

Franciszek Wielebski, Marek Wójtowicz

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Zakład Roślin Oleistych w Poznaniu

Problemy nawożenia rzepaku siarką w Polsce i na świecie

Problems of oilseed rape sulphur fertilization in Poland and in the world

Słowa kluczowe: rzepak ozimy, siarka, niedobory siarki, glukozynolany

Key words: oilseed rape, sulphur, deficiency of sulphur, glucosinolates

Zmniejszenie emisji siarki doprowadziło w ostatnich latach do wzrostu zainteresowania siarką jako składnikiem nawozowym roślin uprawnych, a zwłaszcza rzepaku. Aktualnie w Europie nawożenie siarką stało się jednym z ważniejszych problemów współczesnego rolnictwa. Do niedawna zagadnienie siarki rozpatrywane było przede wszystkim w aspekcie nadmiaru tego pierwiastka i niekorzystnego jego oddziaływania na środowisko naturalne. Siarkę traktowano jako ważny element wzrostu roślin, ale nawożenie siarką nie było uważane za bezwzględnie potrzebne. Począwszy od lat 90-tych w Polsce emisja siarki systematycznie zmniejsza się. W latach 80-tych w ciągu roku opadało średnio na 1 ha prawie 70 kg S, w roku 1990 — 51 kg, natomiast w roku 1998 — 33 kg/ha. Największy opad siarki występuje w rejonach silnie przemysłowych, natomiast na terenach oddalonych od zakładów przemysłowych roczny opad siarki jest niewielki i waha się wokół 10 kg S/ha. Właśnie na tych terenach zmniejszony dopływ siarki z atmosfery, przy jednoczesnym spadku zużycia nawozów zawierających siarkę, pogorszył wyraźnie zaopatrzenie gleby, a przez to i roślin w siarkę i prowadzi do występowania niedoboru tego pierwiastka u wielu roślin, zwłaszcza rzepaku. Spośród roślin uprawnych największe zapotrzebowanie na siarkę wykazuje rzepak i rośliny krzyżowe (> 50 kg/ha). Rzekpak pobiera od 1,5 do 2 kg S/dt nasion i słomy.

Reduction of sulphur emission in the 90's caused increase of interest in sulphur as fertilizer ingredient of cultivated plants and particularly for oilseed rape. In Europe sulphur fertilization becomes one of the most important problems of present agriculture. So far sulphur problem has been considered in aspect of excess of this nutrient and it's unfavourable influence on environment. Sulphur was considered an important plant growth element but sulphur fertilization was not considered necessary. In Poland the emission of sulphur has been getting lower since 1990. In the 80's emission of sulphur amounted to 70 kg S/ha. In 1990 it was diminished to 51 kg S/ha and in 1998 it amounted only to 33 kg S/ha. The highest emission is related to industrial areas, while in rural areas sulphur emission is low and amounts about 10 kg/ha/yr. In these non industrial regions a decreased sulphur input from the atmosphere and reduction of sulphur fertilization make soil and plants sulphur supply worse and will cause deficiency of this nutrient in many plants, especially in oilseed rape. Among cultivated plants oilseed rape and other cruciferae plants reveal the greatest sulphur demands (> 50 kg/ha). Oilseed rape takes from 1.5 to 2 kg S/dt of seeds and straw, particularly in spring from the beginning of vegetation till the end of flowering. So big sulphur demands can often surpass the amount of available sulphur in soil. Large part of arable

Największe zapotrzebowanie występuje wiosną od ruszenia wegetacji do końca kwitnienia. Tak duże potrzeby rzepaku mogą często przewyższać ilość dostępnej siarki w glebie. Znaczna część gleb uprawnych w Polsce zwłaszcza lżejszych, a także średnich o słabym kompleksie sorpcyjnym wykazuje niską zasobność w siarkę przyswajalną, która nie przekracza 1 mg/100 g gleby. W rolnictwie polskim problem siarki nabiera obecnie nowego znaczenia. W najbliższych latach na skutek zmniejszającego się dopływu siarki z atmosfery, nawożenie niektórych roślin tym składnikiem będzie miało istotne znaczenie dla utrzymania wysokiego plonowania i efektywnego wykorzystania innych składników, w tym zwłaszcza azotu. Należy jednak wyraźnie przestrzec przed pochopnym nawożeniem rzepaku siarką na zapas, ze względu na możliwość pogorszenia jakości zbieranych nasion. Decyzja o nawożeniu rzepaku siarką powinna być poprzedzona analizą gleby i roślin. Dopiero na tej podstawie można ustalić potrzeby nawozowe rzepaku w stosunku do siarki.

soils in Poland, especially light textured and medium textured with poor sorptive complex, show low content of available sulphur i.e. below 1mg/100 g of soil. Nowadays in Polish farming sulphur problem acquire new meaning. It is necessary to pay more attention to sulphur content and requirements of cultivated plants. In the nearest future, because of reduction of sulphur input from the atmosphere, sulphur fertilization will have significant effect on yield and efficient use of other nutrients, especially nitrogen. However, sulphur fertilization is not recommended for the future, because it can decrease the quality of seeds. Decision of sulphur fertilization should be made after soil and plants tests. On the ground of these test results sulphur requirements of oilseed rape should be determined.

Wstęp

Zmniejszenie emisji siarki doprowadziło w ostatnich latach do wzrostu zainteresowania siarką jako składnikiem nawozowym roślin uprawnych, a zwłaszcza rzepaku. Aktualnie w Europie nawożenie siarką stało się jednym z ważniejszych problemów nawożeniowych rolnictwa. W chwili obecnej również i w Polsce nabiera ono coraz większego znaczenia, gdyż coraz mniej siarki trafia do gleby z powietrza. Należy więc szerzej przyjrzeć się temu problemowi.

Siarka jest pierwiastkiem kontrowersyjnym. Z jednej strony jest on bowiem podstawowym i niezbędnym składnikiem pokarmowym dla wszystkich organizmów roślinnych i zwierzęcych. Z drugiej zaś strony nadmiar tego pierwiastka (co jest wynikiem działalności człowieka) ujemnie oddziałuje na środowisko naturalne (glebę i rośliny).

