

Franciszek Wielebski

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Poznaniu
Adres do korespondencji: fwiel@nico.ihar.poznan.pl

Reakcja rzepaku ozimego na nawożenie siarką w zależności od poziomu zaopatrzenia roślin w azot

Response of winter oilseed rape to sulphur fertilization depending on level of nitrogen supply to plants

Słowa kluczowe: rzepak ozimy, nawożenie azotem i siarką, plon nasion, efektywność nawożenia

Streszczenie

Podstawę badań stanowiły wyniki 3-letnich (2009–2011) doświadczeń realizowanych w trzech (2009) lub jednej miejscowości (2010, 2011). Czynnikiem doświadczenia były: wiosenne dawki azotu (90 i 180 kg N·ha⁻¹), dziewięć wariantów nawożenia siarką obejmujących 5 dawek siarki (0, 15, 30, 45 i 60 kg S·ha⁻¹) i trzy terminy stosowania (przed siewem, przed siewem + wiosną lub tylko wiosną) oraz dwie odmiany rzepaku: populacyjna (Casoar) i mieszańiec zrestorowany (Visby).

Przedsewna aplikacja siarki (15 i 30 kg S·ha⁻¹) korzystnie wpływała na cechy pokroju roślin przed zimą, zwłaszcza liczbę liści w rozecie, co przekładało się na lepsze zimowanie rzepaku. Silniejszy wpływ na wielkość plonu nasion miało nawożenie azotem niż siarką. Stwierdzono współdziałanie między azotem i siarką. Nawożenie siarką powyżej 30 kg S·ha⁻¹ przy niższej dawce azotu (90 kg N·ha⁻¹) powodowało istotny spadek plonu. Najefektywniejsze było zastosowanie wczesną wiosną dawki 15 kg S·ha⁻¹. Efektywność 1 kg siarki stosowanej przed siewem, była o ponad 1/3 mniejsza niż siarki stosowanej wczesną wiosną.

Key words: winter oilseed rape, sulphur and nitrogen fertilization, yield seed, fertilization effectiveness

Abstract

The basis for these investigations constituted the results of five field trials conducted in 2009–2011 in the Institute of Plant Breeding and Acclimatization in Poznań. In the first year of investigations (2009) the field trials were performed in three places characterized by different soil conditions: on heavy soils in Łagiewniki (N 51°46' E 17°14'), lighter soils in Zielęcín (N 52°10' E 16°22') and Małyszyn (N 52°44' E 15°10'). In the two next years (2010 and 2011) experiments were conducted only in Łagiewniki. Experimental factors were: 2 spring nitrogen fertilization levels (90 and 180 kg N·ha⁻¹); 9 variants of sulphur fertilization with 5 different doses of sulphur (0, 15, 30, 45 and 60 kg S·ha⁻¹) and 3 application terms: (before sowing, before sowing + in spring or only in spring) and 2 cultivars of winter oilseed rape: open pollinated variety (Casoar) and restored hybrid (Visby). The lowest dose of sulphur (15 kg S·ha⁻¹) was applied before sowing or in the spring in the onset of vegetation. The higher doses of sulphur (30, 45, 60 kg S·ha⁻¹) were distributed on two parts and applied in both terms or only in spring.

The pre-sowing application of sulphur in dose of 15–30 kg S·ha⁻¹ had a beneficial effect on the morphological character of plants before winter, especially on the number of leaves in rosette. In case of severe winter conditions it resulted in better survival of oilseed rape plants. The dose of nitrogen (90 or 180 kg N·ha⁻¹) had a significant effect on the number of primary branches, and significantly

increased the number of silique per plant and the number of siliques per m^2 as well as the weight of 1000 seeds.

Only non-significant differentiation of studied plant habit characteristics and the components of yield were observed under influence of dose (0, 15, 30, 45, 60 $kg\ S\cdot ha^{-1}$) and term of sulphur fertilization (in autumn, in autumn + in spring, or only in spring).

Considerably larger differentiation of plant habit characteristics and the components of yield were observed under influence of genetic factor (variety) and the environmental conditions (years and locality). In all experiences the plants of restored hybrid Visby in relation to open pollinated cultivar Casoar were before harvesting significantly higher (about over 15 cm), produced more primary branches and siliques as well as seeds in the silique, but with significantly smaller weight of 1000 seeds.

Nitrogen fertilization had stronger effect on the seed yield than sulphur fertilization. The increase from 90 to 180 $kg\ N\cdot ha^{-1}$ caused average growth of seed yield of about 11%, whereas sulphur application from 15 to 60 $kg\ S\cdot ha^{-1}$ increased the yield of seeds of about 5,5%. Interaction between nitrogen and sulphur was observed. The significant growth of seed yield due to the applied dose of 15 $kg\ S\cdot ha^{-1}$ was received for both doses of nitrogen. Higher doses of sulphur (30 kg on lower as well as 45 and 60 $kg\ S\cdot ha^{-1}$ on higher dose of nitrogen), applied at a single dose in spring or as two doses – in the pre-sowing period and in spring significantly increased the yield of seeds only in comparison to the dose 15 $kg\ S\cdot ha^{-1}$ applied in the pre-sowing period. The sulphur fertilization higher than 30 $kg\ S\cdot ha^{-1}$ applied with the lower dose of nitrogen (90 $kg\ N\cdot ha^{-1}$) caused significant decrease of yield.

The net and marginal productivity of 1 $kg\ S$ was the highest (16 kg seeds) at a dose of 15 $kg\ S\cdot ha^{-1}$ on both levels of the nitrogen fertilization. Pre-sowing sulphur application had a favourable influence on rape yield. However the efficiency of 1 $kg\ S$ (12 kg seeds) applied before sowing in a dose of 15 $kg\ S\cdot ha^{-1}$, was of over 1/3 smaller than of the same dose of sulphur applied in the early spring (20 kg seeds). The marginal productivity of higher doses of sulphur (30, 45 and 60 $kg\ S\cdot ha^{-1}$) was larger when the part of these doses (15 or 30 $kg\ S\cdot ha^{-1}$) was applied before sowing. The efficiency of nitrogen and sulphur were significantly differentiated by the conditions of environment. The highest productivity resulting from applying of nitrogen and sulphur was observed on feebler soils of Małyszyn (2009), whereas the lowest measures of fertilization effectiveness for nitrogen were observed in Zielęcín and for sulphur on good soils of Łagiewnik.

Wstęp

W większości gleb Polski, zawartość dostępnej dla roślin siarki siarczanowej nie przekracza 20 mg/kg gleby (Klikocka 2010), a ponad połowa gleb uprawnych wykazuje niską zasobność w siarkę (< 10 mg/kg gleby) (Motowicka-Terelak, Terelak 1998). W wyniku działań proekologicznych systematycznie spada w Europie Zachodniej (od lat 80.) i w Polsce (od lat 90. ubiegłego wieku) emisja siarki pochodzenia przemysłowego do atmosfery. Roczny dopływ siarki z atmosfery na przestrzeni ostatnich 20 lat zmniejszył się w Polsce z 51 (1990) do około 16 $kg\ S\cdot ha^{-1}$ (2010) (GUS 2011). Występuje przy tym bardzo duże zróżnicowanie wielkości emisji w poszczególnych rejonach: od niespełna 1 $kg\ S\cdot ha^{-1}$ w województwie podlaskim, do ponad 38 $kg\ S\cdot ha^{-1}$ w województwie śląskim. Udział obszarów rolniczych ubogich w siarkę systematycznie wzrasta. Znaczne zmniejszenie dopływu siarki z atmosfery spowodowało nasilenie występowania niedoborów tego pierwiastka u wielu roślin, zwłaszcza z rodziny *Brassicaceae*, a w konsekwencji przyczyniło się do wyraźnego

spadku plonów w wielu krajach świata (Schnug i in. 1995, McGrath i Zhao 1995, Grzebisz i Fotyma 1996, Wielebski i in. 2000). Nasilenie występowania niedoborów siarki jest również następstwem intensyfikacji uprawy roślin o dużym zapotrzebowaniu na ten składnik, głównie rzepaku, a także zmniejszenia zużycia nawozów naturalnych i pestycydów zawierających siarkę. W konsekwencji konieczne staje się uzupełnienie niedoborów tego pierwiastka przez nawożenie rzepaku siarką, zwłaszcza że roślina ta wykazuje szczególnie duże ($50\text{--}75\text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$) zapotrzebowanie na siarkę (Szukalski i in. 1984, Bilsborrow i in. 1995, Zhao i in. 2003).

Siarka jest niezbędnym składnikiem dla prawidłowego wzrostu i rozwoju rośliny. Reguluje przebieg procesów enzymatycznych i oksydukcyjnych w komórce oraz pełni w roślinie szereg ważnych funkcji fizjologicznych. Szczególną rolę spełnia w metabolicznych przemianach azotu, który jest najbardziej plonotwórczym składnikiem pokarmowym. Siarka zwiększa szybkość procesów transformacji pobranego przez roślinę azotu w białko (Rice 2007). Rośliny dobrze odżywione siarką pobierają więcej azotu, a tym samym lepiej wykorzystują go z nawozów, zwłaszcza z dużych dawek (Fotyma 2003), przez co zmniejsza się ryzyko wymywania azotanów do wód gruntowych (Potarzycki 2003). Niedobór siarki powoduje zmniejszenie wydajności fotosyntetycznej oraz syntezy węglowodanów i białek (Gaj i Klikocka 2011), co może prowadzić do obniżki plonów nawet o 50% (Bloem 1998) oraz pogorszenia ich jakości (Krauze i Bowszys 2000). Dodatni wpływ siarki na plonowanie rzepaku wskazują wyniki wielu doświadczeń, jednak duży efekt plonotwórczy nawożenia siarką można uzyskać tylko na glebach słabo zasobnych w siarkę (Withers i in. 1995, Bilsborrow i in. 1995, Budzyński i Ojczyk 1995, Wielebski i Muśnicki 1998).

Niektórzy autorzy (McGrath i in. 1996, Zhao i in. 1997) zwracają uwagę także na właściwy stosunek N : S przy nawożeniu rzepaku. Wskazują oni na silną interakcję między wysokością nawożenia azotem i dawkami siarki a plonem nasion. Fismes i in. (2000) twierdzą, że wzajemne oddziaływanie azotu i siarki jest synergistyczne jeśli oba składniki są w optimum, natomiast antagonistyczne, gdy jest nadmiar jednego z nich.

Celem badań było zbadanie wpływu nawożenia siarką (dawka, termin aplikacji) przy dwóch poziomach nawożenia azotem na pokrój i plonowanie rzepaku ozimego, a także poznanie efektywności zastosowanych dawek siarki i azotu.

Material i metody

W pracy przedstawiono wyniki 3-letnich doświadczeń przeprowadzonych w latach 2009–2011 przez Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin. W pierwszym roku badań (2009) ściśle doświadczenia polowe prowadzone były w trzech miejscowościach o zróżnicowanych warunkach glebowych: na ciężkich glebach Łagiewnik

(N 51°46' E 17°14') oraz lżejszych glebach Zielęcina (N 52°10' E 16°22') i Małyszyna (N 52°44' E 15°10'). W dwóch kolejnych latach (2010 i 2011) doświadczenia przeprowadzono tylko w Łagiewnikach. Wszystkie miejscowości oddalone są mniej lub bardziej od aglomeracji miejsko-przemysłowych, a gleby, na których zakładano doświadczenia charakteryzowała niska zasobność w siarkę przyswajalną. Zawartość przyswajalnej siarki siarczanowej w warstwie ornej wahała się od 0,0030 do 0,0049 w Małyszynie, od 0,0054 do 0,007 w Łagiewnikach oraz od 0,0081 do 0,0095 g SO₄⁻² kg⁻¹ gleby w Zielęcinie.

