

Franciszek Wielebski

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Oddział w Poznaniu

Nawożenie różnych typów odmian rzepaku ozimego siarką w zróżnicowanych warunkach glebowych II. Wpływ na jakość i skład chemiczny nasion

Sulphur fertilization of different types of winter oilseed rape varieties in various soil conditions

II. Effect on quality and chemical composition of seeds

Słowa kluczowe: rzepak ozimy, nawożenie siarką, jakość nasion

W pracy przedstawiono badania nad wpływem wiosennego nawożenia siarką (dawka, termin aplikacji) na zawartość glukozynolanów, tłuszczu surowego i białka ogółem w nasionach rzepaku ozimego oraz kwasów tłuszczowych w oleju. Badania realizowano w oparciu o 3-letnie doświadczenia polowe, w których pierwszym czynnikiem były wiosenne dawki siarki (0, 10, 20, 40 i 80 kg S·ha⁻¹), a drugim czynnikiem było 6 form hodowlanych reprezentujących 4 typy odmian rzepaku: mieszańce złożone — Lubusz i Pomorzanie, mieszańce zrestorowane — BOH 3103 i MR 153, podwojony haploid — H5-198 oraz odmiana populacyjna — Lisek.

Stosowane dawki siarki istotnie zwiększały zawartość glukozynolanów w nasionach badanych typów rzepaku. Przyrost glukozynolanów alkenowych był trzykrotnie większy niż glukozynolanów indolowych. Nawożenie siarką w doświadczeniu przeprowadzonym w Zielęcinie istotnie zwiększało w nasionach zawartość białka ogółem, a obniżało zawartość tłuszczu surowego. Poziom aplikowanej siarki nie wpływał istotnie na skład kwasów tłuszczowych. Gleby na jakich uprawiano rzepak oraz lata zróżnicowały zawartość glukozynolanów, białka i tłuszczu w nasionach oraz skład kwasów tłuszczowych w oleju.

Key words: oilseed rape, sulphur fertilization, quality seeds

In the years 2003–2005 field studies on the effects of growing rates of sulphur fertilization on the content of glucosinolates, crude fat and total protein in seeds and fatty acids in oil of winter oilseed rape were carried at Agricultural Experimental Stations in Wielichowo Zielęcina (N 52°10' E 16°22') and in Łagiewniki (N 51°46' E 17°14').

The first experimental factor was spring sulphur rate (0, 10, 20, 40, 80 kg S·ha⁻¹) and the second one was breeding form of oilseed rape. Six breeding forms represented four types of oilseed rape varieties: composite hybrids (Lubusz and Pomorzanie), restored hybrids (BOH 3103 and MR 153), DH line (H5-198) and open pollinated variety (Lisek).

In three years of investigation sulphur doses caused the increase of glucosinolate content in seeds of all types of oilseed rape varieties. The rise of more harmful alkenyl glucosinolate content was three times higher than indol glucosinolate. The level of sulphur fertilization influenced crude fat and total protein content only in Zielęcina, where increasing sulphur doses increased the total protein content and decreased the crude fat content in seeds. Fat and protein content in seeds were not significantly

influenced by sulphur doses in Łagiewniki and by the average from three years of investigation. There were no substantial effects of sulphur fertilization on fatty acid composition in oil. Content of glucosinolate, crude fat and total protein in seeds and fatty acid composition in oil varied from year to year and from location to location. Significantly higher content of fat had seeds of cultivars investigated in Łagiewniki. However the same cultivars of oilseed rape cultivated in Zielecin produced seeds with higher protein and glucosinolate content.

Wstęp

Podstawowym kryterium w ocenie jakości nasion rzepaku jest zawartość w nich tłuszczu i białka oraz obecność substancji antyżywniowych, jakimi są glukozynolany. Zawartość tych składników zależy głównie od odmiany, a także warunków środowiskowych (pogoda, gleba) i agrotechnicznych. Spośród czynników agrotechnicznych na skład chemiczny nasion w największym stopniu wpływa nawożenie, zwłaszcza azotem (Muśnicki i in. 1999, Jankowski in. 2005). Ważnym makroskładnikiem w żywieniu roślin jest siarka, która wpływając na gospodarkę azotem decyduje w konsekwencji nie tylko o wielkości plonu nasion, ale również o jego jakości (Zhao i in. 1995, Fotyma i in. 1997, Krauze i Bowszys 2000, Podleśna 2003). Siarka jest ważnym komponentem glukozynolanów, a zatem ilość siarki dostępnej dla roślin ma istotny wpływ na poziom tych substancji antyżywniowych (Zhao i in 1995, Wielebski i Muśnicki 1998).

O jakości nasion rzepaku decyduje nie tylko ilość, ale także jakość zgromadzonego w nich tłuszczu i białka. Saalbach (1966) stwierdził, że przy zwiększonym nawożeniu siarką wzrastała w białku zawartość aminokwasów siarkowych — metioniny i cystyny oraz lizyny. Zasadniczym kryterium oceny jakości oleju jest skład kwasów tłuszczowych, który również zależy przede wszystkim od odmiany, ale istotny wpływ mają także warunki wilgotnościowo-termiczne i agrotechniczne (Przeździecki i in. 1988). Skład i proporcje kwasów tłuszczowych w oleju decydują o możliwości jego wykorzystania na cele spożywcze, techniczne oraz jako źródło energii odnawialnej (Bartkowiak-Broda 2005).

Celem badań było określenie wpływu wiosennego nawożenia siarką (dawka, termin aplikacji) na wartość użytkową nasion różnych typów rzepaku ozimego.

