

JAN KACZMAREK ¹
ANDRZEJ KOTECKI ²
LUDWIK KOTOWICZ ³
RYSZARD WEBER ⁴

¹ Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa Akademii Rolniczej we Wrocławiu

² Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin Akademii Rolniczej we Wrocławiu

³ Stacja Doświadczalna Oceny Odmian, Tomaszów Bolesławiecki

⁴ Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, Jelcz Laskowice

Interakcja genotypowo-środowiskowa plonowania odmian rzepaku ozimego w doświadczeniach PDO*

Genotype-environment interaction in yield of winter rape in post registration variety trials

Badano zmienność plonowania rzepaku ozimego w 4 miejscowościach (Głubczyce, Krościna Mała, Tarnów, Tomaszów Bolesławiecki) oraz 3 latach (1999, 2000, 2001). Plony odmian z 4 zróżnicowanych miejscowości porównywano w standardowym i intensywnym wariantcie uprawy. Intensywny poziom różnił się od standardowego wyższym o 50 kg/ha nawożeniem azotowym, stosowaniem antywylegacza, dolistnym dokarmianiem roślin mikroelementami oraz pełną chemiczną ochroną przed szkodnikami i chorobami. Pozostałe zabiegi dotyczące zwalczania chwastów oraz nawożenia fosforem i potasem wykonano w tym samym zakresie w obu wariantach uprawy. Badanie struktury interakcji ($G \times E$) wykazało, że Krościna charakteryzowała się dużym wkładem w wielkość interakcji. Wyższą stabilność ale przy niższym plonowaniu obserwowano w środowisku Tomaszowa Bolesławieckiego. Trzyletnie wyniki badań wskazują, że odmiany Lisek i Bristol można zalecić do uprawy w warunkach standardowych na Dolnym Śląsku. Odmiana Buffalo wysoko plonuje w obu wariantach uprawy, jednak cechuje się wyższą wrażliwością na zmiany środowiska glebowo-klimatycznego. Zróżnicowana reakcja genotypów na zmiany środowisk glebowo-klimatycznych wskazuje na celowość badania odmian w wielu miejscowościach.

Słowa kluczowe: interakcja genotypowo-środowiskowa, odmiany rzepaku, warianty uprawy

Winter oilseed rape is an important crop as the demand for plant oils has successively been growing. The yield trials with rape cultivars were conducted at 4 sites (Głubczyce, Krościna Mała, Tarnów and Tomaszów Bolesławiecki) in the years 1999–2001. Standard and intensive variants of cultivation were applied. In the intensive variant, as compared with the standard one, a dose of nitrogen fertilization

* Praca wykonana w ramach Krajowego Programu Porejestrowego Doświadczalnictwa Odmianowego koordynowanego przez COBORU

higher by 50 kg/ha, application of anti-lodging agents, foliar feeding of plants with microelements and complete control of fungal diseases and insects were used. Herbicides, potash and phosphate fertilizers were applied at the same level in both variants. Statistical analysis was performed according to computer program SerGen 3. The study of $G \times E$ interaction structure revealed a major contribution of the Krościna site to the significance of the interaction. At this site, the yields of winter rape were relatively high, but variable. In contrast, stable but lower yields were observed at Tomaszów Bolesławiecki. The results of three-year trials indicate that cultivars Lisek and Bristol can be recommended for standard cultivation in the Lower Silesia region. The yields of Buffalo are satisfactorily high at both variants of cultivation, but this cultivar exhibits higher sensitivity to changes in environmental conditions. A differential response of rape genotypes to environmental factors suggests that it is advisable to survey rape cultivars at various locations.

Key words: rape cultivars, genotype $\times$ environment interaction, tillage systems

WSTĘP

Rzepak jest praktycznie jedyną rośliną oleistą w naszym kraju. Jego plonowanie w ostatnich latach było niskie. Według COBORU wykorzystanie potencjału plonotwórczego można określić na poziomie około 48% (Haimann i Lewandowski, 2001).