Doświadczenia przeprowadzono w układzie losowanych podbloków w czterech powtórzeniach. Doświadczenie w Zielęcinie zlokalizowano na glebie brunatnej, wylugowanej i kwaśnej, kompleksu żytniego dobrego, klasy bonitacyjnej IVa, zaś w Małyszynie na glebie brunatnej, kompleksu żytniego dobrego, klasy IVb. W Łagiewnikach we wszystkich latach badań doświadczenia zakładano na glebach brunatnych właściwych, kompleksu pszennego dobrego, klasy IIIa. W Łagiewnikach i Zielęcinie zasobność gleby w przyswajalne formy fosforu i potasu była bardzo wysoka bądź wysoka, a w magnez – wysoka. Natomiast w Małyszynie zasobność gleb w fosfor i potas była niska, a w magnez – średnia.

W doświadczeniach testowano 3 czynniki:

I rzędu — 2 poziomy nawożenia azotem wiosną (90 i 180 kg N·ha⁻¹);

II rzędu — 9 wariantów nawożenia siarką (A, B, C, D, E, F, G, H, I) obejmujących 5 dawek siarki (0, 15, 30, 45 i 60 kg S·ha⁻¹) i 3 terminy jej stosowania: przed siewem (J), przed siewem + wiosną (J + W) lub tylko wiosną (W);

III rzędu — 2 odmiany rzepaku: populacyjna – Casoar i mieszańiec zrestorowany – Visby.

Odmianę populacyjną wysiewano w ilości 70 nasion·m⁻², zaś mieszańca zrestorowanego w ilości 60 nasion·m⁻². Przedsięwzięcie zastosowano nawozy fosforowe i potasowe w ilości 60 i 105 kg·ha⁻¹ PK w Zielęcinie i Małyszynie, natomiast w Łagiewnikach we wszystkich latach stosowano odpowiednio 60 i 120 kg·ha⁻¹ PK. Przed siewem zastosowano także 30 kg N·ha⁻¹ w saetrze amonowej (-S) lub w saetrze amonowej i siarczanie amonu (+S). Wyższą dawkę azotu (180 kg N·ha⁻¹) dzielono na dwie części, aplikując drugą część przed pąkowaniem roślin (BBCH-51). Sposoby nawożenia siarką przedstawiono w tabeli 1. Siarkę przed siewem (J) i wiosną (W) w fazie ruszenia wegetacji (BBCH-30) podawano w siarczanie amonu. Najniższą dawkę siarki (15 kg S·ha⁻¹) stosowano tylko przed siewem (wariant B) lub tylko na wiosnę przy ruszeniu wegetacji (wariant C). Natomiast wyższe dawki siarki (30, 45, 60 kg S·ha⁻¹) dzielono na dwie części i stosowano w obu tych terminach (warianty D, F, H) lub w całości aplikowano je tylko wiosną (warianty E, G, I).

Przedplonem rzepaku były zboża – jęczmień jary w Zielęcinie i pszenżyto ozime w Małyszynie, natomiast w Łagiewnikach pszenica jara w latach 2009 i 2010 oraz pszenica ozima w roku 2011.

Tabela 1

Schemat nawożenia siarką — *Schema of sulphur fertilization*

Całkowita dawka <i>Total dose</i> [kg S·ha ⁻¹]		Termin stosowania i dawka siarki [kg S·ha ⁻¹] <i>Date and rate of S application</i>	
		J – przed siewem — <i>pre-sowing</i>	W – wiosną — <i>spring</i> (BBCH-30)
A	0	–	–
B	15	15	0
C	15	0	15
D	30	15	15
E	30	0	30
F	45	15	30
G	45	0	45
H	60	30	30
I	60	0	60

Na początku kwitnienia (BBCH-61) z poletek kontrolnych (-S) pobrano kilkanaście najmłodszych, w pełni rozwiniętych liści, w których oznaczono zawartość siarki ogólnej metodą Bradsleya-Lancastera (1960). Przed zbiorem z dwóch losowych miejsc każdego poletka wybrano 5 kolejnych roślin w celu pomierzenia ich wysokości oraz liczby rozgałęzień i liczby łuszczyń na roślinie. Liczbę nasion w łuszczyńce policzono w 25 losowo wybranych łuszczyńcach z górnej, środkowej i dolnej partii gron owoconośnych. Masę 1000 nasion określono w czterech próbach po 100 nasion. Zebrane dane poddano analizie statystycznej za pomocą pakietu STATISTICA. Oddzielnie przeprowadzono syntezę zebranych wyników z trzech miejscowości dla 2009 roku oraz dokonano syntezy 3-letnich (2009–2011) wyników badań prowadzonych w Łagiewnikach. Istotność różnic oceniono testem Tukeya na poziomie ufności $P = 0,05$ i wyrażono je literowo.

Warunki pogodowe

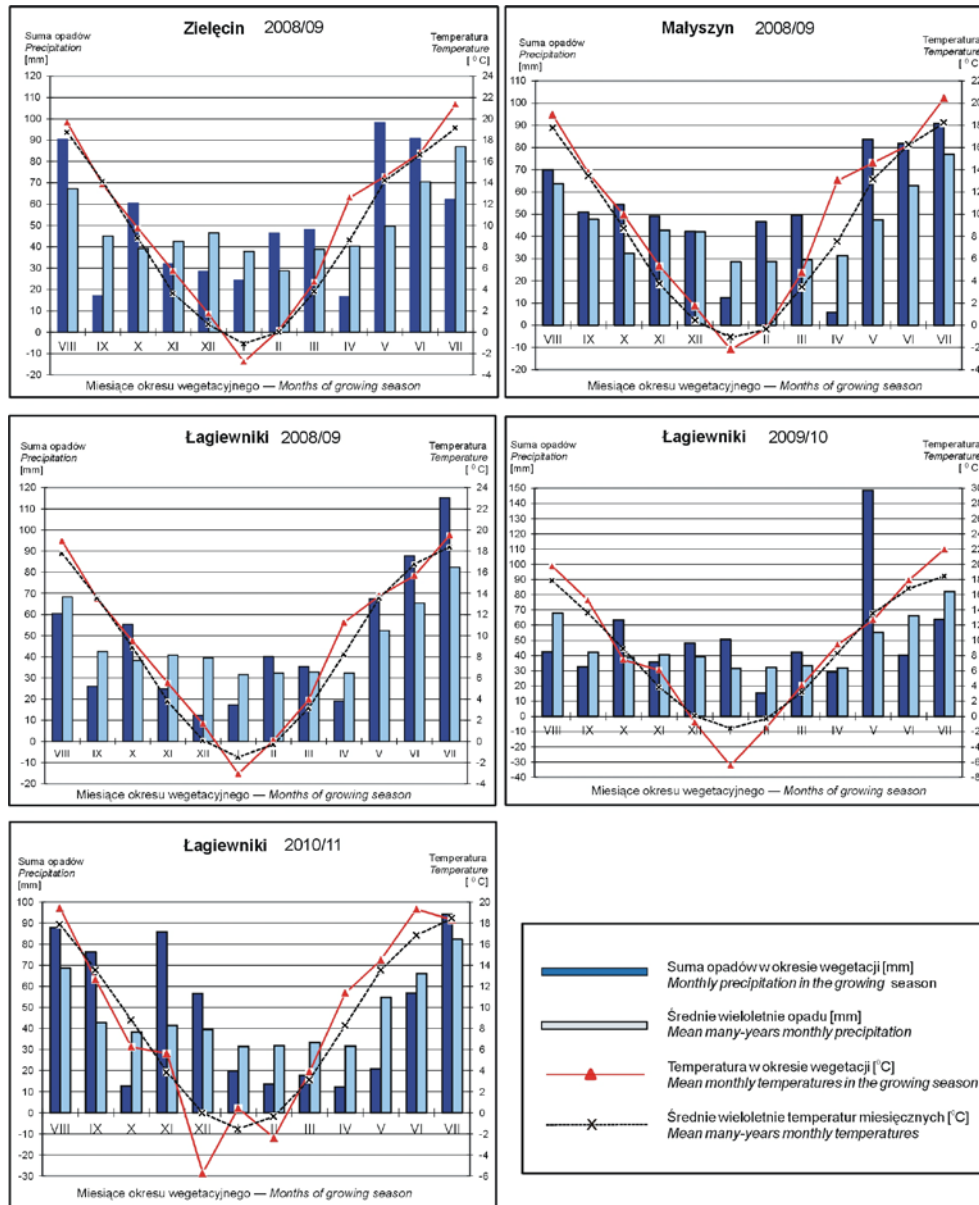
Warunki termiczne i wilgotnościowe w okresie wegetacji we wszystkich miejscowościach i latach badań znacznie odbiegały od średnich z wielolecia (tab. 2, rys. 1).

W pierwszym roku badań (2009) wegetację rzepaku charakteryzowała umiarkowanie ciepła i wilgotna jesień, przeciętna zima oraz umiarkowanie ciepła i mokra wiosna. Opady w okresie od września do listopada w Łagiewnikach i Zielęcinie były średnio o 13% niższe, natomiast w Małyszynie o ponad 1/4 przekroczyły sumę opadów tego okresu z wielolecia. Zimą (XII–III) opady niższe od normy notowano tylko w Łagiewnikach. Za wyjątkiem kwietnia (spadło zaledwie 6–16 mm) w pozostałych miesiącach wiosennej wegetacji było mokro. W maju suma opadów w Małyszynie i Zielęcinie przekroczyła normę prawie 3-krotnie. Średnio o 30% we wszystkich miejscowościach zostały przekroczone opady w czerwcu, a w Łagiew-

Tabela 2

Warunki meteorologiczne w okresie wegetacji rzepaku w Łagiewnikach, Zielęcinie i Małyszynie w latach 2008/09–2010/11 na tle wielolecia — *Meteorological conditions during growing period of winter rape in Łagiewniki, Zielęcin and Małyszyn (2008/09–2010/11) comparing to many-year data*

Wegetacja <i>Vegetation</i>	Temperatura — <i>Temperature</i> [°C]				Opady — <i>Rainfalls</i>			
	średnia wieloletnia <i>long-term mean</i>	odchylenie od średniej wieloletniej <i>deviation from the long-term mean</i>			średnia wieloletnia <i>long-term mean</i> [mm]	odchylenie od średniej wieloletniej [%] <i>deviation from the long-term mean</i>		
	1957–2011	2008/09	2009/10	2010/11	1957–2011	2008/09	2009/10	2010/11
Łagiewniki								
IX–XI Jesienna — <i>Autumn</i>	8,7	0,8	0,8	-0,6	121,5	-12,5	8,6	42,7
XII–III Spoczynek zimowy <i>Winter</i>	0,3	0,3	-1,5	-1,3	136,3	-22,9	14,7	-20,9
IV–VII Wiosenna — <i>Spring</i>	12,8	0,7	0,5	2,2	150,3	16,1	42,0	-41,0
IV–VII Wiosenna — <i>Spring</i> wg Klatta — <i>acc. to Klatt</i>	13,8	1,3	1,7	2,1	225,0	28,8	25,2	-18,2
Zielęcin								
IX–XI Jesienna — <i>Autumn</i>	8,8	0,9			126,7	-13,6		
XII–III Spoczynek zimowy <i>Winter</i>	0,8	0,1			152,1	-3,6		
IV–VII Wiosenna — <i>Spring</i>	13,1	1,5			160,6	28,0		
IV–VII Wiosenna — <i>Spring</i> wg Klatta — <i>acc. to Klatt</i>	13,8	2,6			225,0	19,1		
Małyszyn								
IX–XI Jesienna — <i>Autumn</i>	8,6	1,0			122,8	25,7		
XII–III Spoczynek zimowy <i>Winter</i>	0,6	0,4			128,9	17,0		
IV–VII Wiosenna — <i>Spring</i>	12,3	2,3			141,4	21,1		
IV–VII Wiosenna — <i>Spring</i> wg Klatta — <i>acc. to Klatt</i>	13,8	2,3			225,0	16,4		



