

Franciszek Wielebski, Marek Wójtowicz

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Zakład Roślin Oleistych w Poznaniu

## Wpływ wiosennego nawożenia siarką na plon i zawartość glukozynolanów w nasionach odmian mieszańcowych złożonych rzepaku ozimego

### Effect of spring sulphur fertilization on yield and glucosinolate content in seeds of winter oilseed rape composite hybrids

Słowa kluczowe: rzepak, mieszańce złożone, siarka, plon nasion, glukozynolany

Key words: oilseed rape, composite hybrids, sulphur, yield of seeds, glucosinolate

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących reakcji odmian mieszańcowych na wiosenne nawożenie siarką (0, 10, 20, 40 i 80 kg S/ha) oraz jego wpływu na plon i zawartość glukozynolanów w nasionach. Obok dwóch odmian mieszańcowych złożonych: Kaszub i Mazur, obiektami badań były linia DH MR5 oraz odmiana populacyjna Kana. W warunkach optymalnego (Łagiewniki), jak i bardzo wysokiego (Zielęcín) zaopatrzenia roślin w siarkę, nawożenie tym składnikiem nie miało istotnego wpływu na plon nasion badanych form rzepaku ozimego. Wysoka w Łagiewnikach (0,68% S) i bardzo wysoka w Zielęcínie (1,15% S) zawartość siarki w liściach roślin zakwitających na obiektach kontrolnych nie nawożonych siarką była wynikiem nie tyle dużej zasobności gleb w ten składnik, ale bardzo sprzyjających warunków pogodowych i sprawnie działającej mineralizacji tego pierwiastka w glebie w okresie wczesnej wiosny. Stopień zaopatrzenia roślin w siarkę, jak i wysokość nawożenia siarkowego miały istotny wpływ na zawartość glukozynolanów w nasionach wszystkich badanych odmian. Wzrastającym dawkom siarki towarzyszył przyrost zawartości glukozynolanów, przy czym suma nagromadzonych glukozynolanów zależała od poziomu zaopatrzenia roślin w siarkę. W warunkach bardzo dużego zaopatrzenia roślin w siarkę

The paper presents the results dealing with the response of oilseed rape composite hybrids to spring sulphur fertilization (0, 10, 20, 40 and 80 kg S/ha) and its effect on the yield and glucosinolate content. Apart from two composite hybrids Kaszub and Mazur, DH line MR5 and open pollinated variety Kana were the subject of this study. In optimal (Łagiewniki) and in very high (Zielęcín) sulphur supply conditions, fertilization of this element did not have any influence on seed yield of investigated winter oilseed rape cultivars. High in Łagiewniki (0.68% S) and very high in Zielęcín (1.15% S) sulphur content in leaves of flowering plants on the control objects without sulphur fertilization did not result, in the first place, from the high natural sulphur status of the soil but arose from very favourable weather conditions and efficient mineralization of this nutrient in the soil in early spring. The degree of sulphur supply for plants and the level of sulphur fertilization influenced glucosinolate content in seeds of all cultivars. Increasing doses of sulphur caused significant rise of glucosinolate content. The total of glucosinolates was dependent on the sulphur status of the crop. In very high sulphur supply conditions (Zielęcín) under the influence of increasing sulphur doses, significantly slower rise of the glucosinolate content was observed. In spite of this, glucosinolate

(Zielęcin) obserwowano wyraźnie mniejszy przyrost glukozynolanów pod wpływem wzrastających dawek siarki. Mimo to nasiona badanych odmian gromadziły w takich warunkach średnio o ponad 60% więcej glukozynolanów niż nasiona tych samych odmian w warunkach optymalnego zaopatrzenia w siarkę (Łagiewniki). Stosowane dawki siarki powodowały wzrost zawartości bardziej szkodliwych glukozynolanów alkenowych, natomiast nie miały istotnego wpływu na zawartość glukozynolanów indolowych.

synthesis in seeds in such conditions was 60% higher than in optimal sulphur supply conditions (Łagiewniki). Sulphur doses caused increase of more harmful alkenyl glucosinolate but had not any significant effect on indol glucosinolate content.

