

JAN BOCIANOWSKI <sup>1</sup>  
TADEUSZ ŁUCZKIEWICZ <sup>2</sup>  
PIOTR SZULC <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

<sup>2</sup> Katedra Genetyki i Hodowli Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

<sup>3</sup> Katedra Agronomii, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

## Wpływ ośmiu cech ilościowych rzepaku jarego (*Brassica napus* ssp. *oleifera*) na masę nasion z rośliny

### Effect of eight quantitative traits of spring rape (*Brassica napus* ssp. *oleifera*) on seed weight per plant

W celu oceny wybranych cech ilościowych mieszańców F<sub>1</sub> i F<sub>2</sub> rzepaku jarego (*Brassica napus* ssp. *oleifera*) oraz ich form rodzicielskich założono dwuletnie (2002 i 2003) doświadczenie polowe w Rolniczym Gospodarstwie Doświadczalnym Akademii Rolniczej im. A. Cieszkowskiego (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu) w Dłoni. W każdym roku przeprowadzono pomiary następujących cech: średnica szyjki korzeniowej, wysokość rośliny, liczba rozgałęzień pierwszego rzędu, wysokość do pierwszego rozgałęzienia, liczba łuszczyń z rośliny, liczba nasion z rośliny, masa 1000 nasion, liczba nasion w łuszczyńce oraz masa nasion z rośliny. Do oceny wpływu poszczególnych cech ilościowych na masę nasion z rośliny zastosowano analizę funkcji regresji wielokrotnej. Otrzymane wyniki wykazały, że liczba nasion z rośliny, masa tysiąca nasion oraz liczba nasion w łuszczyńce determinowały masę nasion z rośliny mieszańców pokolenia F<sub>1</sub> i F<sub>2</sub> w obu latach badań.

**Słowa kluczowe:** cechy fenotypowe, plon nasion, regresja wielokrotna, rzepak jary

To evaluate the quantitative characteristics of F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub> hybrids of spring oilseed rape (*Brassica napus* ssp. *oleifera*) and their parental forms, a field experiment was established in two years (2002 and 2003) in the Dłoń Experimental Station (Poznań University of Life Sciences). In each year, following measurements were performed: root collar diameter, plant height, number of branches of the first row, first branch height, number of pods per plant, number of seeds per plant, 1000 seed weight, number of seeds per pod and seed weight per plant. To assess the quantitative impact of individual characteristics on the mass of seeds per plant multiple regression analysis was used. The results show that the number of seeds per plant, thousand seed weight and the number of seeds per pod determined the seed weight per plant hybrids F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub> in both study years.

**Key words:** multiple regression, phenotypic traits, seed yield, spring oilseed rape

## WSTĘP

Efektywność procesu hodowli zależy przede wszystkim od właściwego doboru materiału wyjściowego, co wiąże się ze znajomością zmienności genetycznej interesujących hodowcę cech (przede wszystkim ilościowych) i ich sposobu dziedziczenia. Masa nasion z rośliny, na którą składa się działanie genotypu, czynników środowiska i interakcja genotypowo-środowiskowa jest ściśle skorelowana z plonem nasion z jednostki powierzchni. Plon (a także masa nasion z rośliny) jest cechą ilościową, będącą wynikiem wielu procesów zachodzących w trakcie wzrostu i rozwoju roślin. Znając współzależność pomiędzy różnymi cechami ilościowymi łatwiej jest realizować programy hodowlane.

Rzepak (zarówno ozimy, jak i jary) charakteryzuje się niewielką zmiennością genetyczną a brak w naturze dzikich przodków tego gatunku utrudnia proces hodowli. Zwiększenie efektywności selekcji u rzepaku wymaga bardzo precyzyjnych metod hodowli wykorzystujących m.in. korelacje fenotypowe pomiędzy cechami roślin lub korelacje genotypowe (znacznie rzadziej stosowane, choć bardziej miarodajne).

Zagadnieniem zależności wpływu cech ilościowych na plon nasion rzepaku jarego i ozimego zajmowało się wielu autorów m.in. Degenhart i Kondra (1984), Marinković i Marjanović-Jeromela (1996), Ozer i in. (1999), Marinković i in. (2003), Ogrodowczyk i Wawrzyniak (2004).

Narzędziem do określenia istotności oraz siły współzależności i zależności cech są odpowiednie metody statystyczne, z których najczęściej stosowanymi do weryfikacji tego typu zjawisk są analiza współczynników korelacji prostej i rangowej oraz analiza funkcji regresji prostej i wielokrotnej (Fahrmeir i Tutz, 1994; Johnson i Wichern, 1998; Jammalamadaka, 2003).

Celem pracy było pokazanie możliwości zastosowania analizy funkcji regresji wielokrotnej w badaniu wpływu poszczególnych cech ilościowych mieszańców pokolenia  $F_1$  i  $F_2$  rzepaku jarego (*Brassica napus* ssp. *oleifera*) oraz ich form rodzicielskich na masę nasion z rośliny.

