

Jan Bocianowski, Alina Liersch*, Iwona Bartkowiak-Broda*

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych

* Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Poznaniu

Zależność plonu nasion mieszańców F₁ CMS *ogura* rzepaku ozimego (*Brassica napus* L.) od wybranych cech fenotypowych roślin oceniona przy zastosowaniu analizy regresji wielokrotnej

Relationship of seed yield of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) F₁ CMS *ogura* hybrids on selected phenotypic traits of plants evaluated with the use of multiple regression analysis

Słowa kluczowe: rzepak ozimy (*Brassica napus* L.), plon nasion, cechy fenotypowe, regresja wielokrotna

Dla oceny cech fenotypowych mieszańców F₁ i ich form rodzicielskich założono doświadczenia polowe metodą bloków losowanych kompletnych, w czterech powtórzeniach. Każdy mieszaniec i jego formy rodzicielskie zostały ocenione w czterech środowiskach, tj. w dwóch sezonach wegetacyjnych (2002/2003 i 2003/2004) i w dwóch miejscowościach: Borowo i Zielęcín.

W każdym sezonie wegetacyjnym przeprowadzono następujące pomiary i obserwacje: początek i koniec stadium kwitnienia oraz długość tego okresu, elementy struktury plonu: długość łuszczyn, liczba nasion w łuszczynie oraz masa 1000 nasion, a po zbiorze plon nasion z całych poletek.

Wyniki analizowano statystycznie za pomocą analizy regresji wielokrotnej, przy użyciu pakietu statystycznego GenStat v. 7.1 (Payne i in. 2003). Otrzymane wyniki wskazują, że na plon badanych mieszańców, w rozpatrywanych czterech środowiskach, w sposób istotny wpływała długość łuszczyn i krótszy okres kwitnienia.

Key words: oilseed rape (*Brassica napus* L.), seed yield, phenotypic traits, multiple regression analysis

The knowledge of variability and correlation of essential phenotypic traits is an essential question in plants breeding. They make the determination of the criterions of genotypes selection with high yielding potential possible.

Seed yield is a quantitative trait conditioned by many various factors both genetic and environmental. The correlation analysis as well as the analysis of regression (simple and multiple) are those statistical methods which are usually applied in investigation of the inter trial relationship.

The aim of this paper was estimation of phenotypic traits of winter oilseed rape F₁ CMS *ogura* hybrids and their parental forms influencing on the yield of seeds. Each of the field trials was carried out in a randomized complete block design with four replications. All hybrids and their parental forms were evaluated in four environments: in two growing seasons (2002/2003 and 2003/2004) and in two locations: Borowo and Zielęcín.

In both vegetative seasons the following traits were observed: date of the beginning and of the end of flowering, length of flowering, elements of the yield structure: length of pod, number of seeds per pod, 1000 seeds weight, and after harvest: seed yield.

The results of the experiments were analysed by multiple regression analysis using statistical package GenStat v. 7.1 (Payne et al. 2003). Obtained results show, that in examined genotypes in investigated four environments the short flowering period and length of pods influenced seed yield.

Wstęp

W hodowli roślin istotnym zagadnieniem jest poznanie zmienności i współzależności podstawowych cech morfologicznych i użytkowych rośliny dla wyznaczenia kryteriów selekcji genotypów o wysokiej potencjalnej plenności, wynikającej między innymi z odpowiedniej relacji tych cech.

Plon roślin rzepaku z jednostki powierzchni jest cechą ilościową, warunkowaną przez wiele różnorodnych czynników, zarówno genetycznych jak i środowiskowych — warunki agrometeorologiczne, struktura i zasobność gleby (Ogrodowczyk i in. 2003, Liersch i in. 2004, Seyis i in. 2006, Wielebski 2006). Odnośnie uwarunkowań genetycznych ważna jest zdolność plonotwórcza, o której decyduje wiele cech oraz odporność na stresy biotyczne i abiotyczne.

W badaniach współzależności cech stosuje się odpowiednie metody statystyczne, z których większość oparta jest na analizie korelacji oraz regresji prostej i wielokrotnej (Fahrmeir i Tutz 1994, Johnson i Wichern 1998, Jammalamadaka 2003).

Elementy populacji biologicznej można najczęściej scharakteryzować wieloma cechami. Cechy te mogą być wzajemnie zależne. Istotne jest więc określenie siły tej zależności oraz jej wykorzystanie do predykcji wartości jednej cechy na podstawie szeregu innych. Selekcja oparta na pomiarach dotyczących tylko jednej cechy jest zazwyczaj niepełna i wybór tylko na jej podstawie może być niewłaściwy (Bocianowski i in. 2001, Kozak i in. 2008). Istnieją inne cechy mniej lub bardziej istotne, które wpływają na zmienną zależną. W hodowli wybiera się kilka lub kilkanaście (rzadko kilkadziesiąt) cech, przy pomocy których opisuje się pojedynki i wybiera najlepsze (Ćwiklińska i in. 2009, Bocianowski i Brukwiński 2010). W niektórych przypadkach najważniejszą trudność sprawia hodowcy właśnie wybór cech, które w najlepszy sposób charakteryzowałyby własności genotypu. Przy rozwiązaniu tych zagadnień pomocne może być zastosowanie regresji wielokrotnej (Elandt 1964, Żuk 1989). Moc oraz kierunek zależności wyraża się poprzez cząstkowe współczynniki regresji b_j . Współczynniki te określają o ile przeciętnie zmieni się wartość zmiennej zależnej, gdy wartość j -tej zmiennej niezależnej zmieni się o jedną jednostkę, przy ustalonych wartościach pozostałych zmiennych niezależnych (Elandt 1964, s. 439). Łączna zmiana zmiennej objaśnianej, wynikająca ze zmiany wszystkich zmiennych objaśniających, nie jest zwykłą sumą wynikającą ze zmian poszczególnych zmiennych niezależnych traktowanych niezależnie od siebie. Oznacza to, że za cząstkowe współczynniki regresji nie można

przyjmować zwykłych współczynników regresji oszacowanych dla poszczególnych par: zmienna zależna — j -ta zmienna niezależna. Częstkowe współczynniki regresji b_j muszą być określone z uwzględnieniem zależności między wszystkimi zmiennymi (Żuk 1989). Podejście takie sprawia, że metoda zależności oparta na modelu regresji wielokrotnej 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, Dresler i in. 2010).