## Wstęp

---

Siarka jest ważnym makroskładnikiem w żywieniu roślin. Rzepak jest rośliną, która potrzebuje szczególnie dużo tego pierwiastka. Na wytworzenie 1 dt nasion pobiera średnio od 1,5 do 2 kg siarki (Zhao i in. 1995). Tak duże zapotrzebowanie może przewyższać ilości siarki dostępnej dla roślin w glebie, albowiem ograniczenie emisji siarki do atmosfery pogorszyło wyraźnie zaopatrzenie roślin w ten składnik (Withers i in. 1995). Z tego powodu w niektórych rejonach kraju mogą występować niedobory siarki, co pociąga za sobą konieczność nawożenia tym składnikiem (Wielebski i in. 2000). Siarka jest ważnym komponentem glukozynolanów, a zatem ilość dostępnej dla roślin siarki ma istotny wpływ na poziom tych substancji antyżywniowych w nasionach. Obecnie do uprawy weszły odmiany mieszańcowe cechujące się wyższym potencjałem plonotwórczym. Celem prac było zatem poznanie wpływu czynników środowiska oraz wysokości i sposobu nawożenia siarką na poziom ich plonowania i jakość plonu, a zwłaszcza na zawartość glukozynolanów, która decyduje o jakości zbieranych nasion.

## Material i metoda

---

Badania zostały przeprowadzone w sezonie wegetacyjnym 2001/2002 w oparciu o ściśle doświadczenia polowe realizowane na lżejszych glebach Zakładu Doświadczalnego Wielichowo Zielęcin i cięższych glebach Gospodarstwa Łagiewniki należącego do Spółki Hodowla Roślin Smolice. Gleby te charakteryzowała niska zasobność siarki przyswajalnej. Zawartość siarki siarczanowej w warstwie ornej tych gleb wahała się od 0,63 (Łagiewniki) do 0,98 (Zielęcin) mg  $\text{SO}_4/100$  g gleby. Dwa mieszańce złożone Kaszub i Mazur oraz linię DH MR5 będącą podwojonym haploidem porównywano z odmianą populacyjną Kana. Przedplonem w obu miejscowościach były zboża — pszenica w Zielęcinie i żyto w Łagiewnikach. Przedsięwzięcie zastosowano po 160 kg  $\text{K}_2\text{O}$  i 20 kg N/ha oraz 40 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  w Zielęcinie i 60 kg  $\text{P}_2\text{O}_5/ha$  w Łagiewnikach. Siarkę stosowano zgodnie ze schematem doświadczenia (tab. 1) w dawkach: 0, 10, 20, 40 i 80 kg S/ha. Doglebo-

wo siarkę stosowano w formie siarczanu amonu jednorazowo w fazie ruszenia vegetacji bądź dzielono na dwie części i stosowano po połowie w okresie ruszenia vegetacji i na początku pąkowania. Dolistnie siarkę stosowano w fazie zwartego pąka: jednorazowo, bądź uzupełniono dawkę siarki podaną doglebowo w fazie pąkowania. Do oprysku zastosowano siedmiowodny siarczan magnezu ( $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ ).

Tabela 1

Schemat nawożenia siarką — *Schema of sulphur fertilization*

Całkowita dawka <i>Total dose</i> [kg/ha]	Termin stosowania i dawka siarki [kg S/ha] <i>Time and dose of sulphur application</i>		
	ruszenie vegetacji <i>beginning of vegetation</i>	początek pąkowania <i>beginning of budding</i>	zwarty pąk <i>compact bud</i>
0	–	–	–
10	–	–	10*
20	–	10	10*
40	40	–	–
80	40	40	–

\* siarka podana dolistnie — *foliar sulphur application*

Wiosną w fazie początku kwitnienia oznaczono zawartość siarki w liściach. W tym celu z każdego poletka pobrano około 30 najmłodszych, w pełni wykształconych liści. Zawartość siarki w liściach rzepaku oznaczono metodą Bradsleya-Lancastera (1960). Po zbiorze 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, najpierw oddzielnie dla każdej miejscowości, a następnie dokonano syntezy z dwóch miejscowości. Istotność różnic określono na poziomie ufności  $P = 0,05$  i wyrażono je literowo.