W 2001 roku w województwie dolnośląskim plony nasion rzepaku były o 10% niższe niż średnio w Polsce. Przyczyny tego stanu rzeczy należy upatrywać w ograniczeniach nakładów na przemysłowe środki produkcji oraz licznych błędach agrotechnicznych. Rzepak najlepiej plonuje na roli uprawianej w sposób klasyczny i umieszczony po roślinach strączkowych, a wiosną obficie nawożony azotem (Muśnicki, 1989, 1992). Obecnie najczęściej uprawiany jest po zbożach przy czym za najgorszy przedplon uważa się pszenicę (Dembński, 1983).

Do innych czynników różnicujących pokrój roślin zalicza się termin i ilość wysiewu (Budzyński, 1986). Dotychczas funkcjonował pogląd oparty o doświadczenia COBORU, że rzepak się nie rejonizuje. Może być on prawdziwy dla niewielkiej liczby odmian o małym genetycznym zróżnicowaniu. Obecnie między odmianami różnice genetyczne są większe, ponieważ zdecydowanie powiększyła się liczba odmian, które pochodzą z różnych krajowych i zagranicznych hodowli, w tym występują również mieszańce wykorzystujące efekt heterozji. Odmiany mogą niejednakowo reagować na lokalne warunki środowiskowe, a także na zwiększone nawożenie azotowe i stosowanie fungicydów.

Liczne odmiany rzepaku mogą szybko pogarszać swą wartość gospodarczą po zarejestrowaniu oraz niejednakowo reagować na lokalne warunki środowiskowe z powodu zróżnicowanej zimotrwałości, wczesności, odporności na wyleganie, porażenie przez patogeny.

Dlatego badanie interakcji genotypowo-środowiskowej w plonowaniu rzepaku prowadzono w ramach sieci doświadczeń PDO zlokalizowanych w korzystnych, jak i mniej korzystnych warunkach różnicujących odmiany. Uwzględniono podrejon I o słabszych glebach i mniejszych opadach oraz podrejon II na glebie dobrej.

Doświadczenia w Tomaszowie Bolesławieckim i Krościnie Małej założono na glebie kompleksów żytnio ziemniaczanych, a w Tarnowie i Głubczycach (woj. opolskie) na glebie dobrej.

Celem pracy było zbadanie interakcji genotypowo-środowiskowej odmian rzepaku ozimego uczestniczących w doświadczeniach PDO na Dolnym Śląsku, a w szczególności poznanie odmian stabilnych, najkorzystniej reagujących na intensywne warunki uprawy oraz odmian, które można zarekomendować do mniej korzystnych warunków środowiskowych.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy uzyskano z Doświadczeń Porejestrowego Doświadczalnictwa Odmianowego (PDO) na Dolnym Śląsku. W celu oceny stabilności plonów rzepaku ozimego wybrano 9 odmian, które analizowano na podstawie wyników uzyskanych z 4 miejscowości przez okres 3 lat. Wytypowane miejscowości (środowiska) odznaczały się zróżnicowanymi warunkami glebowymi:

- Głubczyce — klasa II gleby
- Tarnów — klasa IIIa gleby
- Krościna Mała — klasa IIIb gleby
- Tomaszów Bolesławiecki klasa IVb gleby

Wszystkie doświadczenia założono w dwu powtórzeniach metodą pasów prostopadłych porównując wariant standardowy z intensywnym sposobem uprawy. Intensywny poziom różnił się od standardowego wyższym o $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ nawożeniem azotowym, stosowaniem antywylegacza, dolistnym dokarmianiem roślin mikroelementami oraz pełną ochroną roślin przed szkodnikami i chorobami rzepaku. Pozostałe zabiegi agrotechniczne, zwalczanie chwastów oraz nawożenie fosforem i potasem wykonano w tym samym zakresie na obu wariantach uprawy. Plony wymienionych odmian (tab. 1) analizowano rozważając odrębnie intensywny i standardowy system uprawy. Powierzchnia poletka w każdym doświadczeniu wynosiła 12 m^2 . Obliczenia statystyczne przeprowadzono za pomocą programu komputerowego SERGEN 3 (Caliński i in., 1998). Program ten umożliwiał obliczenia dla układu bloków niekompletnych wprowadzając średnie poprawione dla odmiany Buffalo, której plony uzyskano jedynie w 2000 i 2001 roku.

