

Teresa Piętka, Krystyna Krótka, Jan Krzymański

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Zakład Roślin Oleistych w Poznaniu

Badania nad zdolnością kombinacyjną w odniesieniu do zawartości glukozynolanów w pokoleniach F_1 i F_2 mieszańców liniowo–odmianowych rzepaku ozimego (*Brassica napus* L.)

Study on combining ability in respect to glucosinolate content in F_1 and F_2 generations of winter rapeseed hybrids (*Brassica napus* L.)

Słowa kluczowe: glukozynolany, ogólna zdolność kombinacyjna, specyficzna zdolność kombinacyjna, korelacje

Key words: glucosinolates, general combining ability, specific combining ability, correlations

Badania zostały przeprowadzone w celu określenia ogólnej i specyficznej zdolności kombinacyjnej (OZK i SZK) w odniesieniu do zawartości glukozynolanów w nasionach zebranych z pokoleń F_1 i F_2 mieszańców podwójnie ulepszanego rzepaku ozimego. Mieszańce otrzymano krzyżując podwójnie ulepszone odmiany: Mar, Polo, Silvia, Lirajet i Wotan z liniami wsobnymi o ekstremalnie niskiej zawartości glukozynolanów. Mieszańce badano w doświadczeniach poletkowych. Zebrane z poletek nasiona były analizowane na zawartość i skład glukozynolanów. Analizy zostały wykonane za pomocą chromatografii gazowej silylowych pochodnych desulfoglukozynolanów. Obliczeń OZK i SZK dokonano w układzie North Caroline'a II (NCII). Wartości OZK i SZK oraz testy statystyczne ich istotności zostały określone oddzielnie dla pokoleń F_1 i F_2 , a następnie porównane między sobą. Obliczenia wartości OZK wykazały, że tak linie wsobne jak i odmiany są wysoce i istotnie różnicowane pod względem zawartości i składu glukozynolanów. Wskazuje to, że dalsza selekcja na niską zawartość glukozynolanów w segregujących pokoleniach mieszańców powinna być efektywna. Perspektywy wykorzystania specyficznej zdolności kombinacyjnej w obniżaniu

This study was undertaken in order to establish the general and specific combining abilities (GCA and SCA) in respect to glucosinolate content in seeds collected from F_1 and F_2 hybrid generations of winter double low rapeseed. Hybrids were produced by crossing of double low varieties: Mar, Polo, Silvia, Lirajet and Wotan with inbred lines extremely low in glucosinolate content. Hybrids were grown in field trials. Harvested seeds were analysed for glucosinolate content and composition. Analyses were performed using gas-liquid chromatography of silylated desulfoglucosinolates. Calculations of GCA and SCA were performed in North Caroline'a II (N II) design. GCA and SCA values and statistical tests of their significance were calculated separately for F_1 and for F_2 generations and then compared to each other. Calculated GCA values showed that both inbred lines and varieties were highly and significantly differentiated according to glucosinolate content and composition. Thus it can be expected that effective selection for lower glucosinolate content will be possible in segregating populations of hybrids. Possibility of making use of SCA in improving glucosinolate content was smaller. Calculated values are significantly different

zawartości glukozynolanów są znacznie mniejsze. Tylko dla niewielkiej części kombinacji uzyskano wartości istotnie różne od zera, a w wielu wypadkach dla danej kombinacji otrzymano wartości dodatnie w pokoleniu F_1 , a ujemne w pokoleniu F_2 lub odwrotnie. Natomiast odmiany jak i linie wsobne nie wykazały istotnego zróżnicowania genetycznego pod względem zawartości 4-hydroksybrassicyny – głównego glukozynolanu indolowego.

from zero only for a small part of combinations and in many cases positive values found in F_1 were changed to negative in F_2 generation or inversely. Examined varieties and inbred lines were not differentiated genetically according to 4-hydroxybrassicin content.