## MATERIAŁ I METODY

W latach 2002 i 2003 w Rolniczym Gospodarstwie Doświadczalnym Akademii Rolniczej im. A. Cieszkowskiego (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu) w Dłoni wykonano doświadczenia z 64 genotypami (osiem form rodzicielskich i 56 mieszańców  $F_1$  oraz  $F_2$ ). Doświadczenia polowe zostały założone w układzie bloków losowanych kompletnych w czterech powtórzeniach. Każde doświadczenie składało się z 256 poletek jednorzędowych długości 1 m. Zastosowano rozstaw pomiędzy rzędami równą 0,5 m. W każdym rzędzie analizowano 15 roślin. Podczas wegetacji roślin i po zbiorze przeprowadzono pomiary biometryczne roślin: średnicy szyjki korzeniowej (SSK), wysokości rośliny (WR), liczby rozgałęzień pierwszego rzędu (LR), wysokości do pierwszego rozgałęzienia (WPR), liczby łuszczyń z rośliny (LŁ), liczby nasion z rośliny (LN), masy nasion z rośliny (MN), masy 1000 nasion (MTN) i liczby nasion w łuszczyńce (LNŁ).

W pierwszej kolejności testowano normalność rozkładu obserwowanych cech przy użyciu testu normalności Shapiro-Wilka (Shapiro i Wilk, 1965). Dwuczynnikowa (lata, genotypy) analiza wariancji (ANOVA) została przeprowadzona w celu zweryfikowania hipotez o braku wpływu lat oraz genotypów, jak również hipotezy o braku interakcji lata  $\times$  genotypy ( $L \times G$ ) na zmienność średnicy szyjki korzeniowej, wysokości rośliny, liczby rozgałęzień pierwszego rzędu, wysokości do pierwszego rozgałęzienia, liczby łuszczyń z rośliny, liczby nasion z rośliny, masy nasion z rośliny, masy 1000 nasion i liczby nasion w łuszczyńce. Analizę wariancji przeprowadzono niezależnie dla mieszańców  $F_1$  i  $F_2$ . Współczynniki korelacji liniowej Pearsona pomiędzy obserwowanymi cechami obliczone na średnich fenotypowych posłużyły do oceny współzależności pomiędzy analizowanymi cechami. Również na podstawie średnich fenotypowych, niezależnie dla lat obserwacji, wykonano analizę funkcji regresji wielokrotnej z selekcją zmiennych wstecz (Seber i Lee, 2003; Kleinbaum i in., 2008). Wyznaczono standaryzowane cząstkowe współczynniki regresji (Kozdój i in., 2009, 2010) w celu określenia wpływu poszczególnych cech ilościowych mieszańców pokolenia  $F_1$  i  $F_2$  oraz ich form rodzicielskich rzepaku jarego (*Brassica napus* ssp. *oleifera*) na masę nasion z rośliny. W pierwszej kolejności wyznaczono model zawierający wszystkie zmienne objaśniające (niezależne). Następnie określono wartości bezwzględnych statystyk *t*-Studenta dla każdej z nich i wskazano zmienną o najmniejszej wartości. Kolejnym etapem było porównanie wartości statystyki z wartością krytyczną przy założonym poziomie istotności i odpowiedniej liczbie stopni swobody. Jeżeli wartość statystyki testowej dla wskazanej zmiennej nie była większa od wartości krytycznej na poziomie  $\alpha = 0,05$ , to zmienną tą usuwano i ponownie szacowano model. Jeżeli wartość statystyki była większa od wartości krytycznej, to zbiór zmiennych objaśniających należało przyjąć. Ze względu na znaczną współliniowość niektórych spośród badanych cech, oceny ich efektów (cząstkowych współczynników regresji) były obciążone. Współliniowość cech nie jest jednak uważana za wadę modelu regresji wielokrotnej (Rawlings i in., 2001). Uzyskane w tej analizie standaryzowane cząstkowe współczynniki regresji mogły więc posłużyć do obiektywnej oceny wagi poszczególnych cech w ich wpływie na kształtowanie się masy nasion z rośliny rzepaku jarego. Wszystkie obliczenia w analizie danych wykonano za pomocą pakietu statystycznego GenStat Release 10.1 (GenStat, 2007).

## WYNIKI I DYSKUSJA

Badane genotypy rzepaku jarego były zróżnicowane pod względem wszystkich obserwowanych cech w obu badanych pokoleniach (tab. 1). Lata prowadzenia obserwacji były czynnikiem determinującym wszystkie cechy w pokoleniu  $F_2$  (tab. 1). Natomiast w pokoleniu  $F_1$  jedynie liczba nasion w łuszczyńce była na tym samym poziomie w obu latach prowadzenia doświadczeń (tab. 1). Wpływ interakcji lata  $\times$  genotypy na wysokość roślin, masę nasion z rośliny i masę 1000 nasion był statystycznie istotny w obu rozważanych pokoleniach (tab. 1). Ponadto interakcja  $L \times G$  w istotny sposób determinowała wysokość do pierwszego rozgałęzienia mieszańców pokolenia  $F_1$  oraz liczbę łuszczyń z rośliny, liczbę nasion z rośliny i liczbę nasion w łuszczyńce mieszańców pokolenia  $F_2$  (tab. 1).