WYNIKI

Średnie wartości plonów w standardowym i intensywnym wariantach uprawy ilustruje tabela 1. Istotna zmienność plonów odmian w każdej miejscowości umożliwiła przeprowadzenie syntezy statystycznej w postaci łącznej analizy wariancji (tab. 2).

Wyniki tej analizy pozwoliły na weryfikację hipotez ogólnych dotyczących zróżnicowania środowisk ($3 \text{ lata} \times 4 \text{ miejscowości}$) oraz istotności interakcji genotypowo-środowiskowej ($G \times E$). Stwierdzono istotną zmienność plonowania odmian rzepaku w badanych środowiskach jak również znaczny wpływ miejscowości i lat na zmienność plonów badanych genotypów. Mniejsza liczba badanych środowisk w porównaniu do odmian uniemożliwiła testowanie hipotez zerowych o braku efektów głównych genotypów oraz ich interakcji z latami i doświadczeniami.

Tabela 1

Średnia wartość plonów odmian w standardowym i intensywnym wariancie uprawy (kg/poletko)
Mean yield values for analyzed genotypes (in kg/plot)

Genotypy Genotypes	Wariant standardowy Standard variant			
	Głubczyce AB1; 5; 9	Tarnów AB2; 6; 10	Krościna AB3; 7; 11	Tomaszów AB4; 8; 12
Lirajet	5,2	3,7	5,6	3,8
Silvida	4,8	4,1	4,6	3,9
Wotan	5,3	4,0	5,5	4,1
Kana	5,0	4,2	4,5	3,7
Lisek	5,6	4,8	5,9	4,5
Liropa	5,0	4,1	5,8	3,8
Bermuda	5,3	4,3	5,0	4,2
Bristol	5,4	4,9	5,6	4,5
Buffalo	5,4	5,1	6,2	4,5
wariant intensywny intensive variant				
Lirajet	6,0	4,4	5,9	5,0
Silvida	5,9	4,6	5,8	4,9
Wotan	6,0	4,7	6,4	5,1
Kana	5,6	4,7	5,6	4,7
Lisek	6,3	5,5	6,4	5,1
Liropa	5,6	5,0	6,0	4,7
Bermuda	5,8	5,2	5,4	5,0
Bristol	6,0	5,8	5,9	5,2
Buffalo	6,4	6,3	6,7	5,5

Literami AB i cyframi oznaczono odpowiednio rok 1999; 2000 i 2001

Tabela 2

Średnie kwadraty zmienności w łącznej analizie wariancji
Mean square variation in the overall analysis of variances

Źródło zmienności Source of variation	Liczba stopni swobody Degrees of freedom	Wariant podstawowy Standard cultivation	Wariant intensywny Intensive cult.variant
		średni kwadrat mean square	średni kwadrat mean square
Lata Years	2	7,77	15,23
Miejscowości Locations	3	10,99	7,34
Środowiska Environments	6	11,15**	18,48**
Genotypy Genotypes	8	1,48	1,37
Genotypy × lata Genotypes × Years	16	0,15	0,15
Genotypy × miejscowości Genotypes × Localities	24	0,24	0,26
Genotypy × środowiska Genotypes × Environments	48	0,14**	0,18**
Regresja względem środowiska Regression on explanatory variabl.	8	0,14	0,18
Odchylenie od regresji Regression deviation	40	0,14**	0,18**
Błąd doświadczeń Experimental error	92	0,07	0,05

Jednak zastosowanie testu przybliżonego opartego na ilorazie odpowiednich średnich kwadratów dla genotypów i interakcji ($G \times E$) wskazuje na znaczne zróżnicowanie plonów analizowanych odmian. Istotna wartość odchylenia od regresji w wariantach intensywnym i standardowym wskazuje na małą zależność regresyjną efektów interakcji ($G \times E$) względem efektu środowiska. Analizę poszczególnych odmian i ich współdziałania ze środowiskiem przedstawia tabela 3.