## Wyniki i dyskusja

Nawożenie siarką w warunkach polowych zarówno Zielęcina, jak i Łagiewnik nie różnicowało istotnie plonu nasion (tab. 2). Brak było także istotnej interakcji między odmianą a zastosowaną dawką siarki, co dowodzi podobnej reakcji porównywanych odmian na nawożenie siarką. Istotne różnice w plonie wystąpiły tylko między odmianami. Niezależnie od wysokości zastosowanej dawki siarki zarówno w Łagiewnikach, jak i w Zielęcinie statystycznie istotnie najwyżej plonowały mieszańce złożone: Mazur i Kaszub. Ich plony stanowiły odpowiednio 108 i 107% plonu wzorcowej odmiany Kana. Poniżej wzorca plonowała linia DH MR 5 (tab. 3).

Tabela 2

Plon nasion (dt/ha) w zależności od poziomu dawki siarki w Łagiewnikach i Zielęcinie  
*Seed yield (dt/ha) depending on sulphur rates in Łagiewniki and Zielęcin*

Stacja Station	Dawka siarki — Sulphur rates [kg S/ha]				
	0	10	20	40	80
Łagiewniki	34,8 a	34,3 a	32,8 a	32,5 a	33,9 a
Zielęcin	34,2 A	32,7 A	33,6 A	33,2 A	33,9 A
Średnia — Mean	34,5	33,5	33,2	32,85	33,9

Tabela 3

Plon nasion (dt/ha) badanych odmian w Łagiewnikach i w Zielęcinie  
*Seed yield (dt/ha) of cultivated varieties in Łagiewniki and Zielęcin*

Stacja Station	Kana	Mazur		Kaszub		DH MR5	
	[dt/ha]	[dt/ha]	[% Kana]	[dt/ha]	[% Kana]	[dt/ha]	[% Kana]
Łagiewniki	32,8 ab	35,4 c	107,9	34,5 bc	105,2	31,9 a	97,3
Zielęcin	32,6 B	35,3 C	108,3	35,3 C	108,3	31,0 A	95,1
Średnia — Mean	32,7	35,35	108,1	34,9	106,7	31,45	96,2

a, b, c, A, B, C — oznaczenie grup jednorodnych — *homogenous groups*

Prawdopodobnie słaby efekt nawożenia siarką w przeprowadzonych doświadczeniach był wynikiem dobrego zaopatrzenia roślin w siarkę. Dowiodła tego wysoka w Łagiewnikach (0,68% S) i bardzo wysoka w Zielęcinie (1,15% S) zawartość siarki w liściach roślin zakwitających na obiektach kontrolnych nie nawożonych siarką (tab. 4). Najmłodsze w pełni wykształcone liście tych roślin

