

ZNACZENIE SIARKI W KSZTAŁTOWANIU WIELKOŚCI I JAKOŚCI PŁONU ROŚLIN STRĄCZKOWYCH

Mateusz Świtkowski, Bożena Barczak¹

1. WSTĘP

Rośliny strączkowe, zwane również bobowatymi (*Fabaceae*), pełnią ważną rolę zarówno w rolnictwie konwencjonalnym, jak i ekologicznym. Ich rola w produkcji roślinnej jest znacząca [Podleśny 2005a], pomimo że ich udział w strukturze zasiewów jest niewielki, stanowiąc niewiele ponad 1%. Począwszy od lat 70. XX wieku, w wyniku intensyfikacji i chemizacji rolnictwa, a także zmian politycznych, jakie zaszły po 1989 roku, znaczenie roślin strączkowych drastycznie spadło. Sytuację pogorszyła również gospodarka wolnorynkowa, dając możliwość importu taniej, genetycznie zmodyfikowanej poekstrakcyjnej śruty sojowej, co ograniczyło rodzimą uprawę roślin wysoko-białkowych. Niemniej jednak w ostatnich latach rośliny bobowate zyskują na popularności w naszym kraju [Księżak i in. 2015]. Atrakcyjność uprawy tej grupy roślin podnosi możliwość ograniczania ujemnych skutków ponad 70% udziału zbóż w strukturze zasiewów poprzez uwzględnianie bobowatych w zmianowaniu. Innym czynnikiem zwiększającym zainteresowanie rolników uprawą tych gatunków jest możliwość uzyskania dopłat bezpośrednich. Nie bez powodu Organizacja Narodów Zjednoczonych ogłosiła rok 2016 Międzynarodowym Rokiem Roślin Strączkowych, a Światowa Organizacja ds. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) będąca agendą ONZ została upoważniona do promowania tej grupy gatunków we współpracy z rządami, odpowiednimi organizacjami rządowymi oraz pozarządowymi, a także z innymi zainteresowanymi stronami. Głównym celem tej inicjatywy jest podniesienie świadomości społecznej dotyczącej korzyści związanych z upowszechnieniem roślin strączkowych w żywieniu ludzi i zwierząt oraz roli tych roślin dla płodozmianu i ograniczania emisji gazów cieplarnianych [IJHARS].

Warunkiem osiągnięcia wysokich plonów o pożądanych parametrach jakościowych jest zastosowanie pełnego, zbilansowanego nawożenia uwzględniającego wszystkie składniki pokarmowe, w tym siarkę. Dane literaturowe zarówno krajowe [Patorczyk-Pytlik i in. 2008, Kaczor i Zuzańska 2009], jak i zagraniczne [Morris 2007, Hussain i in. 2011] wskazują, że jednym z głównych czynników mogących istotnie ograniczyć plonowanie roślin uprawnych jest pogłębiający się deficyt siarki w glebie. Do przyczyn tego zjawiska należy zaliczyć: zaostrzenie norm proekologicznych ograniczających emisję siarki ze źródeł antropogenicznych, zmniejszenie zużycia nawozów mineralnych oraz zmiana ich asortymentu, ograniczenie stosowania nawozów naturalnych, wzrost udziału w strukturze zasiewów gatunków o dużych wymaganiach względem tego składnika – przede wszystkim rzepaku ozimego, postęp biologiczny wprowadzający plenne odmiany, wynoszące znaczne ilości składników pokarmowych z gleby. W konsekwencji naturalne zasoby siarki w glebie nie są w stanie pokryć zapotrzebowania roślin uprawnych na ten składnik. W Polsce w latach 70. XX wieku średnia imisja SO₂ na 1 ha wynosiła 130 kg S, natomiast w połowie lat 90. zmniejszyła się do 33 kg S

¹ Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Wydział Rolnictwa i Biotechnologii, Zakład Chemii Rolnej, ul. Seminaryjna 5, 85-326 Bydgoszcz, e-mail: barczak@utp.edu.pl