Celem pracy było pokazanie możliwości zastosowania analizy regresji wielokrotnej w badaniu zależności pomiędzy poszczególnymi cechami rzepaku ozimego. W pracy wykorzystano dane otrzymane w wyniku badań plonu nasion mieszańców F₁ rzepaku ozimego utworzonych w oparciu o system CMS *ogura*.

Material i metody

Cechy biometryczne dwudziestu jeden obiektów: ośmiu mieszańców F₁ (Kaszub F₁, Lubusz F₁, Mazur F₁, Pomorzanin F₁, PN 4534, PN 4556, PN 4538, PN 4540) i 13 ich form rodzicielskich (Bor zap 1, Bor zap 2, Bor zap 3, Bor zap 4, PN 2850, PN 4533, PN 4555, PN 9288, PN 4537, PN 4539, PN 9294, PN 2824, Samuraj ISL) oceniono w doświadczeniach polowych założonych w układzie bloków losowanych kompletnych, w czterech powtórzeniach. Każdy mieszaniec i jego formy rodzicielskie badano w czterech środowiskach, tj. w dwóch sezonach wegetacyjnych (2002/2003 i 2003/2004) i w dwóch miejscowościach (Borowo i Zieleńcin). Warunki meteorologiczne dla obu miejscowości podano w tabeli 1.

W sezonie wegetacyjnym przeprowadzono następujące pomiary i obserwacje: data początku, końca i długość okresu kwitnienia, elementy struktury plonu: długość łuszczyń, liczba nasion w łuszczyńce oraz masa 1000 nasion, a po zbiorze plon nasion z całych poletek oraz zawartość tłuszczu w nasionach. Szczegółowy opis materiału i metodyki przedstawiono we wcześniejszej pracy (Bocianowski i in. 2009).

Otrzymane wyniki analizowano statystycznie za pomocą analizy regresji wielokrotnej (Kleinbaum i in. 2008, Kała 2009). Zastosowano krokową selekcję wstecz. W pierwszej kolejności oszacowano model zawierający wszystkie zmienne objaśniające (niezależne). Następnie określono wartości bezwzględnych statystyk t -Studenta dla każdej z nich i wyłoniono zmienną o najniższej wartości. Kolejnym etapem było porównanie wartości statystyki z wartością krytyczną przy założonym poziomie istotności i odpowiedniej liczbie stopni swobody. Jeżeli wartość statystyki dla wyłonionej zmiennej nie była większa od wartości krytycznej, to zmienną tę usuwano i ponownie szacowano model. Jeżeli wartość statystyki była większa od wartości krytycznej, to zbiór zmiennych objaśniających należało przyjąć.

Tabela 1
 Warunki meteorologiczne w okresie wegetacji rzepaku w Borowie i Zielęcinie w latach 2002/2003–2003/2004 na tle wielolecia
Meteorological conditions during vegetation period of winter rapeseed in Borowo and Zielęcin (2002/03–2003/04) as compare to multi-year data

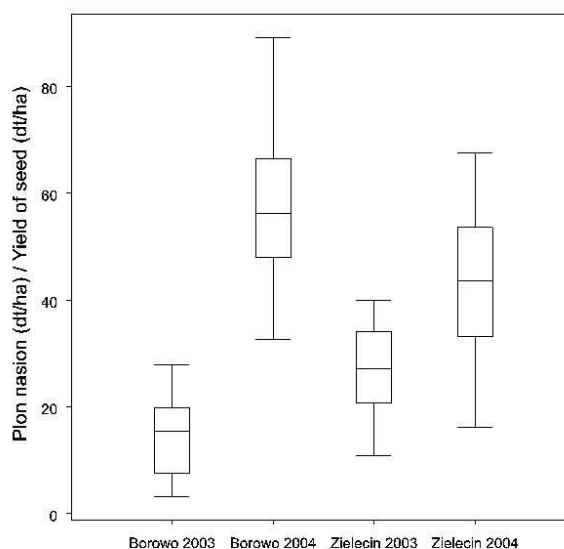
Okres wegetacji <i>Vegetation period</i>	Temperatura — <i>Temperature</i> [°C]			Opady — <i>Precipitation</i> [mm]		
	odchylenie od średniej wieloletniej <i>deviation from the long-term mean</i> [%]		średnia <i>mean</i> 1957–2004 [°C]	odchylenie od średniej wieloletniej <i>deviation from the long-term mean</i> [%]		średnia <i>mean</i> 1957–2004 [mm]
	2002/2003	2003/2004	2002/2003	2003/2004	2002/2003	2003/2004
	Borowo					
Jesiennej — <i>Autumn IX–XI</i>	-0,5	-0,7	9,0	72,3	-22,2	114,6
Spoczynku zimowego <i>Winter XII–III</i>	-1,5	0,6	0,2	-44,4	27,6	128,9
Wiosennej — <i>Spring IV–VII</i>	0,7	-1,3	13,7	-46,8	9,2	147,1
Wiosennej wg Klatta* <i>Spring acc. to Klatt IV–VII</i>	2,0	0,1	13,8	-27,5	-8,8	225,0
	Zielęcin					
Jesiennej — <i>Autumn IX–XI</i>	0,1	0,2	8,8	49,8	-40,6	126,7
Spoczynku zimowego <i>Winter XII–III</i>	-1,5	0,9	0,8	-37,6	-4,5	152,1
Wiosennej — <i>Spring IV–VII</i>	2,2	0,8	14,6	-12,6	-26,7	247,6
Wiosennej wg Klatta* <i>Spring acc. to Klatt IV–VII</i>	3,0	1,6	13,8	-10,3	-19,3	225,0