Wstęp

Obniżenie poziomu glukozynolanów w wyhodowanych dotąd podwójnie ulepszonych odmianach rzepaku pozwala na uzyskanie wartościowej śrutę zawierającej nie więcej niż 25 μM glukozynolanów alkenowych na gram bezłuszczonej suchej masy (Krzymański 1970, 1993; Heimann 1997). Jednak badania żywieniowe wykazały, że dla polepszenia wartości biologicznej śrutę, konieczne jest dalsze obniżanie zawartości antyżywniowych związków, jakimi są glukozynolany alkenowe, zwłaszcza progoitryna (Rakowska, Ochodzki 1995; Frankiewicz i in. 1995; Kudła 1997). Wymagania jakościowe dla nasion z podwójnie ulepszonych odmian rzepaku będą w Polsce, a przede wszystkim w Unii Europejskiej ulegały zaostrzeniu w kierunku zmniejszenia zawartości tych związków. Świadczą o tym doniesienia o wzrastających wymaganiach jakościowych stosowanych przy rejestracji nowych odmian u głównych producentów rzepaku, zwłaszcza z Kanady i Francji (Heimann 1999). Dotyczy to zarówno odmian populacyjnych jak i wchodzących do uprawy nowych odmian mieszańcowych (Bartkowiak-Broda 1998, Friedt 1999).

W przedstawionej sytuacji konieczne jest prowadzenie intensywnych prac hodowlanych dla uzyskania nowych odmian populacyjnych i mieszańcowych rzepaku ozimego o jeszcze bardziej obniżonej zawartości glukozynolanów alkenowych. Potrzebna w tej pracy jest dobra znajomość sposobu dziedziczenia i zdolności kombinacyjnej w odniesieniu do tych związków. Dlatego podjęto i przeprowadzono badania zdolności kombinacyjnej pod względem zawartości glukozynolanów w nasionach rzepaku ozimego zebranych z pokoleń F_1 i F_2 mieszańców uzyskanych z krzyżowania odmian podwójnie ulepszonych z liniami wsobnymi o ekstremalnie niskiej zawartości glukozynolanów.

Material i metody

Jedenaście linii wsobnych o ekstremalnie niskiej zawartości glukozynolanów (poniżej 5,0 $\mu\text{M/g}$ nasion) wybranych do krzyżowania zostało wyprowadzonych

z plennych, dobrze zimujących rodów. Linie te przekrzyżowano z roślinami, które wybrano na podstawie analiz biochemicznych do krzyżowań z pięciu zarejestrowanych odmian krajowych i zagranicznych: Lirajet, Silvia, Mar, Polo i Wotan. Dokładny opis materiału roślinnego został podany w publikacjach (Krzymański i in. 1999; Piętka i in. 2000). Badane mieszańce rzepaku ozimego otrzymano poprzez ręczne krzyżowanie w układzie czynnikowym kompletnym.

Nasiona zebrane z dwóch doświadczeń z mieszańcami pokolenia F_1 i dwóch doświadczeń z mieszańcami F_2 poddano analizom biochemicznym na zawartość i skład glukozynolanów. Oznaczano je za pomocą chromatografii gazowej siliolowych pochodnych desulfoglukozynolanów (Michalski i in. 1995). W metodzie tej do kalibracji chromatografu stosuje się wzorzec europejski CRM-366 o sumarycznej zawartości glukozynolanów $12,1 \mu\text{M/g}$ nasion z tolerancją $0,8 \mu\text{M/g}$ nasion. Wzorzec ten został opracowany przez Community Bureau of Reference –BCR jako uśredniona wartość analiz z ring-testu pomiędzy osiemnastoma laboratoriami.

Obliczenia ogólnej i specyficznej zdolności kombinacyjnej (OZK i SZK) wykonano w układzie North Caroline'a II (NCII) (Garretsen, Keuls 1985; Ubysz-Borucka 1985).