Tabela 1

**Średnie kwadraty odchyłeń z analizy wariancji dla badanych cech rzepaku jarego**  
**Mean squares from analysis of variance for investigated traits of spring oilseed rape**

Zródło zmienności Source of variation	Blok Block	Lata (L) Years (Y)	Genotypy (G) Genotypes (G)	L×G Y×G	Błąd Residual
Stopnie swobody — Degrees of freedom	3	1	63	63	381
Pokolenie F <sub>1</sub> — F <sub>1</sub> generation					
Średnica szyjki korzeniowej Root collar diameter	0,279	4,575***	0,161***	0,062	0,057
Wysokość rośliny Plant height	249,0	22496,1***	390,9***	137,0***	75,1
Liczba rozgałęzień pierwszego rzędu Number of branches of the first row	17,5	78,6***	5,8***	2,5	2,2
Wysokość do pierwszego rozgałęzienia First branch height	581,9	1664,1***	96,7***	43,6**	26,5
Liczba łuszczyń z rośliny Number of pods per plant	23491	9147*	2837***	2117	1601
Liczba nasion z rośliny Number of seeds per plant	1366213	1570269***	249138***	157662	131392
Masa nasion z rośliny Seed weight per plant	62,1	240,3***	14,7***	10,4*	7,6
Masa 1000 nasion 1000-seed weight	0,90	29,67***	1,28***	1,05***	0,56
Liczba nasion w łuszczyńce Number of seeds per pod	17,7	6,4	10,4***	3,8	5,0
Pokolenie F <sub>2</sub> — F <sub>2</sub> generation					
Średnica szyjki korzeniowej Root collar diameter	0,052	1,791***	0,073***	0,028	0,024
Wysokość rośliny Plant height	280,5	30072,6***	481,2***	67,6*	49,4
Liczba rozgałęzień pierwszego rzędu Number of branches of the first row	6,6	60,0***	5,8***	1,4	1,4
Wysokość do pierwszego rozgałęzienia First branch height	201,1	1808,6***	64,9***	27,1	28,5
Liczba łuszczyń z rośliny Number of pods per plant	4263	75866***	2720***	2243***	1139
Liczba nasion z rośliny Number of seeds per plant	199347	2883526***	161844***	121033**	69810
Masa nasion z rośliny Seed weight per plant	7,3	270,2***	9,7***	7,1**	4,1
Masa 1000 nasion 1000-seed weight	1,79	3,97*	1,58***	1,24*	0,84
Liczba nasion w łuszczyńce Number of seeds per pod	1,8	63,6***	10,0***	6,4**	4,1

\* Istotne na poziomie 0,05; Significant at 0.05 level

\*\* Istotne na poziomie 0,01; Significant at 0.01 level

\*\*\* Istotne na poziomie 0,001; Significant at 0.001 level

Warunki środowiskowe wpłynęły na układ współzależności pomiędzy cechami rzepaku jarego (tab. 2 i 3). Dla mieszańców pokolenia F<sub>1</sub> zaobserwowano szereg istotnych statystycznie współczynników korelacji w pierwszym roku przy ich braku w drugim roku badań. ŚSK była w 2002 roku skorelowana z WPR, LŁ, LN, MN, MTN, LNŁ, a WPR z LN, MN (tab. 2).

Tabela 2

**Macierz współczynników korelacji obserwowanych cech rzepaku jarego mieszańców F<sub>1</sub> dla 2002 (powyżej przekątnej) i 2003 (poniżej przekątnej)**  
**The correlation matrix for the traits of F<sub>1</sub> hybrids studied for 2002 (above the diagonal) and 2003 (below the diagonal)**

Cechy Traits	ŚSK	WR	LR	WPR	LŁ	LN	MN	MTN	LNŁ
ŚSK	1	0,565***	0,409***	-0,402**	0,302*	0,293*	0,369**	0,494***	0,012
WR	0,406***	1	0,433***	0,339**	0,374**	0,530***	0,591***	0,730***	0,397**
LR	0,490***	0,372**	1	-0,221	0,272*	0,148	0,140	0,115	-0,141
WPR	-0,210	0,345**	-0,196	1	0,183	0,380**	0,351**	0,253*	0,474***
LŁ	0,150	0,475***	0,418***	0,190	1	0,831***	0,828***	0,441***	-0,017
LN	0,081	0,406***	0,229	0,235	0,878***	1	0,981***	0,591***	0,480***
MN	0,077	0,399**	0,226	0,223	0,884***	0,995***	1	0,697***	0,439***
MTN	0,013	0,411***	0,094	0,291*	0,648***	0,633***	0,672***	1	0,383***
LNŁ	-0,065	0,343**	-0,101	0,376**	0,515***	0,790***	0,779***	0,601***	1