* odchylenie od wartości optymalnych wg Klatta za Dembińskim (1983) — *deviation from optimal value acc. to Klatt by Dembiński (1983)*

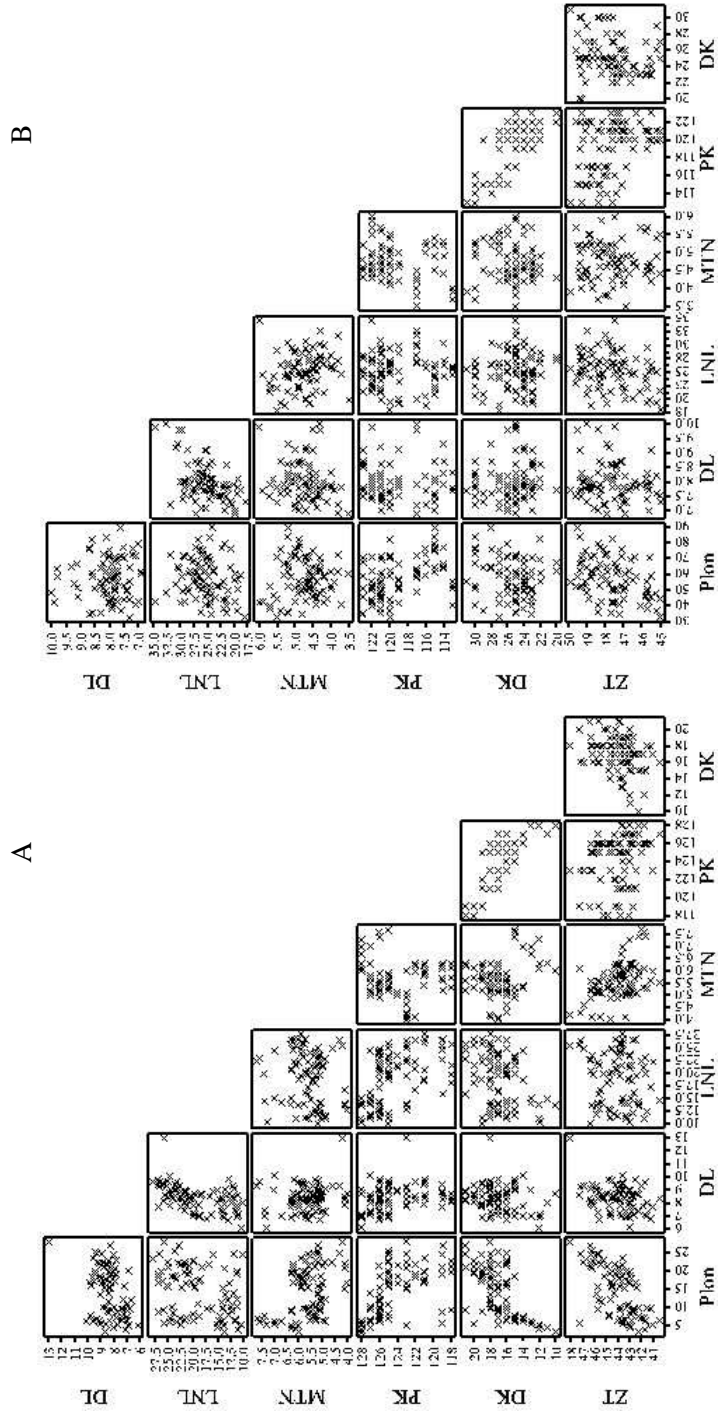
Współzależność pomiędzy cechami przedstawiono w postaci wykresów rozrzutu (Kozak i in. 2010). Wszystkie obliczenia w zakresie analizy danych wykonano przy użyciu pakietu statystycznego GenStat v. 7.1 (Payne i in. 2003).

Wyniki

Układ głównych parametrów pogody w okresie prowadzenia doświadczeń był bardzo zróżnicowany (tab. 1). W sezonie wegetacyjnym 2002/2003 w Zielęcinie i w Borowie warunki meteorologiczne nie sprzyjały prawidłowej wegetacji rzepaku. Wiosną wysokiej temperaturze towarzyszył bardzo duży niedobór opadów. Natomiast wyjątkowo korzystne dla wiosennego rozwoju rzepaku warunki pogodowe wystąpiły w roku 2004 (tab. 1). Świadczą o tym wysokie plony otrzymane zarówno w Borowie jak i w Zielęcinie (rys. 1). Zróżnicowane warunki pogodowe wpłynęły nie tylko na plon, ale także na układ zależności pomiędzy poszczególnymi cechami determinującymi plon (rys. 2). Różny rodzaj współzależności pomiędzy cechami obserwowanymi w doświadczeniach przeprowadzonych w Borowie w 2003 i 2004 roku był szczególnie widoczny pomiędzy długością łuszczyń a pozostałymi cechami oraz między plonem nasion a długością kwitnienia, zawartością tłuszczu, masą tysiąca nasion i długością łuszczyń, jak również między masą 1000 nasion a zawartością tłuszczu (rys. 2A i 2B). Podobną istotną statystycznie korelację obserwowano w Borowie w 2003 i w Borowie w 2004 roku między początkiem