Omówienie wyników i dyskusja

Wartości ogólnej zdolności kombinacyjnej (OZK) oraz testy statystyczne ich istotności obliczono dla pokolenia F_1 i F_2 mieszańców i porównano je ze sobą. W tabeli 1 przedstawiono wyniki uzyskane w doświadczeniach „linie wsobne podwójnie ulepszone \times odmiany”. Obliczony współczynnik F jest wysoce istotny na poziomie $\alpha = 0,01$ dla genotypów matecznych (linie wsobne) dla zawartości glukonapiny, progoitryny i sumy glukozynolanów alkenowych zarówno w pokoleniu F_1 jak i w pokoleniu F_2 mieszańców. Natomiast w grupie genotypów ojcowskich (odmiany) wysoce istotny współczynnik F jest dla zawartości glukonapiny, glukobrassicianapiny, progoitryny, sumy glukozynolanów oraz sumy glukozynolanów alkenowych. Wysokie istotności ogólnych efektów kombinacyjnych w obu pokoleniach wskazują na addytywne działanie genów w dziedziczeniu tych cech. Podobne wyniki otrzymano w uprzednio prowadzonych badaniach dla tych cech w krzyżowaniach diallelicznych (Krzymański i in. 1993, 1994, 1995) zarówno dla pokolenia F_1 jak i dla pokolenia F_2 . Zróżnicowanie genotypów pod względem zawartości 4-hydroksybrassicyny obserwowano tylko dla roślin ojcowskich w pokoleniu F_2 . Wzrost istotności efektów OZK w pokoleniu F_2 w stosunku do pokolenia F_1 dla form ojcowskich dla wszystkich glukozynolanów z wyjątkiem glukobrassicianapiny można wytłumaczyć zmniejszeniem się efektów heterozji zakłócających ich ocenę.

Tabela 1 pozioma

Tabela 2 pozioma

W tabeli 2 przedstawiono wyniki uzyskane w krzyżowaniach odwrotnych „odmiany \times linie wsobne”. Efekty OZK są wysoce istotne w pokoleniu F_2 pod względem zawartości glukonapiny, progoitryny, sumy glukozyolanów i sumy glukozyolanów alkenowych dla odmian użytych jako formy mateczne oraz istotne dla zawartości 4-hydroksybrassicapiny. W pokoleniu F_1 i F_2 obliczony współczynnik F jest wysoce istotny tylko dla zawartości glukobrassicapiny. U form ojcowskich zaobserwowano większe zróżnicowanie genotypów w pokoleniu F_1 pod względem zawartości glukonapiny, progoitryny, sumy glukozyolanów i sumy glukozyolanów alkenowych. Natomiast w pokoleniu F_2 istotności ogólnych efektów kombinacyjnych dla tych glukozyolanów zmniejszyły się, ale są nadal wysoce istotne z wyjątkiem zawartości glukonapiny, której istotność zwiększyła się. Nie zaobserwowano istotności zróżnicowania ogólnych zdolności kombinacyjnych dla zawartości glukobrassicapiny. Natomiast dla zawartości 4-hydroksybrassicapiny wysoce istotne efekty ogólnej zdolności kombinacyjnej w pokoleniu F_1 były nieistotne w pokoleniu F_2 .

Na podstawie zestawienia wyników obliczeń OZK dla glukozyolanów (tab. 1 i 2) zaobserwowano, że linia PN 4272/95 istotnie zwiększa zawartość tych związków w mieszańcach, zarówno gdy występuje jako forma mateczna, jak i ojcowska w pokoleniu F_1 , za wyjątkiem zawartości glukobrassicapiny i 4-hydroksybrassicapiny. W pokoleniu F_2 istotność tych efektów zmniejsza się, ale jest nadal wysoce istotna w obu kierunkach krzyżowań. Natomiast linia PN 3734/95 zawartość tę obniża, gdy występuje jako forma mateczna i ojcowska, natomiast linia PN 4043/95 tylko jako forma ojcowska. Wśród odmian dodatnią istotną zdolność kombinacyjną dla większości glukozyolanów zaobserwowano dla odmiany Silvia w obu kierunkach krzyżowań, natomiast ujemną zdolność kombinacyjną wykazują odmiany Lirajet i Wotan.

W tabeli 3 zestawiono wyniki obliczeń SZK mieszańców pokoleń F_1 F_2 dla badanych glukozyolanów obu serii krzyżowań. Większość uzyskanych wartości SZK dla badanych mieszańców jest wysoce istotna w obydwu pokoleniach i obydwu kierunkach krzyżowań.