Tabela 4

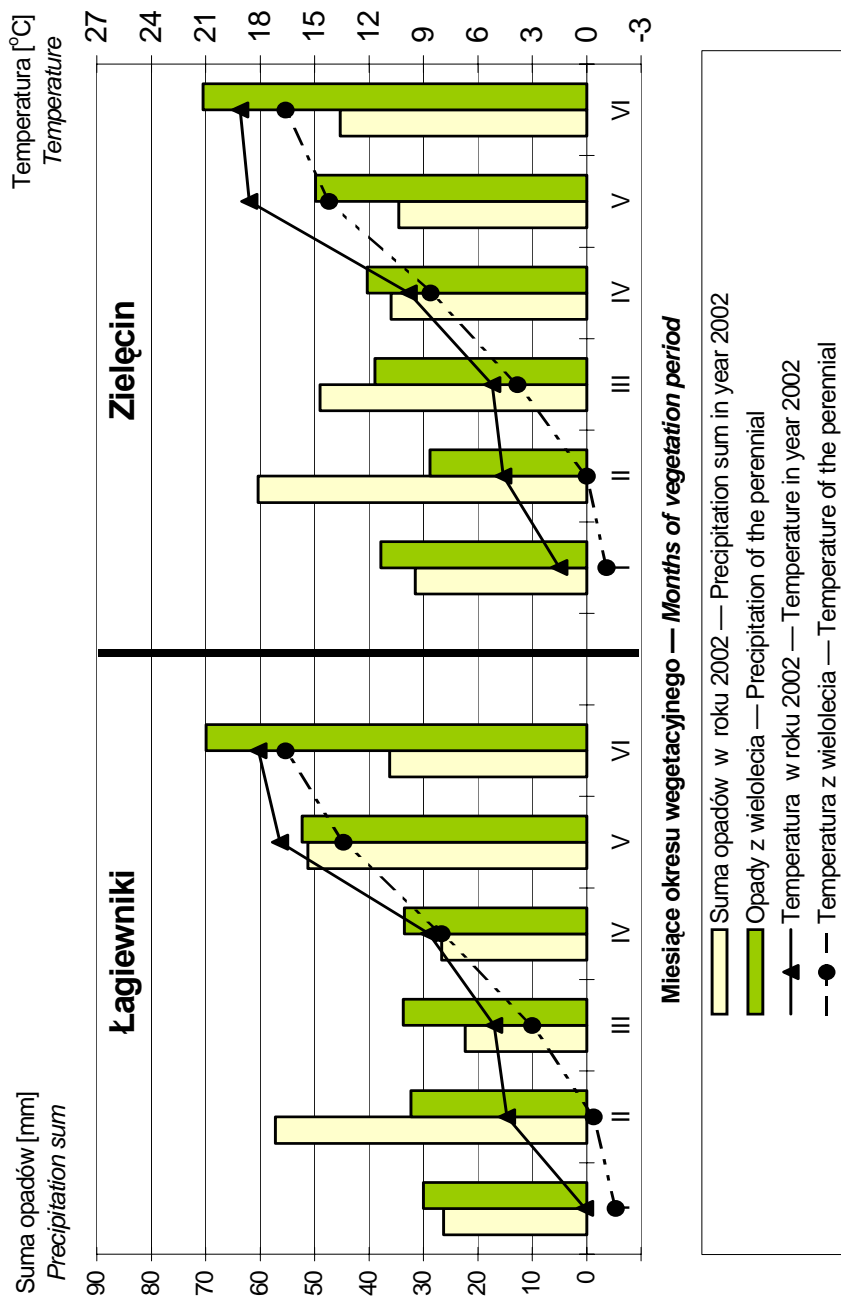
Zawartość siarki w suchej masie najmłodszych liści roślin zakwitających w zależności od poziomu dawki siarki w Łagiewnikach i Zielęcinie (%) — *Content of sulphur in dry matter of the youngest leaves according to sulphur rates in Łagiewniki and Zielęcin (%)*

Stacja Station	Dawka siarki — Sulphur rates [kg S/ha]				
	0	10	20	40	80
Łagiewniki	0,68 a	0,73 a	1,10 b	1,46 c	1,64 d
Zielęcin	1,15 A	1,39 B	1,57 C	1,63 D	1,71 D
Średnia — Mean	0,91	1,06	1,33	1,54	1,67

a, b, c, A, B, C — oznaczenie grup jednorodnych — *homogenous groups*

zawierały ilości siarki znacznie przekraczające wartości optymalne (0,56–0,65% S) określone dla tej fazy przez Haneklausa i Schnuga (1991). Wyższe wartości notowano w Zielęcinie, gdzie również zawartość w glebie siarki siarczanowej, formy łatwo przyswajalnej dla roślin była o połowę wyższa (0,98) niż w Łagiewnikach (0,63 mg SO<sub>4</sub>/100 g gleby). W miarę zwiększania dawek siarki obserwowano wzrost koncentracji siarki w liściach wszystkich badanych odmian w stopniu znacznie większym w Łagiewnikach niż w Zielęcinie. Zwiększenie dawki siarki o 10 kg powodowało wzrost zawartości siarki w liściach średnio o 0,12% w Łagiewnikach i tylko o 0,07% w Zielęcinie. Można przypuszczać, że dobre zaopatrzenie roślin w siarkę było wynikiem sprawnie działającej mineralizacji tego pierwiastka w glebie, której sprzyjała w obu miejscowościach ciepła i umiarkowanie wilgotna wiosna (rys. 1). Jak twierdzą Janzen i Bettany (1987) w takich warunkach mineralizacja przebiega szybko i sprawnie. W trakcie tego procesu uwalniane zostają ilości siarki niezbędne dla zaspokajania dużych i szybko rosnących potrzeb rzepaku wiosną po ruszeniu wegetacji. Przebieg pogody w okresie zimy i na wiosnę ma duży wpływ na stan odżywienia siarką roślin rzepaku. Obfite opady w okresie jesieni i zimy powodujące silne wymycie siarki z gleby oraz spowodowane niskimi temperaturami wolne tempo mineralizacji w okresie wczesnej wiosny mogą być przyczyną niedoborów siarki we wczesnych fazach wiosennego rozwoju rzepaku. Dowiodły tego nasze wcześniejsze badania (Wielebski i in. 2000), w których niekorzystne warunki pogodowe (dużo opadów i chłodna wiosna) przyczyniły się do silnych niedoborów siarki u rzepaku w obu miejscowościach wiosną 1999 roku.