Rys. 1. Boxplot poziomu plonowania w rozważanych środowiskach — *Boxplot of the yield level in four environments*



Plon — plon nasion — seed yield
 DL — długość łuszczyń — length of pod
 LNL — liczba nasion w łuszczyńce — number of seeds per pod
 MTN — masa 1000 nasion — 1000 seeds weight
 PK — początek kwitnienia — beginning of flowering
 DK — zawartość tłuszczu — oil content

Rys. 2. Zależności pomiędzy wybranymi cechami obserwowanymi w: A — Borowie w 2003 r. i B — Borowie w 2004 r.
 Relationships between the selected traits observed in: A — Borowo 2003 and B — Borowo 2004

kwitnienia a długością kwitnienia (rys. 2A i 2B). Natomiast pomiędzy pozostałymi parami cech można zaobserwować podobny w obu środowiskach brak współzależności statystycznej. Jest on szczególnie widoczny dla początku kwitnienia i zawartości tłuszczu oraz pomiędzy masą 1000 nasion a początkiem kwitnienia (rys. 2A i 2B). W przeprowadzonych doświadczeniach stwierdzono znaczne różnice w plonowaniu rzepaku ozimego w poszczególnych środowiskach (rys. 1). Szczególnie niski plon otrzymano w doświadczeniu przeprowadzonym w Borowie w 2003 roku.

Uzyskane wyniki analizy regresji wielokrotnej wskazują, że badane cechy biometryczne wpływały na plon nasion rzepaku ozimego w rozpatrywanych czterech środowiskach w różnym stopniu. W tabeli 2 podano wyniki analizy wariancji uwzględniającej kompletny model regresji wielokrotnej, z wszystkimi współczynnikami regresji oraz współczynnikami determinacji R². Pełne podanie tych wyników dla każdego z czterech doświadczeń jest ważne dla celów porównawczych. Analizy te zostały uzupełnione analizami uwzględniającymi selekcję zmiennych przeprowadzoną procedurą krokową wstecz (tab. 3).

Spośród badanych cech największy, istotnie statystyczny, wpływ na wysokość uzyskanego plonu w trzech środowiskach (poza Zielęcinem w 2004 roku) miała długość łuszczyń. W dwóch środowiskach (Borowo 2004 i Zielęcin 2003) istotna była wczesność kwitnienia. Długość kwitnienia w bardzo różnym stopniu wpływała na wielkość plonu w zależności od warunków środowiskowych, najkorzystniej w Borowie w 2003 roku. Liczba nasion w łuszczyńce i masa 1000 nasion miały istotny, dodatni wpływ na plon w korzystnym odnośnie warunków pogodowych roku 2004, kiedy w obu środowiskach otrzymano najwyższe plony. Zmienność plonu w poszczególnych środowiskach jest w zróżnicowanym stopniu uzależniona od zmienności badanych cech fenotypowych. Zależność ta była większa w obu miejscowościach w roku 2003, kiedy uzyskano niższe plony (rys. 1) niż w roku 2004, w którym uzyskano wyższe plony. Procent wyjaśnianej zmienności plonu przy pomocy analizy regresji wielokrotnej wahał się od 6,8 do 49,2%.

Procent zmienności plonu nasion wyjaśnianej przez poszczególne cechy wynosił od 6,8% (dla doświadczenia przeprowadzonego w 2004 roku w Zielęcinie) do 49,2% (Borowo 2003 rok) (tab. 3). Są to wartości zróżnicowane (szczególnie dla doświadczenia przeprowadzonego w Borowie w 2003 roku) i potwierdzają, że plon jest cechą ilościową warunkowaną różnymi czynnikami. Godne uwagi są wyniki uzyskane z zastosowaniem krokowej selekcji zmiennych niezależnych dla doświadczenia przeprowadzonego w Zielęcinie w 2004 roku. Zastosowana procedura wyboru zmiennych pozwoliła na wskazanie dwóch cech (liczba nasion w łuszczyńce i masa tysiąca nasion) statystycznie istotnie wpływających na plon nasion rzepaku ozimego, gdy w kompletnym modelu regresji wielokrotnej istotności tej nie odnotowano (tabele 2 i 3).

Tabela 2

Model regresyjny cech wpływających na plonowanie rzepaku ozimego w czterech badanych środowiskach
Regression model of traits influencing on the yield of winter oilseed rape in the four environments

Miejscowość — Location	Borowo				Zielęcin			
	2003		2004		2003		2004	
Rok — Year	d.f.	średni kwadrat mean squares	d.f.	średni kwadrat mean squares	d.f.	średni kwadrat mean squares	d.f.	średni kwadrat mean squares
Źródło zmienności Source of variation								
Regresja — Regression	5	422,49***	5	929,3***	5	205,09**	5	298,7
Błąd — Residual	78	22,62	78	115,1	78	52,57	78	140,0
Razem — Total	83	46,71	83	164,1	83	61,75	83	149,6
Zmienna — Variate	ocena parametru — estimates of parameters							
Stała regresji — Constant		63,60		554,00**		134,70		201,00
Długość łuszczyń — Length of pod		1,59*		-6,56**		5,25**		0,11
Początek kwitnienia Beginning of flowering		-0,53		-3,78***		-1,20*		-1,52
Długość kwitnienia Length of flowering		0,99**		-2,48**		0,03		-0,63
Liczba nasion w łuszczyńce Number of seeds per pod		0,02		1,36**		-0,46		0,89
Masa 1000 nasion 1000 seeds weight		-2,54**		7,13*		2,02		2,72
Procent wyjaśnianej zmienności R ² Percentage variation accounted R ²		51,6		29,9		14,9		6,4