Rys. 1. Opady i temperatura w okresie wegetacji rzepaku w na tle wielolecia —Precipitation and monthly mean temperature in growing season of winter oilseed rape in the years of investigation, against background of many years means

nikach i Małyszynie wyższe opady (odpowiednio o 40 i 20%) były również w lipcu. Najbardziej sucho w fazie dojrzewania było w Zielęcinie. W okresie od kwietnia do czerwca suma opadów przekroczyła normę średnio o 20%, natomiast średnia temperatura w tym okresie była wyższa od przeciętnej od 0,7°C (Łagiewniki) do 1,5 i 2,3°C (Zielęcin i Małyszyn)

W dwóch pozostałych cyklach badawczych (2009/10 i 2010/11) badania prowadzono tylko w Łagiewnikach. W drugim roku wegetację rzepaku charakteryzowała umiarkowanie ciepła jesień z opadami na poziomie średnich wieloletnich, zima ostrzejsza od przeciętnej (o 1,5°C niższa temperatura) oraz przeciętna wiosna z chłodniejszym (o 1°C) i wyjątkowo mokrym majem (270% normy). Niewiele mniej opadów niż przeciętnie notowano w okresie pąkowania (o 10%), natomiast duży niedobór opadów obserwowano w fazie formowania nasion i dojrzewania (o 40%). Średnia temperatura wiosennego okresu wegetacji (od kwietnia do czerwca) przekroczyła prawie o 0,5°C średnią wieloletnią, zaś suma opadów była o ponad 40% wyższa.

W trzecim roku badań wegetację rzepaku charakteryzowała jesień, znacznie chłodniejsza i wilgotna (opady o 40% wyższe). Mroźna i śnieżna zima z temperaturą o 1,3°C niższą od średniej wieloletniej rozpoczęła się już z końcem listopada. Za wyjątkiem grudnia (140% normy), niższe od normy (o połowę) miesięczne sumy opadów notowano w pozostałych miesiącach zimy (styczeń – marzec), jak również wiosną: w kwietniu i maju o 60%, a w czerwcu o 15%. Wyższe od normy opady (o 15%) notowano tylko w końcowej fazie dojrzewania. Na początku maja, w fazie kwitnienia rzepaku, przez kilka dni notowano silne przymrozki (do -4°C). Natomiast znacznie cieplej niż przeciętnie było w kwietniu (o ponad 3°C) oraz w czerwcu (o 2,5°C).

Wyniki i dyskusja

Ocena stanu roślin przed zimą przeprowadzona w Łagiewnikach w pierwszych dwóch latach badań (2009 i 2010) wykazała korzystny wpływ nawożenia siarką na wybrane cechy przedspoczynkowego pokroju roślin obu badanych odmian rzepaku ozimego (tab. 3). Statystycznie istotne różnice wykazano jednak tylko w liczbie liści w rozecie, niemniej przedsięwzięta aplikacja siarki w dawce 15 i 30 kg S·ha⁻¹ powodowała także polepszenie innych cech ważnych dla przezimowania rzepaku takich jak: średnica szyjki korzeniowej, świeża masa rozety i sucha masa korzeni. Zwłaszcza w warunkach ostrzejszych zim (Łagiewniki 2010) przekładało się to na lepsze zimowanie roślin rzepaku (tab. 4). Na poletkach nawożonych przedsięwzięciem siarką liczba roślin po zimie była od 1 do 12% większa w porównaniu do kontroli nienawożonej siarką. Średnio z 3 lat badań (5 doświadczeń) efekt nawożenia siarką na przezimowanie rzepaku był niewielki (około 2%)

Tabela 3

Cechy pokroju roślin rzepaku przed zimą, Łagiewniki 2009–2010 — *Habit characteristics of oilseed rape plants before winter, Łagiewniki 2009–2010*

Przedsiewna dawka siarki <i>Pre-sowing S rate</i> [kg S·ha ⁻¹]	Liczba liści w rozecie <i>Number of leaves per rosette</i>	Średnica szyjki korzeniowej <i>Root neck diameter</i> [mm]	Świeża masa 1 rozety <i>Fresh weight of a rosette</i> [g]	Sucha masa korzeni <i>Dry weight of roots</i> [g]
0	5,5 a	4,9	27,9	0,71
15	5,7 ab	5,0	28,1	0,75
30	6,1 b	5,2	28,7	0,78
NIR — <i>LSD</i> _{0,05}	0,52	ni	ni	ni

ni – różnice nieistotne — *insignificant differences*

Tabela 4

Przeżimowanie rzepaku — *Winter survival of rape plants* [%]

Miejsce i sezon wegetacyjny <i>Location and growing season</i>	Przedsiewna dawka S <i>Pre-sowing S rate</i> [kg·ha ⁻¹]			Średnia <i>Mean</i>
	0	15	30	
Małyszyn 2009	91,0	91,1	87,9	90,0 b
Zielęcín 2009	99,5	98,7	98,8	99,0 b
Łagiewniki 2009	91,8	94,1	92,2	92,7 b
Łagiewniki 2010	94,6	95,7	97,5	96,0 b
Łagiewniki 2011	73,4	74,5	85,4	77,8 a
NIR — <i>LSD</i> _{0,05}	ni			10,4

ni – różnice nieistotne — *insignificant differences*

i statystycznie nieistotny. Korzystny i zależny od warunków zimy wpływ stosowania siarki przed siewem na pokrój roślin zimujących i zimowanie wykazały również badania prowadzone w latach 2000–2003 przez Jankowskiego i innych (2008). Siarka aplikowana przedsiewnie w dawce 15 kg S·ha⁻¹ wpływając korzystnie na masę i liczbę liści w rozecie zwiększała o 3–10% zimowanie roślin rzepaku.

Analiza wyników doświadczeń prowadzonych w 3 miejscowościach (Małyszyn, Zielęcín i Łagiewniki) w 2009 roku jak również synteza 3-letnich (2009–2011) doświadczeń wykonanych w Łagiewnikach wykazała, że wśród badanych czynników nawożenia, tylko azot istotnie wpływał na cechy morfologiczne roślin przed zbiorem i elementy struktury plonu (tab. 5 i 6). Z cech charakteryzujących pokrój roślin przed zbiorem, dawka azotu (90 i 180 kg N·ha⁻¹) istotnie wpływała na liczbę rozgałęzień na roślinie, a z elementów struktury plonu istotnie zwiększała liczbę łuszczyn na roślinie i liczbę łuszczyn na jednostce powierzchni, a w Łagiewnikach

również masę 1000 nasion. Poziom azotu tylko nieistotnie różnicował pozostałe elementy struktury plonu (liczbę roślin na m² i liczbę nasion w łuszczynie) oraz wysokość roślin, a w 2009 roku również liczbę rozgałęzień na roślinie. Nieistotne zróżnicowanie badanych cech pokroju roślin i komponentów plonu obserwowano pod wpływem dawki i terminu nawożenia siarką, co wykazała zarówno synteza 3-letnich badań w Łagiewnikach, jak i analiza wyników z 3 miejscowości w 2009 roku. Można jednak zauważyć, że nawożenie siarką, zwłaszcza przy wyższym poziomie nawożenia azotem, zwiększało liczbę łuszczyn na roślinie oraz liczbę łuszczyn na jednostce powierzchni (rys. 2 i 3). Podobne wyniki dotyczące wpływu

Tabela 5

Pokrój roślin przed zbiorem — *Morphological character of plants before harvest*

Termin i dawka aplikacji siarki (S) <i>Date and rate of S application</i> [kg S·ha ⁻¹]	Wysokość roślin <i>Height of plants</i> [cm]			Liczba rozgałęzień I rzędu <i>No. of primary branches</i>			Wysokość roślin <i>Height of plants</i> [cm]			Liczba rozgałęzień I rzędu <i>No. of primary branches</i>		
	dawka azotu (N) — <i>N rate</i> [kg N·ha ⁻¹]											
	90	180	X	90	180	X	90	180	X	90	180	X
	średnia dla 3 lat (Łagiewniki) <i>mean for 3 years (Łagiewniki)</i>						średnia dla 3 miejscowości (2009) <i>mean for 3 locations (2009)</i>					
A 0+0	136	131	134	7,0	7,3	7,2	143	137	140	8,0	8,5	8,1
B J 15+0	135	133	134	6,4	7,3	6,8	143	138	141	7,9	8,1	8,0
C W 0+15	136	134	135	7,0	7,2	7,1	142	137	140	8,3	8,6	8,4
D J+W 15+15	135	137	136	6,7	7,4	7,0	143	139	141	8,3	8,5	8,4
E W 0+30	135	138	136	6,6	7,4	7,0	139	142	141	7,8	8,8	8,3
F J+W 15+30	132	136	134	6,8	7,2	7,0	141	141	141	8,5	8,7	8,6
G W 0+45	132	135	134	7,1	7,3	7,2	142	137	139	8,2	8,1	8,2
H J+W 30+30	130	138	134	7,1	6,8	7,0	136	142	139	8,4	8,0	8,2
I W 0+60	132	139	135	7,3	7,7	7,5	138	142	140	8,3	8,6	8,4
Średnia — <i>Mean</i>	134	136		6,9	7,3		141	139		8,2	8,4	
NIR — <i>LSD</i> _{0,05}												
N	ni			0,31			ni			ni		
S	ni			ni			ni			ni		
S × N	ni			ni			ni			ni		

A, B, C, D, E, F, G, H, I – warianty nawożenia siarką — *variants of sulphur fertilization*

J – przedsiewna dawka siarki — *pre-sowing sulphur rate*

W – wiosenna (BBCH-30) dawka siarki — *sulphur rate in the spring*

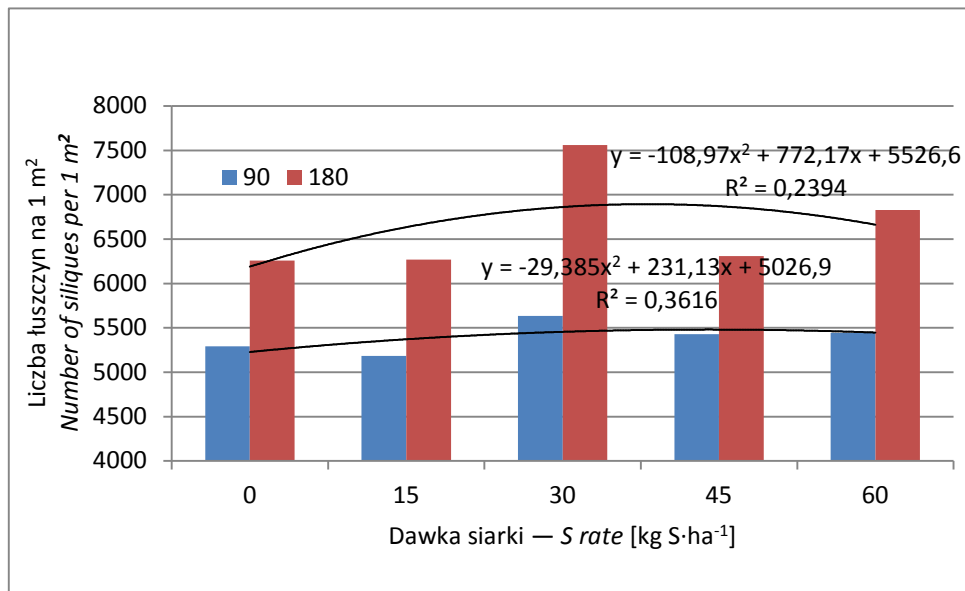
X – średnia — *mean* ni – różnice nieistotne — *insignificant differences*