Słaba reakcja w plonie odmian mieszańcowych jest zgodna z wcześniejszymi reakcjami innych form rzepaku ozimego na nawożenie siarką w warunkach dobrego zaopatrzenia roślin w ten składnik. Wiele doświadczeń polowych i wazonowych wykonanych na odmianach tradycyjnych (Horydyski in. 1972), jak i późniejsze nasze badania z odmianami podwójnie ulepszonymi (Wielebski i Muśnicki 1998) wykazały również słabą reakcję rzepaku na nawożenie siarką w warunkach dużej dostępności tego składnika dla roślin. Wyniki te korespondują także z wynikami wielu innych autorów (Evans i in. 1991; Bilsborrow i in. 1995; Haneklaus i in. 1999), którzy również w warunkach dobrego zaopatrzenia roślin w siarkę nie obserwowali reakcji na nawożenie tym składnikiem w plonie. W takich warunkach nawożenie siarką powodowało zazwyczaj znaczny przyrost zawartości szkodliwych glukozyolanów w nasionach. Dużego wzrostu plonu można się natomiast spodziewać w warunkach niedoboru siarki (Schnug 1991; Merrien 1987). Haneklaus i in. (1999) w swoich badaniach wykazali, że w warunkach ostrego niedoboru siarki zastosowanie 40 kg S/ha zwiększało plon rzepaku średnio nawet o 88%.



Rys. 1. Opady i temperatura w okresie od stycznia do czerwca roku 2002 na tle wielolecia — Precipitation and temperature from January to June in 2002 comparing to many year data

W naszych badaniach nawożenie siarką miało istotny wpływ na zawartość glukozynolanów w nasionach wszystkich badanych odmian. Wzrastającym dawkom siarki towarzyszył przyrost zawartości glukozynolanów, przy czym tempo wzrostu zależało od poziomu zaopatrzenia roślin w ten składnik (tab. 5). W warunkach optymalnego zaopatrzenia w siarkę jakie obserwowano w Łagiewnikach, wzrastającym dawkom tego pierwiastka towarzyszył silny przyrost zawartości glukozynolanów. Zastosowanie najwyższej dawki siarki (80 kg S/ha) spowodowało wzrost glukozynolanów w stosunku do kontroli nie nawożonej siarką aż o ponad 80%. Natomiast w warunkach bardzo wysokiego zaopatrzenia roślin w siarkę, jakie notowano w Zielęcinie, przyrost glukozynolanów pod wpływem dawek siarki był znacznie mniejszy (około 20%). Mimo to nasiona badanych odmian w takich warunkach gromadziły średnio o ponad 60% glukozynolanów więcej niż nasiona tych samych odmian w Łagiewnikach.