Rola siarki w roślinie

Siarka ma podstawowe znaczenie dla życia roślin i zwierząt. W roślinie wchodzi w skład licznych związków, jak aminokwasy, olejki goryczkowe i inne związki organiczne, a także gromadzi się w postaci mineralnej, czyli siarczanowej. Znaczenie siarki jest wielorakie, lecz przede wszystkim spełnia w roślinie funkcję

materiału budulcowego aminokwasów (metionina, cystyna i cysteina) niezbędnych do syntezy białka. Bierze udział w procesach oksydoredukcyjnych zachodzących w komórce, katalizuje liczne procesy enzymatyczne, jest niezbędna w procesie fotosyntezy, a także uczestniczy w syntezie chlorofilu i ligniny. Siarka pełni także ważną rolę w systemie ochrony roślin przed szkodnikami i chorobami (Schnug i in. 1995a). Podczas redukcji siarczanów w roślinie do atmosfery uwalniane są znaczne ilości siarki (2–3 kg/ha/rok) w postaci H_2S , która pomaga roślinie zwalczać ataki grzybów na powierzchni liści. Szczególną rolę pełni ona w metabolizmie azotu w roślinie (Janzen i Bettany 1984) bowiem niedobór siarki prowadzi do zmniejszenia wykorzystania azotu z nawozów. W warunkach niedoboru siarki stosunek S : N ulega rozszerzeniu przez wzrost zawartości niebiałkowych organicznych związków azotowych (Goźliński 1970). Szczególnie jaskrawo zjawisko to występuje w warunkach intensywnego nawożenia roślin uprawnych azotem. Zatem siarka, wpływając na gospodarkę azotem decyduje w konsekwencji o wielkości plonu nasion, zawartości i jakości białka oraz produkcji tłuszczu.

Zapotrzebowanie rzepaku na siarkę

Spośród roślin uprawnych największe zapotrzebowanie na siarkę (> 50 kg/ha) wykazuje rzepak i inne rośliny krzyżowe. Rzepak pobiera od 1,5 do 2 kg S na dt nasion i słomy, zwłaszcza wiosną od ruszenia wegetacji do końca kwitnienia (Merrien 1987, Schnug i in. 1995a). Potrzeby rzepaku są dwukrotnie wyższe niż roślin motylkowych, strączkowych i buraków (20–50 kg/ha) i aż czterokrotnie przewyższają potrzeby zbóż, traw, kukurydzy czy ziemniaków (< 20 kg/ha). Tak duże potrzeby pokarmowe rzepaku mogą przewyższać ilość siarki dostępnej w glebie.

Zapotrzebowanie na siarkę jedno- i dwuzerowych odmian rzepaku jest podobne. Odmiany dwuzerowe mało różnią się od odmian jednozerowych pobieraniem i wykorzystaniem siarki w czasie rozwoju wegetatywnego (Zhao i in. 1995). Niektórzy autorzy (Schnug i Haneklaus 1993) sugerują, że odmiany dwuzerowe mają defekt w biosyntezie glukozyolanów w tkance wegetatywnej i przez to są bardziej podatne na niedobory siarki. Glukozyolany mogą bowiem stanowić dla rośliny źródło siarki w przypadku niedoboru tego składnika. Badania Milforda i in. (1995) wykazują, że koncentracja glukozyolanów w tkance wegetatywnej jest podobna u odmian jedno- i dwuzerowych. Różnice między odmianami jedno- i dwuzerowymi występują dopiero po uformowaniu łuszczyń. Odmiany jednozerowe gromadzą siarkę w łuszczyinach i nasionach w postaci glukozyolanów, natomiast odmiany dwuzerowe wskutek blokady syntezy glukozyolanów w ściankach łuszczyń charakteryzują się niską koncentracją glukozyolanów w łuszczyinach i nasionach, a dużą akumulacją siarki i pojedynczych siarczanów w tych organach roślinnych (Zhao i in. 1995).

Źródła siarki dla roślin

Rośliny pobierają siarkę pochodzącą z różnych źródeł, z których najważniejszym jest gleba i atmosfera. Zasoby glebowe siarki uzupełniają nawozy organiczne i mineralne. W glebie siarka wchodzi w skład związków organicznych, siarczanów i w niewielkiej ilości siarczków. Zawartość siarki w glebach determinowana jest przez właściwości fizyczne (skład granulometryczny) oraz chemiczne gleby (zawartość węgla organicznego i azotu ogólnego oraz odczyn gleby). Obecnie w wielu krajach obserwuje się niedobór tego składnika w glebie (Terelak i in. 1988). Najwięcej gleb ubogich w siarkę spotyka się w Ameryce Północnej, Australii, Afryce i Kanadzie. Także coraz więcej gleb w Europie Zachodniej wykazuje niedobór siarki (Mc Grath i Zhao 1995). Jeśli w przyszłości będzie miała miejsce dalsza redukcja emisji SO_2 to zjawisko niedoboru siarki przyswajalnej w glebie będzie się powiększać. W glebach Polski zawartość różnych form siarki jest bardzo zróżnicowana i waha się w szerokich granicach. Zawartość siarki siarczanowej, formy najważniejszej, bo łatwo przyswajalnej dla roślin, w poziomie orno-próchnicznym gleb waha się w granicach od 0,2 do 6,3 mg/100 g gleby, natomiast siarki ogólnej od 7,0 do 107 mg/100 g gleby (Terelak i in. 1988). Znaczna część gleb w Polsce, zwłaszcza gleb lżejszych, a także średnich wykazuje niską zasobność w siarkę przyswajalną, tj. poniżej 1 mg/100 g gleby, czyli około 30 kg S/ha (Terelak i in. 1988). Generalnie 75–95% siarki w wierzchniej warstwy gleby zawarte jest w materii organicznej. Mineralizacja siarki organicznej stanowi główne źródło siarki dla roślin w okresie wegetacji. Na proces ten wpływają warunki klimatyczno-glebowe: najlepiej przebiega on w temperaturze 10–20°C, natomiast spowolnieniu ulega przy niskiej temperaturze, bądź też wilgotności gleby. Wolne tempo mineralizacji w niskich temperaturach jest częstą przyczyną niedoboru siarki w glebie w okresie wczesnej wiosny, temperatury gleby są jeszcze niskie, lecz wegetacja już ruszyła i potrzeby roślin wzrastają bardzo szybko (Frenay i Williams 1983, Fauconnier i Leymonie 1987). Taka sytuacja wystąpiła w wielu rejonach Polski wiosną 1999 roku, silne niedobory siarki można było obserwować na wielu plantacjach rzepaku.