Tabela 6

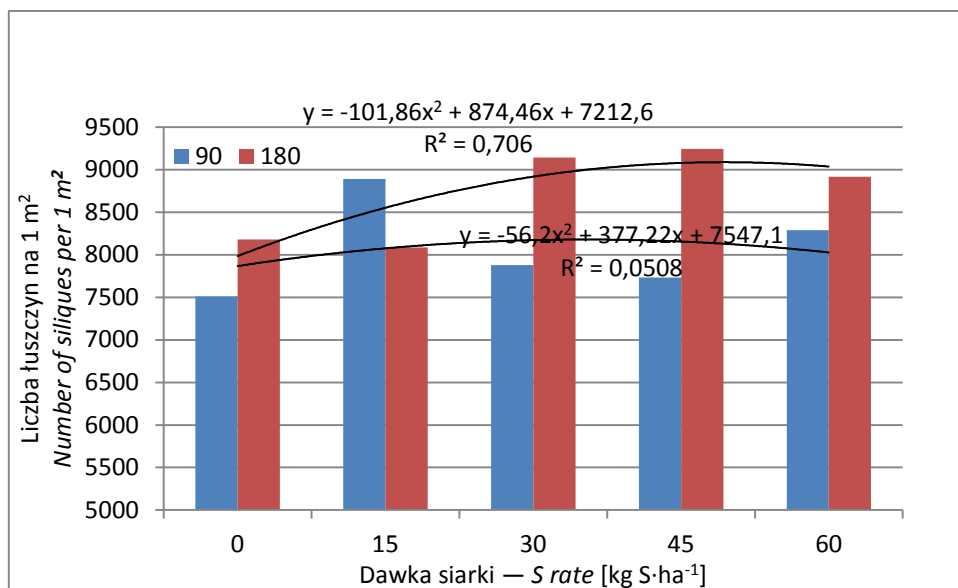
Elementy struktury plonu — *Yield components of winter oilseed rape*

Termin i dawka aplikacji siarki (S) <i>Date and rate of S application</i> [kg S·ha ⁻¹]	Liczba roślin na m ² <i>No. of plants</i> [m ²]			Liczba łuszczyń na roślinie <i>No. of siliques</i> <i>per plant</i>			Liczba nasion w łuszczyńce <i>No. of seeds</i> <i>per silique</i>			Masa tysiąca nasion <i>Weight of 1000 seeds</i> [g]				
	dawka azotu (N) — <i>N rate</i> [kg N·ha ⁻¹]													
	90	180	X	90	180	X	90	180	X	90	180	X		
Średnia dla 3 lat (Łagiewniki) — <i>Mean for 3 years (Łagiewniki)</i>														
A	0+0	39	41	40	146	167	156	20,8	21,3	21,0	5,24	5,52	5,38	
B	J	15+0	39	40	39	136	162	149	21,0	20,1	20,5	5,22	5,45	5,34
C	W	0+15	36	41	39	140	158	149	22,5	21,9	22,2	5,13	5,48	5,30
D	J+W	15+15	41	42	42	121	191	156	21,4	20,5	21,0	5,26	5,47	5,37
E	W	0+30	41	39	40	149	180	165	20,8	21,0	20,9	5,26	5,46	5,36
F	J+W	15+30	37	39	38	132	170	151	21,7	22,0	21,8	5,28	5,42	5,35
G	W	0+45	35	42	38	149	185	167	20,8	21,2	21,0	5,20	5,41	5,30
H	J+W	30+30	39	38	39	130	173	152	22,4	20,8	21,6	5,34	5,49	5,42
I	W	0+60	39	36	38	164	189	177	20,1	20,6	20,4	5,37	5,45	5,41
Średnia — <i>Mean</i>		39	40		141	175		21,3	21,1		5,26	5,46		
NIR — <i>LSD</i> _{0,05}														
N		ni			11,8			ni			0,11			
S		ni			ni			ni			ni			
S × N		ni			ni			ni			ni			
Średnia dla 3 miejscowości (2009) — <i>Mean for 3 locations (2009)</i>														
A	0+0	31	35	33	162	170	166	22,0	21,1	21,5	4,83	5,06	4,95	
B	J	15+0	34	32	33	173	187	180	22,0	22,1	22,1	4,87	4,87	4,87
C	W	0+15	35	31	33	152	181	167	22,4	21,9	22,1	4,95	4,94	4,95
D	J+W	15+15	34	35	35	162	170	166	22,6	22,2	22,4	4,95	5,04	5,00
E	W	0+30	34	33	33	154	181	168	22,4	22,6	22,5	4,93	5,04	4,98
F	J+W	15+30	31	36	34	162	156	159	22,3	23,6	23,0	4,99	4,92	4,95
G	W	0+45	34	34	34	153	174	163	22,9	23,0	23,0	4,97	4,84	4,90
H	J+W	30+30	35	30	33	157	200	179	23,4	22,5	23,0	5,04	4,93	4,99
I	W	0+60	35	31	33	169	170	170	21,6	22,6	22,1	5,02	5,03	5,02
Średnia — <i>Mean</i>		33	33		161	177		22,4	22,4		4,95	4,97		
NIR — <i>LSD</i> _{0,05}														
N		ni			8,8			ni			ni			
S		ni			ni			ni			ni			
S × N		ni			ni			ni			ni			

Objaśnienia jak w tabeli 5 — *For explanations, see Table 5*



Rys. 2. Związek pomiędzy poziomem nawożenia azotem i dawką siarki a liczbą łuszczyń na 1 m². Średnia dla 3 lat (Łagiewniki) — Correlation between N and S rate and the number of siliques per 1 m². Means for 3 years (Łagiewniki)



Rys. 3. Związek pomiędzy poziomem nawożenia azotem i dawką siarki a liczbą łuszczyń na 1 m². Średnia dla 3 miejscowości (2009) — Correlation between N and S rate and the number of siliques per 1 m². Means for 3 locations (2009)

nawożenia azotem i siarką na cechy pokroju roślin i elementy struktury plonu otrzymał autor we wcześniejszych swoich badaniach (Wielebski 2011). Brak istotnego zróżnicowania komponentów plonu (liczby łuszczyn na roślinie, liczby nasion w łuszczynie i masy 1000 nasion) pod wpływem terminu aplikacji (jesień + wiosna lub tylko wiosna) i poziomu dawki siarki (0, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120 kg S·ha⁻¹) otrzymali w swoich badaniach również Jankowski i in. (2008). Obserwowali oni natomiast wyraźny związek pomiędzy dawką siarki a liczbą łuszczyn na 1 m². Badania Siaudinis i Lazauskas (2009) wykazały, że dawki azotu (0, 90 i 150 kg N·ha⁻¹) oraz nawożenie siarką w dawce 20 kg S·ha⁻¹ korzystnie wpływały na liczbę rozgałęzień i łuszczyn na roślinie, natomiast pod wpływem nawożenia azotem obserwowano spadek masy 1000 nasion. W badaniach własnych nawożenie azotem zwiększało masę 1000 nasion, ale tylko w wariantach z niższym nawożeniem siarką (do 30 kg S·ha⁻¹).

W badaniach własnych znacznie większe zróżnicowanie cech pokroju roślin i komponentów plonu obserwowano pod wpływem czynnika genetycznego (odmiany) i warunków siedliskowych (lat i miejscowości). We wszystkich doświadczeniach rośliny mieszańca zrestorowanego Visby w porównaniu do odmiany populacyjnej Casoar były przed zbiorem istotnie wyższe (o ponad 15 cm), wytwarzały więcej rozgałęzień i łuszczyn oraz nasion w łuszczynie, które jednak cechowała istotnie mniejsza masa 1000 nasion (tab. 7). Najmniejsze rośliny i najmniej zawiązanych nasion w łuszczynie obserwowano w Łagiewnikach w ostatnim roku badań (2011) oraz w pierwszym roku badań (2009) w Zielęcinie, gdzie na pojedynczej roślinie notowano jednak najwięcej rozgałęzień i zawiązanych łuszczyn. Mniejszą liczbę łuszczyn rośliny kompensowały zwiększoną liczbą nasion w łuszczynie i masą 1000 nasion (Małyszyn i Łagiewniki 2009).

Wyniki analiz wariancji dla poszczególnych doświadczeń, jak również statystyczne syntezy wyników badań przeprowadzone dla 3 miejscowości (2009) lub 3 lat badań (Łagiewniki) wykazały, że wszystkie badane czynniki (azot, siarka i odmiana) istotnie wpłynęły na plon nasion rzepaku. Z czynników nawożenia silniejszy wpływ na wielkość plonu nasion miało nawożenie azotem. We wszystkich doświadczeniach nawożenie azotem powodowało istotny wzrost plonu nasion badanych odmian rzepaku. Zwiększenie dawki azotu z 90 do 180 kg N·ha⁻¹ powodowało wzrost plonu średnio o 7% w badanych miejscowościach w 2009 roku, natomiast średnio o 15% zwiększało plon w 3-letnich badaniach w Łagiewnikach. Stwierdzono istotny wpływ warunków siedliskowych (lat i miejscowości) na plon nasion. W pierwszym roku badań (2009) największy wzrost plonu (9,2 dt·ha⁻¹) pod wpływem nawożenia azotem obserwowano w Małyszynie, zaś najmniejszy przyrost plonu (2,2 dt·ha⁻¹) stwierdzono w Zielęcinie (tab. 8). Na duży efekt plonotwórczy azotu w warunkach lekkich i słabych gleb Małyszyna zasadniczy wpływ miały bardzo korzystne warunki wilgotnościowe, jakie wystąpiły w tej miejscowości w całym okresie wegetacji rzepaku. Dobre zaopatrzenie roślin w siarkę, dostępność

Tabela 7

Wpływ odmiany i czynników środowiskowych na pokrój roślin i elementy struktury plonu rzepaku ozimego — *Effect of cultivar and environmental conditions on morphological features and yield component of winter oilseed rape*

Czynniki <i>Factors</i>	Wysokość roślin <i>Height of plants</i> [cm]	Liczba rozgałęzień I rzędu <i>Number of primary branches</i>	Liczba roślin na m ² <i>No. of rape plants [per m²]</i>	Liczba łuszczyzn na roślinie <i>No. of siliques per plant</i>	Liczba nasion w łuszczyńce <i>No. of seeds per silique</i>	MTN <i>Weight of 1000 seeds</i> [g]
<i>Odmiana — Variety</i>						
Casoar	127,7 a	7,07 a	46,9 b	160,5 a	18,8 a	5,42 b
Visby	144,7 b	8,43 b	40,3 a	183,6 b	24,5 b	4,98 a
NIR — <i>LSD</i> _{0,05}	0,7	0,21	1,43	8,03	0,37	0,03
<i>Miejsce i rok — Location and year</i>						
Małyszyn 2009	141,9 c	8,41 bc	42,4 b	129,9 a	25,2 c	6,06 c
Zielecin 2009	135,1 b	9,06 c	58,2 c	258,0 d	19,4 a	3,87 a
Łagiewniki 2009	143,2 c	7,46 ab	49,4 b	123,4 a	22,7 b	4,94 b
Łagiewniki 2010	137,0 b	6,92 a	42,2 b	156,0 b	21,6 b	5,46 b
Łagiewniki 2011	123,9 a	6,88 a	25,9 a	192,8 c	19,2 a	5,67 bc
NIR — <i>LSD</i> _{0,05}	3,43	1,28	7,22	24,8	1,42	0,41