* 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

Tabela 3

Cechy wpływające w statystycznie istotny sposób na plonowanie rzepaku ozimego w czterech badanych środowiskach
Traits influencing on the yield of winter oilseed rape in the four environments

Miejscowość — Location	Borowo				Zielęcin			
	Rok — Year		2004		2003		2004	
	d.f.	średni kwadrat mean squares	d.f.	średni kwadrat mean squares	d.f.	średni kwadrat mean squares	d.f.	średni kwadrat mean squares
Źródło zmienności <i>Source of variation</i>								
Regresja — Regression	3	6347,85***	5	929,3***	2	462,51***	2	79155,9***
Błąd — Residual	81	23,74	78	115,1	81	51,86	82	139,4
Razem — Total	84	249,6	83	164,1	83	61,75	84	2020,8
Zmienna — Variate	ocena parametru — estimates of parameters							
Stała regresji — Constant		ns		554,00**		168,9**		ns
Długość łuszczyń — Length of pod		1,35**		-6,56**		3,22***		ns
Początek kwitnienia <i>Beginning of flowering</i>		ns		-3,78***		-1,35**		ns
Długość kwitnienia <i>Length of flowering</i>		1,23***		-2,48**		ns		ns
Liczba nasion w łuszczyńce <i>Number of seeds per pod</i>		ns		1,36**		ns		0,93**
Masa 1000 nasion <i>1000 seeds weight</i>		-3,18***		7,13*		ns		4,12***
Procent wyjaśnianej zmienności R ² <i>Percentage variation accounted R²</i>		49,2		29,9		16,0		6,8

* 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

ns — nieistotne statystycznie — not significant

d.f. — liczba stopni swobody — number of degrees of freedom

Przeprowadzona analiza wariancji dla wszystkich doświadczeń łącznie wykazała zależność ekspresji badanych cech od genotypu i środowiska, ale tylko w przypadku cechy długości łuszczyń nie stwierdzono interakcji genotypu ze środowiskiem (tab. 4).

Po wyeliminowaniu zmienności lat i miejscowości oraz interakcji lata \times miejscowości obliczono poprawione średnie genotypowe (tab. 5).

Tabela 4

Średnie kwadraty z analizy wariancji dla badanych cech
Mean squares from analysis of variance for investigated traits

Źródło zmienności <i>Source of variation</i>	Genotyp (G) <i>Genotype (G)</i>	Środowisko (Ś) <i>Environment (E)</i>	G \times Ś <i>G \times E</i>	Błąd <i>Residual</i>
Stopnie swobody <i>Degrees of freedom</i>	20	3	60	252
Plon nasion — <i>Seed yield</i>	1059,74***	22761,72***	425,34***	34,18
Długość łuszczyń <i>Length of pods</i>	4,26***	6,53***	0,54	0,44
Liczba nasion w łuszczyńce <i>Number of seeds per pod</i>	72,2***	385,61***	44,42***	8,42
Masa 1000 nasion <i>1000 seeds weight</i>	2,23***	11,17***	1,01***	0,06
Początek kwitnienia <i>Beginning of flowering</i>	57,37***	342,20***	17,13***	0,41
Długość kwitnienia <i>Length of flowering</i>	15,83***	1363,29***	31,19***	1,22

*** istotne na poziomie $\alpha=0,001$ — *significant at $\alpha=0.001$ level*

Tabela 5

Wartości średnie z wszystkich doświadczeń — *Mean values for all trials*

Genotyp <i>Genotype</i>	Plon nasion <i>Seed yield</i>	Długość łuszczyń <i>Length of pods</i>	Początek kwitnienia <i>Beginning of flowering</i>	Długość kwitnienia <i>Length of flowering</i>	Liczba nasion w łuszczyńce <i>Number of seeds per pod</i>	Masa 1000 nasion <i>1000 seeds weight</i>
Bor zap 1	36,23	8,206	121,8	17,75	19,51	5,194
Bor zap 2	40,03	9,675	120,9	19,00	27,31	4,612
Bor zap 3	45,38	8,862	121,7	17,88	24,43	5,063
Bor zap 4	39,12	7,581	121,1	18,81	22,26	4,450
Kaszub F ₁	44,55	8,056	118,4	20,31	22,94	5,437
Lubusz F ₁	45,62	7,669	120,0	19,69	20,14	5,188
Mazur F ₁	42,44	7,944	119,1	19,56	21,82	5,719
PN 2850	31,19	8,200	123,9	17,94	20,45	5,263
PN 4533	35,96	7,450	124,8	17,38	21,12	5,188
PN 4534	43,51	7,988	122,6	19,50	21,43	5,331

ciąg dalszy tabeli 5

PN 4555	32,82	8,037	124,1	18,13	20,46	5,119
PN 4556	35,30	7,806	123,7	18,31	20,03	5,131
PN 9288	24,14	7,994	124,1	17,19	20,84	5,500
PN 4537	25,42	7,388	122,9	17,75	23,93	5,125
PN 4538	35,16	8,106	123,1	18,38	24,10	5,337
PN 4539	25,14	7,731	122,5	18,56	21,82	5,237
PN 4540	40,42	8,319	122,6	18,25	24,59	5,438
PN 9294	23,69	7,487	123,6	17,31	18,36	5,694
PN 2824	22,38	7,663	122,6	18,69	19,66	6,181
Pomorzanie F ₁	46,79	7,900	119,4	19,63	21,29	5,700
Samuraj ISL	27,16	7,650	119,1	20,75	22,81	5,044

Na poprawionych średnich genotypowych przeprowadzono analizę regresji wielokrotnej. Wyniki analizy wariancji uwzględniającej kompletny model regresji wielokrotnej ze wszystkimi współczynnikami regresji przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6