Oceniając przeciętną wysokość plonowania genotypów wyrażoną efektami głównymi oraz odpowiednią wartością statystyki F można stwierdzić, że w wariantie ekstensywnym odmiany Buffalo, Bristol i Lisek cechowały się istotnie wyższymi plonami w porównaniu do pozostałych obiektów. Odmiana Buffalo wykazywała mniejszą stabilność plonowania o czym świadczy istotna wartość statystyki F interakcji tej odmiany z środowiskami (tab. 3). Genotyp ten charakteryzował się również dodatnią oceną efektu głównego w wariantie intensywnym. Natomiast pozostałe odmiany w tym systemie uprawy roli plonowały słabiej. Wyższe wartości statystyki F dla interakcji badanych odmian ze środowiskami w wariantie intensywnym, wskazują na większą wrażliwość genotypów na zmiany środowiska w tym systemie w porównaniu do standardowego sposobu uprawy roli.

Tabela 3

Testowanie odmian i ich interakcji z środowiskami
Testing of genotypes and their interaction with environments

Genotyp Genotype	Wariant standardowy Standard variant			Wariant intensywny Intensive variant		
	ocena efektu głównego estimation of main effect	stat. F dla efektu głównego stat F for main effect	stat. F dla interakcji ze środowiskami for interaction with environments	ocena efektu głównego estimation of main effect	stat. F dla efektu głównego stat. F - for main effect	stat. F dla interakcji ze środowiskami stat. F for interaction with environments
Lirajet	-0,210	9,92	0,82	-0,208	2,94	4,26
Silvida	-0,412	15,64	1,99	-0,212	3,51	3,71
Wotan	-0,057	0,50	1,19	0,011	0,01	4,10
Kana	-0,412	7,55	4,11	-0,387	15,09	0,78
Lisek	0,453	35,60	1,05	0,312	4,35	6,49
Liropa	-0,103	0,80	2,43	-0,206	12,28	1,00
Bermuda	-0,097	1,30	1,33	-0,184	2,61	3,77
Bristol	0,315	11,33	1,60	0,191	1,38	7,68
Buffalo	0,524	21,57	2,33	0,682	48,01	2,82
Wartość krytyczna $\alpha = 0,05$		5,99	2,20	4,76		2,20
Critical value $\alpha = 0.05$		5,99	2,20	4,76		2,20

Dalszą analizę badanych odmian przedstawiono poprzez testowanie regresji poszczególnych genotypów i ich interakcji względem środowiska (tab. 4). Niskie i większości przypadków nie istotne współczynniki regresji zarówno w wariantie standardowym jak i intensywnym potwierdzają brak zależności regresyjnej między plonami analizowanych odmian a środowiskami. Jedynie w intensywnym systemie uprawy Silvida i Kana odznaczały się istotnymi wartościami tych współczynników oraz niskimi odchyleniami od regresji. Odmiany te charakteryzują się większą stabilnością plonowania w trzyletnim okresie badań niż inne badane obiekty. Jednak niskie oceny efektu głównego tych genotypów wskazują, że nie powinny być zalecane do uprawy na terenie Dolnego Śląska.