\*, \*\*, \*\*\* Istotne na poziomie 0,05, 0,01, 0,001; Significant at 0,05, 0,01, 0,001 level

ŚSK — średnica szyjki korzeniowej, root collar diameter; WR — wysokość rośliny, plant height; LR — liczba rozgałęzień pierwszego rzędu, number of branches of the first row; WPR — wysokość do pierwszego rozgałęzienia, First branch height; LŁ — liczba łuszczyń z rośliny, number of pods per plant; LN — liczba nasion z rośliny, number of seeds per plant; MN — masa nasion z rośliny, seed weight per plant; MTN — masa 1000 nasion, 1000-seed weight; LNŁ — liczba nasion w łuszczyńce, number of seeds per pod

Tabela 3

**Macierz współczynników korelacji obserwowanych cech rzepaku jarego mieszańców F<sub>2</sub> dla 2002 (powyżej przekątnej) i 2003 (poniżej przekątnej)**  
**The correlation matrix for the traits of F<sub>2</sub> hybrids studied for 2002 (above the diagonal) and 2003 (below the diagonal)**

Cechy Traits	ŚSK	WR	LR	WPR	LŁ	LN	MN	MTN	LNŁ
ŚSK	1	0,659***	0,580***	-0,066	0,013	0,063	0,126	0,487***	0,139
WR	0,596***	1	0,521***	0,379**	0,223	0,398**	0,455***	0,700***	0,505***
LR	0,634***	0,455***	1	-0,076	0,142	0,041	0,034	0,127	-0,090
WPR	-0,101	0,473***	-0,172	1	0,276*	0,385**	0,401**	0,327**	0,376**
LŁ	0,458***	0,496***	0,496***	0,071	1	0,811***	0,785***	0,357**	0,182
LN	0,351**	0,366**	0,258*	0,117	0,802***	1	0,986***	0,530***	0,658***
MN	0,355**	0,362**	0,240	0,117	0,804***	0,994***	1	0,626***	0,656***
MTN	0,116	0,256*	0,054	0,176	0,415***	0,534***	0,573***	1	0,518***
LNŁ	0,057	0,164	-0,174	0,254*	0,179	0,676***	0,662***	0,491***	1

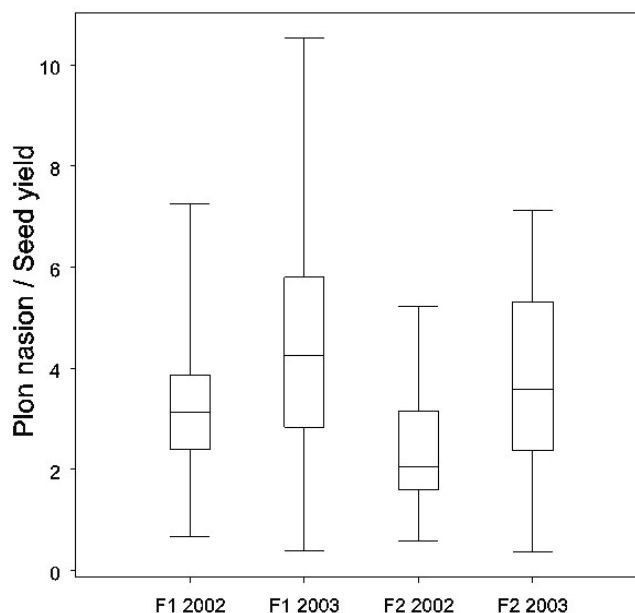
\*, \*\*, \*\*\* Istotne na poziomie 0,05, 0,01, 0,001; Significant at 0,05, 0,01, 0,001 level

ŚSK — średnica szyjki korzeniowej, root collar diameter; WR — wysokość rośliny, plant height; LR — liczba rozgałęzień pierwszego rzędu, number of branches of the first row; WPR — wysokość do pierwszego rozgałęzienia, First branch height; LŁ — liczba łuszczyń z rośliny, number of pods per plant; LN — liczba nasion z rośliny, number of seeds per plant; MN — masa nasion z rośliny, seed weight per plant; MTN — masa 1000 nasion, 1000-seed weight; LNŁ — liczba nasion w łuszczyńce, number of seeds per pod

Współczynniki korelacji pomiędzy powyżej wymienionymi cechami nie były istotne w 2003 roku (tab. 2). Natomiast LNŁ była skorelowana z LŁ w 2003 roku, przy braku istotności tego współczynnika korelacji w pierwszym roku prowadzenia badań (tab. 2). Rozważając mieszańce pokolenia F<sub>2</sub> rzepaku jarego zauważyć należy, iż istotne skorelowanie w 2002 roku przy nieistotnym w 2003 r. zaobserwowano pomiędzy ŚSK i MTN, WR i LNŁ oraz WPR i: LŁ, LN, MN, MTN, LNŁ (tab. 3). Odwrotna tendencja

(istotne współczynniki korelacji w 2003 roku przy braku ich istotności w pierwszym roku badań) wystąpiła między ŚSK i: LŁ, LN, MN; WR i LŁ oraz LR i: LŁ i LN (tab. 3).