Model regresyjny cech wpływających na plonowanie rzepaku ozimego; dla całego doświadczenia po usunięciu zmienności lat i miejscowości oraz interakcji lata × miejscowości — *Regression model of traits influencing on the yield of winter oilseed rape; without variation of years, locations and interaction years × locations*

Analiza wariancji — <i>Analysis of variance</i>		
Źródło zmienności — <i>Source of variation</i>	d.f.	średni kwadrat — <i>mean squares</i>
Regresja — <i>Regression</i>	5	104,94
Błąd — <i>Residual</i>	15	53,33
Razem — <i>Total</i>	20	66,23
Zmienna — <i>Variate</i>	ocena parametru <i>estimates of parameters</i>	
Stała regresji — <i>Constant</i>	233,00	
Początek kwitnienia — <i>Beginning of flowering</i>	5,74	
Długość kwitnienia — <i>Length of flowering</i>	-1,86	
Długość łuszczyń — <i>Length of pods</i>	0,65	
Liczba nasion w łuszczyńce — <i>Number of seeds per pod</i>	-0,49	
Masa 1000 nasion — <i>1000 seeds weight</i>	-3,47	
Procent wyjaśnianej zmienności R ² <i>Percentage variation accounted R²</i>	19,5	

d.f. — liczba stopni swobody — *number of degrees of freedom*

Analizy te zostały uzupełnione analizami uwzględniającymi selekcję zmiennych przeprowadzoną procedurą krokową wstecz opisaną w metodyce (tab. 7). Uzyskane wyniki wskazują na istotny wpływ długości łuszczyń i długości kwitnienia na plon nasion. Zmienność plonu nasion rzepaku można w 47,4% wytłumaczyć zmiennością tych cech niezależnych, co wskazuje na przydatność otrzymanych wyników w pracach hodowlanych. Selekcja krokowa wstecz umożliwiła wytypowanie cech (długość kwitnienia i długość łuszczyń), których istotność w pełnym modelu regresyjnym nie była zauważalna (tabele 6 i 7).

Tabela 7
Cechy wpływające w statystycznie istotny sposób na plonowanie rzepaku ozimego; dla całego doświadczenia po usunięciu zmienności lat i miejscowości oraz interakcji lata \times miejscowości
Traits influencing on the yield of winter oilseed rape; without variation of years, locations and interaction years \times locations

Analiza wariancji — <i>Analysis of variance</i>		
Źródło zmienności — <i>Source of variation</i>	d.f.	średni kwadrat — <i>mean squares</i>
Regresja — <i>Regression</i>	2	247,20*
Błąd — <i>Residual</i>	18	46,13
Razem — <i>Total</i>	20	66,23
Zmienna — <i>Variate</i>	ocena parametru <i>estimates of parameters</i>	
Stała regresji — <i>Constant</i>	241,0*	
Początek kwitnienia — <i>Beginning of flowering</i>	ns	
Długość kwitnienia — <i>Length of flowering</i>	-2,054*	
Długość łuszczyń — <i>Length of pods</i>	8,48**	
Liczba nasion w łuszczyńce — <i>Number of seeds per pod</i>	ns	
Masa 1000 nasion — <i>1000 seeds weight</i>	ns	
Procent wyjaśnianej zmienności R^2 <i>Percentage variation accounted R^2</i>	47,4	

* istotne na poziomie $\alpha=0,05$ — *significant at $\alpha=0.05$ level*

** istotne na poziomie $\alpha=0,01$ — *significant at $\alpha=0.01$ level*

d.f. — liczba stopni swobody — *number of degrees of freedom*

ns — nieistotne statystycznie — *not significant*

Dyskusja

Wcześniej przeprowadzone doświadczenia wskazują, że plon nasion mieszańców F₁ oraz wartości cech biometrycznych i biochemicznych są w sposób istotny uzależnione od genotypów oraz warunków środowiskowych, jak również od interakcji genotypu ze środowiskiem (Liersch i in. 2000, Ogrodowczyk i in. 2000, Ogrodowczyk i in. 2003, Liersch i in. 2004, Seyis i in. 2006, Wielebski 2006 i 2007). Zależność plonu nasion od interakcji warunków środowiskowych, poziomu nawożenia azotowego, a także interakcji warunków środowiskowych i odmiany wykazał Wójtowicz (2004) badając w doświadczeniu trzyletnim (2001–2003) wpływ nawożenia azotowego i warunków środowiskowych na cechy biologiczne i użytkowe dwóch odmian mieszańcowych złożonych rzepaku ozimego. Wyniki badań z mieszańcami podwójnie ulepszanego rzepaku ozimego potwierdziły także, że zachodzi istotna interakcja genotypowo-środowiskowa (Krzymański i in. 1983). Natomiast Muśnicki (1989) podkreśla bardzo duży udział warunków siedliskowych w kształtowaniu plonu nasion. Wykazał on, że czynniki agrotechniczne zmieniały wielkość plonu zaledwie w 18%, podczas gdy przebieg pogody i jakość gleby — aż w 80%. Również Kotecki i in. (2004) podkreślają, że wartości liczbowe cech morfologicznych rzepaku ozimego badanego w doświadczeniach polowych w latach 2001–2003 były przede wszystkim uzależnione od przebiegu pogody w latach badań i właściwości genetycznych badanych odmian, co potwierdzają wyniki doświadczeń przeprowadzonych w tym samym okresie przez Wielebskiego (2005, 2006) i Wójtowicza (2005). Autorzy podkreślają, że w przeprowadzonych doświadczeniach polowych w latach 2001–2004 najgorsze warunki pogodowe wystąpiły w 2003 roku, a najlepsze odnotowano w 2004 roku. Ponadto stwierdzili, że wystąpiło bardzo duże zróżnicowanie w plonowaniu badanych odmian rzepaku ozimego w latach badań, na co miały wpływ przede wszystkim warunki klimatyczne. Wielebski (2005) wykazał, że najniższe plony dla odmian populacyjnych i mieszańcowych otrzymano w latach 2002 i 2003, kiedy wystąpiły niekorzystne warunki pogodowe. Natomiast najlepiej rzepak ozimy plonował w roku 2004, co było związane z wyjątkowo korzystnymi parametrami wilgotnościowo-termicznymi, zapewniającymi dobre wiązanie łuszczyń i nasion w łuszczyńce.