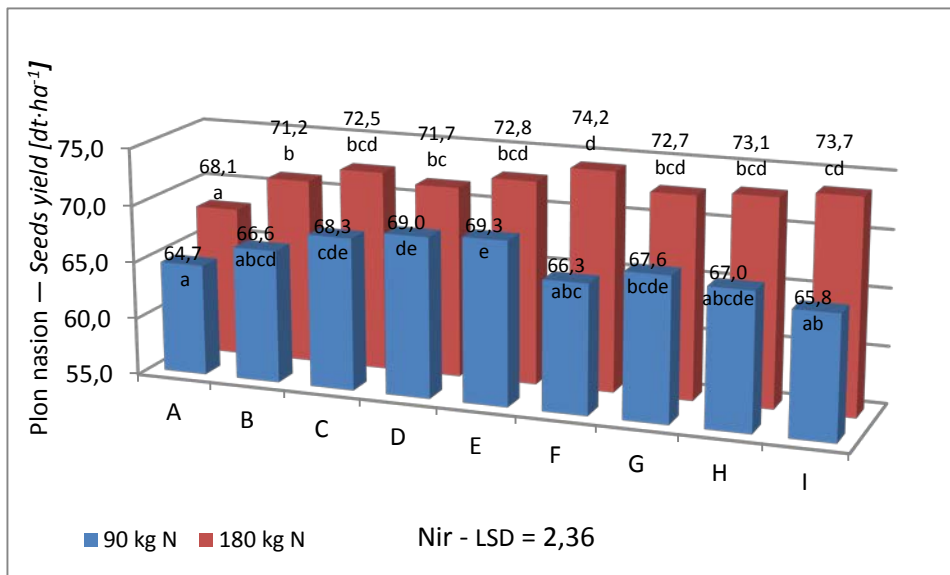
wody i korzystne warunki termiczne w okresie intensywnego wzrostu rzepaku sprzyjały pobraniu i plonotwórczemu wykorzystaniu azotu (wzrost plonu o 4,5 dt·ha⁻¹) w Łagiewnikach w 2010 roku. W ostatnim roku badań (Łagiewniki 2011), przy wyraźnie niższych plonach ze względu na zdecydowanie mniejszą od zakładanej obsadę roślin (opóźniony siew, słabe wschody oraz wymarznienia i wymoknięcia podczas zimy i przedwiośnia), reakcja na nawożenie azotem mimo nie najlepszych warunków wilgotnościowych była bardzo duża (wzrost o ponad 11 dt·ha⁻¹).

Istotne dla plonu okazało się nawożenie siarką. Syntezy wyników badań dla 2009 roku (3 miejscowości) i dla Łagiewnik (3 lata) wykazały, że 9 wariantów nawożenia siarką (patrz schemat) obejmujących 5 dawek siarki (0, 15, 30, 45 i 60 kg S·ha⁻¹) i termin aplikacji (jesień, jesień + wiosna lub tylko wiosna) istotnie różnicowało plon nasion (tab. 8). Korzystna dla plonu okazała się jesienna aplikacja siarki, z tym że istotny przyrost plonu względem kontroli nienawożonej siarką (A) otrzymano tylko w 2009 roku. W 2009 roku zastosowanie najniższej dawki siarki (15 kg S·ha⁻¹) przed siewem (wariant B) istotnie zwiększyło plon nasion względem kontroli nienawożonej siarką (A). Podanie takiej samej dawki wiosną (wariant C) w fazie ruszenia wegetacji (BBCH-30) dało plon istotnie wyższy zarówno względem przedsięwej jej aplikacji, jak i kontroli. W warunkach

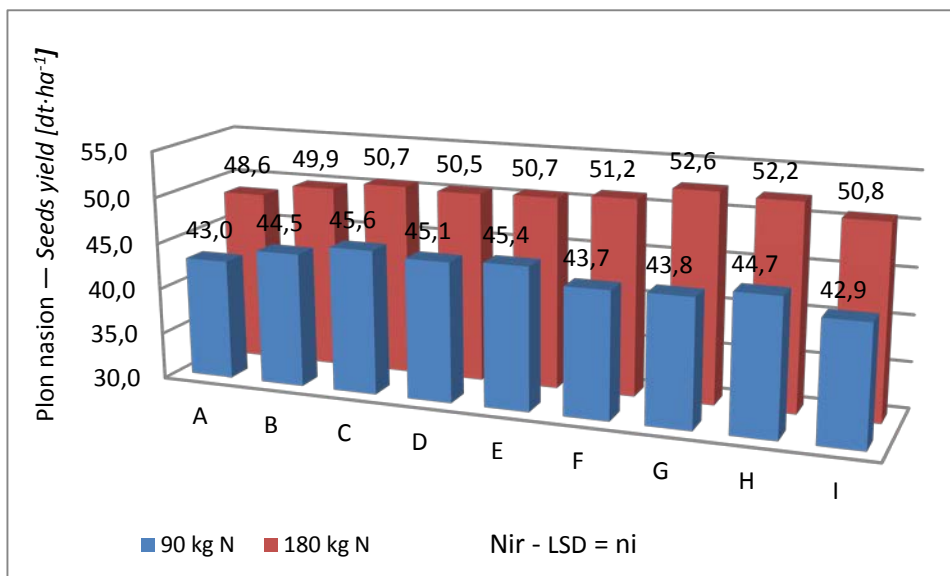
Tabela 8
 Wpływ azotu i sposobu nawożenia siarką na plon nasion badanych odmian rzepaku — *Effect of the rates of nitrogen and sulphur fertilisation on seed yields of estimated cultivars*

Czynniki <i>Factors</i>	2009						2010		2011		Średnio — <i>Mean</i>	
	Zielęcin		Małyszyn		Lagiewniki		Lagiewniki		Lagiewniki		Lagiewniki	
	dt·ha ⁻¹	rel	dt·ha ⁻¹	rel	dt·ha ⁻¹	rel	dt·ha ⁻¹	rel	dt·ha ⁻¹	rel	dt·ha ⁻¹	rel
90	73,6 a	100	67,3 a	100	60,7 a	100	46,8 a	100	25,4 a	100	44,3 a	100
180	75,8 b	103	76,5 b	114	64,3 b	106	51,3 b	110	36,9 b	145	50,8 b	115
NIR — <i>LSD</i> _{0,05}	1,09		4,18		3,14		3,12		1,1		1,08	
Dawka azotu (N) — <i>Nitrogen rate</i> (N) [kg N·ha ⁻¹]												
miejsowość × N — <i>location</i> × N = 2,19												
lata × N — <i>year</i> × N = 1,87												
Termin i dawka aplikacji siarki (S) — <i>Date and rate of sulphur</i> (S) application [kg S·ha ⁻¹]												
A	0+0	100	66,3 a	100	61,1 a	100	47,9	100	28,5 a	100	45,8 a	100
B	J	15+0	74,0 ab	103	69,1 ab	104	48,0	100	29,8 ab	105	47,2 ab	103
C	W	0+15	74,1 ab	103	72,4 bc	109	49,1	103	30,6 ab	107	48,1 b	105
D	J+W	15+15	75,0 b	104	72,2 bc	109	48,3	101	31,3 abc	110	47,8 b	104
E	W	0+30	75,1 b	105	74,5 bc	112	49,3	103	31,3 abc	110	48,1 b	105
F	J+W	15+30	76,6 b	107	72,6 c	109	49,5	103	31,3 abc	110	47,4 b	103
G	W	0+45	74,4 b	104	73,9 c	111	50,0	104	32,3 bc	113	48,2 b	105
H	J+W	30+30	75,9 b	106	73,5 c	111	50,8	106	33,8 c	118	48,4 b	106
I	W	0+60	75,6 b	105	72,8 c	110	48,2	101	31,6 bc	111	46,9 ab	102
NIR — <i>LSD</i> _{0,05}			2,56		3,38		ni		2,78		1,54	
S × miejscowość — <i>S</i> × <i>location</i> = 2,89												
N × S × miejscowość — <i>N</i> × <i>S</i> × <i>location</i> = ni												
S × lata — <i>S</i> × <i>year</i> = 2,68												
N × S × lata — <i>N</i> × <i>S</i> × <i>year</i> = ni												

Objasnienia jak w tabeli 5 — *For explanations, see Table 5*



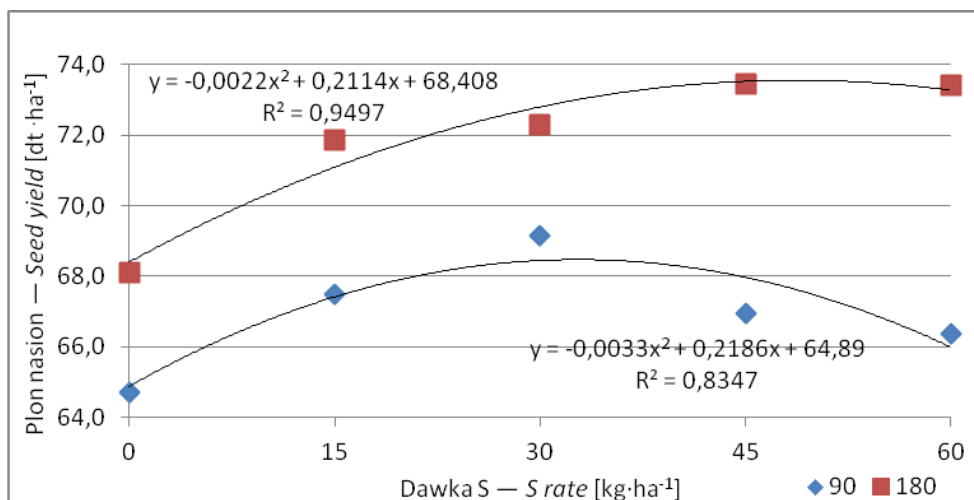
Rys. 4. Plon nasion pod wpływem dawek siarki w zależności od poziomu nawożenia azotem. Średnia dla 3 miejscowości (2009) — *Winter oilseed rape yield depending on sulphur and nitrogen fertilisation. Means for 3 locations (2009)*



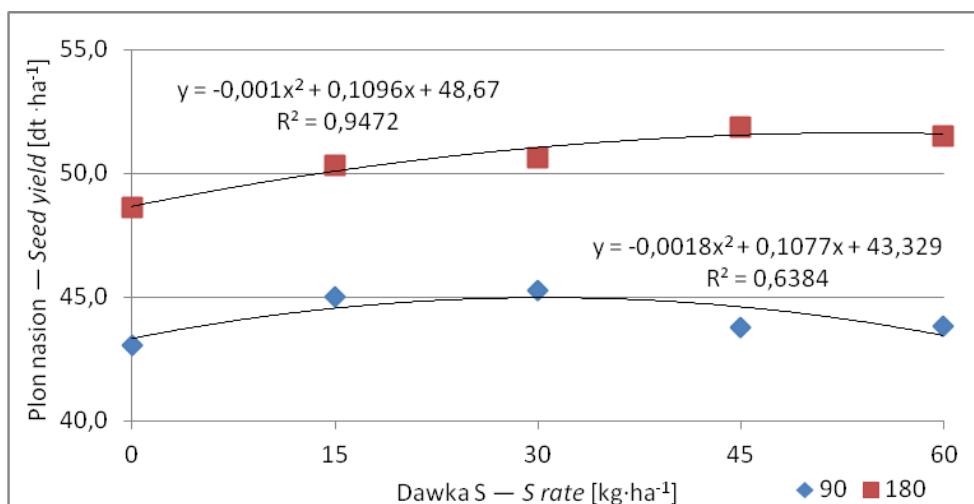
Rys. 5. Plon nasion pod wpływem dawek siarki w zależności od poziomu nawożenia azotem. Średnia dla 3 lat (Łagiewniki) — *Winter oilseed rape yield depending on sulphur and nitrogen fertilisation. Means for 3 years (Łagiewniki)*