W przeprowadzonych doświadczeniach stwierdzono różnice w plonowaniu rzepaku jarego w poszczególnych latach prowadzenia obserwacji (rys. 1, tab. 1). Większą masę nasion z rośliny, zarówno dla pokolenia  $F_1$  jak i  $F_2$ , otrzymano w drugim roku badań (rys. 1).



**Rys. 1.** Wykres pudełkowy poziomu plonowania rzepaku jarego w obu latach obserwacji. Wykres pudełkowy tworzymy odkładając na osi OY wartości niektórych parametrów rozkładu. Dolny bok pudełka jest wyznaczony przez kwartył dolny,  $Q_1$ , zaś górny bok przez kwartył górny,  $Q_3$ . Wysokość pudełka odpowiada więc wartości rozstępu ćwiartkowego. Wewnątrz pudełka znajduje się pozioma linia, określająca wartość mediany. Rysunek pudełka uzupełniony jest z dołu i z góry odcinkami. Koniec dolnego odcinka wyznacza najmniejszą wartość w zbiorze, natomiast koniec górnego odcinka to wartość największa

**Fig. 1.** Boxplot of the yield level of spring oilseed rape in both years of observation. The bottom and top of the box are the 25<sup>th</sup> and 75<sup>th</sup> percentile – the lower and upper quartiles, respectively, and the band near the middle of the box is the 50<sup>th</sup> percentile – the median. The ends of the whiskers represent the minimum and maximum of all the data

W celu określenia znaczenia poszczególnych cech w kształtowaniu się masy nasion z rośliny przeprowadzono analizę liniowej funkcji regresji wielokrotnej z wyznaczeniem standaryzowanych cząstkowych współczynników regresji (tab. 4).

Tabela 4

**Cechy wpływające istotnie statystycznie na masę nasion z rośliny rzepaku jarego**  
**Characteristics significantly affecting the weight of seeds per plants of spring rape**

Pokolenie Generation	F <sub>1</sub>				F <sub>2</sub>			
Rok — Year	2002		2003		2002		2003	
Źródło zmienności Source of variation	d.f.	średni kwadrat mean squares	d.f.	średni kwadrat mean squares	d.f.	średni kwadrat mean squares	d.f.	średni kwadrat mean squares
Model — Model	3	29,81***	3	101,04***	4	16,15***	5	39,65***
Błąd — Residual	60	0,02	60	0,03	59	0,01	58	0,03
Razem — Total	63	1,44	63	4,84	63	1,04	63	3,17
Zmienna Variate		Ocena cząstkowych współczynników regresji (Ocena standaryzowana cząstkowych współczynników regresji) Estimate of partial regression coefficients (Standarized estimation of partial regression coefficients)		Ocena cząstkowych współczynników regresji (Ocena standaryzowana cząstkowych współczynników regresji) Estimate of partial regression coefficients (Standarized estimation of partial regression coefficients)		Ocena cząstkowych współczynników regresji (Ocena standaryzowana cząstkowych współczynników regresji) Estimate of partial regression coefficients (Standarized estimation of partial regression coefficients)		Ocena cząstkowych współczynników regresji (Ocena standaryzowana cząstkowych współczynników regresji) Estimate of partial regression coefficients (Standarized estimation of partial regression coefficients)
Stała regresji Regression constant		-2,449***		-1,758***		-1,418***		-0,840**
Średnica szyjki korzeniowej Rootcollar diameter		ns		ns		ns		0,485* (0,033)
Wysokość rośliny Plant height		ns		ns		ns		ns
Liczba rozgałęzień pierwszego rzędu Number of branches of the first row		ns		ns		ns		-0,095** (-0,052)
Wysokość do pierwszego rozgałęzienia First branch height		ns		ns		ns		ns
Liczba łuszczyń z rośliny Number of pods per plant		ns		ns		-0,0075** (-0,129)		ns
Liczba nasion z rośliny Number of seeds per plant		0,0067*** (0,895)		0,0078*** (0,977)		0,0077*** (0,903)		0,0079*** (0,994)
Masa 1000 nasion 1000 seeds weight		0,442*** (0,191)		0,302*** (0,077)		0,310*** (0,157)		0,181*** (0,067)
Liczba nasion w łuszczyńce Number of seeds per pod		-0,062*** (-0,067)		-0,064* (-0,040)		-0,084*** (-0,116)		-0,068** (-0,056)
Procent wyjaśnianej zmienności (R <sup>2</sup> :100)		98,6		99,4		98,9		99,2
Percentage of variation accounted (R <sup>2</sup> :100)		98,6		99,4		98,9		99,2

\* Istotne na poziomie  $\alpha = 0,05$ ; Significant at  $\alpha = 0.05$  level

\*\* Istotne na poziomie  $\alpha = 0,01$ ; Significant at  $\alpha = 0.01$  level