Uzyskany w prezentowanych badaniach procent zmienności plonu wyjaśniany przez zmienność zmiennych niezależnych wynoszący od 6,8 do 49,2% świadczy o bardzo dużym wpływie środowiska na wartości rozważanych cech ilościowych. Także inni autorzy w wyniku przeprowadzonych badań na różnym materiale stwierdzili zróżnicowany, zależny od środowiska wpływ na wielkość tworzonego plonu nasion poszczególnych cech fenotypowych rzepaku. Muśnicki i Muśnicka (1985) badając tradycyjne i podwójnie ulepszone odmiany rzepaku wykazali silny wpływ przebiegu pogody na kształtowanie się plonu i jego struktury u odmian podwójnie ulepszonych. Spasibonek i Ogrodowczyk (1994) badając 108 rodów

w 8 środowiskach, uzyskali istotną dodatnią korelację plonu nasion z początkiem i końcem kwitnienia, a jej brak z długością okresu kwitnienia. Natomiast w badaniach różnych typów odmian mieszańcowych rzepaku ozimego Liersch i in. (2000) otrzymali istotną dodatnią korelację plonu nasion z długością okresu kwitnienia, a ujemną z jego początkiem. Badania przeprowadzone przez Wielebskiego (2005) jak również Muśnickiego (1979) wskazują na duży wpływ masy 1000 nasion na kształtowanie plonu odmian populacyjnych, a także mieszańcowych rzepaku. Wójtowicz i Muśnicki (2001) wykazali silniejsze oddziaływanie na plon masy 1000 nasion w warunkach przedłużającej się suszy wiosennej takiej, jaką zaobserwowano w przeprowadzonych doświadczeniach polowych w 2003 roku w Borowie i Zielęcinie. Wielu autorów uważa, że wyższy plon odmian mieszańcowych w stosunku do odmian populacyjnych jest wynikiem tworzenia się większej liczby łuszczyń lub nasion o większej masie 1000 nasion (Wójtowicz i Wielebski 1999, Wałkowski i in. 2002). Odmienny wynik — wysoce ujemny wpływ masy 1000 nasion na wielkość plonu nasion rodów rzepaku otrzymali Kudła i Biliński (1997).

Ogrodowczyk i in. (2003) w badaniach zależności plonu nasion od cech biometrycznych u odmian mieszańcowych i populacyjnych rzepaku ozimego udokumentowali istotną zależność wielkości plonu nasion od długości okresu kwitnienia, jak również stwierdzili istotność efektu bezpośredniego początku kwitnienia mimo braku korelacji tej cechy z uzyskanym plonem nasion. Badania Wielebskiego (2005) wykazały, że plonowanie mieszańców w największym stopniu było kształtowane przez liczbę nasion w łuszczyńce oraz obsadę roślin na jednostce powierzchni.

Wnioski

1. Spośród badanych cech biometrycznych największy wpływ na kształtowanie plonu miały długość łuszczyń oraz długość okresu kwitnienia.
2. Warunki środowiskowe, a szczególnie meteorologiczne, silnie modyfikowały zmienność plonu i jego składowe. W niekorzystnych warunkach pogodowych wartości elementów struktury plonu nie wpływały na jego wielkość.
3. Zastosowanie analizy regresji wielokrotnej pozwoliło na wskazanie cech nieskorelowanych z plonem nasion, a wpływających na jego wartość wraz z innymi cechami traktowanymi łącznie.

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., Brukwiński W. 2010. Analiza jednopowtórzeniowego doświadczenia hodowlanego z mieszańcami żyta (*Secale cereale* L.). *Biuletyn IHAR*, 255: 37-45.
- 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. *Biuletyn 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., Leśniewska-Bocianowska A., Zwierzykowski Z. 2001. Metoda wyboru obiektów na podstawie współczynników zmienności. *Colloquium Biometryczne*, 31: 63-68.
- Bocianowski J., Liersch A., Bartkowiak-Broda I. 2009. Badanie zmienności fenotypowej mieszańców F₁ CMS *ogura* rzepaku ozimego i ich form rodzicielskich za pomocą statystycznych metod wielowymiarowych. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXX (2): 161-184.
- 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.
- Ćwiklińska A., Broda Z., Bocianowski J. 2009. Analiza porównawcza cech dzikich gatunków rodzaju *Secale* L. w celu poszerzenia zmienności genetycznej przydatnej w hodowli. *Biuletyn IHAR*, 252: 119-137.
- Dembiński F. 1983. Jak uprawiać rzepak i rzepik. *PWRiL*, 27.
- 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.
- Elandt R. 1964. *Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczalnictwa rolniczego*. PWN, Warszawa, str. 595.
- Fahrmeir L., Tutz G. 1994. *Multivariate statistical modeling based on generalized linear models*. Second Edition. Springer-Verlag, New York, 515.
- 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 F₁ kukurydzy. *Biuletyn IHAR*, 231: 419-424.