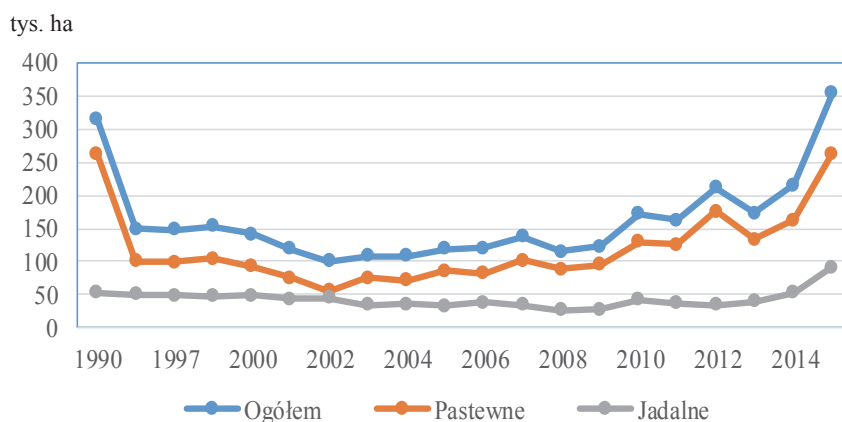
[Wielebski i in. 2000], na początku XXI wieku wynosiła tylko 11,5 kg S·ha⁻¹ [Grzebisz i Przygocka-Cyna 2000]. Na przestrzeni trzech ostatnich dekad również w Europie ilość dostarczanej siarki do gleb obniżyła się z około 100 kg S·ha⁻¹ do 5-20 kg S·ha⁻¹ [Riley i in. 2000, McGrath i in. 2003, Zhao i in. 2003].

W fizjologii roślin bobowatych, charakteryzujących się wysoką zawartością białka, siarka spełnia bardzo ważną rolę w biosyntezie białka oraz w procesie wiązania wolnego azotu z atmosfery [Scherer 2008]. Przeprowadzono dotąd niewiele badań nad rolą siarki w żywieniu roślin strączkowych, mimo że gatunki z rodziny *Fabaceae* zalicza się do roślin o stosunkowo dużym zapotrzebowaniu na ten składnik pokarmowy [Jakubus 2006]. Wobec wagi tego problemu dokonano przeglądu badań nad rolą siarki w agrotechnice roślin strączkowych i podjęto próbę przedstawienia stanu wiedzy na ten temat.

2. ZNACZENIE GOSPODARCZE ROŚLIN STRĄCZKOWYCH

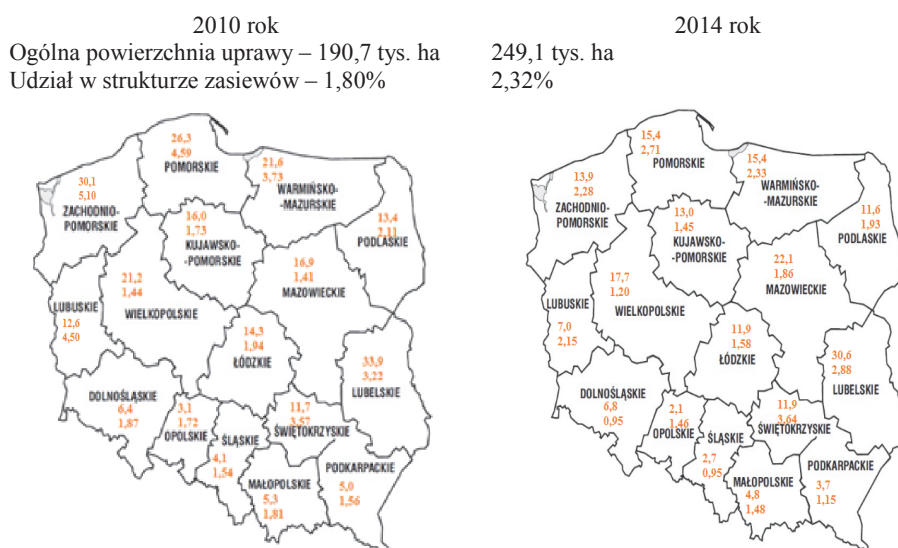
Mimo możliwości wielorakiego wykorzystania rośliny strączkowe są grupą roślin, która została w ostatnich 25 latach najbardziej zmarginalizowana [Szukała i in. 2015]. Biorąc pod uwagę ich znaczenie gospodarcze oraz uwzględniając aspekty przyrodniczo-ekonomiczne, zauważyć można, że gatunki te powoli odbudowują swoją pozycję w polskim rolnictwie. Rośliny strączkowe uprawia się na nasiona do celów przemysłowych, konsumpcyjnych i pastewnych. Stanowią cenny komponent pasz treściwych, a także są wykorzystywane do rekultywacji i odnowienia produktywności siedlisk odłogowanych i zdegradowanych [Kucharska i in. 2014, Księżak i in. 2015]. Spośród roślin strączkowych w Polsce największe znaczenie gospodarcze mają: groch siewny, bobik i łubiny. Specyficznym gatunkiem tej grupy roślin jest fasola, która może być uprawiana na tak zwany zielony strąk oraz na nasiona [Prusiński i Olach 2007]. W ostatnich dekadach areal uprawy roślin strączkowych ulegał dużym fluktuacjom. Na największej powierzchni (ponad 300 tys. ha) uprawiano je w 1989 roku (rys. 1). Było to konsekwencją ówczesnego systemu ekonomicznego, który zakładał samowystarczalność kraju w zakresie produkcji pasz treściwych, w których białko roślin strączkowych było podstawowym komponentem. Wymusiła to sytuacja międzynarodowa, w wyniku której były problemy z importem wysokobiałkowej śruty sojowej. Przemiany ustrojowe i wprowadzenie zasad wolnego handlu z początkiem lat 90. XX wieku wpłynęło istotnie na zmianę struktury agrarnej i wypieranie rodzimych gatunków roślin strączkowych [Podleśny 2005a].