Łagiewnik przedsięwzięcie nawożenie dawką $15 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ tylko nieistotnie zwiększyło plon nasion, natomiast istotny przyrost plonu w porównaniu do kontroli nie nawożonej siarką obserwowano gdy dawkę tę podano wiosną (C). Zastosowanie wyższych dawek siarki ($30, 45$ i $60 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$) aplikowanych jednorazowo wiosną (warianty E, G, I), bądź dzielonych na dwie części – przedsięwzięcie i wiosenną (D, F, H) nie różnicowało istotnie plonu nasion (Łagiewniki) lub zwiększało go istotnie tylko w porównaniu do dawki $15 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ aplikowanej przed siewem – B (2009). Przy wyższym poziomie nawożenia azotem były to dawki 45 i $60 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ (F, G, H, I), natomiast przy niższej dawce azotu — tylko dawka $30 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ (D, E). Stosowanie wyższych dawek siarki, zwłaszcza przy niższej dawce azotu, nie było uzasadnione, co wykazała interakcja między nawożeniem azotem i siarką w 2009 roku (rys. 4). Podobne zależności obserwowano w Łagiewnikach gdy analizowano wyniki z 3 lat badań, ale interakcja nie była istotna (rys. 5). Na obu poziomach nawożenia azotem istotnie najwyższy plon obserwowano po zastosowaniu wiosną dawki $15 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ (C). Zwiększone nawożenie siarką przy wyższej dawce azotu ($180 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) tylko nieistotnie zwiększyło plon nasion, natomiast przy niższym nawożeniu azotem ($90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$), dawki siarki powyżej $30 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ (D, E) powodowały niewielki, ale istotny jego spadek. Potwierdzają to krzywe produkcji nawożenia siarką, które dla obu poziomów nawożenia azotem przyjmują formę krzywych drugiego stopnia, przy czym dla mniejszej dawki azotu ma ona wyraźny kształt paraboli (rys. 6 i 7).

Na interakcję między nawożeniem siarką i azotem w uprawie rzepaku wskazuje od dawna wielu autorów (Jabłoński i Horodyski 1981, Jannzen i Bettany 1984, Zhao i in. 1997, Ahmad i Abdin 2000). O prawidłowych przemianach azotu i siarki w roślinie decyduje właściwa relacja N : S. Dlatego liczni autorzy (McGrath i in. 1996, Zhao i in. 1997, Fismes i in. 2000) zwracają uwagę na właściwy stosunek N : S w nawożeniu rzepaku. Składniki te wykorzystane są w większym stopniu przy optymalnym stosunku N : S, który wynosi 6 : 1 (Zhao i in. 2003). Współdziałanie siarki i azotu w kształtowaniu plonu rzepaku wykazali w swoich badaniach Tobała i Jakubus (2006), u których wpływ siarki ujawnił się tylko na najwyższym poziomie nawożenia azotem ($180 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$), a najefektywniejsze było zastosowanie dawki $20 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$. Również badania Fotymy i in. (2000) wykazały niewielki wzrost plonu nasion rzepaku pod wpływem nawożenia siarką tylko w przypadku stosowania dużych dawek azotu (160 i $200 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$). Autorzy ci nie obserwowali natomiast korzystnego działania siarki na obiektach z małymi dawkami azotu. We wcześniejszych badaniach własnych (Wielebski 2011) nie stwierdzono interakcji między nawożeniem azotem i siarką, wykazano natomiast współdziałanie czynników nawozowych z siedliskiem (3 lata i 3 miejscowości). W badaniach tych stwierdzono, że nawożenie siarką ($15, 30, 60 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$) powodowało istotny wzrost plonu przy każdej dawce azotu ($60, 120, 180 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) tylko w warunkach słabych gleb Małyszyna, natomiast niezależnie od nawożenia



Rys. 6. Wykres funkcji produkcji nawożenia siarką w zależności od dawki azotu. Średnia dla 3 miejscowości (2009) — *Diagram of a function of results of sulphur fertilisation dependent on N rate. Means for 3 locations (2009)*



Rys. 7. Wykres funkcji produkcji nawożenia siarką w zależności od dawki azotu. Średnia dla 3 lat (Łagiewniki) — *Diagram of a function of results of sulphur fertilisation dependent on N rate.. Means for 3 years (Łagiewniki)*

azotem najkorzystniejsze okazało się zastosowanie dawki 15 kg S·ha⁻¹. Również inne wieloletnie badania autora (Wielebski 2008) wykazały, że optymalne dla plonu było zastosowanie dawki 10–20 kg S·ha⁻¹, a stosowanie wyższych dawek (40 i 80 kg S·ha⁻¹) nie różnicowało plonu lub powodowało nawet istotne jego

obniżenie (Wielebski 2006). Malhi i Gill (2006) w swoich trzyletnich badaniach optymalne plony 4 odmian rzepaku otrzymali stosując $10 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$. Nieco wyższe dawki siarki (do $30 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$) korzystnie wpływały na plon w badaniach Matthey in. (2000), Malhi i in. (2007) oraz Jankowskiego i in. (2008). W warunkach produkcyjnych Jankowski i in. (2005) wykazali pod wpływem wiosennego nawożenia siarką liniowy przyrost plonu aż do dawki $90 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$. Obserwowali natomiast niską efektywność siarki aplikowanej przedsięwnie. Znacznie mniejszą efektywność siarki aplikowanej jesienią w porównaniu do stosowanej wiosną wykazali również Zhao i in. (2003), a przyczyną słabego wykorzystania siarki były straty spowodowane jej wymywaniem. Badania lizymetryczne wykazały, że w przypadku jesienniego stosowania siarki aż ponad 80% siarczanów było wymywanych podczas zimy przez opady atmosferyczne w głąb profilu glebowego (Riley i in. 2002).

Niezależnie od poziomu nawożenia azotem i dawki siarki, nieistotny dla plonu okazał się sposób stosowania wyższych dawek tego składnika (30 , 45 i $60 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$). Dzielenie ich na dwie części – przedsięwną i wiosenną (J + W) tylko nieistotnie różnicowało plon w porównaniu do dawek aplikowanych jednorazowo wiosną (W). Brak istotnego zróżnicowania w plonie między dawkami stosowanymi jednorazowo wiosną lub dzielonymi na dwie części – przedsięwną i wiosenną obserwował w swoich badaniach również Jankowski in. 2008.

Badania własne wykazały, że stosowanie siarki w dawkach od 15 do $60 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ zwiększyło plon nasion przeciętnie o $5,5\%$, a jej efekt plonotwórczy zależał od dostępności dla roślin, warunków siedliskowych i dawki azotu. Wyższy efekt nawożenia siarką obserwowano w warunkach niedostatecznego zaopatrzenia roślin w siarkę (2009 i 2011), natomiast w warunkach dobrego zaopatrzenia — efekt nawożenia tym składnikiem był mniejszy, a wzrost plonu tylko nieistotny (2010).

Istotny wpływ siarki na plon nasion obserwowano we wszystkich miejscowościach w pierwszym roku (2009) oraz w Łagiewnikach w trzecim roku badań (2011). Obserwacje prowadzone wczesną wiosną wykazały na niektórych roślinach charakterystyczne symptomy niedoboru siarki, a ocena zawartości siarki w najmłodszych liściach przeprowadzona w fazie zakwitania rzepaku (BBCH-61) potwierdziła niedostateczną zawartość ($0,43$ – $0,48\%$ S) tego składnika na obiektach kontrolnych nienawożonych siarką. Na niedobór siarki w rzepaku wskazuje zawartość $0,4\%$ S ogólnej w młodych liściach w fazie wydłużenia pędu, przy czym za optymalną Haneklaus i Schnug (1994) uważają zawartość $0,55$ – $0,65\%$ S ogólnej. Niezależnie od dawki azotu i sposobu stosowania siarki dla uzyskania istotnie wyższego w porównaniu do kontroli plonu w 2009 roku wystarczyło zastosowanie $15 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ w Małyszynie i Łagiewnikach lub $30 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ w Zielęcinie. Także w Łagiewnikach w ostatnim roku badań (2011) potrzebna była aplikacja $30 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 9). Otrzymane wyniki są zgodne z wcześniejszymi badaniami autora (Wielebski 2006, 2008 i 2011) oraz z wynikami wielu innych badaczy (Haneklaus i in. 1999, Fismes i in. 2000, Zhao i in. 2003, Hrivna i in. 2004, Podleśna 2004,

Tabela 9

Wpływ dawki siarki na plon nasion rzepaku — *Effect of S rate on the yield of oilseed rape seeds*

Czynnik <i>Factor</i>	2009						2010		2011		Średnio — <i>Mean</i>	
	Zielęcin		Matyszyn		Łagiewniki		Łagiewniki		Łagiewniki		2009	
	dt·ha ⁻¹	rel	dt·ha ⁻¹	rel	dt·ha ⁻¹	rel	dt·ha ⁻¹	rel	dt·ha ⁻¹	rel	dt·ha ⁻¹	rel
0	71,8 a	100	66,3 a	100	61,1 a	100	47,9	100	28,5 a	100	45,8 a	100
15	74,0 ab	103	70,7 b	107	64,2 b	105	48,6	101	30,2 ab	106	47,7 b	104
30	75,1 b	104	73,3 b	111	63,7 b	104	48,8	102	31,3 b	110	47,9 b	105
45	75,5 b	105	73,2 b	110	61,9 ab	101	49,8	104	31,8 b	112	47,8 b	104
60	75,7 b	105	73,2 b	110	60,8 a	99	49,5	103	32,7 b	115	47,6 b	104
NIR — <i>LSD</i> _{0,05}	2,52		3,93		2,42		ni		3,24		1,57	
Dawka siarki (S) — <i>Sulphur (S) rate</i> [kg S·ha ⁻¹]												
S × miejscowość — <i>S rate × location</i> = 2,99												
N × S × miejscowość — <i>N × S × location</i> = ni												
S × lata — <i>S × year</i> = 2,72												
N × S × lata — <i>N × S × year</i> = ni												

Objaśnienia jak w tabeli 5 — *For explanations, see Table 5*

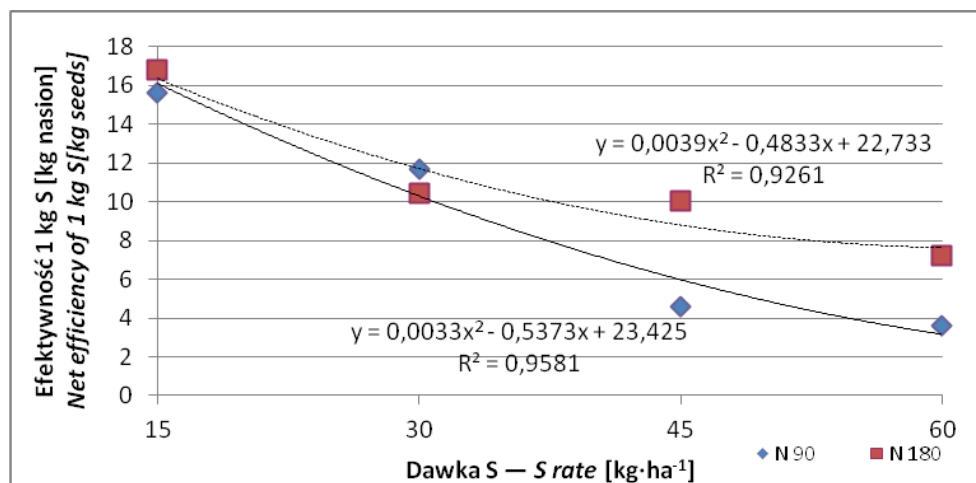
Jankowski i in. 2005, 2008), którzy w warunkach niedoboru siarki pod wpływem i in. 1999, Fismes i in. 2000, Zhao i in. 2003, Hrivna i in. 2004, Podleśna 2004, Jankowski i in. 2005, 2008), którzy w warunkach niedoboru siarki pod wpływem aplikacji tego pierwiastka otrzymali również istotny przyrost plonu nasion rzepaku ozimego. Brak symptomów niedoboru siarki i zbliżoną do optymalnej koncentrację (0,54% S) tego składnika w liściach roślin na obiektach kontrolnych nienawożonych siarką obserwowano w Łagiewnikach w drugim roku badań (2010). W warunkach dobrego zaopatrzenia roślin w siarkę efekt nawożenia tym składnikiem był mniejszy a wzrost plonu tylko nieistotny. Potwierdzają to wyniki badań innych autorów (Budzyński i Ojczyk 1995, Wielebski i Muśnicki 1998, Haneklaus i in. 1999, Wielebski i Wójtowicz 2003), którzy w warunkach dobrego zaopatrzenia roślin w siarkę nie obserwowali reakcji na nawożenie siarką lub otrzymali tylko niewielki wzrost plonu rzepaku.