Material i metody

Obiektem badań były nasiona pochodzące z doświadczeń polowych prowadzonych w latach 2003–2005 na polach Zakładu Doświadczalnego Wielichowo Zielecin (N 52°10' E 16°22') oraz Gospodarstwa Łagiewniki (N 51°46' E 17°14') należącego do Spółki Hodowla Roślin Smolice. W dwuczynnikowym doświadczeniu polowym badano wpływ wiosennego nawożenia siarką (0, 10, 20, 40 i 80

kg S·ha⁻¹) na plonowanie 6 form hodowlanych reprezentujących 4 typy odmian rzepaku: mieszzańce złożone — Lubusz i Pomorzanie, mieszzańce zrestorowane — BOH 3103 i MR 153, podwojony haploid — H5-198 oraz odmiana populacyjna — Lisek.

Metodykę badań polowych oraz warunki pogodowe w latach badań przedstawiono I części pracy.

W zebranych nasionach rzepaku określono zawartość białka ogólnego i tłuszczu surowego oraz szczegółowo przeanalizowano ilość i jakość glukozyolanów. Na podstawie uzyskanych wyników analiz chemicznych i plonu nasion obliczono wydajność białka ogółem i tłuszczu surowego z 1 hektara.

Zawartość tłuszczu surowego w nasionach oceniono wykorzystując magnetyczny rezonans jądrowy — NMR, a białka ogólnego na podstawie zawartości azotu oznaczonego metodą Kjeldahla. Skład kwasów tłuszczowych oznaczono za pomocą chromatografii gazowej estrów metylowych kwasów tłuszczowych — chromatograf firmy Hewlett Packard typ 3390A, a wycenę ilościową chromatogramów za pomocą stacji komputerowej (Byczyńska i Krzymański 1969). Zawartość glukozyolanów w nasionach oceniono metodą chromatografii gazowej (Michalski i in. 1995) jako desulfoglukozyolany i podano w $\mu\text{mol/g}$ nasion.

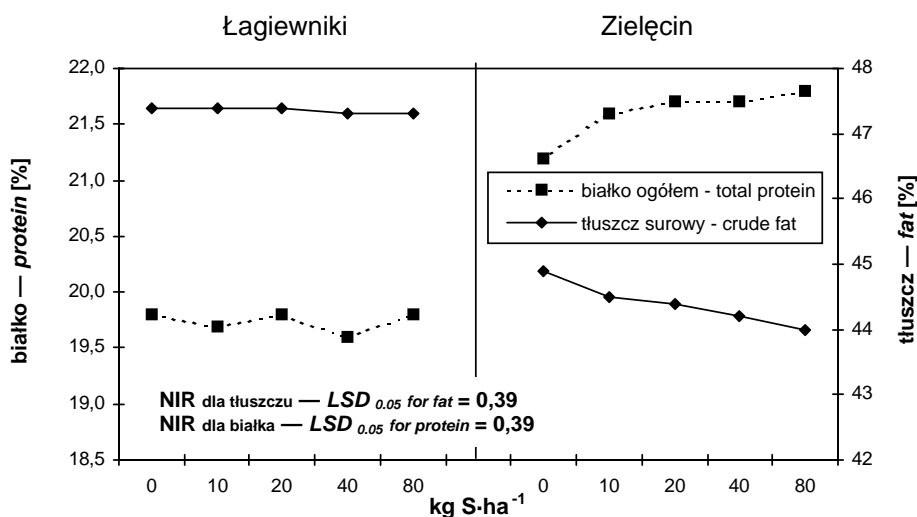
Zebrane dane poddano analizie statystycznej za pomocą pakietu STATISTICA. Istotność różnic określono testem Tukeya na poziomie ufności $P = 0,05$ i wyrażono literowo.

Wyniki i dyskusja

Nawożenie siarką w istotny sposób wpływało na wartość użytkową nasion badanych typów rzepaku ozimego: zawartość tłuszczu i białka oraz glukozyolanów.

W zawartości tłuszczu i białka w nasionach istotne różnice wystąpiły między miejscowościami. Niewielkim, ale istotnym zmianom pod wpływem poziomu dawki siarki podlegały te składniki pokarmowe nasion tylko w Zielęcinie. Wzrastające dawki siarki powodowały istotny spadek zawartości tłuszczu oraz niewielki, ale istotny wzrost zawartości białka ogólnego w nasionach wszystkich typów odmian rzepaku (rys. 1). Natomiast w Łagiewnikach stosowane dawki siarki nie różnicowały istotnie zawartości tych składników pokarmowych w nasionach (tab. 1). Istotny wpływ nawożenia siarką na zawartość białka w nasionach rzepaku wykazał w swoich badaniach Zhao i in. (1991). Zastosowanie 50 kg S·ha⁻¹ istotnie zwiększyło (o 1%) zawartość białka surowego w nasionach. Wielebski i Muśnicki (1998) w swoich badaniach wykazali, że w warunkach polowych wzrastające dawki siarki powodowały niewielki, ale istotny spadek zawartości białka ogólnego oraz tylko słabo różnicowały zawartość tłuszczu w nasionach badanych odmian podwójnie ulepszonych. Jankowski i in. (2005) w warunkach produkcyjnych wykazali, że

siarka stosowana w okresie wiosennej wegetacji powodowała spadek zaolejenia nasion rzepaku ozimego. Natomiast Mazur i in. (1977), podobnie jak Horodyski i Krzywińska (1979), w doświadczeniach polowych i wazonowych nie wykazali aby nawożenie siarką miało istotny wpływ na zawartość białka w nasionach odmian tradycyjnych. W doświadczeniach własnych różnice pomiędzy miejscowościami w reakcji na nawożenie siarką mogły wynikać z właściwości gleby, gdyż podobne relacje w zawartości tłuszczu i białka wystąpiły we wszystkich latach badań.