W latach 90. ubiegłego wieku areal roślin strączkowych w Polsce był ustabilizowany (rys. 1). Z początkiem XXI wieku obserwuje się stopniowy wzrost powierzchni uprawy tych roślin. Wzrost zainteresowania po 2010 roku należy tłumaczyć faktem wprowadzenia dopłat bezpośrednich do ich uprawy, znacznie podwyższających opłacalność.



Rys. 1. Powierzchnia zasiewów pastewnych i jadalnych roślin strączkowych w Polsce uprawianych na nasiona w latach 1990-2015 [IUNG <http://bialkoroslinne.iung.pl>, Rocznik Statystyczny Rolnictwa GUS 2016]

Udział roślin strączkowych w strukturze zasiewów w poszczególnych województwach naszego kraju jest silnie zróżnicowany (rys. 2).

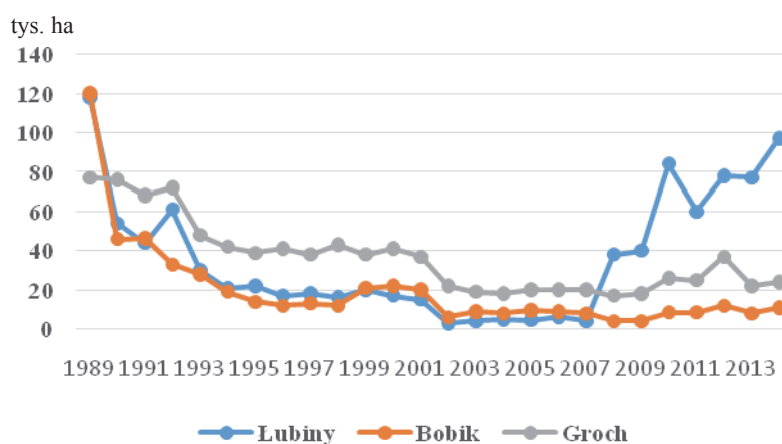


Rys. 2. Powierzchnia uprawy roślin strączkowych (tys. ha) i udział w strukturze zasiewów (%) [IUNG <http://bialkoroslinne.iung.pl>]