\*\*\* Istotne na poziomie  $\alpha = 0,001$ ; Significant at  $\alpha = 0.001$  level

d.f. — Liczba stopni swobody; Number of degrees of freedom

ns — Nieistotnie statystycznie; Not significant

W analizie tej, zmienną zależną była masa nasion z rośliny, a zmiennymi przyczynowymi były pozostałe analizowane cechy. Wyniki uzyskane po zastosowaniu analizy funkcji regresji wielokrotnej wskazują, że na masę nasion z rośliny mieszańców rzepaku jarego (*Brassica napus* ssp. *oleifera*) miały, (w obu latach badań dla obu pokoleń —  $F_1$  i  $F_2$ ), wpływ wprost proporcjonalny: liczba nasion z rośliny i masa 1000 nasion oraz odwrotnie proporcjonalny liczba nasion w łuszczyńce (tab. 4). Ponadto na masę nasion z rośliny mieszańców pokolenia  $F_2$  wpływ miała: w 2002 roku liczba łuszczyń z rośliny (dodatni), a w 2003 roku średnica szyjki korzeniowej (dodatni) i liczba rozgałęzień pierwszego rzędu (ujemny) (tab. 4). Ocena standaryzowanych cząstkowych współczynników regresji (tab. 4) pozwoliła na określenie wagi poszczególnych cech w kształtowaniu się masy nasion z rośliny rzepaku jarego. Najważniejszą składową masy nasion z rośliny okazała się liczba nasion z rośliny (standaryzowane cząstkowe współczynniki regresji wynosiły od 0,895 – dla  $F_1$  w 2002 do 0,994 — dla  $F_2$  w 2003). Następne w kolejności ważności były: masa 1000 nasion (od 0,067 do 0,191) i liczba nasion w łuszczyńce (od -0,116 do -0,040). Uzyskane procenty wyjaśnianej zmienności (wyrażone odpowiednimi współczynnikami determinacji,  $R^2$ ) masy nasion z rośliny (od 98,6% dla pokolenia  $F_1$  w 2002 roku do 99,4% dla pokolenia  $F_1$  w 2003 roku) świadczą o przydatności otrzymanych wyników w pracach hodowlanych nad rzepakiem jarym (*Brassica napus* ssp. *oleifera*).

Analiza funkcji regresji wielokrotnej z procedurą eliminacji zmiennych niezależnych wstecz jest metodą użyteczną, stąd jest bardzo często stosowana (Menke i in., 1979; Bocianowski i Krajewski, 2000, 2001, 2003; Kadłubiec i Kuriata, 2004; Krajewski i in., 2004; Bocianowski, 2008; Brzozowska i in., 2008; Dmowski i in., 2008; Singh i Sharma, 2008; Bocianowski i Krajewski, 2009; Mousanejad i in., 2009; Oleksiak, 2009; Bocianowski i in., 2010; Dresler i in., 2010; Szulc i Bocianowski, 2011 a, b; Szulc i in., 2011; Bocianowski, 2012; Krajewski i in., 2012). Analizę funkcji regresji wielokrotnej zastosowano do opisu zależności przyczynowo-skutkowej wybranych zmiennych ilościowych względem masy nasion z rośliny. Oprócz licznych zalet, do których należą m.in. prostota analiz czy łatwość interpretacji wyników, nie należy zapominać o ograniczeniach zastosowanej metody regresji wielokrotnej. Analiza funkcji regresji wielokrotnej zakłada równoczesny wpływ wszystkich zmiennych przyczynowych na zmienną zależną, nie przewiduje natomiast, że poszczególne analizowane zmienne przyczynowe powstawały w różnych momentach rozwoju rośliny, tworząc tzw. łańcuch ontogenetyczny i ich wpływ na kształtowanie się masy nasion z rośliny jest bardziej złożony. Wpływ cech kształtujących się wcześniej w łańcuchu ontogenetycznym można rozdzielić na oddziaływanie bezpośrednie (i to pokazuje analiza funkcji regresji wielokrotnej) oraz oddziaływanie pośrednie poprzez pewien wpływ na cechy kształtujące się później w łańcuchu ontogenetycznym (Kozak, 2007, 2011). W prezentowanych wynikach oddziaływania bezpośrednie były wystarczające do określenia cech istotnie statystycznie wpływających na wielkość masy nasion z rośliny. Drugi problem jaki niesie ze sobą wykorzystanie analizy funkcji regresji wielokrotnej to założenie o niezależności zmiennych przyczynowych. Zastosowana metoda selekcji zmiennych do modelu „wstecz” pozwoliła na wyeliminowanie z modelu zmiennych bezpośrednio ze sobą powiązanych. Nie zawsze jednak jest to wystarczające do wyeliminowania drobniejszych zależności



pomiędzy zmiennymi przyczynowymi. Zastosować można wówczas do modelowania kształtowania się masy nasion z rośliny inne metody, które w większym lub mniejszym stopniu nie posiadają powyższych wad. Do tych alternatywnych metod zaliczyć można m.in.: analizę ścieżek, sekwencyjną analizę plonu, dwukierunkowy podział zmienności plonu i wnioskowanie o związkach przyczynowo-skutkowych dla populacji genotypów (Piepho, 1995; Gołaszewski i in., 1998; Mądry i Kozak, 2000; Kozak i Mądry, 2006; Kozak i in., 2008; Kozak, 2011).