W tabeli 4 zestawiono wyniki SZK dla poszczególnych mieszańców pod względem zawartości progoitryny — głównego glukozyolanu z grupy glukozyolanów alkenowych, sumy glukozyolanów oraz sumy glukozyolanów alkenowych. Dla progoitryny wysoce istotne dodatnie efekty kombinacyjne wystąpiły dla sześciu kombinacji w pokoleniu F_1 w kierunku krzyżowań „linie wsobne \times odmiany”, a dla jednej kombinacji w krzyżowaniu odwrotnym oraz dla trzech kombinacji istotnie dodatnie. Efekty ujemne, istotne i wysoce istotne stwierdzono dla siedmiu kombinacji w pokoleniu F_1 linie „wsobne \times odmiany” i dla jednej kombinacji w krzyżowaniu odwrotnym. W pokoleniu F_2 wystąpiły odpowiednio następujące efekty SZK dla czterech kombinacji wysoce istotne dodatnio i dwóch kombinacji istotne dodatnio; w krzyżowaniu odwrotnym dla pięciu kombinacji

wysoce istotne dodatnio, natomiast wysoce istotne i istotne efekty ujemne dla trzech kombinacji, a w krzyżowaniu odwrotnym dla czterech kombinacji mieszańców. Dla sumy glukozyzolanów alkenowych w kierunku krzyżowań „linie wsobne \times odmiany” stwierdzono istotne i wysoce istotne dodatnie efekty kombinacyjne dla siedmiu kombinacji mieszańcowych, a dla siedmiu kombinacji istotne oraz wysoce istotne ujemne dla mieszańców pokolenia F_1 . W pokoleniu F_2 stwierdzono sześć kombinacji o istotnych i wysoce istotnych dodatnich efektach kombinacyjnych oraz cztery kombinacje o istotnych i wysoce istotnych efektach ujemnych. W krzyżowaniu odwrotnym „odmiany \times linie wsobne” efekty kombinacyjne istotne i wysoce istotne dodatnie wystąpiły dla czterech kombinacji mieszańcowych oraz dla dwóch kombinacji ujemnych w pokoleniu F_1 . W pokoleniu F_2 odpowiednio dla sześciu kombinacji dodatnie i siedmiu kombinacji ujemne.

Wzrost kombinacji o ujemnych efektach kombinacyjnych w pokoleniu F_2 świadczy o zaniku efektów heterozji w stosunku do pokolenia F_1 , a tym samym wyraźniejszego ujawnienia się addytywnego działania genów. Ułatwia to skuteczniejszy wybór dobrych kombinacji mieszańcowych w pokoleniu F_2 do prac badawczych i hodowlanych.

Współczynniki korelacji obliczone pomiędzy badanymi glukozyzolanami dla OZK zestawiono oddzielnie dla użytych w krzyżowaniach odmian i linii wsobnych w pokoleniach F_1 (tab. 5A) i F_2 (tab. 5B). Wartości OZK dla sumy glukozyzolanów alkenowych są istotnie dodatnio skorelowane z OZK dla glukonapiny, progoitryny i sumy glukozyzolanów dla linii wsobnych i odmian w pokoleniu F_1 . Także dla sumy glukozyzolanów wartości OZK są silnie dodatnio skorelowane z OZK glukonapiny, progoitryny i 4-hydroksybrassicyny dla linii wsobnych i odmian. Podobne zależności stwierdzono dla linii wsobnych i odmian w pokoleniu F_2 mieszańców. OZK 4-hydroksybrassicyny jest dodatnio skorelowana z OZK glukonapiny dla odmian w pokoleniu F_1 i F_2 oraz dodatnio z OZK glukonapiny i progoitryny dla linii wsobnych w pokoleniu F_1 . Ujemnie nieistotna OZK 4-hydroksybrassicyny jest skorelowana z OZK glukonapiny i progoitryny dla linii wsobnych w pokoleniu F_2 . OZK dla odmian (tab. 5B) są słabiej skorelowane w pokoleniu F_1 . Silniejsze korelacje stwierdzono w pokoleniu F_2 mieszańców. OZK sumy glukozyzolanów alkenowych jest istotnie dodatnio skorelowana z OZK glukonapiny, progoitryny i sumy glukozyzolanów w obu kierunkach krzyżowania. OZK sumy glukozyzolanów jest istotnie dodatnio skorelowana z OZK glukonapiny i progoitryny. Ta ostatnia jest istotnie dodatnio skorelowana z OZK dla glukonapiny.