Rys. 1. Zawartość tłuszczu surowego i białka ogółem w nasionach w zależności od dawki siarki w Łagiewnikach i Zielęcín — *Crude fat and total protein content in seeds according to dose of sulphur in Łagiewniki and Zielęcín*

W zawartości tłuszczu i białka istotne różnice wystąpiły między odmianami. We wszystkich latach badań zarówno w Zielęcínie jak i w Łagiewnikach najwięcej tłuszczu gromadziły nasiona linii podwojonego haploidu H5-198. Równie wysoką i istotnie wyższą od populacyjnej odmiany Lisek zawartością tłuszczu charakteryzowały się nasiona mieszańców złożonych: Lubusz i Pomorzanin oraz mieszańca zrestorowanego BOH 3103. Mieszaniec zrestorowany MR 153 zawartością tłuszczu nieistotnie różnił się względem mieszańca złożonego Pomorzanin i odmiany populacyjnej Lisek. W stosunku do odmiany Lisek pozostałe odmiany charakteryzowały się istotnie wyższą zawartością białka surowego.

Wydajność tłuszczu surowego i białka jest funkcją plonu nasion i procentowej zawartości składnika. Wyniki dotyczące plonowania badanych typów rzepaku przedstawiono w I części pracy. Plony nasion wszystkich odmian kształtowały się w większym stopniu pod wpływem czynnika nawozowego (siarki) i zróżnicowanych warunków środowiskowych niż zawartość oleju i białka ogółem. Dlatego wydajność tłuszczu i białka ogółem zależała przede wszystkim od plonu nasion.

Tabela 1
Zawartość tłuszczu surowego i białka ogółem w nasionach rzepaku oraz wydajność składników pokarmowych — *Crude fat and total protein content and nutrients yield in seeds*

Czynniki <i>Factors</i>	Zawartość — <i>Content</i> [%]		Wydajność — <i>Yields</i> [dt·ha ⁻¹]	
	tłuszcz surowy <i>crude fat</i>	białko ogółem <i>total protein</i>	tłuszcz surowy <i>crude fat</i>	białko ogółem <i>total protein</i>
Nawożenie S — <i>Fertilization S</i> [kg·ha ⁻¹]				
0	46,1	20,5	21,6	9,38
10	46,0	20,6	22,5	9,84
20	45,9	20,8	22,4	9,89
40	45,8	20,7	21,4	9,47
80	45,7	20,8	21,8	9,72
NIR _{0,05} — <i>LSD</i> _{0,05}	ni	ni	ni	ni
Współ. zmienności <i>Coefficient of variability</i>	4,6	7,9	38,0	33,5
Odmiany — <i>Cultivars</i>				
Lisek	45,1 a	19,6 a	21,9 ab	9,29 b
Lubusz	45,9 cd	21,0 c	22,1 ab	9,78 bc
Pomorzanin	45,6 bc	21,5 d	21,7 ab	10,0 c
BOH 3103	46,2 d	20,5 b	22,9 b	10,0 c
MR 153	45,3 ab	21,2 cd	22,5 b	10,2 c
H5-198	47,3 e	20,2 b	20,8 a	8,62 a
NIR _{0,05} — <i>LSD</i> _{0,05}	0,48	0,34	1,44	0,611
Współ. zmienności <i>Coefficient of variability</i>	4,33	7,23	37,9	33,0
Lata — <i>Years</i>				
2003	46,3 b	22,1 b	12,1 a	5,65 a
2004	47,1 b	19,8 a	30,4 b	12,7 b
2005	44,4 a	20,1 a	23,4 b	10,6 b
NIR _{0,05} — <i>LSD</i> _{0,05}	1,39	1,96	10,64	4,52
Współ. zmienności <i>Coefficient of variability</i>	3,83	5,96	18,1	14,6
Miejsce — <i>Location</i>				
Łagiewniki	47,4 b	19,8	24,6	10,1
Zielęcín	44,2 a	21,6	19,3	9,23
NIR _{0,05} — <i>LSD</i> _{0,05}	0,83	1,65	4,34	ni
Współ. zmienności <i>Coefficient of variability</i>	3,22	6,45	36,5	32,7

ni — różnica nieistotna — *non-significant difference*

Najwyższym plonem tłuszczu charakteryzowały się mieszańce zrestorowane (BOH 3103 i MR 153), które również wyróżniały się najwyższym plonem nasion. Te ostatnie obok mieszańców złożonych wyróżniały się najwyższą wydajnością białka ogółem (tab. 1).

Istotne różnice w zawartości oraz wydajności tłuszczu i białka wystąpiły między miejscowościami i latami. W Łagiewnikach nasiona badanych form rzepaku każdego roku zawierały istotnie więcej tłuszczu, natomiast białka gromadziły istotnie mniej niż nasiona w Zielęcinie. Istotnie wyższe plony nasion w Łagiewnikach sprawiły, że plony tłuszczu i białka były wyższe. Najniższą wydajność tłuszczu i białka uzyskano w roku 2003, gdyż bardzo niekorzystne warunki — susza — znacznie ograniczyły plony nasion badanych odmian. Średnio z trzech lat badań wydajność tłuszczu w Łagiewnikach była istotnie wyższa, natomiast nie wykazano istotnego zróżnicowania między miejscowościami w plonie białka. Większą zmiennością zarówno pod wpływem wzrastających dawek siarki, jak i odmiany i środowiska charakteryzowała się zawartość białka. Natomiast duża zmienność plonu tłuszczu i białka wynikała głównie z wysokiego współczynnika zmienności plonu nasion.

