaren, a masą ziarna z kolby. Wykazano również znaczący wpływ pośredni poprzez grubość kolby (0,15).

Tabela 4

Efekty bezpośrednie i pośrednie badanych cech na masę ziarna z kolby
Direct and indirect effects of predictor variables on ear grain weight

	PL	WR	WK	DK	GK	LRZ
PL	<u>0,11*</u>	0,03	0,05	0,03	0,01	0,01
WR	0,01	<u>0,04</u>	0,02	0,01	0,01	0,01
WK	0,00	0,00	<u>-0,01</u>	0,00	0,00	0,00
DK	0,12	0,09	0,02	<u>0,45*</u>	0,22	0,08
GK	0,02	0,06	0,00	0,15	<u>0,31*</u>	0,15
LRZ	0,01	0,06	0,04	0,06	0,16	<u>0,33*</u>
Współczynnik korelacji z MZK Correlation coefficient	0,28*	0,27*	0,13	0,69*	0,71*	0,57*

Efekty bezpośrednie podkreślono; Direct effects are underlined

* Istotne na poziomie $\alpha = 0,05$; * Significant at the level $\alpha = 0,05$

Zarówno analiza korelacji jak i analiza ścieżek Wrighta pozwoliła stwierdzić, iż na masę ziarna z kolby największy wpływ, zarówno w sposób bezpośredni jak i pośredni, mają długość i grubość kolby, liczba rzędów ziaren oraz w mniejszym stopniu wczesność wyrażona za pomocą liczby dni do pylenia. Powyższe wnioski dotyczące bezpośredniego wpływu długości kolby i liczby rzędów ziaren znajdują potwierdzenie w pracach innych autorów Mohammedi i in. (2003), Oktem (2008).

WNIOSKI

1. Na podstawie analizy wariancji stwierdzono istotny wpływ środowisk na zmienność badanych cech.
2. W przypadku trzech cech, tj. wysokości zawieszenia pierwszej kolby, liczby rzędów ziaren i masy ziarna z kolby, wysokie wartości genotypowego współczynnika zmienności oraz stosunkowo wysoka odziedziczalność tych cech, stwarza możliwość ich poprawy na drodze selekcji.
3. Masa ziarna z kolby w największym stopniu jest determinowana przez długość i grubość kolby oraz liczbę rzędów ziaren.

LITERATURA

- Badu-Aparku B. 2007. Genetic variances and correlations in early tropical white maize population after three cycles of recurrent selection for Striga resistance. *Maydica* 52: 205 — 217.
- Hefny M. 2011. Genetic parameters and path analysis of yield and its components in corn inbred lines (*Zea mays* L.) at different sowing dates. *Asian Journal of Crop Science* 3 (3): 106 — 117.
- Holland J. B., Nyquist W. E., Cervantes-Martinez C. T. 2003. Estimating and interpreting heritability for plant breeding: An update. *Plant Breeding Reviews* 22: 9 — 112.
- Lee E. A., Kannenberg L.W. 2004. Effect of inbreeding method and selection criteria on inbred and hybrid performance. *Maydica* 49: 191 — 197.
- Mądry W., Pietrzykowski R. 1995. Analiza współczynników ścieżek dla cech rozwijających się w trakcie ontogenezy oraz plonu ziarna pszenżyta ozimego. *Roczniki Nauk Rolniczych*, tom 3 z. 3-4: 9 — 21.
- Mohammadi S. A., Prasanna B. M., Singh N. N. 2003. Sequential path model for determining interrelationships among grain yield and related characters in maize. *Crop Science* 43: 1690 — 1697.
- Oktem A. 2008. Determination of selection criterions of sweet corn using path coefficient analyses. *Cereal Research Communications* 36 (4): 561 — 570.
- Singh M., Ceccarelli S., Hamblin J. 1993. Estimation of heritability from varietal trials data. *Theoretical and Applied Genetics* 86: 437 — 441.
- Tefera H., Assefa K., Hudera F., Kefyalew T., Tefera T. 2003. Heritability and genetic advance in recombinant inbred lines of tef (*Eragrostis tef*). *Euphytica* 131: 91 — 96.
- Troyer A. F. 1990. A retrospective view of corn genetic resources. *Journal of Heredity* 81: 17 — 24.
- Williams W. A., Demment M. W., Jones M. B. 1990. A Concise Table for Path Analysis Statistics. *Agronomy Journal* 82: 5: 1022 — 1024.
- Wright S. 1934. The method of path coefficient. *Annals of Math. Stat.* 5: 161 — 215.