Pomimo dużego zróżnicowania w latach i miejscowościach, średni przyrost plonu ze wszystkich doświadczeń wynosił ponad $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, a w zależności od środowiska (miejscowości i lat badań) wahał się od 128 na dobrych glebach Łagiewnik (Łagiewniki 2009 i 2010) do ponad $630 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w warunkach słabych gleb Małyszyna (tab. 9). Przyrost plonu zależał także od dawki azotu. W warunkach wyższego nawożenia azotem ($180 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) średni przyrost plonu pod wpływem stosowanych dawek siarki wynosił 370 kg i był prawie o połowę wyższy od średniego wzrostu plonu ($250 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) na poletkach nawożonych niższą dawką azotu ($90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$). Fotyma i in. (2000) wykazali, że pobranie siarki przez rzepak wzrastało w miarę wzrostu dawek azotu i było większe w obiekcie, w którym stosowano siarkę. Wzrost zawartości siarki w roślinie zwiększa produkcję białek właściwych, czego efektem jest wzrost plonu nasion i słomy rzepaku (Grzebisz 2008).

Reakcja badanych odmian na dawkę i termin nawożenia siarką we wszystkich doświadczeniach była podobna. Niezależnie od dawki azotu, najefektywniejsza dla plonu nasion obu odmian była dawka $15 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$. Brak istotnego współdziałania między nawożeniem siarką i odmianą wykazały również badania Toboły i Jakubus (2006). Także wcześniejsze badania autora (Wielebski 2008, 2011) nie wykazały istotnego zróżnicowania reakcji odmian na nawożenie siarką. Niezależnie od czynników nawozowych odmiana mieszańcowa Visby plonowała istotnie lepiej od odmiany populacyjnej Casoar.

Określono efektywność badanych czynników nawozowych. Dla obu dawek azotu najwyższą efektywność netto 1 kg S obserwowano przy najniższej dawce siarki ($15 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$). Obniżała się ona wraz ze wzrostem poziomu nawożenia siarką, z tym, że dla niższej dawki azotu ($90 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) produktywność siarki spadała szybciej (rys. 8). Przy nawożeniu dawką $15 \text{ kg S} \cdot \text{ha}^{-1}$ każdy kilogram zastosowanej siarki dawał średnio przyrost plonu około 16 kg nasion. Również we wcześniejszych swoich badaniach (Wielebski 2011) najkorzystniejszą produktywność netto i krańcową 1 kg S (13 kg nasion) autor obserwował przy dawce

15 kg S·ha⁻¹. Znacznie mniejszą produktywność netto i krańcową 1 kg S dawały wyższe dawki siarki. Efektywność dawek siarki powyżej 30 kg S·ha⁻¹ przy niższej dawce azotu (90 kg N·ha⁻¹) oraz dawek powyżej 45 kg S·ha⁻¹ przy wyższym poziomie nawożenia azotem (180 kg N·ha⁻¹) była niepewna i nawożenie tymi dawkami nie było uzasadnione w warunkach prowadzonych doświadczeń (tab. 10). Średnia efektywność krańcowa 1 kg S przy wyższym poziomie nawożenia azotem była dwa razy wyższa (7,2 kg nasion) niż przy niższej dawce azotu (3,6 kg nasion). Niezależnie od dawki azotu i terminu nawożenia siarką, średnie mierniki efektywności nawożenia nie uzasadniały aplikacji siarki w dawkach wyższych niż 30 kg S·ha⁻¹. Również Jankowski i in. (2008) w swoich badaniach wykazali brak zasadności stosowania dawek siarki powyżej 30 kg S·ha⁻¹.



Rys. 8. Efektywność netto 1 kg S [kg nasion] w zależności od poziomu nawożenia azotem
Net efficiency of 1 kg S [kg seeds] dependent on nitrogen fertilisation

Na efektywność siarki istotny wpływ miał także termin jej stosowania. Mimo że w większości doświadczeń (w 4 na 5) wykazano wysoką efektywność siarki aplikowanej przed siewem w dawce 15 kg S·ha⁻¹ (12 kg nasion), była ona jednak o ponad 1/3 mniejsza niż siarki stosowanej w tej samej dawce wczesną wiosną (20 kg nasion). Produktywność krańcowa wyższych dawek siarki (30, 45 i 60 kg S·ha⁻¹) była zazwyczaj większa, gdy część tych dawek (15 lub 30 kg S·ha⁻¹) stosowano przed siewem (tab. 10).

Nawożenie siarką zwiększyło efektywność plonotwórczą azotu. Z analizy danych przedstawionych na rysunku 9 i w tabeli 11 wynika, że zwłaszcza wyższe dawki siarki (45 i 60 kg S·ha⁻¹) zwiększały średnio o 1/3 (z 5,8 do 8,5 kg nasion na 1 kg N) produktywność krańcową azotu. Walker i Booth (1994) w swoich

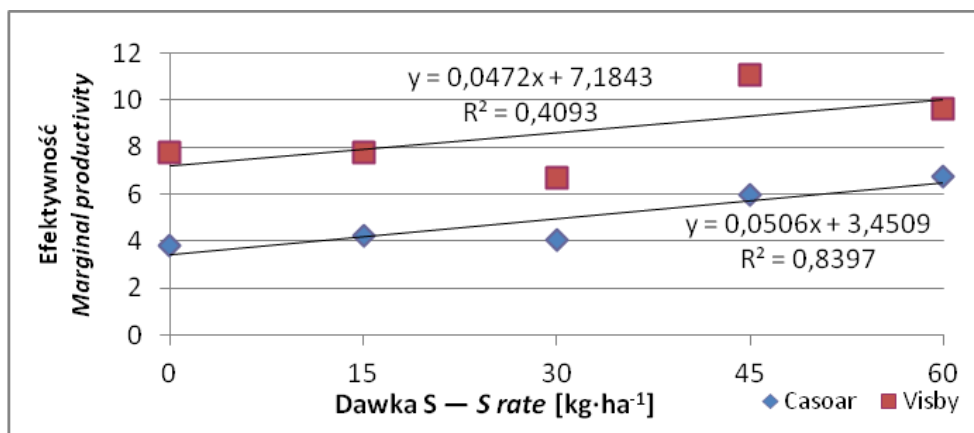
badaniach również obserwowali wzrost efektywności stosowanych dawek azotu (150 i 250 kg N·ha⁻¹) pod wpływem nawożenia siarką (32–64 kg S·ha⁻¹). Natomiast niewielki wpływ nawożenia siarką na efektywność nawożenia azotem wykazała w doświadczeniach ścisłych Fotyma i in. (2000). W warunkach nawożenia siarką stwierdziła ona większe wykorzystanie azotu przez rzepak tylko w obiektach z dużymi dawkami tego składnika.

Efektywność 1 kg S i 1 kg N różnicowały warunki środowiska. Najwyższą produktywność azotu i siarki obserwowano na słabych glebach Małyszyna (2009) oraz w Łagiewnikach w trzecim roku badań (2011). Najniższą produktywność azotu wykazano w Zielecinie (2009), zaś najniższe mierniki efektywności nawożenia siarką obserwowano w Łagiewnikach (2009 i 2010).

Tabela 10
Produktywność końcowa 1 kg S [kg nasion] dla badanych czynników w zależności od sposobu nawożenia siarką (2009–2011) — *Marginal productivity of 1 kg S [kg seeds] for estimated factors depending on sulphur fertilisation (2009–2011)*

Czynniki <i>Factors</i>	Termin i dawka aplikacji siarki <i>Date and rate of sulphur application [kg S·ha⁻¹]</i>								Średnia <i>Mean</i>
	B J	C W	D J+W	E W	F J+W	G W	H J+W	I W	
	15+0	0+15	15+15	0+30	15+30	0+45	30+30	0+60	
Dawka azotu — <i>Nitrogen rate [kg N·ha⁻¹]</i>									
90	12,1	19,2	9,0	6,3	–	–	8,3	–	3,6
180	12,0	21,6	6,9	1,3	12,1	6,6	0,3	–	7,2
Odmiana — <i>Cultivar</i>									
Casoar	13,8	26,3	8,5	–	0,1	0,0	–	–	4,9
Visby	10,3	14,5	7,4	10,8	2,2	–	12,1	–	5,9
Miejsce i rok doświadczenia — <i>Experiment location and year</i>									
Małyszyn 2009	18,5	40,7	20,5	13,7	2,7	–	6,2	–	11,5
Zielecin 2009	14,5	15,4	6,8	6,8	10,6	–	–	7,9	6,5
Łagiewniki 2009	17,7	23,7	0,5	–	–	–	–	–	–
Łagiewniki 2010	0,7	8,0	2,0	1,3	8,0	4,7	8,7	–	2,7
Łagiewniki 2011	8,7	14,0	10,0	4,4	0,1	6,8	16,3	–	7,0
Średnia dla 3 miejscowości (2009) — <i>Mean for 3 locations (2009)</i>									
	9,3	15,3	4,0	0,0	–	0,7	6,7	–	3,1
Średnia dla 3 lat (Łagiewniki) — <i>Mean for 3 years (Łagiewniki)</i>									
	17,3	26,7	8,7	4,7	–	–	–	–	5,8

* Objaśnienia jak w tabeli 5 — *For explanations, see Table 5*



Rys. 9. Efektywność krańcowa 1 kg N [kg nasion] w zależności od dawki siarki i odmiany
Marginal productivity of 1 kg N [kg seeds] dependent on sulphur rate and on cultivar

Tabela 11

Produktywność krańcowa 1 kg N [kg nasion] w zależności od dawki siarki i warunków siedliskowych (2009–2011) — *Marginal productivity of 1 kg N [kg seeds] dependent on sulphur rate and environment (2009–2011)*

Miejsce i rok doświadczenia <i>Experiment location and year</i>	Dawka siarki — Sulphur rate [kg S·ha ⁻¹]					Średnia <i>Mean</i>
	0	15	30	45	60	
Małyszyn 2009	9,0	10,5	7,4	11,3	12,5	10,3
Zielecin 2009	1,4	1,8	1,6	4,3	2,9	2,4
Łagiewniki 2009	1,4	1,8	1,6	4,3	2,9	3,7
Łagiewniki 2010	5,5	5,2	3,3	6,5	4,7	5,0
Łagiewniki 2011	12,3	10,3	13,2	14,6	12,9	12,7
Średnia dla 3 miejscowości (2009) — <i>Mean for 3 locations (2009)</i>						
	6,2	5,9	6,0	9,0	8,5	7,1
Średnia dla 3 lat (Łagiewniki) — <i>Mean for 3 years (Łagiewniki)</i>						
	3,8	4,8	3,5	7,2	7,8	5,4

Wnioski

1. Przedsięwzięta aplikacja siarki w dawce 15 i 30 kg S·ha⁻¹ korzystnie wpływała na cechy pokroju roślin przed zimą, zwłaszcza liczbę liści w rozecie, co w warunkach ostrzejszej zimy przekładało się na lepsze zimowanie rzepaku.