Do atmosfery siarka dostaje się przede wszystkim w postaci SO_2 , pochodzącego z zanieczyszczeń przemysłowych. Tak więc potencjalnym źródłem siarki dla roślin jest ilość SO_2 emitowanego do gleby z atmosfery wraz z opadami atmosferycznymi, pyłami i przez bezpośrednią absorpcję czystej S. Ilość ta jest proporcjonalna do jej zawartości w powietrzu i może wynosić rocznie od kilku do 200 i więcej kg S/ha. Siarka atmosferyczna może pokryć do 50% całego zapotrzebowania roślin na ten składnik (Schnug 1991).

Ważnym źródłem siarki dla roślin są nawozy mineralne, jak np. superfosfat prosty, siarczan potasu, czy siarczan amonu.

Dostępność i określenie stanu odżywienia rzepaku siarką

Schnug i in. (1995b) stwierdzają, że same analizy glebowe są niewystarczające dla określenia dostępności siarki dla roślin, ponieważ koncentracja siarki w glebie nie odzwierciedla stanu odżywienia rośliny tym składnikiem. Dostępność siarki w glebie zależy od współdziałania licznych czynników jak: opad atmosferyczny, mineralizacja siarki organicznej i rozmiar wypłukiwania siarczanów z gleby, które mogą być w pewnej ilości adsorbowane przez glebę. Zdolność sorpcyjna siarczanów jest zróżnicowana w zależności od gleby i zwiększa się od gleb bardzo lekkich do średnich, a w danej glebie zmienia się wraz z profilem gleby. Sorpcja siarki jest wysoka, jeśli gleba zawiera dużo wodorotlenków żelaza, a odczyn jest niski. W glebach klimatu umiarkowanego sorpcja siarczanów, zwłaszcza w warstwie uprawnej, jest bardzo mała, co powoduje łatwość ich wymycia. Przebieg pogody zimą i wiosną ma również duży wpływ na stan odżywiania roślin rzepaku siarką. Padające zimą deszcze mogą zarówno wprowadzać do gleby duże ilości siarki z powietrza (jeśli jej jest tam dużo), jak i wymywać ją w głąb profilu glebowego. W warunkach łagodnych zim (a takie ostatnio przeważają w Polsce) wczesną wiosną zazwyczaj jest niedobór siarki w glebie, gdyż siarczany w okresie jesienno-zimowym zostają wymyte. Zatrzymanie siarczanów w wierzchnich warstwach gleby jest bardzo małe, gdyż jon SO_4^{2-} jest bardzo ruchliwy, przemieszczając się w głąb profilu glebowego (Frenay i Williams 1983). To źródło siarczanów jest łatwo dostępne i redukuje niedobory siarki u roślin głęboko korzeniących się.

Dla wiarygodnego określenia stanu zaopatrzenia roślin w siarkę i wskazania potrzeb nawozowych poza analizą glebową konieczne jest przeprowadzenie uzupełniającej analizy roślin (Schnug i in. 1995b, Withers i in. 1995). Zawartość siarki w liściach rzepaku w fazie wczesnego kwitnienia jest dobrym wskaźnikiem stanu odżywienia rzepaku, a krytyczna wartość, poniżej której objawy niedoboru siarki są widoczne, wynosi 0,35% siarki (Haneklaus i Schnug 1991). Przy zawartości siarki w liściach od 0,35 do 0,65% u rzepaku występuje niedostatek siarki, ale objawy tego niedoboru są niewidoczne (niedobory utajone). Natomiast zawartość powyżej 0,65% S/g s.m., wskazuje na dobre zaopatrzenie roślin w siarkę.

Przyczyny niedoborów siarki

Do niedawna najważniejszym źródłem zaopatrzenia roślin w siarkę była atmosfera. Ogromny rozwój przemysłu i motoryzacji po drugiej wojnie spowodował znaczne zwiększenie emisji lotnych związków siarki, zwłaszcza SO_2 , do atmosfery. Ilość SO_2 dopływająca do gleby wraz z opadami atmosferycznymi nie tylko w pełni pokrywała potrzeby roślin, ale często wywierała niekorzystny

wpływ na wzrost roślin. Nadmiar siarki w atmosferze prowadził do powstania zjawiska kwaśnych deszczy, degradujących środowisko przyrodnicze (zakwaszenie gleb i zwiększone wymycie kationów zasadowych). Dotychczasowe rolnicze znaczenie siarki rozpatrywane było przede wszystkim w aspekcie nadmiaru pierwiastka i jego niekorzystnego oddziaływania na środowisko naturalne. Nadmiar siarki dotyczył rejonów przemysłowych i obszarów narażonych na oddziaływanie napływu powietrza silnie zanieczyszczonego związkami siarki. Dlatego siarkę traktowano jako ważny element wzrostu roślin, ale nie uważano jej za składnik, którego wprowadzenie do gleby wraz z nawozami byłoby bezwzględnie potrzebne (Seidler 1972).