W oleju oznaczono zawartość 7 podstawowych kwasów tłuszczowych. W trzyletnim doświadczeniu polowym nie stwierdzono istotnego wpływu nawożenia siarką na skład kwasów tłuszczowych. Mazur i in. (1977) stwierdzili, że skład kwasów tłuszczowych odmian tradycyjnych pozostawał bez wyraźnego związku z nawożeniem siarką. Podobnie Wielebski i Wójtowicz (2004) nie wykazali istotnego wpływu stosowania siarki na skład kwasów tłuszczowych w oleju odmian podwójnie ulepszonych. Zawartość poszczególnych kwasów zależała przede wszystkim od odmiany. Istotne różnice odmianowe wykazano w stosunku do wszystkich badanych kwasów tłuszczowych (tab. 2). Nowe typy odmian rzepaku w stosunku do odmiany populacyjnej Lisek były bogatsze w bardzo cenną grupę niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (linolowego i linolenowego), zaś zawierały mniej kwasu oleinowego. Mieszańce zrestorowane i linia DH H5-198 charakteryzowały się również wyższą zawartością nasyconego kwasu palmitynowego. Względem odmiany Lisek pozostałe charakteryzowały się wyższym stosunkiem kwasu linolowego do linolenowego.

Wielu autorów (Bartkowiak-Broda 1979, Spasibionek 2005) dowodzi, że skład kwasów tłuszczowych zależy w dużej mierze od układu warunków wilgotnościowo-termicznych. Kotecki i in. (2001) oraz Jędrzejak i in. (2005) stwierdzili, że skład kwasów tłuszczowych w oleju rzepaku jarego był cechą odmianową modyfikowaną przez nawożenie azotem i warunki pogodowe. Również Wielebski i Wójtowicz (2004) wykazali wpływ warunków środowiska na skład kwasów tłuszczowych w oleju odmian populacyjnych i mieszańcowych rzepaku ozimego. Natomiast Heimann (1998) dowodzi, że warunki środowiskowe mają tylko nieznaczny

Tabela 2

Wpływ wiosennego nawożenia siarką na skład kwasów tłuszczowych w oleju badanych odmian rzepaku
Effect of spring sulphur fertilization on fatty acid composition in oil of investigated winter oilseed rape cultivars

Czynnik Factor	Kwasy tłuszczowe — Fatty acids [%]										
	C _{16:0}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	C _{21:1}	C _{22:1}	NKT	NNKT	C _{18:2} /C _{18:3}	
Nawożenie S — Fertilization S [kg·ha ⁻¹]											
0	4,44	1,66	63,0	19,6	9,77	1,42	0,11	6,09	92,3	2,01	
10	4,43	1,66	63,3	19,4	9,67	1,37	0,10	6,09	92,4	2,02	
20	4,48	1,65	63,2	19,4	9,73	1,42	0,13	6,12	92,3	2,00	
40	4,45	1,65	63,3	19,4	9,64	1,41	0,10	6,09	92,3	2,02	
80	4,44	1,63	63,3	19,4	9,70	1,42	0,08	6,07	92,4	2,01	
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	
Odmiany — Cultivars											
Lisek	4,36 a	1,74 c	64,8 d	18,3 a	9,21 a	1,38 a	0,10 ab	6,10 b	92,4 ab	2,00 b	
Lubusz	4,35 a	1,61 a	63,4 c	19,2 b	9,82 cd	1,43 a	0,17 b	5,96 a	92,4 ab	1,96 ab	
Pomorzanin	4,43 ab	1,59 a	62,8 b	19,4 bc	10,00 e	1,54 b	0,19 b	6,02 ab	92,2 a	1,94 a	
BOH 3103	4,50 bc	1,71 c	63,1 bc	19,6 c	9,55 b	1,37 a	0,11 ab	6,21 c	92,3 ab	2,06 c	
MR 153	4,48 bc	1,58 a	61,8 a	20,7 d	9,93 de	1,39 a	0,03 a	36,06 ab	92,5 b	2,09 c	
H5-198	4,56 c	1,65 b	63,3 c	19,4 bc	9,70 bc	1,33 a	0,03 a	6,22 c	92,4 ab	2,00 b	
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	0,102	0,037	0,459	0,28	0,183	0,108	0,123	0,231	0,110	0,043	
Interakcja Interaction	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	

ni — różnica nieistotna — non significant difference

C_{16:0} — palmitynowy — palmitic

C_{18:0} — stearynowy — stearic

C_{18:1} — oleinowy — oleic

C_{18:2} — linolowy — linoleic

C_{18:3} — linolenowy — linolenic

C_{21:1} — eikozenowy — eicosenic

C_{22:1} — erukowy — erucic

NKT — nasycone kwasy tłuszczowe — saturated fatty acids

NNKT — nienasycone kwasy tłuszczowe — unsaturated fatty acids

(C_{16:0} + C_{18:0})

(C_{18:1} + C_{18:2} + C_{18:3})

wpływ na skład kwasów tłuszczowych rzepaku. W badaniach własnych istotny wpływ na skład kwasów tłuszczowych miał przebieg pogody w pierwszym roku badań. W warunkach dużego deficytu wody badane odmiany na lżejszych glebach Zielęcina gromadziły istotnie więcej kwasu linolowego, linolenowego i palmitynowego, zaś istotnie mniej kwasu oleinowego (tab. 3). Analiza pozostałych lat (2004 i 2005), które charakteryzowały się bardzo korzystnymi warunkami wilgotnościowo-termicznymi, jak również synteza trzyletnich badań nie wykazała istotnego wpływu warunków środowiska na skład kwasów tłuszczowych.