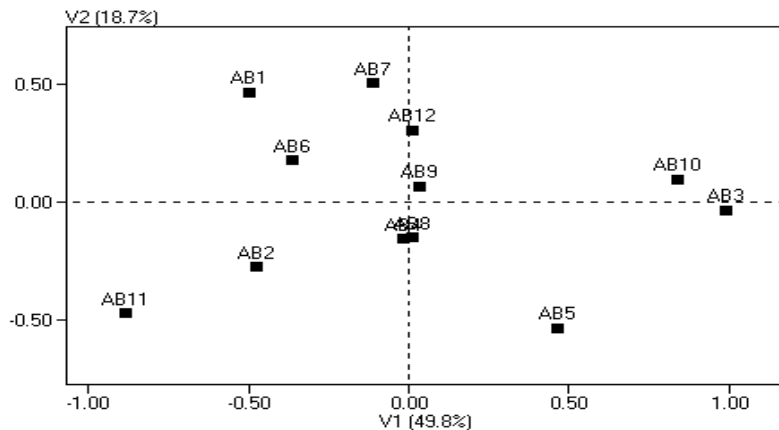
W wariancie ekstensywnym odmiany Lisek i Brystol odznaczały się również niskimi odchyleniami od regresji. Genotypy te można więc określić jako bardziej stabilne w sensie braku zależności regresyjnej względem średniej środowiskowej. Wysokie plony tych obiektów uzyskane w analizowanych środowiskach rekomendują je do uprawy na terenie Polski południowo zachodniej.

Tabela 4

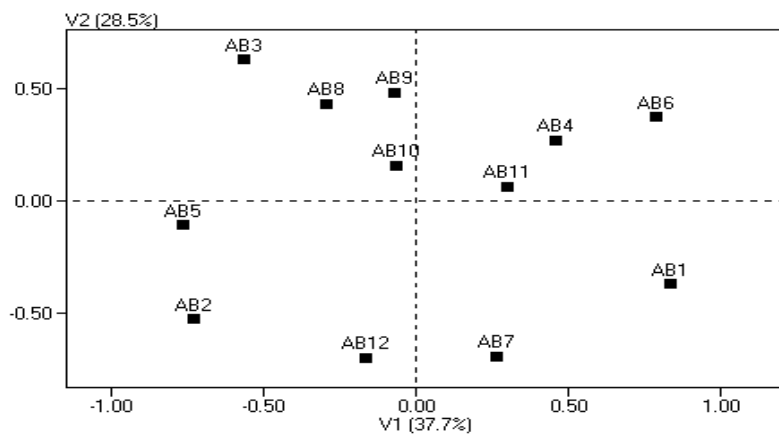
Testowanie regresji interakcji poszczególnych genotypów względem środowiska
Testing of regression of interaction genotypes-environment

Genotyp Genotype	Wariant standardowy Standard variant				Wariant intensywny Intensive variant			
	współczynnik regresji coefficient of regression	współczynnik determinacji coefficient of determination %	stat. F dla regresji stat. F- for regression	stat. F dla odchyień stat F - for deviations	współczynnik regresji coefficient of regression	współczynnik determinacji coefficient of determination %	stat. F dla regresji stat. F for regression	stat. F dla odchyień stat. F for deviations
Lirajet	-0,016	0,61	0,03	0,97	0,095	10,63	0,59	4,57
Silvida	-0,182	31,45	2,29	1,63	-0,241	78,03	17,76	0,98
Wotan	-0,093	13,89	0,81	1,23	-0,092	10,18	0,57	4,41
Kana	0,194	17,24	1,04	4,08	0,111	78,68	18,45	0,20
Lisek	0,042	3,10	0,16	1,22	-0,038	1,13	0,06	7,70
Liropa	0,098	7,49	0,40	2,69	0,101	50,41	5,08	0,60
Bermuda	0,186	49,30	4,86	0,81	0,127	21,21	1,35	3,57
Bristol	-0,118	16,36	0,98	1,61	-0,015	0,15	0,01	9,21
Buffalo	-0,110	9,87	0,55	2,52	-0,048	4,05	0,21	3,25
Wartość krytyczna $\alpha = 0,05$			6,61	2,31				6,61
Critical value $\alpha = 0.05$								2,31