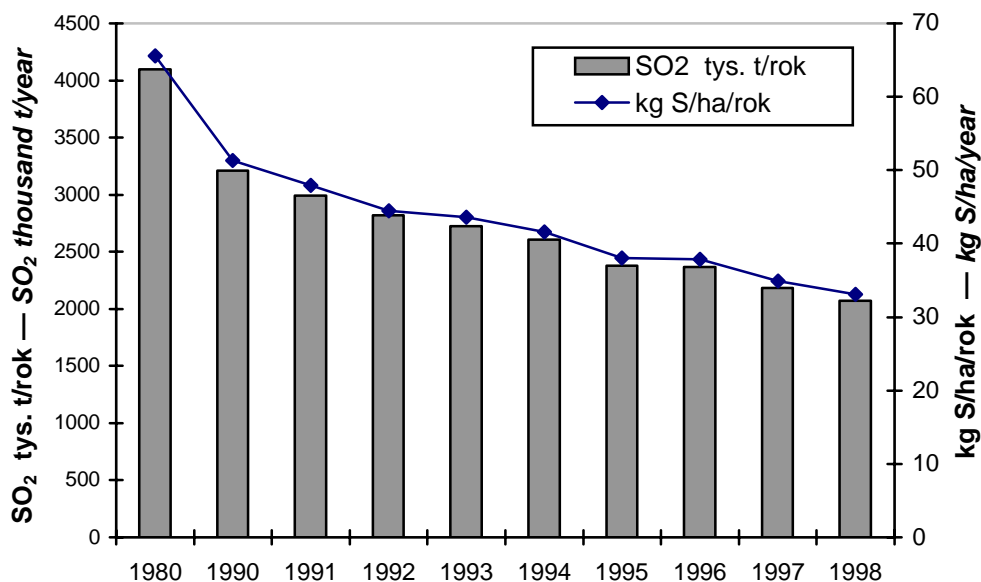
Podjęte w początku lat 80-tych działania wielu państw europejskich, zmierzające do redukcji emisji SO_2 przez przemysł, spowodowały znaczne zmniejszenie zawartości związków siarki w atmosferze. Zmniejszony dopływ związków siarki do i z atmosfery, przy jednoczesnym spadku zużycia nawozów zawierających siarkę, pogorszył wyraźnie zaopatrzenie gleby, a przez to i roślin w ten składnik. Według Schnuga i Haneklaus (1994), pod koniec lat 80-tych w regionie północno-zachodnim Niemiec aż 99% plantacji rzepaku wykazywało występowanie utajonych niedoborów siarki. Obecnie symptomy niedoboru siarki obserwuje się u wielu gatunków roślin, ale najsilniej uwidaczniają się one u roślin mających duże wymagania w stosunku do siarki, do których niewątpliwie należy rzepak.

Objawy niedoboru siarki w odróżnieniu od niedoborów azotu ujawniają się na najmłodszych liściach, których blaszki stopniowo przebarwiają się na żółto. Nerwy liściowe pozostają zielone, podobnie jak przy braku magnezu. Przy przedłużającym się niedoborze liście przebarwiają się na czerwono, są drobne, sztywne i zwijają się łyżeczkowato. Zależnie od czasu trwania niedoboru siarki, w okresie kwitnienia może wystąpić zmiana koloru (na jasnożółtą do białej), a nawet kształtu kwiatów (Merrien 1987, Schnug i Haneklaus 1994). Dotychczasowe badania Schnuga i Haneklaus (1995) wykazały, że białe kwiaty tworzyły łuszczyzny z mniejszą liczbą nasion lub wcale nie tworzyły nasion. Na polach z biało kwitnącym rzepakiem obserwowano znacznie mniejszą aktywność pszczół, co może być szczególnie niekorzystne dla odmian mieszańcowych, które wymagają dobrego przepylecia.

Niedobory siarki spowodowane głównie ograniczeniem emisji pierwiastka do atmosfery są głównym czynnikiem limitującym plon rzepaku w Wielkiej Brytanii (Mc Grath i Zhao 1995), północnych Niemczech (Schnug i in. 1995a, Haneklaus i in. 1995), Francji (Merrien 1987), Danii i południowej Szwecji (Schnug 1991). Ilość siarki dostającej się do gleby wraz z opadami, wynosząca w połowie lat 50-tych prawie 80 kg S/ha/rok, zmniejszyła się 30 lat później w rejonie północnych Niemiec do 20 kg S/ha/rok (Schnug 1991). Mniejsze ilości siarki, które znajdują się w powietrzu nie pokrywają już potrzeb pokarmowych dla średnich plonów rzepaku i zbóż, które w tych krajach są jednakże zdecydowanie wyższe niż w Polsce.

Emisja siarki w Polsce

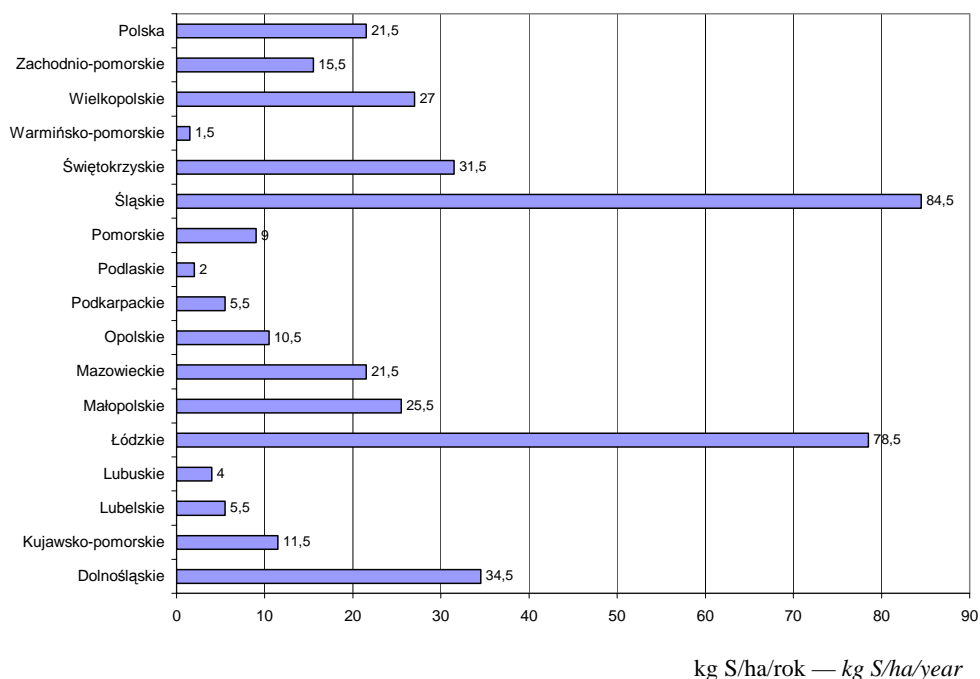
W Polsce powietrze do niedawna było silnie skażone siarką, której duże ilości dostawały się do gleby wraz z opadami atmosferycznymi. Począwszy od lat 90-tych również i w Polsce emisja siarki systematycznie zmniejsza się, choć nadal jest stosunkowo wysoka. W latach 80-tych, w ciągu roku, opadało średnio na 1 ha prawie 70 kg S. W roku 1990 emisja ta zmniejszyła się do 51 kg, natomiast w roku 1998 zmalała do 33 kg S/ha (rys. 1). Nadal są to ilości prawie dwukrotnie wyższe niż w krajach Europy Zachodniej: Anglia — < 20 kg, Francja, Niemcy, kraje skandynawskie — około 15 kg/ha/rok. W Polsce zmniejszenie emisji siarki spowodowane zostało recesją gospodarczą, wywołaną zmianami ustrojowymi, jakie nastąpiły po roku 1989 oraz znacznymi ograniczeniami aktywności przemysłowej w byłej NRD (przewaga wiatrów zachodnich). Jest to także wynik postępu technicznego i szeroko podjętych działań ochronnych zmierzających do zmniejszenia ilości zanieczyszczeń gazowych emitowanych przez przemysł.