Nawożenie siarką miało istotny wpływ na zawartość glukozyolanów w nasionach badanych typów odmian rzepaku. Stosowane dawki siarki w obu miejscowościach i we wszystkich latach badań istotnie zwiększały zawartość tych specyficznych substancji antyżywniowych (rys. 2). Badane typy rzepaku na nawożenie siarką reagowały podobnie, gdyż nie wykazano istotnej interakcji między dawką siarki i odmianą. W każdym roku, niezależnie od dawki siarki, nasiona w Zielęcinie charakteryzowała wyższa zawartość glukozyolanów, na co istotny wpływ miały warunki siedliskowe, a zwłaszcza zasobność gleb w siarkę. Gleby w obu miejscowościach charakteryzowała niska zasobność siarki przyswajalnej (Motowicka-Terelak i in. 1998), przy czym zawartość siarki siarczanowej w warstwie ornej gleb w Zielęcinie (0,85–0,98) była znacznie wyższa niż w Łagiewnikach (0,58–0,65 mg $\text{SO}_4/100$ g gleby). Zasobność gleb w siarkę w istotny sposób wpływa na zaopatrzenie roślin w ten składnik. Główne źródło siarki dla roślin w okresie ich wegetacji stanowią jony siarczanowe uwalniane w procesie mineralizacji siarki organicznej. Jak wykazało wielu autorów (Merrien i Ribailier 1987, Haneklaus i in. 1999, Wielebski i Wójtowicz 2003) ilość dostępnej dla roślin siarki ma istotny wpływ na zawartość glukozyolanów w nasionach.

Przyrost glukozyolanów w nasionach pod wpływem wzrastających dawek siarki był w Zielęcinie prawie dwukrotnie wyższy niż w Łagiewnikach. Zastosowanie najwyższej dawki siarki ($80 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$) spowodowało wzrost zawartości glukozyolanów w Zielęcinie o 29% i w Łagiewnikach o 17% w stosunku do kontroli nie nawożonej siarką. Ponadto w Łagiewnikach wzrost zawartości glukozyolanów w nasionach dotyczył tylko małych dawek siarki (do $20 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$), natomiast w Zielęcinie zastosowanie najwyższej dawki siarki ($80 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$) jeszcze istotnie zwiększyło zawartość tych substancji w nasionach (tab. 4). Wzrastające dawki siarki w obu miejscowościach powodowały głównie wzrost zawartości bardziej szkodliwych glukozyolanów alkenowych (o 33%), natomiast w znacznie mniejszym stopniu zwiększały zawartość glukozyolanów indolowych (o 11%). Potwierdziło to badania własne autora (Wielebski i Muśnicki 1998), jak i innych badaczy (Zhao i in. 1995). W miarę wzrostu dawek siarki istotnie wzrastała zawartość progoitryny, glukonapiny i glukobrassikonapiny, natomiast tylko nieistotnie zmieniała się zawartość napoleiferyny (tab. 5). Progoitryny istotnie więcej gromadziły nasiona badanych odmian w Zielęcinie.

Tabela 3

Wpływ czynników środowiska na skład kwasów tłuszczowych w oleju badanych odmian rzepaku
Effect of environmental conditions on fatty acid composition in oil of investigated winter oilseed rape cultivars

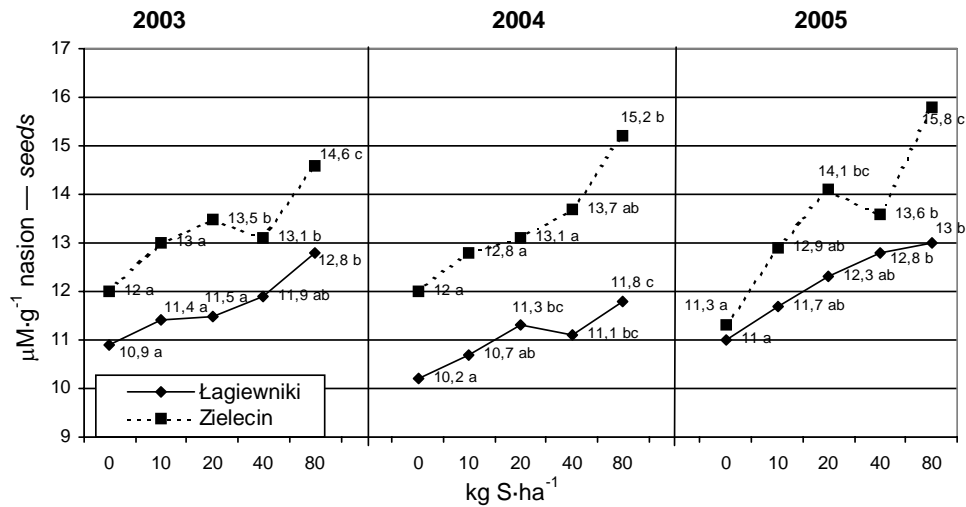
Czynnik <i>Factor</i>	Kwasy tłuszczowe — <i>Fatty acids</i> [%]											NNKT	C _{18:2} /C _{18:3}
	C _{16:0}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	C _{21:1}	C _{22:1}	NKT					
2003													
<i>Miejsce — Location</i>													
Łagiewniki	4,33 a	1,75	65,6 b	17,6 a	9,09 a	1,66 b	0,03	6,09 a	92,2 b	1,93			
Zielęcín	4,50 b	1,79	62,0 a	20,3 b	9,60 b	1,41 b	0,06	6,29 b	91,9 a	2,12			
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	0,162	ni	0,665	0,545	0,265	0,125	ni	0,029	0,11	ni			
2003–2005													
<i>Lata — Years</i>													
2002	4,42	1,77	63,8	19,0	9,34	1,54	0,05	6,19	92,1	2,03			
2003	4,30	1,51	63,6	18,9	10,3	1,32	0,08	5,81	92,8	1,83			
2004	4,63	1,65	62,3	20,5	9,45	1,36	0,19	6,28	92,2	2,17			
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni - ns			
<i>Miejsce — Location</i>													
Łagiewniki	4,44	1,60	63,9	19,0	9,52	1,43	0,10	6,04	92,4	2,00			
Zielęcín	4,46	1,69	62,5	19,8	9,89	1,38	0,11	6,15	92,2	2,02			
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni			
NIR _{0,05} — LSD _{0,05} dla interakcji for interaction	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni			