W celu uzyskania dalszych informacji odnośnie zachowania się poszczególnych odmian rzepaku w zróżnicowanych warunkach glebowo-klimatycznych przeprowadzono badanie struktury interakcji ($G \times E$) za pomocą analizy składowych głównych. Analiza ta poprzedzona jest podziałem statystyki F interakcji genotypowo-środowiskowej (uzyskanej z ogólnej analizy wariancji) na składowe odpowiadające odpowiednim kontrastom między genotypami. Uwzględniając dwa pierwsze kontrasty o największym udziale w statystyce F, przedstawiono przy pomocy dwóch pierwszych składowych głównych graficzne rozmieszczenie środowisk na płaszczyźnie. Środowiska o wysokim udziale w interakcji ($G \times E$) odznaczają się dużą odległością od początku układu współrzędnych (rys. 1). Analizując środowiska wariantu standardowego można stwierdzić, że miejscowość Krościna (AB3; AB7; AB11) odznaczała się dużym wkładem w wielkość interakcji genotypowo-środowiskowej. Odmiany plonujące w tej miejscowości wykazywały wyższy plon w porównaniu do pozostałych analizowanych środowisk.



Rys. 1. Przedstawienie środowisk w układzie składowych głównych — wariant standardowy
 Fig. 1. Environments „Station” in the system of principal components — standard variation



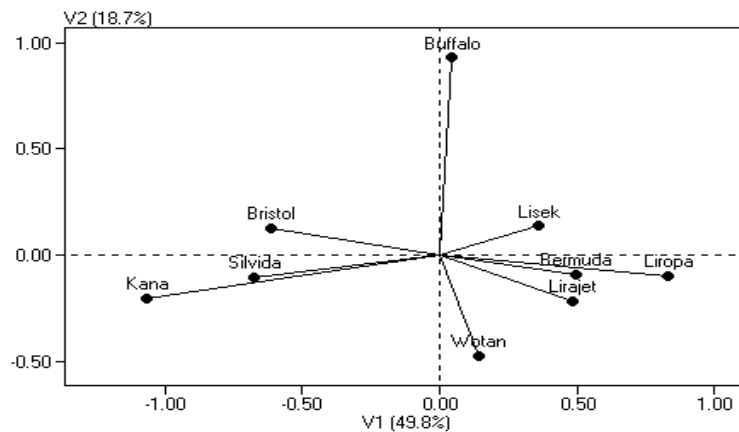
Rys. 2. Przedstawienie środowisk w układzie składowych głównych — wariant intensywny
 Fig. 2. Environments „Station” in the system of principal components — intensive variant

Znaczne odległości między punktami AB7, AB3 i AB 11 wskazują jednak na dużą zmienność plonowania odmian rzepaku. Duży udział w interakcji ($G \times E$) wykazywało również środowisko Głubczyc, szczególnie w latach 1999 (AB1) oraz 2000 (AB5).

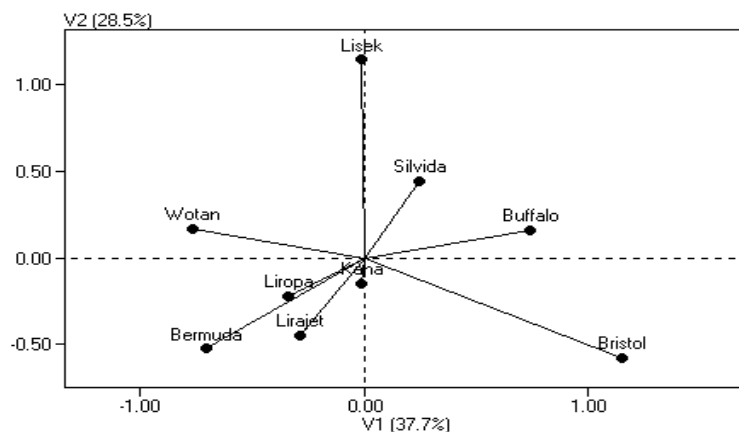
Wysokie plony rzepaku w tych miejscowościach uzależnione były w większym stopniu od warunków atmosferycznych w analizowanym trójleciu niż od potencjalnej produktywności gleb. Na uwagę zasługuje duża stabilność plonowania rzepaku w środowisku Tomaszowa. Niższe plony w tej miejscowości wskazują, że klasa gleby IVa jest mniej odpowiednia do uprawy tego gatunku w wariancie standardowym. Analizując wariant intensywny (rys. 2) można wykazać również znaczną zmienność plonowania badanych odmian w zależności

od środowiska. Duże różnice w plonowaniu genotypów stwierdzono w latach 1999 i 2000, o czym świadczą znaczne odległości od początku układu oraz między sobą punktów obrazujących miejscowości Tarnów (AB2–AB6), Krościna (AB3–AB7) lub Głubczyce (AB5–AB1).