Rys. 1. Całkowita emisja siarki w Polsce w ostatnich latach — *Total sulphur emission in Poland*

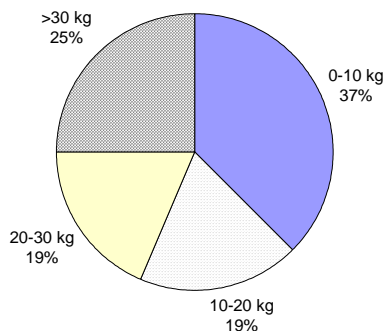
Źródło: Rocznik statystyczny GUS — *Source: Statistical Yearbook*

Zróznicowanie wysokości emisji siarki w poszczególnych rejonach kraju jest bardzo duże. Generalnie większa występuje w części południowej i południowo-zachodniej, natomiast zdecydowanie mniejsza w części północnej i wschodniej Polski. Najwięcej siarki opada w rejonach silnie uprzemysłowionych, na przykład na Śląsku — 300 kg/ha oraz w okolicach wielkich miast, a więc terenach, które mają mniejsze znaczenie rolnicze. Natomiast na terenach nieuprzemysłowionych, oddalonych od zakładów przemysłowych, roczny opad siarki jest niewielki, rzędu od kilku do 10 kg S/ha (rys. 2 i 3). Są to często ważne rejony produkcji rolniczej. Na tych terenach zmniejszony dopływ siarki z atmosfery wraz z mniejszym stosowaniem nawozów organicznych i nawozów zawierających siarkę, a także wzrastające plony, wraz z którymi zwiększa się pobranie siarki, prowadzą w niektórych rejonach do występowania symptomów niedoboru siarki.



Rys. 2. Emisja siarki przemysłowej (kg S/ha/rok) — według województw w roku 1998 — *Industrial sulphur emission (S kg/ha/year) in particular provinces of Poland in 1998 Year*

Źródło: Rocznik statystyczny GUS — *Source: Statistical Yearbook*



Rys. 3. Udział (%) województw o różnej emisji siarki przemysłowej (kg S/ha/rok) w 1998 r. *Participation of the particular provinces in industrial sulphur emission (kg S/ha/year) in 1998 year.*
 Źródło: Rocznik statystyczny GUS — *Source: Statistical Yearbook*

W doświadczeniach polowych przeprowadzonych w latach 1991–93 przez Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Poznaniu oraz Katedrę Uprawy Roli i Roślin w Poznaniu nie stwierdzono jeszcze występowania niedoborów siarki, zarówno w warunkach lżejszych gleb Zieleńcina, jak i cięższych gleb Przybrody. Dowodem tego była wysoka zawartość siarki w najmłodszych liściach roślin kwitnących na obiektach kontrolnych nie nawożonych siarką (tab. 1). Natomiast badania przeprowadzone w roku 1995 przez Katedrę Chemii Rolnej AR w Poznaniu oraz Zakład Żyzności Gleby IUNG Puławy, na podstawie testów liściowych, wykazały występowanie utajonych niedoborów siarki w rzepaku uprawianym w Polsce północno-zachodniej (Grzebisz 1996). Również badania własne prowadzone w roku 1998 i 1999 wykazały duże niedobory siarki w rzepaku uprawianym na polach doświadczalnych wybranych Zakładów Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin (Wielebski i Wójtowicz 2000). W roku 1999 niską zawartość siarki stwierdzono w liściach rzepaku uprawianego w większości badanych Zakładów Doświadczalnych.

Tabela 1
 Zawartość siarki w najmłodszych liściach rzepaku podwójnie ulepszanego w fazie kwitnienia w zależności od dawki siarki (Przybroda i Zieleńcin 1991–93), % s.m. — *Influence of sulphur doses on sulphur content in leaves at flowering stage of tested double low winter oilseed rape cultivars (Przybroda and Zielecin, 199–93) % DW*

Dawka siarki (kg S/ha) <i>Dose of sulphur kg/ha</i>	% S w suchej masie liści w fazie kwitnienia <i>Sulphur content in dry matter of leaves at flowering stage (per cent)</i>	
	Przybroda	Zieleńcin
0	0,80	0,75
20	0,92	0,89
40	0,98	0,95
80	1,11	1,08
NIR	0,039	0,034

Siarka jako składnik nawozowy

Jak podaje Seidler (1972) szwajcarski pastor o nazwisku Meier w roku 1768 stwierdził, że nawożenie gipsem wpływa pozytywnie na koniczynę. Od połowy poprzedniego wieku siarkę uznawano za ważny składnik pokarmowy wzrostu roślin, lecz jednocześnie nie była uważana za pierwiastek, którego wprowadzanie do gleby było bezwzględnie potrzebne. Wprowadzone w połowie ubiegłego wieku do rolnictwa niskoprocentowe nawozy mineralne (superfosfat i kainity), które zawierały znaczne ilości siarki, spowodowały zmniejszenie zainteresowania tym składnikiem wobec braku symptomów niedoboru czy nadmiaru siarki (Seidler 1972, Blair 1979).