2. Dawka azotu (90 lub $180 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) istotnie wpływała na liczbę rozgałęzień na roślinie oraz zwiększała liczbę łuszczyń na roślinie i na jednostce powierzchni, a także masę 1000 nasion. Nieistotne zróżnicowanie badanych cech pokroju roślin i komponentów plonu obserwowano pod wpływem dawki (0 , 15 , 30 , 45 i $60 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$) i terminu nawożenia siarką (jesień, jesień + wiosna lub tylko wiosna).
3. Znacznie większe zróżnicowanie cech pokroju roślin i komponentów plonu obserwowano pod wpływem czynnika genetycznego (odmiany) i warunków siedliskowych (lat i miejscowości). We wszystkich doświadczeniach rośliny mieszańca zrestorowanego Visby w porównaniu do odmiany populacyjnej Casoar były przed zbiorem istotnie wyższe (o ponad 15 cm), wytwarzały więcej rozgałęzień i łuszczyń oraz nasion w łuszczyń, charakteryzowała je natomiast mniejsza masa 1000 nasion.
4. Spośród badanych czynników silniejszy wpływ na wielkość plonu nasion miało nawożenie azotem niż siarką. Zwiększenie dawki azotu z 90 do $180 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ powodowało wzrost plonu średnio o 11% , zaś aplikacja siarki w dawkach od 15 do $60 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$ zwiększyła plon nasion przeciętnie o $5,5\%$.
5. Stwierdzono współdziałanie między azotem i siarką. Istotny przyrost plonu nasion dla obu dawek azotu otrzymano po zastosowaniu dawki $15 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$. Wyższe dawki siarki ($30 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$ przy niższej dawce azotu oraz 45 i $60 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$ przy wyższej dawce N), aplikowane jednorazowo wiosną bądź dzielone na dwie części – przedwiosną i wiosenną — istotnie zwiększyły plon nasion tylko w porównaniu do dawki $15 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$ stosowanej przed siewem. Nawożenie siarką powyżej $30 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$ przy niższej dawce azotu ($90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) powodowało istotny spadek plonu.
6. Dla obu poziomów nawożenia azotem efektywność netto i krańcowa 1 kg S była najwyższa (16 kg nasion) po zastosowaniu dawki $15 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$.
7. Wykazano korzystny wpływ jesiennej aplikacji siarki na plon nasion. Niemniej efektywność 1 kg S (12 kg nasion) aplikowanej przed siewem w dawce $15 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$ była o ponad $1/3$ mniejsza niż siarki stosowanej w tej samej dawce wczesną wiosną (20 kg nasion). Produktywność krańcowa wyższych dawek siarki (30 , 45 i $60 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$) była większa, gdy część tych dawek (15 lub $30 \text{ kg S}\cdot\text{ha}^{-1}$) stosowano przed siewem.
8. Efektywność azotu i siarki w istotny sposób różnicowały warunki środowiska. Najwyższą produktywność azotu i siarki obserwowano na słabych glebach Małyszyna (2009), zaś najniższe mierniki efektywności nawożenia azotem obserwowano w Zielęcinie, a siarką na dobrych glebach Łagiewnik.

Literatura

- Ahmad A., Abdin M.Z., 2000. Interactive effect of sulphur and nitrogen on the oil and protein contents and fatty profiles of oil in the seeds of rapeseed (*Brassica campestris* L.) and mustard (*Brassica juncea* L. Czern. and Coss.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 185, 1: 49-54.
- Bardsley C., Lancaster J. 1960. Determination of reserve sulfur and soluble sulfates in soils. *Soil Sci. Am. Prom.*, 24: 265-268.
- Bloem E.M. 1998. Schwefel – Bilanz von Agrarökosystemen unter besonderer Berücksichtigung hydrologischer und bodenphysikalischer Standorteigenschaften. *Landbauforschung Volkenroder*, SH 192: 1-156.
- 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*, 1: 280-283.
- Budzyński W., Ojczyk T. 1995. Influence of sulphur fertilization on seed yield and seed quality of double low oilseed rape. *Proc. 9th Int. Rapeseed Congress, Cambridge*, 1: 284-286.
- Fismes J., Vong P.C., Guckert A., Frossard E. 2000. Influence of sulfur on apparent N-use efficiency, yield and quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown on a calcareous soil. *European Journal of Agronomy*, 12, 2: 127-141.
- Fotyma E. 2003. Wpływ nawożenia siarką na wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez rośliny uprawy polowej. *Nawozy i Nawożenie*, 4: 117-136.
- Fotyma E., Boreczek B., Podleśna A. 2000. Nawożenie rzepaku ozimego azotem i siarką w świetle wyników doświadczeń ścisłych. *Zbilansowane nawożenie rzepaku. Aktualne problemy*. Grzebisz W. (red). AR Poznań, 157-167.
- Haneklaus S., Schnug E. 1994. Diagnosis of crop sulphur status and application of X-ray fluorescence spectroscopy for the sulphur determination in plant and soil materials. *Sulphur in Agriculture*, 18: 31-40.
- 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.
- Hrivna L., Richter R., Raskova J. 2004. The correction of sulphur nutrition of winter rape. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXV (1): 137-143.
- Gaj R., Klikocka H. 2011. Wielofunkcyjne działanie siarki w roślinie – od żywienia do ochrony. *Progress in Plant Protection*, 51 (1): 33-44.
- Grzebisz W., Fotyma E. 1996. Ocena odżywienia siarką rzepaku uprawianego w północno-zachodniej Polsce. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XVII (1): 275-280.
- Grzebisz W. 2008. Nawożenie roślin uprawnych. Cz. 1. Podstawy nawożenia. PWRiL, Poznań, 428 ss.
- GUS 2011. *Rocznik Statystyczny*.
- Jabłoński M., Horodyski A. 1981. Omówienie niektórych prac nad technologią uprawy rzepaku ozimego. *Biul. IHAR*, 146: 57-62.
- 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.
- Jankowski K., Budzyński W., Szymanowski A. 2008. Influence of the rate and timing of sulphur fertilisation on winter oilseed rape yield. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXIX (1): 75-89.
- Jannzen H.H., Bettany J.R. 1984. Sulphur nutrition of rapeseed: I. Influence of fertilizer nitrogen and sulphur rates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48: 100-107.

- Klikocka H. 2010. Znaczenie siarki w biosferze i nawożeniu roślin. *Przem. Chem.* 7: 903-908.
- 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.
- Malhi S.S., Gill K.S. 2006. Cultivar and fertilizer S rate interaction effects on canola yield, seed quality and S uptake. *Canadian Journal of Plant Science*, 86, 2: 91-98.
- Malhi S.S., Gan Y., Raney J.P. 2007. Yield, seed quality and sulfur uptake of *Brassica* oilseed crops in response to sulfur fertilization. *Agronomy Journal*, 99, 2: 570-577.
- Matthey J., Sauermann W., Finck M. 2000. Schwefelversorgung zu Winterrapsen-heute. *Standard in Schleswig-Holstein. VDLUFA-Schriftenreihe*, 53: 72-79.
- McGrath S.P., Zhao F.J. 1995. Assessing the risk of sulphur deficiency in oilseed rape. *Proc. 9th Int. Rapeseed Congress, Cambridge*, 1: 226-228.
- McGrath S.P., Zhao F.J. 1996. Sulphur uptake, yield responses and the interaction between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus*). *Journal of Agricultural Science*, 126: 53-62.
- Motowicka-Terelak T., Terelak H. 1998. Siarka w glebach Polski – stan i zagrożenia. Państwowa Inspekcja ochrony Środowiska. Biblioteka Monitoringu Środowiska.
- Podleśna A. 2004. Wpływ nawożenia siarką na zawartość i pobieranie składników pokarmowych przez rzepak ozimy. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXV (2): 627-636.
- Potarzycki J. 2003. Rola siarki z superfosfatu prostego w nawożeniu jęczmienia jarego. II. Wykorzystanie azotu i siarki z nawozów. *Nawozy i Nawożenie*, 4 (17): 193-205.
- Rice R. 2007. The physiological role of minerals in the plant. p. 9-30. W: *Mineral Nutrition and Plant Disease*. L.E. Datnoff, W.E. Elmer, D.M. Huber, eds. The APS, St. Paul, MN, 278 pp.
- Riley N.G., Zhao F.J., McGrath S.P. 2002. Leaching losses of sulphur from different forms of sulphur fertilizers: a field lysimeter study. *Soil Use and Management*, 18: 120-126.
- Schnug E., Bloem E., Haneklaus S. 1995. Significance of soil water dynamics for the sulphur balance of oilseed rape. *Proc. 9th Int. Rapeseed Congress, Cambridge*, 1: 287-289.
- Siaudinis G., Lazauskas S. 2009. The effects of nitrogen and sulphur fertilisers on spring rape growth and yield. *Zemdirbyste*, 96, 2: 71-81.
- Toboła P., Jakubus M. 2006. Wpływ nawożenia siarką na plonowanie rzepaku ozimego w zależności od poziomu zaopatrzenia roślin w siarkę. XXVIII Konferencja Naukowa Rośliny Oleiste. Streszczenia: 67-69.
- Walker K.C., Booth E.J. 1994. Sulphur deficiency in Scotland and the effects of sulphur supplementation on yield quality of oilseed rape. *Norwegian J. Agric. Sci. Suppl.* 15: 97-104.
- Wielebski F. 2006. Nawożenie różnych typów odmian rzepaku ozimego siarką w zróżnicowanych warunkach glebowych. I. Wpływ na plon i elementy struktury plonu nasion. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXVII (2): 265-282.
- Wielebski F. 2008. Efektywność nawożenia siarką różnych typów hodowlanych odmian rzepaku w świetle wyników wieloletnich doświadczeń polowych. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXIX (1): 91-104.
- Wielebski F. 2011. Wpływ nawożenia siarką w warunkach stosowania zróżnicowanych dawek azotu na plonowanie różnych odmian rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXXII (1): 61-78.
- Wielebski F., Muśnicki Cz. 1998. Wpływ wzrastających dawek siarki i sposobu jej aplikacji na plon i zawartość glukozyolanów 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 – Oilseed Crops*, XXI (2): 465-473.
- 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.
- Withers P.J.A., Evans E.J., Bilsborrow P.E., Milord G.F.J., McGrath S.P., Zhao F., Walter K.C. 1995. Improving the prediction of sulphur deficiency in winter oilseed rape in the UK. *Proc. 9th Int. Rapeseed Congress, Cambridge*, 1: 277-279.
- Zhao F.J., Bilsborrow P.E., Evans E.J., McGrath S.P. 1997. Nitrogen to sulphur ratio in rapeseed and rapeseeds protein and its use in diagnosing sulphur deficiency. *J. of Plant Nutr.*, 20: 549-558.
- Zhao F.J., Mcgrath S.P., Blake-Kalff M.M.A., Link A., Tucker M. 2003. Crop Responses to sulphur fertilization in Europe. *Biogeochemistry of sulphur in agricultural systems. Part II. Fertilizers and Fertilization*, V, Nr 3 (16): 26-51.