Wysokie współczynniki korelacji pomiędzy OZK badanych glukozyzolanów wskazują, że skład glukozyzolanów dla badanych linii, odmian i mieszańców jest mniej zróżnicowany niż zawartość glukozyzolanów, zarówno w linach wsobnych jak i w odmianach, co pozwala wnioskować, że selekcja prowadzona w segregujących pokoleniach na niższą ich zawartość może być skuteczna.

Tabela 3 pozioma

Tabela 4

Efekty SZK dla zawartości wybranych glukozynolanów w nasionach mieszańców pokoleń F_1 i F_2 dla kombinacji wykazujących efekty istotnie różne od zera — *Specific combining ability effects for selected glucosinolate contents in seeds of F_1 and F_2 hybrids generation for cross combinations showing effects significantly different from zero*

Mieszańiec <i>Hybrid</i>	Progoitryna <i>Progoitrin</i>		Suma glukozynolanów <i>Total of glucosinolates</i>		Suma gluk. alkenowych <i>Total of aliphatic glucosin.</i>	
	F_1	F_2	F_1	F_2	F_1	F_2
Linie wsobne \times odmiany — <i>Inbred lines \times varieties</i>						
PN-3451 \times Polo	-0,69**	-1,30*	-1,49	-2,38	-1,11*	-2,00*
PN-3451 \times Silvia	-0,24	1,41*	-0,99	3,27*	-0,35	2,55**
PN-3455 \times Mar	0,67**	0,41	0,82	0,35	1,16*	0,66
PN-3455 \times Wotan	-0,74**	0,18	-1,44	1,46	-1,17*	0,25
PN-3462 \times Mar	0,67**	0,91	0,70	1,13	0,93*	1,25
PN-3462 \times Wotan	-0,64*	-0,38	-1,15	-0,75	-0,94*	-0,47
PN-3707 \times Lirajet	0,42	1,93**	2,59**	4,95**	1,22**	3,76**
PN-3707 \times Mar	-0,98**	-2,28**	-2,04*	-3,71**	-1,69**	-3,31**
PN-3707 \times Polo	0,50*	1,58**	0,27	1,88	0,64	2,09*
PN-3710 \times Lirajet	-0,89**	1,49**	-1,31	3,32*	-1,67**	2,05*
PN-3710 \times Polo	1,99**	-1,86**	3,17**	-3,75**	3,39**	-2,77**
PN-3734 \times Lirajet	-0,38	-0,19	-1,98*	-0,82	-0,64	-0,33
PN-3734 \times Wotan	0,76**	0,41	1,28	0,28	1,12*	0,48
PN-3999 \times Silvia	0,49	1,25*	1,10	0,94	0,80	1,66*
PN-4043 \times Silvia	0,12	-0,96	0,52	-2,46	0,19	-1,68*
PN-4272 \times Silvia	-1,10**	-0,31	-1,64	-0,15	-1,69**	-0,22
PN-4272 \times Wotan	0,76**	0,22	0,84	0,57	1,09*	0,45
PN-4287 \times Polo	-0,77**	-0,90	-1,64	-1,98	-1,30**	-1,57
PN-4287 \times Silvia	0,83**	1,46**	1,61	3,07*	1,41**	2,33**
Krzyżowanie odwrotne — <i>Reciprocal crosses</i>						
Lirajet \times PN-3455	-0,33	-0,75	-0,14	-1,08	-0,58	-1,33*
Lirajet \times PN-3462	-0,62	-0,55	-1,25	-2,08*	-0,87	-0,98
Lirajet \times PN-3710	0,75*	1,34**	1,69*	2,79**	1,41*	2,37**
Lirajet \times PN-3734	-0,58	-0,17	-1,70*	-0,69	-1,19*	-0,68
Lirajet \times PN-3999	-0,73	-0,87*	-0,89	-1,72	-1,14	-1,50*
Lirajet \times PN-4272	0,41	1,05**	1,10	1,74	0,88	2,04**
Silvia \times PN-3462	0,40	1,14**	1,85*	2,21*	1,08	2,11**
Silvia \times PN-3707	1,02**	0,66	2,03**	1,07	1,37*	0,33
Silvia \times PN-3710	-0,23	-0,72	-0,11	-2,12*	-0,29	-1,10
Silvia \times PN-3999	0,34	0,97*	0,66	1,82	0,46	1,68**
Silvia \times PN-4272	-0,27	-1,31**	0,30	-1,82	-0,17	-1,88**
Silvia \times PN-4287	-0,07	-0,31	-1,54*	-0,70	-0,24	-0,34
Wotan \times PN-3181	-0,91*	-0,42	-1,06	-0,83	-1,24*	-0,60
Wotan \times PN-3999	-0,04	1,71**	-0,27	3,18**	0,02	2,37**
Mar \times PN-3181	0,96*	0,43	2,73**	0,83	1,66**	0,87
Mar \times PN-3707	-0,69	-1,10**	-2,16**	-1,71	-0,97	-1,66**
Mar \times PN-3710	-0,64	0,27	-1,85*	0,35	-0,98	0,41
Mar \times PN-3999	0,83*	-0,29	1,57*	-0,76	1,22*	-0,26
Polo \times PN-3455	0,06	1,26**	0,73	2,36*	0,14	2,08**
Polo \times PN-3462	-0,23	-0,75	-0,73	-1,05	-0,45	-1,35*
Polo \times PN-3710	-0,11	-0,70	-0,14	-0,67	-0,27	-1,37*
Polo \times PN-3999	-0,39	-1,51**	-1,07	-2,53**	-0,57	-2,29**