Wektorowe rozmieszczenie genotypów w układzie dwu pierwszych składowych głównych dla wariantu standardowego przedstawiono na rysunku 3. Znaczne oddalenie odmian Buffalo i Kana od początku układu wskazuje na dużą interakcję tych odmian z badanymi środowiskami. Genotypy te odznaczają się większym zróżnicowaniem plonowania w analizowanych środowiskach w porównaniu do pozostałych obiektów. Niższą i zbliżoną interakcję genotypowo-środowiskową charakteryzują się odmiany Bermuda, Liropa i Lirajet.



Rys. 3. Wektorowe przedstawienie genotypów w układzie składowych głównych — wariant ekstensywny
Fig. 3. Vector representation of genotypes in the system of principal components — intensive variant



Rys. 4. Wektorowe przedstawienie genotypów w układzie składowych głównych — wariant intensywny
Fig. 4. Vector representation of genotypes in the system of principal components — intensive variant

Intensywny sposób uprawy roli (rys. 4) w badanych środowiskach spowodował znaczne różnice w plonowaniu odmian Lisek i Bristol, o czym świadczą duże odległości tych odmian od początku układu. Natomiast niższą interakcję genotypowo-środowiskową wykazała odmiana Kana. Genotypy Liropa, Bermuda i Lirajet odznaczały się również w tym wariancie uprawy zbliżoną reakcją pod względem plonowania na zmiany środowiska glebowo-klimatycznego. Znaczne odległości między punktami obrazującymi badane genotypy zarówno w wariancie intensywnym jak i standardowym wskazują na duże różnice w plonowaniu odmian w zależności od warunków klimatycznych i środowiskowych.

WNIOSKI

1. Wyniki trzyletnich badań wykazały, że odmiany Lisek i Bristol mogą być zalecane do uprawy na obszarze Dolnego Śląska szczególnie w wariancie standardowym.
2. Odmiana Buffalo odznaczająca się wysokimi plonami w wariancie standardowym i intensywnym cechuje się jednak większą wrażliwością na zmiany środowiska glebowo-klimatycznego.
3. Plony analizowanych odmian w większym stopniu uzależnione były od warunków atmosferycznych niż od potencjalnej produktywności gleb.
4. Zróżnicowana reakcja genotypów na zmiany środowiska glebowo-klimatycznego wskazuje na konieczność badania odmian w wielu miejscowościach w celu określenia wielkości interakcji genotypowo-środowiskowej.

LITERATURA

- Budzyński W. 1986. Studium nad wpływem niektórych czynników agrotechnicznych na zimowanie i plonowanie odmian podwójnie uszlachetnionego rzepaku ozimego. *Acta Acad. Agricult. Tech. Olst. Agricult.* 41, (B): 3 — 56.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P., Siatkowski J. 1998. Podręcznik użytkownika programu Sergen 3. IGR Poznań.
- Dembiński F. 1983. Jak uprawiać rzepak i rzepik. PWRiL, Warszawa.
- Heiman S. 1999. Rzepak ozimy. Podstawy Organizacji i Planowania z Zarejestrowanymi Odmianami Roślin uprawnych na Dolnym Śląsku. *Dolnośląski Zespół PDO 1*: 63 — 69.
- Heiman S., Lewandowski A. 2001. Syntezy wyników doświadczeń rejestrowych. *Rośliny oleiste 2000*, Zeszyt 2, COBORU, Słupia Wielka.