W 2010 roku na największej powierzchni rośliny strączkowe uprawiane były w woj. mazowieckim i lubelskim, natomiast w roku 2014 – w lubelskim, pomorskim i zachodniopomorskim. Najmniejszą powierzchnię zarówno w 2010, jak i w 2014 roku strączkowe zajmowały w województwach: opolskim, podkarpackim i śląskim. W okresie tym zaobserwowano istotny wzrost udziału w strukturze zasiewów tej grupy roślin o blisko 30% (z 1,80 do 2,32%). Jednocześnie wystąpiło silne zróżnicowanie udziału

tych gatunków w strukturze zasiewów pomiędzy poszczególnymi województwami. W roku 2010 największy udział miały one w woj. lubelskim (2,87%), świętokrzyskim (3,46%), pomorskim (2,71%), natomiast najniższy – w woj. dolnośląskim (0,95%), opolskim (0,46%) i śląskim (0,95%). W roku 2014 znaczący wzrost udziału zanotowano w zachodniej części Polski, w województwach: lubuskim (4,50%), pomorskim (4,59%), zachodniopomorskim (5,10%), a istotnie mniejszy – w opolskim i dolnośląskim, odpowiednio: 0,72 i 0,87%.

Dominującym w Polsce gatunkiem uprawianym w latach 90. XX wieku był groch. Obecnie jego miejsce zajęły łubiny, zajmując w 2014 roku 38% powierzchni zagospodarowanej przez rośliny strączkowe (rys. 3).



Rys. 3. Powierzchnia uprawy głównych gatunków roślin strączkowych w latach 1989-2014 [na podstawie IUNG <http://bialkoroslinne.iung.pl>]

Znaczną powierzchnię zajmują w Polsce mieszanki strączkowo-zbożowe, mało znane w innych krajach i w statystyce zaliczane niekiedy do zasiewów zbożowych [Podleśny 2005a].

Pozycja roślin strączkowych w rolnictwie krajów Europy Środkowo-Wschodniej jest podobna jak w naszym kraju. Ich znaczenie po przemianach ustrojowych lat 90. ubiegłego wieku znacząco się obniżyło. Średni udział roślin strączkowych w krajach zachodnich w ogólnym areale uprawy wynosi około 2,5%. Są też kraje charakteryzujące się 5% udziałem roślin strączkowych [Podleśny 2005a].

Rośliny strączkowe wpływają korzystnie na właściwości biologiczne, chemiczne i fizykochemiczne gleby. Dzięki zdolności asymilacji wolnego azotu z powietrza poprawiają bilans tego składnika w glebie, wpływając korzystnie na strukturę i żyzność gleby. Ma to znaczenie zarówno ekologiczne, jak i ekonomiczne. Badania Szukały [2012] dowodzą, że łubiny dzięki bakteriom z rodzaju *Rhizobium* pozostawiają w glebie 40-90 kg N·ha⁻¹, natomiast uprawa grochu wzbogaca glebę w ten składnik o 40-60 kg N·ha⁻¹ [Kulig 2009]. Duże ilości pozostawianych resztek poźniwnych wzbogacają glebę w materię organiczną oraz podstawowe makroelementy (35 kg K·ha⁻¹ i 25 kg P·ha⁻¹) [Jasińska i Kotecki 1998]. Silnie rozwinięty i głęboki system korzeniowy może pobierać składniki pokarmowe z głębszych warstw gleby, pozostawiając je w warstwie przy powierzchniowej roślinom następczym. Równocześnie spełnia on rolę strukturotwórczą

oraz melioracyjną, chroniąc glebę przed degradacją. Wydzieliny korzeniowe łubinów mają zdolność uruchamiania uwstecznionych form fosforu [Książak i in. 2015]. Dzięki tym właściwościom roślin strączkowych ich uprawa umożliwia ograniczenie nawozów mineralnych o blisko 20-25% [Prusiński in. 2008]. Beznakładowa zwyżka plonów roślin uprawianych na stanowisku po strączkowych wynosi 5-15% [Dubis i Budzyński 1998, Kucharska i in. 2014]. Szczególnie pozytywny wpływ następczy tych gatunków uwidacznia się w latach o niekorzystnym układzie warunków atmosferycznych, zwłaszcza dotyczy to opadów. Zaletą ich uprawy jest też ograniczenie przenoszenia chorób za pośrednictwem gleby [Podleśny i Książak 2009].