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

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

Tabela 4a i 4b

Wnioski

Wysokie i zróżnicowane istotnie wartości OZK dla badanych glukozynolanów wskazują, że zarówno linie wsobne jak i odmiany są wystarczająco zróżnicowane genetycznie pod tym względem, co rokuje, że selekcja na ich niższą zawartość w segregujących pokoleniach mieszańców będzie skuteczna.

Wyższe istotności zróżnicowania ogólnych zdolności kombinacyjnych dla linii wsobnych są wynikiem selekcji prowadzonej w kierunku otrzymania ekstremalnie niskiej zawartości glukozynolanów, gdy tymczasem odmiany spełniały tylko wymagania normy i posiadały większe zróżnicowanie wewnętrzne.

Perspektywy wykorzystania specyficznej zdolności kombinacyjnej w ulepszeniu zawartości glukozynolanów są znacznie mniejsze. Tylko dla niewielkiej części kombinacji uzyskano wartości istotnie różne od zera, a w wielu wypadkach wartości dodatnie w pokoleniu F_1 zmieniały się na ujemne w pokoleniu F_2 lub odwrotnie.

Stwierdzono, że stosowanie krzyżowań liniowo–odmianowych, korzystnych dla zwiększenia zróżnicowania genetycznego materiałów hodowlanych, nie spowodowało dodatkowych trudności w hodowli nowych materiałów o silnie obniżonej zawartości glukozynolanów w nasionach.

Tak odmiany jak i linie wsobne nie wykazały istotnego zróżnicowania genetycznego pod względem zawartości 4-hydroksybrassicyny.

Conclusions

High and significant differentiated values of general combining ability (GCA) for examined glucosinolates indicate that genetic distances both among inbred lines as well among varieties are sufficient to expect that selection made in segregating generations for lower glucosinolate content should be efficient.

Higher significance of differences for GCA values among inbred lines is the result of selection conducted in these materials for extremely low glucosinolate content. Glucosinolate contents in seed of varieties fulfil only the requirements of standard. The variability among individual plants inside varieties was much higher than in the case of inbred lines.

Possibility of making use of SCA in improving glucosinolate content was smaller. Calculated values are significantly different from zero only for part of combinations and in many cases positive values found in F_1 were changed to negative in F_2 generation or inversely.