#### WNIOSKI

1. Warunki środowiskowe modyfikowały masę nasion z rośliny mieszańców pokolenia  $F_1$  oraz  $F_2$ .
2. Liczba nasion z rośliny, masa tysiąca nasion i liczba nasion w łuszczyńce kształtowały masę nasion z rośliny mieszańców pokoleń  $F_1$  i  $F_2$  bez względu na warunki środowiskowe.
3. Zastosowanie analizy funkcji regresji wielokrotnej pozwoliło na wskazanie dodatkowych cech mających wpływ na masę nasion z rośliny mieszańców pokolenia  $F_2$ . Były to w zależności od warunków środowiskowych średnica szyjki korzeniowej, liczba rozgałęzień pierwszego rzędu oraz liczba łuszczyń z rośliny.

#### LITERATURA

- Bocianowski J. 2008. Comparison of two methods of estimation of nonallelic interaction of QTL effects on the basis of doubled haploid lines in barley. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 73 (3): 183 — 187.
- Bocianowski J. 2012. Analytical and numerical comparisons of two methods of estimation of additive  $\times$  additive interaction of QTL effects. *Scientia Agricola* 69 (4): 240 — 246.
- Bocianowski J., Krajewski P. 2000. Estymacja efektów genetycznych na podstawie fenotypu i genotypu markerowego. *Colloquium Biometryczne* 30: 270 — 280.
- Bocianowski J., Krajewski P. 2001. Numerical comparison of classical and marker-based methods of QTL effects estimation. In: Gallais A., Dillmann C., Goldringer I. (eds.). *Quantitative genetics and breeding methods: the way ahead, Proceedings of the Eleventh Meeting of the EUCARPIA Section Biometrics in Plant Breeding*. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, France, Les Colloques 96: 35 — 40.
- Bocianowski J., Krajewski P. 2003. Porównanie dwóch metod estymacji efektu addytywnego działania genów na podstawie linii podwojonych haploidów jęczmienia. *Biul. IHAR* 226/227: 41 — 47.
- Bocianowski J., Krajewski P. 2009. Comparison of the genetic additive effect estimators based on phenotypic observations and on molecular marker data. *Euphytica* 165: 113 — 122.
- Bocianowski J., Liersch A., Bartkowiak-Broda I. 2010. Zależność plonu nasion mieszańców  $F_1$  CMS *ogura* rzepaku ozimego (*Brassica napus* L.) od wybranych cech fenotypowych roślin oceniona przy zastosowaniu analizy regresji wielokrotnej. *Rośliny Oleiste — Oilseed Crops XXXI* (2): 373 — 389.
- Brzozowska I., Brzozowski J., Hruszka M. 2008. Plonowanie i struktura plonu pszenicy ozimej w zależności od sposobu pielęgnacji i nawożenia azotem. *Acta Agrophysica* 11 (3): 597 — 611.
- Degenhart D. F., Kondra Z. P. 1984. Relationships between seed yield and growth characters, yield components and seed quality of summer-type oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Euphytica* 33 (3): 885 — 889.
- Dmowski Z., Dzieżyc H., Nowak L. 2008. Ocena wpływu wybranych parametrów opadu i gleby na plonowanie pszenicy jarej w rejonie południowo-zachodniej Polski. *Acta Agrophysica* 11 (3): 613 — 622.
- Dresler S., Bednarek W., Tkaczyk P. 2010. Plonowanie żyta ozimego w zależności od niektórych właściwości gleby i zabiegów agrotechnicznych. *Acta Agrophysica* 15 (1): 83 — 90.