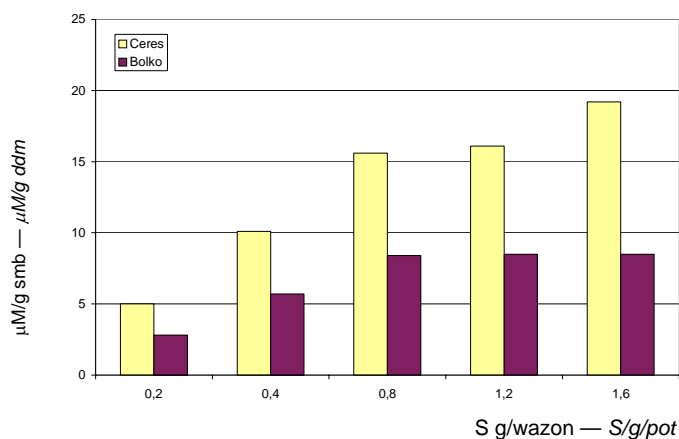
Zagadnienie potrzeb nawożenia siarką stało się na nowo aktualne w połowie naszego stulecia, gdy wraz ze wzrostem zużycia nawozów przemysł zaczął przedstawiać się na produkcję nawozów skoncentrowanych nie zawierających praktycznie siarki (Goźliński 1972). Jednocześnie ogromny rozwój przemysłu po 1945 roku spowodował znaczne nasilenie emisji związków siarki do atmosfery, dlatego znaczenie siarki jako składnika nawozowego roślin systematycznie się zmniejszało. Zagadnienie siarki rozpatrywane było raczej w aspekcie nadmiaru tego pierwiastka, zwłaszcza na terenach przemysłowych. Do ponownego zainteresowania siarką jako składnikiem nawozowym roślin, zwłaszcza rzepaku nastąpiło na początku lat 80-tych, co zostało spowodowane głównie zmniejszeniem emisji siarki do atmosfery w Europie zachodniej i północnej (Schnug i Haneklaus 1995).

Wielu badaczy od dawna wykazuje dodatnią reakcję większości roślin na nawożenie siarką. Wyniki doświadczeń polowych i wazonowych we Francji (Maraby 1968, Merrien 1987), w Niemczech (Saalbach 1965, Schnug 1991) i w Polsce (Horodyski i in. 1972, Horodyski i Krzywińska 1979, Horodyski i Jabłoński 1980, Wielebski i Muśnicki 1998, 1998a) oraz w innych krajach (Nuttall i in. 1987) wskazują na wzrost plonu w warunkach niedoboru siarki. Doświadczenia wykonane we Francji przez Merrien'a (1987) dowiodły, że nawożenie rzepaku siarką wiosną w momencie ruszenia wegetacji w ilości 30 kg S/ha prowadzi do wzrostu plonu średnio o 3,5 q i to z częstotliwością 8 lat na 10.

Jak podaje Chojnacki (1972), w Polsce pierwsze doświadczenia z nawożeniem siarką ziemniaków i rzepaku przeprowadził Wróblewski już w roku 1913. Koter i Grzesiuk (1966) stwierdzili, że w glebach o bardzo niskiej zasobności w siarkę przyswajalną (< 0,5 mg/100 g gleby) rośliny, szczególnie krzyżowe i motylkowe, reagowały dużą zwyżką plonu na nawożenie siarką. Nowosielski (1961) stwierdził natomiast, że nawożenie gleb o średniej zasobności w siarkę nie wpływa na poziom plonów roślin, nawet przy zwiększonym nawożeniu azotowym. Wiele doświadczeń wazonowych i polowych z nawożeniem siarką konwencjonalnych odmian rzepaku wykonanych przez Horodyskiego i Krzywińską (1979) w latach 1969–1974 wykazało wpływ nawożenia tym składnikiem na plon i jakość plonu,

przy czym reakcja na nawożenie siarką w warunkach polowych była słaba i wystąpiła tylko na glebach lekkich, mało przydatnych pod uprawę rzepaku. Podobnie badania prowadzone na przełomie lat 80-tych i 90-tych przez Wielebskiego i Muśnickiego (1998) wykazały słabą reakcję podwójnie ulepszonych odmian rzepaku na nawożenie siarką w warunkach dobrego zaopatrzenia roślin w ten składnik.

Również wiele prac zagranicznych (Evans i in. 1991, Bilsborrow in. 1995, Haneklaus i in 1999) wskazuje na słabą reakcję rzepaku na nawożenie siarką przy dobrym zaopatrzeniu roślin w ten składnik. W takich warunkach niewielki przyrost plonu był związany ze wzrostem glukozyzolanów w nasionach. Nawożenie siarką zwiększa bowiem w nasionach zawartość tych siarkowych substancji antyżywniowych (rys. 4). Dlatego wielu badaczy przestrzega, aby w żadnym przypadku nie przekraczać dawki siarki zaspokajającej potrzeby roślin ze względu na możliwość pogorszenia jakości nasion, a zwłaszcza wzrostu zawartości glukozyzolanów (Josefsson 1970, Merrien 1987, Schnug 1989, Wielebski i Muśnicki 1998, 1998a). Niedobór siarki prowadzi natomiast do zmniejszenia zawartości i jakości białka poprzez obniżenie zawartości żywieniowo ważnych aminokwasów egzogennych.



Rys. 4. Łączna zawartość glukozyzolanów alkenowych ($\mu\text{M/g smb}$) w zależności od poziomu nawożenia siarką ($n=3$) — *Total alkenyl glucosinolate content ($\mu\text{M/g ddm}$) depending on level of sulphur fertilization and cultivar ($n=3$)*

Liczni badacze wskazują na bardzo silną interakcję między wysokością nawożenia azotem i dawkami siarki a plonem nasion (Horodyski i Krzywińska 1979, Janzen i Bettany 1984a, Booth i in. 1991). Mała reakcja plonu nasion na nawożenie występuje w przypadku niedoboru jednego z tych pierwiastków, a maksymalny plon można osiągnąć tylko wtedy, gdy obydwa pierwiastki występują w odpowiedniej ilości. Brak siarki hamuje pobieranie azotu przez rośliny, wpływając tym samym na wzrost i rozwój rzepaku. W warunkach niedoboru siarki

i przy wysokiej dawce azotu plon nasion się obniża. Jest to wynik toksycznego działania występującego w roślinie azotu niebiałkowego, charakterystycznego dla roślin dobrze nawożonych azotem w warunkach niedoboru siarki w glebie. Z kolei stosowanie siarki dało istotny wzrost plonu tylko przy wysokich dawkach azotu (Janzen i Betany 1984, Bilsborrow i in. 1995).

Nawożenie siarką na terenach o małej emisji SO₂

W technologii uprawy roślin mających duże wymagania względem siarki, zwłaszcza rzepaku, należy uwzględnić nawożenie siarką w rejonach zwiększonego ryzyka występowania niedoborów tego pierwiastka. Siarkę możemy stosować traktując ten pierwiastek jako składnik drugoplanowy nawozów N, P i K. Do nawożenia siarką rolnik ma do dyspozycji szeroką gamę nawozów doglebowych i dolistnych zawierających ten składnik (tab. 2). O wyborze konkretnego nawozu decyduje cena i możliwości jego stosowania. Na glebach lżejszych, z natury ubogich w siarkę oraz terenach oddalonych od centrów przemysłowych, korzystne jest podanie pierwszej wiosennej dawki azotu w siarczanie amonu (uwaga: rozsiewać tylko na suche rośliny, bo mogą nastąpić oparzenia) w ilości 100–120 kg, co odpowiada około 30 kg S/ha.