Do głównych czynników ograniczających uprawę roślin strączkowych zalicza się: stosunkowo wysoki koszt pozyskania materiału siewnego, trudności w zwalczaniu chwastów, utrudniony zbiór na skutek wylegania oraz niskie i zawodne plony [Jasińska i Kotecki 2003, Szpunar-Krok 2011].

Zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego jest jednym z głównych kierunków gospodarki każdego państwa [Jerzak 2014]. Według Świącieckiego i in. [2011] roczne zapotrzebowanie Polski na białko wynosi około 1 mln ton; blisko 80-90% tych potrzeb pokrywa import poekstrakcyjnej śruty sojowej. Mając na uwadze znaczenie roślin strączkowych i korzyści płynące z ich uprawy, Rada Ministrów 9 sierpnia 2011 roku ustanowiła wieloletni program na lata 2011-2015 „Ulepszanie krajowych źródeł białka roślinnego, ich produkcji, systemu obrotu i wykorzystania w paszach”. Celem programu było zapewnienie warunków, które umożliwią zmniejszenie importu białka paszowego w postaci poekstrakcyjnej śruty sojowej o około 50% w wyniku zwiększenia wartości biologicznej i użytkowej białka roślinnego pochodzącego z rodzimych surowców. Jednocześnie w przypadku wystąpienia światowego kryzysu białkowego zapewnione będą warunki gwarantujące krajowe bezpieczeństwo białkowe (duża ilość własnego materiału siewnego, nowe odmiany i technologie uprawy, optymalne receptury paszowe i systemy żywienia zwierząt oraz system produkcji i obrotu nasion).

Wysoki udział w strukturze zasiewów roślin zbożowych skłania rolników do podjęcia uprawy strączkowych, zwłaszcza na glebach lżejszych. Doskonale w tych warunkach plonują łubiny. Dodatkową motywację stanowi wprowadzenie od roku 2015 obowiązku tak zwanego zazieleniania (tj. ugorowanie 5% obszaru gospodarstwa lub uprawa gatunków ze specjalnych list). Wymóg ten spowodował wyraźny wzrost zainteresowania uprawą roślin strączkowych [Stawiński 2015].

3. ROLA SIARKI W KSZTAŁTOWANIU WIELKOŚCI PLONU ROŚLIN STRĄCZKOWYCH I JEGO JAKOŚCI

Rola siarki wynika z jej znaczenia w procesach życiowych roślin, których prawidłowy wzrost i rozwój jest niemożliwy bez zaopatrzenia w ten składnik [Podleśna 2005, Barczak 2010]. Siarka uznawana jest za najważniejszy w żywieniu roślin pierwiastek po NPK i nieodzowny element agrotechniki roślin uprawnych [Tabatai 1984, Jakubus 2006, Podleśna 2013]. Wiele badań wskazuje na pozytywny wpływ siarki na wielkość plonu roślin w warunkach ograniczonej dostępności tego składnika w glebie [Jakubus i Toboła 2005, Barczak 2010, Wielebski 2011]. Z kolei na glebach o wysokiej zawartości siarki na ogół nie zaobserwowano jej istotnego plonotwórczego oddziaływania [Świdarska-Ostapiak i Stankiewicz 2002].

Plonowanie roślin strączkowych jest silnie skorelowane z elementami struktury plonu: liczbą strąków na roślinie, liczbą nasion w strąku oraz masą tysiąca nasion [Pod-

leśny 2005b]. Barczak i in. [2013a] wykazali po zastosowaniu siarki, zwłaszcza w formie jonowej, nie tylko zwiększenie plonu nasion i słomy łubinu wąskolistnego, ale także korzystne zmiany elementów jego struktury.

Efektywność nawozowa siarki u roślin strączkowych związana jest ze specyficznym metabolizmem azotowym, wynikającym z symbiozy rodziny *Fabaceae* z bakteriami wiążącymi azot atmosferyczny. Jest niezbędna w procesie biologicznej redukcji azotu cząsteczkowego oraz w translacji białek, których zawartość stanowi najważniejsze kryterium jakości plonu tych gatunków [Podleśna 2005]. W procesie wiązania azotu atmosferycznego pierwszoplanową rolę odgrywają ferredoksyna i nitrogeza, zawierają bowiem klastery metalosiarkowe, odpowiednio żelazo-siarkowy oraz molibdeno-żelazo-siarkowy [Kopcewicz i Lewak 2005].