Objaśnienia w tabeli 2 — *See to Table 2*

Tabela 4

Zawartość glukozyolanów w nasionach w zależności od poziomu nawożenia siarką w Łagiewnikach i Zielęcinie
Glucosinolate content in seeds according to sulphur fertilization in Łagiewniki and Zielęcin

Dawka siarki <i>Sulphur dose</i> [kg·ha ⁻¹]	Zawartość glukozyolanów [μM·g ⁻¹ nasion] — <i>Glucosinolate content [μM·g⁻¹ seeds]</i>											
	alkenowe — <i>alkenyl</i>				indolowe — <i>indol</i>				suma — <i>total</i>			
	Łagiewniki	Zielęcin	średnio <i>mean</i>	%	Łagiewniki	Zielęcin	średnio <i>mean</i>	%	Łagiewniki	Zielęcin	średnio <i>mean</i>	%
0	6,90 a	8,49 a	7,70 a	100	3,81	100	3,55 a	100	10,7 a	11,8 a	100	100
10	7,23 ab	9,39 b	8,31 b	108	4,05	106	3,77 ab	106	11,3 ab	12,9 b	109	108
20	7,74 bc	9,87bc	8,80 c	114	3,94	103	3,80 ab	107	11,7 bc	13,5 b	115	113
40	7,95 cd	10,1 c	9,04 c	117	3,98	104	3,64 ab	103	11,9 bc	13,4 b	114	113
80	8,53 d	11,3 d	9,92 d	129	4,00	105	3,93 b	111	12,5 c	15,7 c	129	124
NIR _{0,05} LSD _{0,05}	0,619	0,438			ni				0,868	0,614		
Współczynnik zmienności <i>Coefficient of variability</i>	36,3	32,4	35,6		16,4		20,1		23,7	24,5		24,5



Rys. 2. Wpływ nawożenia siarką na zawartość glukozynolanów w zależności od miejsca i roku badań — Influence of sulphur on glucosinolate content depending on location and year of investigation

Tabela 5

Zawartość podstawowych glukozynolanów alkenowych w nasionach badanych odmian w zależności od dawki siarki — Basic alkenyl glucosinolate content in seeds investigated varieties according to dose of sulphur

Dawka siarki Sulphur dose [kg S·ha ⁻¹]	Zawartość glukozynolanów — Glucosinolate content					
	progoitryna progoitrine		glukonapina gluconapine		glukobrassicapina glucobrassicapine	
	µM·g ⁻¹	%	µM·g ⁻¹	%	µM·g ⁻¹	%
0	4,75 a	100	2,28 a	100	0,50 a	100
10	5,10 ab	107	2,50 b	110	0,55 ab	110
20	5,41 bc	114	2,62 b	115	0,60 b	120
40	5,60 c	118	2,66 b	117	0,62 bc	124
80	6,11 d	129	2,97 c	130	0,69 c	138
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	0,489		0,194		0,082	

Niezależnie od dawki i sposobu nawożenia siarką istotne różnice w zawartości glukozynolanów wystąpiły między odmianami (tab. 6). Najwięcej glukozynolanów zawierały nasiona mieszańców złożonych: Lubusz i Pomorzanin (131 i 138% odmiany wzorcowej Lisek). Glukozynolanów istotnie mniej od wzorca (12 µM·g⁻¹ nasion) gromadziły nasiona mieszańców zrestorowanych: MR 153 i BOH 3103 (80 i 93% wzorca) oraz linii DH H5-198 (83% wzorca). Mieszańce zrestorowane (MR 153 i BOH 3103) oraz linię DH w stosunku do mieszańców złożonych

Tabela 6

Zawartość glukozynolanów w nasionach rzepaku w zależności od odmiany i środowiska
Glucosinolate content in seeds of investigated varieties according to cultivars and environment