It was stated that crossing of breeding lines with varieties, very profitable for increasing genetic diversity of breeding materials, did not disturb in selection of new genotypes with very low glucosinolate level.

Examined varieties and inbred lines are not differentiated genetically according to 4-hydroxybrassicin content.

Literatura

- Bartkowiak-Broda I., 1998. Odmiany mieszańcowe rzepaku – osiągnięcia i perspektywy. *Rośliny Oleiste*, XIX (2): 359-370.
- Frankiewicz A., Potkański A., Warych H., Kliber A., Szkudelski T. 1995. Wpływ poziomu glukozynolanów w wyłokach rzepakowych na wyniki produkcyjne u młodych świń. *Rośliny Oleiste*, XVI (2): 375-381.
- Friendt W. 1999. Breeding of rapeseed (*Brassica napus* L.) for modified seed quality – Synergy of conventional and modern approaches. 10th International Rapeseed Congress. Canberra 26-29. 09.1999, Australia.
- Garretsen F., Keuls M. 1978. A general method for the analysis of genetics variation of complete and incomplete diallels and North Carolina II design. Part II. Procedures and general formulae for the fixed model. *Euphytica*, 27: 49-68.
- Heimann S. 1999. Ocena jakościowa odmian rzepaku ozimego za lata 1996–1998. *Rośliny Oleiste*, XX (2): 637-641.
- Krzymański J. 1970. Genetyczne możliwości ulepszania składu chemicznego nasion rzepaku ozimego. *Hodowla Roślin Aklimatyzacja i Nasiennictwo*, 14: 95-113.
- Krzymański J. 1993. Osiągnięcia i nowe perspektywy prac badawczych nad roślinami oleistymi w Polsce. *Postępy Nauk Rolniczych*, 5: 7-14.
- Krzymański J., Piętka T., Krótka K. 1993. Zdolność kombinacyjna i heterozja mieszańców diallelicznych rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego. I. Pokolenie F₁. *Postępy Nauk Rolniczych*, 5: 41-52.
- Krzymański J., Piętka T., Krótka K. 1994. Zdolność kombinacyjna i heterozja mieszańców diallelicznych rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego. II. Pokolenie F₁ i F₂. *Rośliny Oleiste*, XV (1): 21-32.
- Krzymański J., Piętka T., Krótka K., Michalski K. 1995. Zawartość glukozynolanów u mieszańców F₁ polskiego rzepaku ozimego podwójnie ulepszanego. *Rośliny Oleiste*, XVI (1): 13-24.
- Krzymański J., Piętka T., Ogrodowczyk M., Krótka K. 1999. Ocena wartości kombinacyjnych mieszańców między liniami wsobnymi rzepaku ozimego i odmianami wykonana w układzie czynnikowym. I. Pokolenie F₁. *Rośliny Oleiste*, XX (2): 335-345.
- Kudła M. 1997. Zagadnienie glukozynolanów w hodowli jakościowej rzepaku (*Brassica napus* L.). *Rośliny Oleiste*, XVIII (1): 119-134.
- Michalski K., Kołodziej K., Krzymański J. 1995. Quantitative analysis of glucosinolates in seeds of oilseed rape. Effect of sample preparation on analysis results. *Proceedings of 9th International Rapeseed Congress, Cambridge, UK, 4-7. 07.1995*, 3: 911-913.
- Piętka T., Krótka K., Krzymański J. 2000. Ocena wartości kombinacyjnych mieszańców między liniami wsobnymi rzepaku ozimego i odmianami wykonana w układzie czynnikowym. II. Pokolenie F₁ i F₂. *Rośliny Oleiste*, XX (2): 329-340.
- Rakowska M., Ochodzki P. 1995. Chemiczna i żywieniowa ocena śrut rzepakowych otrzymanych różnymi metodami. *Rośliny Oleiste*, XVI (2): 345-350.
- Ubysz-Borucka L., Mądry W., Muszyński S. 1985. Podstawy statystyczne genetyki cech ilościowych w hodowli roślin. SGGW-AR Warszawa.