Tabela 5

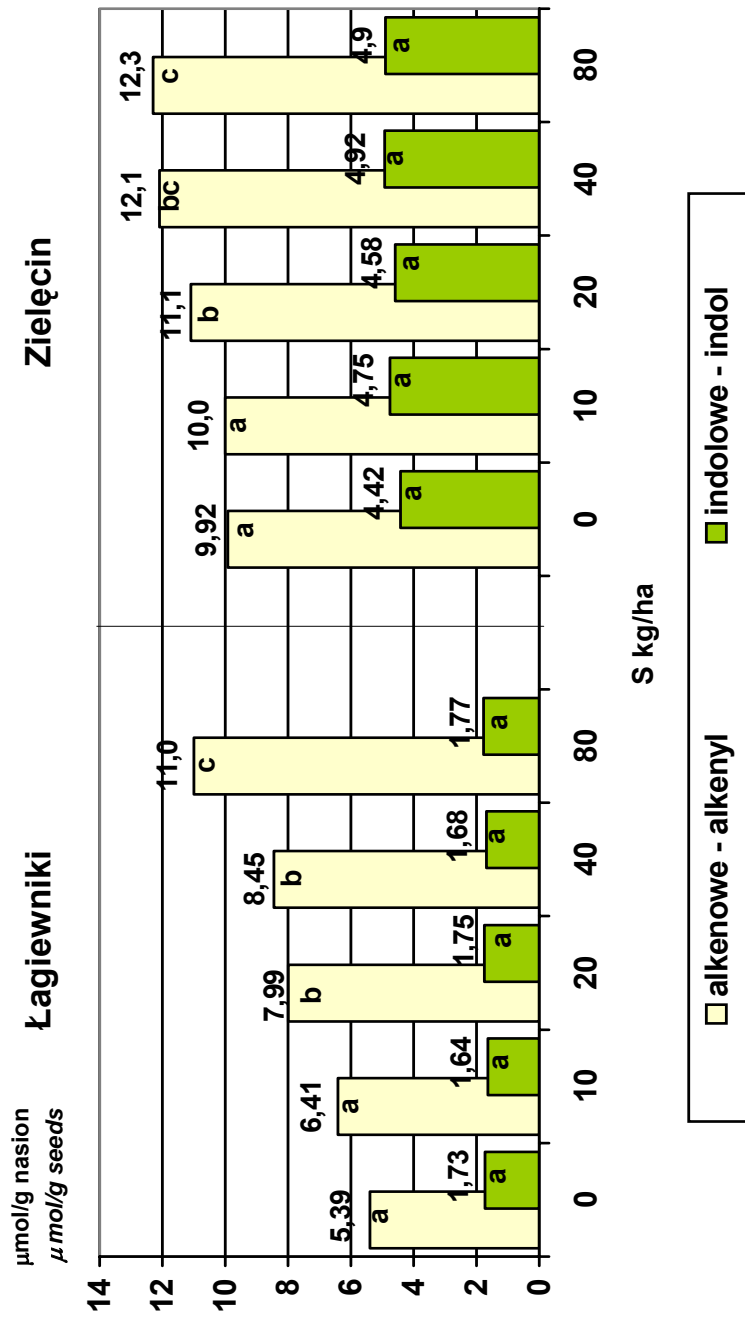
Zawartość sumy glukozynolanów w zależności od poziomu nawożenia siarką w Łagiewnikach i Zielęcinie — *Total glucosinolate content according to the level of sulphur rates in Łagiewniki and Zielęcin*

Stacja <i>Station</i>	Dawka siarki — <i>Sulphur rates</i> [kg S/ha]				
	0	10	20	40	80
Łagiewniki	7,12 a	8,05 ab	9,74 bc	10,10 c	12,8 d
Zielęcin	14,40 A	14,80 A	15,60 B	17,00 C	17,2 C
Średnia — <i>Mean</i>	10,76	11,42	12,67	13,55	15,0

a, b, c, A, B, C — oznaczenie grup jednorodnych — *homogenous groups*

Haneklaus i in. (1999) wykazali, że wzrost zawartości glukozynolanów w podwójnie ulepszonych odmianach rzepaku pod wpływem nawożenia siarką zależy od zaopatrzenia roślin w siarkę. Im wyższe zaopatrzenie roślin w siarkę, tym mniejszy jednostkowy przyrost glukozynolanów spowodowany zastosowaną dawką siarki. Zależność taką obserwowano również w naszych badaniach. Zawartość glukozynolanów w warunkach optymalnego zaopatrzenia w siarkę (w Łagiewnikach) wzrastała średnio o 0,71  $\mu\text{mol/g}$  nasion po zastosowaniu 10 kg S/ha. Natomiast w warunkach bardzo wysokiego zaopatrzenia roślin w siarkę (w Zielęcinie) średni przyrost glukozynolanów był o połowę niższy i wynosił odpowiednio 0,35  $\mu\text{mol/g}$  nasion.