- Fahrmeir L., Tutz G. 1994. Multivariate statistical modeling based on generalized linear models. Second Edition. Springer Verlag, New York: 515.
- GenStat. 2007. GenStat Release 10 Reference Manual. Lawes Agricultural Trust, Rothamsted, UK.
- Gołaszewski J., Idżkowska M., Milewska J. 1998. The TDP method of seed yield component analysis in grain legume breeding. *Journal of Applied Genetics* 39 (4): 299 — 308.
- Jammalamadaka S. R. 2003. Introduction to linear regression analysis. *The American Statistician* 57 (1): 67 — 67.
- Johnson R. A., Wichern D. W. 1998. Applied multivariate statistical analysis. Fourth Edition. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New York: 769.
- Kadłubiec W., Kuriata R. 2004. Wielocechowa analiza kształtowania plonu ziarna linii wsobnych i mieszańców F<sub>1</sub> kukurydzy. *Biul. IHAR* 231: 419 — 424.
- Kleinbaum D. G., Kupper L. L., Nizam A., Muller K. E. 2008. Applied regression analysis and other multivariable methods. Fourth Edition. Thompson Brooks/Cole. Belmont, USA, str. 928.
- Kozak M. 2007. Ontogenetic chain and the Markov condition in crop science. *Nature and Science* 5 (3): 5 — 8.
- Kozak M. 2011. Analiza związków przyczynowo-skutkowych w agronomii i hodowli roślin. *Biul. IHAR* 259: 3 — 21.
- Kozak M., Bocianowski J., Rybiński W. 2008. Selection of promising genotypes based on path and cluster analyses. *Journal of Agricultural Science* 146: 85 — 92.
- Kozak M., Mądry W. 2006. Note on yield component analysis. *Cereal Research Communications* 34 (2–3): 933 — 940.
- Kozdój J., Mańkowski D., Czembor H. J. 2009. Analiza plonu jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) porażonego mączniakiem prawdziwym (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*). *Komunikat. Biul. IHAR* 254: 65 — 74.
- Kozdój J., Mańkowski D., Oleszczuk S. 2010. Analiza potencjału plonotwórczego linii podwojonych haploidów jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) otrzymanych na drodze androgenyzy. *Biul. IHAR* 256: 97 — 103.
- Krajewski P., Bocianowski J., Gawłowska M., Kaczmarek Z., Pniewski T., Święcicki W., Wolko B. 2012. QTL for yield components and protein content: a multienvironment study of two pea (*Pisum sativum* L.) populations. *Euphytica* 183: 323 — 336.
- Krajewski P., Bocianowski J., Kaczmarek Z. 2004. Ocena efektów nieallelicznej interakcji QTL metodę regresji wielokrotnej. W: Krajewski P., Zwierzykowski Z., Kachlicki P. (red.). *Genetyka w ulepszaniu roślin użytkowych. Rozprawy i Monografie 11*, Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu: 275 — 282.
- Marinković R., Marjanović-Jeromela A. 1996. Genotypic and phenotypic correlations of some characters of oilrape (*Brassica napus* L.). *Proc. of the Eucarpia. Symposium on breeding of oil and protein crops*: 127 — 130.
- Marinković R., Marjanović-Jeromela A., Crnobarac J., Lazarević J. 2003. Path-coefficient analysis of yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Rapeseed Congress, Copenhagen, Denmark*: 988 — 991.
- Mądry W., Kozak M. 2000. Analiza ścieżek i sekwencyjna analiza plonu w badaniach zależności plonu od cech ładu. Cz. I. Opis metod. *Roczniki Nauk Rolniczych. Seria A* 115: 143 — 157.
- Menke K. H., Raab L., Salewski A., Steingass H., Fritz D., Schneider W. 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. *Journal of Agricultural Science* 93: 217 — 222.
- Mousanejad S., Alizadeh A., Safaie N. 2009. Effect of weather factors on spore population dynamics of rice blast fungus in guilan province. *Journal of Plant Protection Research* 49 (3): 319 — 329.
- Ogrodowczyk M., Wawrzyniak M. 2004. Adoption and path-coefficient analysis for assessment of relationship and interrelationship of yield and yield parameters of winter oilseed rape. *Rośliny Oleiste — Oilseed Crops* 25 (2): 479 — 491.
- Oleksiak T. 2009. Plony pszenicy ozimej w zależności od jakości stosowanego materiału siewnego. *Biul. IHAR* 251: 83 — 93.

- Ozer H., Oral E., Dogru U. 1999. Relationship between yield and yield components on currently improved spring rapeseed cultivars. *Turk. J. Agric. For.* 23: 603 — 607.
- Piepho H. P. 1995. A simple procedure for yield component analysis. *Euphytica* 84: 43 — 48.
- Rawlings J. O., Pantula S. G., Dickey D. A. 2001. *Applied regression analysis — a research tool*. 2<sup>nd</sup> Edition. New York, USA: Springer Verlag Inc.
- Seber G. A. F., Lee A. J. 2003. *Linear regression analysis*, (2<sup>nd</sup> Ed.). Wiley-InterScience, New York: 557.
- Shapiro S. S., Wilk M. B. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52: 591 — 611.
- Singh M.P., Sharma S.C. 2008. Studies on bio-energetics of draught buffalo. *Technical Sciences* 11: 21 — 34.
- Szulc P., Bocianowski J. 2011 a. Hierarchy of mineral uptake in the creation of generative yield. *Fresenius Environmental Bulletin* 20 (8): 2135 — 2140.
- Szulc P., Bocianowski J. 2011 b. Variability and correlation of grain yield structure components of two different types of maize cultivars (*Zea mays* L.). *Fresenius Environmental Bulletin* 20 (10): 2684 — 2692.
- Szulc P., Bocianowski J., Rybus-Zajac M. 2011. Correlation between traits and their influence on grain yield of „stay-green” maize hybrid (*Zea mays* L.). *Fresenius Environmental Bulletin* 20 (8): 2150 — 2155.

#### PODZIĘKOWANIA

*Autorzy bardzo serdecznie dziękują anonimowemu Recenzentowi, który w istotny sposób przyczynił się do udoskonalenia końcowej wersji tekstu.*