Czynnik <i>Factor</i>	Zawartość glukozynolanów — <i>Glucosinolate content</i>					
	alkenowe — <i>alkenyl</i>		indolowe — <i>indol</i>		suma — <i>total</i>	
	$\mu\text{M}\cdot\text{g}^{-1}$	%	$\mu\text{M}\cdot\text{g}^{-1}$	%	$\mu\text{M}\cdot\text{g}^{-1}$	%
Odmiany — <i>Cultivars</i>						
Lisek	8,95 c	100	3,07 a	100	12,0 c	100
Lubusz	11,8 d	132	3,89 cd	127	15,7 d	131
Pomorzanin	12,6 e	141	4,04 d	132	16,6 e	138
BOH 3103	7,40 b	83	3,66 b	119	11,1 b	93
MR 153	5,82 a	65	3,82 bc	124	9,64 a	80
H5-198	6,03 a	67	3,94 cd	128	9,97 a	83
NIR _{0,05} — <i>LSD</i> _{0,05}	0,642		0,212		0,687	
Współ. zmienności <i>Coefficient of variability</i>	21,9		18,5		13,3	
Lata — <i>Years</i>						
2003	9,41		3,05		12,5	
2004	7,94		4,24		12,2	
2005	8,92		3,93		12,9	
NIR _{0,05} — <i>LSD</i> _{0,05}	ni		ni		ni	
Współ. zmienności <i>Coefficient of variability</i>	36,0		15,3		25,2	
Miejsce — <i>Location</i>						
Łagiewniki	7,67		3,95		11,6	
Zielecin	9,84		3,52		13,4	
NIR _{0,05} — <i>LSD</i> _{0,05}	1,41		ni		1,33	
Współ. zmienności <i>Coefficient of variability</i>	34,3		17,5		24,2	

i odmiany populacyjnej Lisek charakteryzował wyraźnie większy udział mniej szkodliwej frakcji indolowej. Udział poszczególnych glukozynolanów z frakcji alkenowej i indolowej u badanych typów rzepaku był podobny. Wśród glukozynolanów alkenowych największy udział stanowiła progoitryna i glukonapina a spośród indolowych 4-OH-glukobrassicyna (tab. 7).

Zawartość glukozynolanów w nasionach była istotnie modyfikowana przez warunki siedliskowe. Niezależnie od dawki siarki, nasiona badanych odmian w Zielecinie charakteryzowała wyższa zawartość glukozynolanów alkenowych i sumy glukozynolanów oraz nieistotnie mniejsza zawartość glukozynolanów indolowych. W zawartości glukozynolanów nieistotne różnice wystąpiły między latami. Nie wykazano również istotnych interakcji lat z dawkami siarki oraz lat z odmianami

(tab. 6). Większy wpływ na zawartość glukozynolanów w nasionach miała gleba (miejsce) niż warunki pogodowe (lata). Te ostatnie miały istotny wpływ na zaopatrzenie roślin w siarkę w bardzo wczesnych fazach wiosennego rozwoju rzepaku. Średnio z trzech lat badań czynnikiem najbardziej różnicującym zawartość glukozynolanów były dawki siarki, a następnie środowisko i odmiana.

Tabela 7

Udział poszczególnych glukozynolanów (%) w nasionach badanych odmian rzepaku
Participation (%) of glucosinolates in seeds of investigated cultivars

Glukozynolany <i>Glucosinolates</i>	Odmiana — <i>Cultivar</i>					
	Lisek	Pomorzanin	Lubusz	BOH 3103	MR 153	H5-198
Alkenowe — <i>Alkenyl</i>	74,4	75,7	75,2	66,9	60,4	60,5
progoitryna <i>progoitryne</i>	45,6	46,5	46,7	42,5	40,8	32,2
glukonapina <i>gluconapine</i>	21,0	22,8	22,3	19,0	15,4	22,7
glukobrassicapina <i>glucobrassicapine</i>	6,32	5,30	5,05	3,89	2,91	4,41
napoleiferyna <i>napoleiferine</i>	1,33	0,96	0,96	1,18	1,04	1,00
Indolowe — <i>Indol</i>	25,5	24,3	24,8	33,1	39,6	39,5
4-OH-glukobrassicyna 4-OH- <i>glucobrassicine</i>	24,7	23,3	23,8	31,8	38,0	38,1
Inne — <i>Other</i>	0,75	1,02	0,96	1,36	1,45	1,30

Wnioski

1. Stosowane dawki siarki (10 do 80 kg S·ha⁻¹) we wszystkich latach badań istotnie zwiększały zawartość glukozynolanów w nasionach badanych typów rzepaku. Przyrost glukozynolanów alkenowych był trzykrotnie większy niż glukozynolanów indolowych.
2. Nawożenie siarką w doświadczeniu przeprowadzonym w Zielęcinie istotnie zwiększało poziom białka ogółem, a obniżało zawartość tłuszczu surowego w nasionach. Nieistotnie pod wpływem dawek siarki zmieniała się zawartość tłuszczu i białka w nasionach z Łagiewnik.
3. Nie stwierdzono istotnego wpływu nawożenia siarką na skład kwasów tłuszczowych.
4. Gleby na jakich uprawiano rzepak oraz lata różnicowały zawartość glukozynolanów, białka i tłuszczu w nasionach oraz skład kwasów tłuszczowych w oleju.