Niedobory siarki w późniejszych fazach rozwoju rzepaku muszą być natychmiast uzupełniane. Ważne jest, aby siarka została pobrana natychmiast, dlatego musi być podana w formie bezpośrednio przyswajalnej (siarczanowej). Nie nadaje się w tych przypadkach siarka elementarna, gdyż musi ona w glebie przejść do formy siarczanowej. Dobre efekty daje wtedy stosowanie siarki dolistnie w postaci siarczanu magnezu. Mała ilość składnika w zupełności wystarczy dla utrzymania dużej szybkości procesów metabolicznych w roślinie. Należy jednak pamiętać, że w nawozach dolistnych zawierających siarkę można dostarczyć tylko ograniczoną jej ilość.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że w rolnictwie polskim nawożenie siarką nabiera nowego znaczenia. W najbliższych latach na skutek zmniejszającego się dopływu siarki z atmosfery, nawożenie tym składnikiem będzie miało duże znaczenie praktyczne dla utrzymania wysokiego poziomu plonowania i efektywnego wykorzystania innych składników, w tym zwłaszcza azotu, przez rzepak. Składnik ten będzie musiał być w coraz większym zakresie uwzględniany w planowaniu nawożenia roślin siarkolubnych. Należy przy tym wyraźnie przestrzec przed pochopnym nawożeniem siarką na zapas, ze względu na możliwość pogorszenia jakości zbieranych nasion. Dlatego dobrze by było, gdyby decyzję o nawożeniu rzepaku siarką poprzedzono analizą gleby i roślin, a na jej podstawie ustalano potrzeby nawozowe rzepaku w stosunku do siarki. W praktyce lepiej jest mniejszą dawkę siarki zastosować już wczesną wiosną, a później w razie potrzeby uzupełnić ten pierwiastek dolistnie.

Tabela 2

Nawozy zawierające siarkę — *Fertilizers containing sulphur*

Nawóz — <i>Fertilizer</i>	Zawartość S w % — <i>Sulphur content in %</i>
Siarczan amonu	24
Siarczan magnezu (sól gorzka)	13
RSM — S	2,5
Superfosfat prosty	12
Superfosfat magnezowy	10
Siarczan potasu	18
Kamex	4
Kalimagnezja	20
Kainit	2
Kizeryt	22
Polifoska 12 + S	11
Polimag 405	4
Polidap	2
Luboplon R	4
Lubofoska	11,5
Hydroplon 8	10
Gips	18
Siarka	100

Literatura

- Bilborrow 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. Proceedings of the 9th International Rapeseed Congress, Cambridge University, 1: 280-283.
- Blair G.J. 1979. Sulphur in the tropics. The Sulphur Institute, Washington and the International Fertilizer Development Centre, Muscle School.
- Booth E.J., Walker K.C., Schnug E. 1991. The effect of site, foliar sulphur and nitrogen application on glucosinolate content and yield of oilseed rape. Proceedings of the 8th Intern. Rapeseed Congress, Saskatoon, 2: 567-572.
- Chojnacki A. 1972. Niektóre wyniki aktualnych badań nad siarką w rolnictwie. Mat. robocze na sympozjum Siarka w Przemysle i Rolnictwie Baranów Sandomierski., 2: 1-15.
- Evans E.J., Bilborrow P.E., Zhao F.J., Syers J.K. 1991. The sulphur nutrition of winter oilseed rape in Northern Britain. Proc. of the 8th Intern. Rapeseed Congress, Saskatoon, 2: 542-546.
- Fauconnier D., Leymonie J.P. 1987. Sulphur requirements in West-European fertilization. Papers from the Agicultural Session of Sulphur 87, Houston, Texas, 51-61.
- Freney J.R., Williams C.H. 1983. The sulphur cycle in soil. The Global Biogeochemical Sulphur Cycle. M.V. Ivanov and J.R. Freney, eds. John Wiley and Sons, Chichetser, 129-201.
- Goźliński H. 1970. Działanie nawozowe siarki (SO₄) przy różnych poziomach nawożenia roślin azotem. Część II. Rocz. Nauk Rol., 97-A-4: 95-112.