- Kala R. 2009. Statystyka dla przyrodników. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.
- 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: 928.
- Kotecki A., Kozak M., Malarz W. 2004. Wpływ zróżnicowanego poziomu agrotechniki na rozwój i plonowanie odmian rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXV (1): 97-107.
- Kozak M., Bocianowski J., Rybiński W. 2008. Selection of promising genotypes based on path and cluster analyses. *Journal of Agricultural Science Cambridge*, 146: 85-92.
- Kozak M., Bocianowski J., Sawkojć S., Wnuk A. 2010. Call for more graphical elements in statistical teaching and consultancy. *Biometrical Letters*, 47 (1): 57-68.
- Krajewski P., Bocianowski J., Kaczmarek Z. 2004. Ocena efektów nieallelicznej interakcji QTL metodą regresji wielokrotnej. W: Krajewski P., Zwierzykowski Z., Kachlicki P. (red.). *Genetyka w ulepszaniu roślin użytkowych*. Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu, Rozprawy i Monografie, 11: 275-282.
- Krzymański J., Bulińska M., Korytowska W., Piętka T. 1983. Odziedziczalność i heterozja niektórych cech u rzepaku ozimego dwuzerowego. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 290: 141-158.
- Kudła M., Biliński R. 1997. Zmienność cech użytkowych i ocena plonowania rodów rzepaku ozimego w doświadczeniu wstępnym 1995/1996. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XVIII (1): 149-158.
- Liersch A., Bartkowiak-Broda I., Ogrodowczyk M. 2000. Ocena plonowania i cech jakościowych różnego typu odmian mieszańcowych rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXI (2): 341-358.
- Liersch A., Bartkowiak-Broda I., Ogrodowczyk M. 2004. Analiza zmienności składników plonu oraz wielkości efektu heterozji mieszańców CMS *ogura* rzepaku ozimego (*Brassica napus* L.). *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXV (2): 371-382.
- 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 feedingstuffs 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.
- Muśnicki C. 1979. Zmienność i współzależność niektórych cech rzepaku ozimego i ich oddziaływanie na plony. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 229: 22-25.
- Muśnicki C. 1989. Charakterystyka botaniczno-rolnicza rzepaku ozimego i jego plonowanie w zmienionych warunkach siedliskowo-agrotechnicznych. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, Rozprawy Naukowe, Zeszyt 191*.
- Muśnicki C., Muśnicka B. 1985. Struktura plonowania różnych typów jakościowych rzepaku ozimego. *Zeszyty Problemowe IHAR, Wyniki Badań nad Rzepakiem*, 107-122.
- Ogrodowczyk M., Liersch A., Bartkowiak-Broda I. 2000. Analiza zmienności składników plonu mieszańców złożonych rzepaku ozimego. *Biuletyn IHAR*, 216: 483-490.
- Ogrodowczyk M., Liersch A., Bartkowiak-Broda I. 2003. Badanie zależności plonu nasion od cech biometrycznych u odmian mieszańcowych i populacyjnych rzepaku ozimego. *Biuletyn IHAR*, 226/227/2: 415-424.
- Oleksiak T. 2009. Plony pszenicy ozimej w zależności od jakości stosowanego materiału siewnego. *Biuletyn IHAR*, 251: 83-93.
- Payne R., Murrey D., Harding S., Baird D., Soutou D., Lane P. 2003. *GenStat for Windows (7th edition) – Introduction*. VSN International, Oxford, England: 825.

- Seyis F., Friedt W., Lühs W. 2006. Yield of *Brassica napus* L. hybrids developed using resynthesized rapeseed material sown at different locations. *Field Crops Research*, 96: 176-180.
- Singh M.P., Sharma S.C. 2008. Studies on bio-energetics of draught buffalo. *Technical Sciences*, 11: 21-34.
- Spasibonek S., Ogrodowczyk M. 1994. Badania nad nowymi rodzajami rzepaku ozimego w doświadczeniach wstępnych w sezonie 1992/93. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XV: 341-358.
- Wałkowski T., Bartkowiak-Broda I., Krzymański J., Wielebski F., Wójtowicz M., Mrówczyński M., Korbas M., Paradowski A. Ochodzki P. 2002. Rzepak ozimy. IHAR, Poznań.
- Wielebski F. 2005. Udział elementów struktury plonu w kształtowaniu plonu nasion mieszańcowych odmian rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXVI (1): 87-98.
- Wielebski F. 2006. Nawożenie różnych typów odmian rzepaku ozimego siarką w zróżnicowanych warunkach glebowych. I. Wpływ na plon i elementy struktury plonu nasion. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXVII (2): 265-282.
- Wielebski F. 2007. Reakcja różnych typów odmian rzepaku ozimego na zmienne zagęszczenie roślin w łanie. II. Jakość plonu nasion. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXVIII (2): 227-236.
- Wójtowicz M. 2004. Wpływ nawożenia azotowego i warunków środowiskowych na cechy biologiczne i użytkowe złożonych odmian mieszańcowych rzepaku ozimego Kaszub i Mazur. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXV (2): 109-123.
- Wójtowicz M. 2005. Wpływ warunków środowiskowych na zmienność i współzależność pomiędzy plonem nasion rzepaku ozimego oraz komponentami jego struktury. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXVI (1): 99-110.
- Wójtowicz M., Muśnicki C. 2001. Zmienność i współzależność pomiędzy plonem nasion podwójnie ulepszonych odmian rzepaku ozimego a komponentami jego struktury. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu*, CCCXXXV: 125-139.
- Wójtowicz M., Wielebski F. 1999. Przeżywalność roślin zapylacza mieszańców złożonych rzepaku ozimego w zależności od gęstości siewu, procentu zapylacza i terminu siewu. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XX (1): 109-116.
- Żuk B. 1989. *Biometria stosowana*. PWN, Warszawa, 425.