Literatura

- Bartkowiak-Broda I. 1979. Dziedziczenie zawartości tłuszczu oraz kwasów: oleinowego, linolowego i linolenowego u bezerukowego rzepaku ozimego (*Brassica napus* L. var. *oleifera*). Praca doktorska wykonana w Zakładzie Roślin Oleistych IHAR w Poznaniu.
- Bartkowiak-Broda I. 2005. Kierunki hodowli i nasiennictwo. Technologia produkcji rzepaku. Praca zbiorowa.
- Bartkowiak-Broda I., Krzymański J., Ogrodowczyk M. 1983. Inheritance of glucosinolate content and composition in seeds of winter rape (*Brassica napus* L.). Proc. 6th Intern. Rapeseed Congress, Paris, France, vol. I: 305-310.
- Byczyńska B., Krzymański J. 1969. Szybki sposób otrzymania estrów metylowych kwasów tłuszczowych do analizy metodą chromatografii gazowej. Tłuszcze Jadalne, XIII: 108-114.
- Fotyma E., Fotyma M., Boreczek B. 1997. The efficiency of nitrogen and sulphur fertilization in Poland. Fertilization for sustainable plant production and soil fertility. 11th World Fertilizer Congress of CIEC, Gent, 139.
- Haneklaus S., Paulsen H.M., Gupta A.K., Bloem E., Schnug E. 1999. Influence of Sulfur Fertilization on yield and quality of oilseed rape and mustard. Proc. 10th Int. Rapeseed Congress, CD, Canberra.
- Heimann S. 1998. Rzepak ozimy, rzepak jary. Synteza wyników doświadczeń odmianowych COBORU. Słupia Wielka, 1140.
- Horodyski A., Krzywińska F. 1979. Wpływ nawożenia siarką na plon i jakość nasion rzepaku ozimego. Zeszyty Probl. Post. Nauk Rol., 229: 101-109.
- Jankowski K.J., Rybacki R., Budzyński W. 2005. Nawożenie a plon nasion rzepaku ozimego w gospodarstwach wielkoobszarowych. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XXVI (2): 437-450.
- Jędrzejak M., Kotecki A., Kozak M., Malarz W. 2005. Wpływ zróżnicowanych dawek azotu na profil kwasów tłuszczowych oleju rzepaku jarego. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XXVI (1): 139-148.
- Kotecki A., Malarz W., Kozak M., Aniołowski K. 2001. Wpływ nawożenia azotem na skład chemiczny nasion pięciu odmian rzepaku jarego. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XXII (1): 81-89.
- Krauze A., Bowszys T. 2000. Wpływ stosowania różnych technologii nawozów siarkowych na plonowanie i jakość rzepaku ozimego i jarego. Fol. Univ. Agric. Stetin., 204, Agricultura, 81: 133-142.
- Mazur T., Cieccko Z., Kozłowski M. 1977. Influence of nitrogen and sulphur fertilization on yield and seed composition of rape. Zesz. Nauk. Akad. Roln. Tech. Olsztyn, 19: 189-198.
- Merrien A., Ribaillier D., Agbo P., Davineau J. 1987. Impact de la fertilisation soufre sur la teneur en glucosinolates des greins chez le colza: consequences agronomiques. Proc. 7eme Congres Intern. Sur le Colza., 10-14 mai, Poznań, 4: 907-916.
- Michalski K., Kołodziej K., Krzymański J. 1995. Quantitative analysis of glucosinolates in seeds of oilseed rape – effect of sample preparation on analytical results. Proc. 9th Int. Rapeseed Congress, Cambridge, UK, 4-7.07, 3: 911-913.
- Motowicka-Terelak T., Terelak H. 1998. Siarka w glebach Polski – stan i zagrożenie. Bibl. Monitoringu Środ., Warszawa.
- Muśnicki Cz., Toboła P., Muśnicka B. 1999. Wpływ niektórych czynników agrotechnicznych i siedliskowych na jakość plonu rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XX (2): 459-469.
- Podleśna A. Wstępna ocena potrzeb nawożenia siarką rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XXIV (2): 641-649.

- Przeździecki Z., Murawa D. 1988. Badania skuteczności kilku herbicydów stosowanych w rzepaku jarym oraz ich wpływ na plon i skład chemiczny nasion. *Acta Acad. Agricult. Tech. Olsztyn*, 45: 203-213.
- Saalbach E. 1966. Nawożenie siarką a jakość białka. *Sulphur Institute Journal*, 2, 3: 2-5.
- Spasibionek S. 2006. New mutants of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) with changed fatty acid composition. *Plant Breeding*, 125: 259-267.
- Wielebski F., Muśnicki Cz. 1998. Wpływ wzrastających dawek siarki i sposobu jej aplikacji na plon i zawartość glukozynolanów w nasionach dwóch odmian rzepaku ozimego w warunkach doświadczeń polowych. *Rocz. Akad. Rol. w Poznaniu*, CCCIII: 149-167.
- Wielebski F., Wójtowicz M. 2003. Wpływ wiosennego nawożenia siarką na plon i zawartość glukozynolanów w nasionach odmian mieszańcowych złożonych rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXIV (1): 109-119.
- Wielebski F., Wójtowicz M. 2004. Wpływ czynników agrotechnicznych na skład chemiczny nasion odmiany mieszańcowej zrestorowanej w porównaniu z odmianą populacyjną i odmianami mieszańcowymi złożonymi. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXV (2): 505-519.
- Zhao F.J., Syers J.K., Evans E.J., Bilsborrow P.E. 1991. Sulphur nad oilseed rape production in the United Kingdom. *Sulphur in Agriculture*, 15: 13-16.
- Zhao F.J., Evans E.J., Bilsborrow P.E. 1995. Varietal differences in sulphur uptake and utilization in relation to glucosinolate accumulation in oilseed rape. *Proc. 9th Intern. Rapeseed Congress*, Cambridge University, 1: 271-273.