- Goźliński H. 1972. Wpływ nawożenia siarką na plon roślin. Mat. robocze na Sympozjum Siarka w przemyśle i rolnictwie. Baranów Sandomierski, 2: 31-48.
- Grzebisz W., Fotyma E. 1986. Ocena odżywienia siarką rzepaku uprawianego w północno-zachodniej Polsce. *Rośliny Oleiste*, XVII (1): 275–280.
- GUS 1995. *Roczniki Statystyczne*.
- Haneklaus S., Schnug E. 1991. Evaluation of the nutritional status of oilseed rape plants by leaf analysis. Proc. of the 8th Internat. Rapeseed Congress, Saskatoon, 2: 536-541.
- Haneklaus S., Borchers A., Schnug E. 1995. Relationship between sulphur supply and glutathione concentration in vegetative tissue of oilseed rape. Proc. of the 9th Internat. Rapeseed Congress, Cambridge University, 1: 293-295.
- Haneklaus S., Paulsen H.M., Gupta A.K., Bloem E., Schnug E. 1999. Influence of sulphur fertilization on yield and quality of oilseed rape and mustard. Proc. 10th Int. Rapeseed Congress, CD ROM Canberra.
- Horodyski A., Krzywińska F., Trzebny W. 1972. Wpływ nawożenia siarką na plon i jakość nasion rzepaku. Mat. robocze na Sympozjum Siarka w przemyśle i rolnictwie, Baranów Sandomierski, 2: 16-22.
- Horodyski A., Krzywińska F. 1979. Wpływ nawożenia siarką na plon i jakość nasion rzepaku ozimego. *Zeszyty Probl. Post. Nauk Rol.*, 229: 101-109.
- Horodyski A., Jabłoński M. 1980. Wpływ nawożenia na jakość plonów roślin oleistych. *Materiały Sympozjum*, Puławy, 158-169.
- Horodyski A. (red. 1990). *Rzepak podwójnie ulepszony*. Broszura.
- Janzen 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.
- Janzen H.H., Bettany J.R. 1984a. Sulphur nutrition of rapeseed: II. Effect of time of sulphur application. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48: 107-112.
- Josefsson E. 1970. Glucosinolate content and amino acid composition of rapeseed (*Brassica napus*) meal as affected by sulphur and nitrogen nutrition. *J. Sci. Food Agric.*, 21: 98-103.
- Koter M., Grzesiuk W. 1966. Wpływ nawożenia siarką (CaSO₄) na wysokość i skład chemiczny plonu roślin. *Rocz. Nauk Rol.*, 92-A-1: 43-52.
- Maraby I. 1968. Rape crop shows sulphur deficiency in France. *The Sulphur Inst. Journ.*, 4, 2: 2-4.
- McGrath S.P., Zhao F.J. 1995. Assessing the risk of sulphur deficiency in oilseed rape. Proc. of the 9th Intern. Rapeseed Congress, Cambridge University, 1: 226-228.
- Merrien A. 1987. Aspects agronomiques de l'utilisation du soufre mineral sur colza d'hiver. C. R. Sympos. Int. sur le Soufre. 1-4.
- Merrien A., Pouzet A. 1989. La fertilisation soufre. *Cahier technique colza – Agronomie*: 30-35.
- Milford G.F.J., Fieldsend J.K., Porter A.J.R., Rawlingson C.J., Ewans E.J., Bilborrow P.E. 1989. *Asp. Biol.* 23: 83-90.
- Motowicka-Terelak T., Dudka: 1991. Degradacja chemiczna gleb zanieczyszczonych siarką i jej wpływ na rośliny uprawne. IUNG Puławy (broszura).
- Nowosielski O. 1961. Zagadnienie siarki dostępnej w glebach polskich. I. Zawartość siarki dostępnej w zależności od rodzaju gleby i nawożenia. *Rocz. Nauk Rol.* 84-A-1: 35-62.
- Nuttall W.F., Ukrainetz H., Stewart J.W.B., Spurr D.T. 1987. The effect of nitrogen, sulphur and boron on yield and quality of rapeseed (*B. napus* and *B. campestris* L.). *Can. J. Soil Sci.*, 67: 545-559.
- Rollier M. 1980. Fumure soufre du colza. *Perspectives Agricoles*, 43: 34-35.

- Rollier M., Pouzet A. 1983. Elements pour le raisonnement de la fertilisation azote du colza de printemps en France. Actes du congres International sur de colza, Paris 1: 737-749.
- Saalbach E. 1965. Die Bedeutung Schwefelhaltiger Dungemittel für Futterpflanzen. Mit. dtsh. Landw. Ges. 80, A-4: 1129-1130.
- Seidler M. 1972. Fizjologiczne funkcje siarki w roślinie. Mat. robocze na Sympozjum Siarka w Przemysle i Rolnictwie. Baranów Sandomierski: 22-30.
- Schnug E. 1989. Double low oilseed rape in Germany: sulphur nutrition and glucosinolate levels. Aspects of Applied Biology, 23: 67-82.
- Schnug E. 1991. Sulphur National Status of European crops and consequences for Agriculture. Sulphur in Agriculture, 15: 7-12.
- Schnug E., Haneklaus S. 1993. Physiological background of different sulphur utilization in *Brassica napus*. Asp. Appl. Biol., 34: 235-242.
- Schnug E., Haneklaus S. 1994. The ecological importance of sulphur. Norwegian J. Agric. Sci. suppl., 15: 149-156.
- Schnug E., Haneklaus S. 1995. Sulphur deficiency in oilseed rape flowers – Symptomatology, biochemistry and ecological impact. Proc. of the 9th Rapeseed Congress, Cambridge University, 1: 296-298.
- Schnug E., Haneklaus S., Booth E., Walker K.C. 1995a. Sulphur supply and stress resistance in oilseed rape. Proc. of the 9th Intern. Rapeseed Congress, Cambridge University, 1: 229-231.
- Schnug E., Bloem E., Haneklaus S. 1995b. Significance of soil water dynamics for the sulphur balance of oilseed rape. Proc. of the 9th Intern. Rapeseed Congress, Cambridge University, 1: 287-289.
- Szukalski H., Sikora M., Szukalska-Gołab W. 1985. Potrzeby uszlachetnionych odmian rzepaku w stosunku do składników mineralnych. Cz. I. Azot, fosfor, potas. Cz. II. Wapń, magnez, siarka, sód. Cz. III. Bor, miedź, mangan, molibden, cynk. Zesz. Probl. Wyniki badań nad rzepakiem ozimym rok IHAR Radzików 1984: 182-189.
- Terelak H., Motowicka-Terelak T., Pasternacki J., Wilkos. 1988. Zawartość form siarki w glebach mineralnych Polski. Pam. Puł., supl. do 91.
- Uziak Z., Szymańska M. 1969. Wpływ siarki na wykorzystanie azotu przez rośliny rzepaku. Ann. Uniwersyt. Maria Curie Skłodowska, Lublin, 24, 13: 187.
- Walker K.C., Booth, E.J. 1994. Sulphur deficiency in Scotland and the effects of sulphur supplementation on yield and quality of oilseed rape. Norwegian J. Agric. Sci. Supplement 15: 97-104.
- Wielebski F., Muśnicki Cz. 1998. Wpływ wzrastających dawek siarki i sposobu jej aplikacji na plon i zawartość glukozyzolanów w nasionach dwóch odmian rzepaku ozimego w warunkach doświadczeń polowych. Roczn. Akad. Rol. w Poznaniu, CCCIII: 149-167.
- Wielebski F., Muśnicki Cz. 1998a. Zmiany ilościowe i jakościowe u dwóch odmian rzepaku ozimego pod wpływem wzrastających dawek siarki w warunkach kontrolowanego niedoboru siarki (Doświadczenia wazonowe). Roczn. Akad. Rol. w Poznaniu, CCCIII: 129-147.
- Wielebski F., Wójtowicz M. 2000. Ocena stanu zaopatrzenia w siarkę rzepaku uprawianego na polach doświadczalnych Zakładów Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin. Rośliny Oleiste, XXI (2).
- 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. of the 9th Intern. 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.