Nawożenie siarką powodowało w szczególności wzrost zawartości bardziej szkodliwych glukozynolanów alkenowych, natomiast nie miało istotnego wpływu na zawartość glukozynolanów indolowych (rys. 2). Zhao i in. (1995) w swoich



Rys. 2. Zawartość glukozynolanów alkenowych i indolowych w nasionach w zależności od dawek siarki (kg/ha) w Lagiewnikach i w Zielęcinie  
*Alkenyl and indol glucosinolate content in seeds according to dose of sulphur (kg/ha) in Lagiewniki and Zielęcin*



badaniach również wykazali, że stosowanie siarki powoduje głównie wzrost glukozynolanów alkenowych. Niezależnie od zastosowanej dawki poziom glukozynolanów indolowych w nasionach badanych odmian w Zielęcinie był wyraźnie wyższy.

Istotne różnice w zawartości glukozynolanów wystąpiły również między badanymi odmianami, niezależnie od poziomu zastosowanej dawki siarki (tab. 6). Zarówno nasiona mieszańców złożonych (Mazur i Kaszub), jak i nasiona linii DH zawierały istotnie więcej glukozynolanów niż populacyjna odmiana Kana.

Tabela 6

Zawartość sumy glukozynolanów w nasionach badanych odmian  
*Total glucosinolate content in seeds of investigated cultivars*

Stacja <i>Station</i>	Kana	Mazur		Kaszub		DH MR5	
	[dt/ha]	[dt/ha]	[% Kana]	[dt/ha]	[% Kana]	[dt/ha]	[% Kana]
Łagiewniki	8,02 a	9,81 b	122,3	11,30 c	140,9	9,14 ab	114,0
Zielęcin	13,70 A	15,70 C	114,6	18,80 D	137,2	15,00 B	109,5
Średnia — <i>Mean</i>	10,86	12,75	117,4	15,05	138,6	12,07	111,1

a, b, c, A, B, C — oznaczenie grup jednorodnych — *homogenous groups*

Badania te, podobnie jak wcześniejsze, przeprowadzone z podwójnie ulepszonymi odmianami rzepaku, wykazały, że w warunkach dużego zaopatrzenia roślin w siarkę dodatkowe nawożenie nie ma wpływu na plon nasion, może natomiast znacznie pogorszyć ich jakość, zwiększając w nasionach zawartość siarkowych substancji antyżywniowych, jakimi są glukozynolany. Przed podjęciem decyzji o nawożeniu związkami siarki należy określić dostępność tego składnika dla roślin. W osiągnięciu tego celu obok analizy gleby i roślin pomocna może być dokładna obserwacja warunków pogodowych w okresie jesienno-zimowym i wczesnej wiosny. Szczegółowa analiza głównych parametrów pogody (ilości opadów, temperatury) pozwoli dużo wcześniej przewidzieć ryzyko wystąpienia niedoborów siarki i w razie potrzeby szybko uzupełnić jej braki. Zapobiegnie ona także ryzyku przenawożenia siarką.

## Wnioski

1. W warunkach optymalnego (Łagiewniki), jak i bardzo wysokiego (Zielęcin) zaopatrzenia roślin w siarkę, nawożenie tym składnikiem nie miało istotnego wpływu na plon nasion badanych form rzepaku ozimego.
2. Wysoka w Łagiewnikach (0,68% S) i bardzo wysoka w Zielęcinie (1,15% S) zawartość siarki w liściach roślin nie nawożonych siarką była wynikiem

nie tyle dużej zasobności gleb w ten składnik, ale bardzo sprzyjających warunków pogodowych i sprawnie działającej mineralizacji tego pierwiastka w glebie w okresie wczesnej wiosny.

3. Nawożenie siarką miało istotny wpływ na zawartość glukozynolanów w nasionach wszystkich badanych odmian. Wzrastającym dawkom siarki towarzyszył przyrost zawartości glukozynolanów, przy czym suma nagromadzonych glukozynolanów zależała od poziomu zaopatrzenia roślin w siarkę.
4. W warunkach bardzo dużego zaopatrzenia roślin w siarkę (Zielęcín), obserwowano wyraźnie mniejszy w stosunku do kontroli przyrost glukozynolanów pod wpływem wzrastających dawek siarki, mimo to nasiona badanych odmian gromadziły średnio o ponad 60% więcej glukozynolanów niż nasiona tych samych odmian w Łagiewnikach.
5. Stosowane dawki siarki powodowały wzrost zawartości bardziej szkodliwych glukozynolanów alkenowych, natomiast nie miały istotnego wpływu na zawartość glukozynolanów indolowych.

## Conclusion

---

1. In optimal (Łagiewniki) and very high (Zielęcín) sulphur supply conditions, fertilization with this element did not have any influence on seed yield of investigated winter oilseed rape cultivars.
2. High in Łagiewniki (0.68% S) and very high in Zielęcín (1.15% S) sulphur content in younger leaves of no sulphur fertilized plants did not result, in the first place, from the high natural sulphur status of the soil but arose from very favourable weather conditions and efficient mineralization of this nutrient in the soil in early spring.
3. The degree of sulphur supply for plants and the level of sulphur fertilization influenced glucosinolate content in seeds of all cultivars. Increasing doses of sulphur caused significantly rise of glucosinolate content, but the sum of glucosinolates depended on the sulphur status of the crop.
4. In very high sulphur supply conditions (Zielęcín) under the influence of increasing sulphur doses, significant slower rise of the glucosinolate content was observed. In spite of this, glucosinolate synthesis in seeds in such conditions was 60% higher than in optimal sulphur supply conditions (Łagiewniki).
5. Sulphur doses caused increase of more harmful alkenyl glucosinolate but had not any significant effect on indol glucosinolate content.

## Literatura

---

- Bardsley C., Lancaster J. 1960. Determination of reserve sulfur and soluble sulfates in soils. *Soil Sci. Am. Prom.* 24: 265-268.
- Bilsborrow P.E., Evans E.J., Milford G.F.J., Fieldsend J.K. 1995. The effects of S and N on the yield and quality of oilseed rape in the U.K. *Proc. 9th Int. Rapeseed Congress, Cambridge University*, 1: 280-283.
- Evans E.J., Bilsborrow P.E., Zhao F.J., Syers J.K. 1991. The sulphur nutrition of winter oilseed rape in Northern Britain. *Proc. 8th Int. Rapeseed Congress, Saskatoon*, 2: 542-546.
- Haneklaus S., Schnug E. 1991. Evaluation of the nutritional status of oilseed rape plants by leaf analysis. *Proc. 8th Int. Rapeseed Congress, Saskatoon*, 2: 536-541.
- 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, Canberra. CD ROM*.
- Horodyski A., Krzywińska F., Trzebny W. 1972. Wpływ nawożenia siarką na plon i jakość nasion rzepaku. *Materiały Robocze na Sympozjum: Siarka w przemyśle i rolnictwie, Baranów Sandomierski*, 2: 16-22.
- Janzen H.H., Bettany J. R. 1987. The effect of temperature and water potential on sulfur oxidation in soils. *Soil Sci.* 144: 81-89.
- Merrien A. 1987. Aspects agronomiques de l'utilisation du soufre mineral sur colza d'hiver. *C. R. Sympos. Int. sur le Soufre*: 1-4.
- 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, 4-7.07.1995*, 3: 911-913.
- Schnug E. 1991. Sulphur National Status of European crops and consequences for Agriculture. *Sulphur in Agriculture*, 15: 7-12.
- 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., Czernik-Kołodziej K. 2000. Ocena stanu zaopatrzenia w siarkę rzepaku uprawianego na polach doświadczalnych wybranych Zakładów Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin. *Rośliny Oleiste, XXI (2)*: 465-473
- Withers P.J.A., Evans E.J., Bilsborrow P.E., Milford G.F.J., McGrath S.P., Zhao F., Walker K.C. 1995. Improving the prediction of sulphur deficiency in winter oilseed rape in the UK. *Proc. 9th Int. Rapeseed Congress, Cambridge University*, 1: 277-279.
- 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. of the 9th Intern. Rapeseed Congress, Cambridge University*, 1: 271-273.