Dotychczas przeprowadzono niewiele badań nad rolą siarki w nawożeniu roślin strączkowych, ale dobrze poznane są procesy fizjologiczne z jej udziałem. Siarka wchodzi w skład takich związków jak: aminokwasy, peptydy, białka, sulfolipidy, olejki gorczyczne i czosnkowe, witaminy (biotyna, tiamina), glutation, ferrodoksyna (układy redukcyjne) [Motowicka-Terelak i Terelak 2000, Kopcewicz i Lewak 2005, Jakubus 2006, Podleśna 2013]. Spośród nich najważniejszą rolę w metabolizmie roślinnym pełnią aminokwasy białkowe (cysteina, metionina, cystyna), których obecność jest kluczowa w powstawaniu struktur drugo- i trzeciorzędowych białka, utrzymujących przestrzenną konformację białka. Jest to zasługą tiolowych grup reszt cysteinowych, które mogą w procesie utleniania tworzyć dwusiarczkowe zespolenia (mostki) z innymi łańcuchami aminokwasowymi [Tabatabai 1984, Brunold i in. 2003]. Cysteina, będąca końcowym produktem procesów redukcyjnych, jest podstawowym substratem do wytwarzania wielu metabolitów, m.in. metioniny. Siarka wbudowana w metioninę (21% S) pochodzi z cysteiny (27% S). Obydwa aminokwasy są niezastąpione w tworzeniu struktury białek i enzymów. Metionina uczestniczy w podziale komórek, tworzeniu ścian komórkowych oraz syntezie chlorofilu [Roje 2006]. Miyazaki i Yang [1987] wskazują związki siarki jako substraty do produkcji etylenu, hormonu roślinnego.

Jednym z czynników ograniczających uprawę roślin strączkowych jest ich podatność na choroby [Podleśny i Bieniaszewski 2012], które w dużym stopniu determinują produktywność [Gaj i Klikocka 2011]. Leustek i Saito [1999], Droux [2004] oraz Nocito i in. [2007] podkreślają, że związki siarki nie tylko poprawiają wzrost i plonowanie roślin, ale pomagają im zwalczać niekorzystne warunki środowiskowe. Związkiem, który niweluje ujemne skutki stresów biotycznych i abiotycznych komórek roślinnych, jest zbudowany z reszt aminokwasowych kwasu glutaminowego, cysteiny i glicyny, glutation. Jego rola polega na utrzymaniu homeostazy oraz udziale w detoksyfikacji [de Kok i in. 2002]. De Kok i in. [2005] podkreślają, iż związek ten jest również prekursorem dla fitochelatyn, które są syntetyzowane w warunkach nadmiaru metali ciężkich, powodując minimalizowanie skutków ich obecności [Cobbet 2000, Podleśna 2005].

Na pozytywny wpływ siarki i jej związków na odporność roślin na niekorzystne warunki środowiska oraz działanie patogenów wskazują także badania Schnug i Hane-klaus [1994], Walkera i Bootha [1994], Przybylskiego [2001] oraz Jędryczki i in. [2002]. Salac i in. [2003] zaproponowali model oceny odporności roślin na warunki stresowe w zależności od stopnia zaopatrzenia roślin w ten składnik.

Rozpatrując formy siarki obecne w glebie, można stwierdzić, że największe znaczenie w żywieniu roślin mają siarczany (VI), charakteryzujące się bardzo dobrą rozpuszczalnością w wodzie [Kaczor i Zuzńska 2009, Podleśna 2013]. Stanowią tylko

około 5% ogólnych zasobów siarki w glebie. Badania Siebielca i in. [2012] wykazały, że w 2010 roku 94% profili glebowych cechowała niska zawartość siarki.

Gatunki roślin uprawnych wykazują zróżnicowane zapotrzebowanie na siarkę (tab. 1). Wyróżnia się gatunki o wysokich potrzebach w stosunku do tego składnika (40-80 kg S·ha⁻¹), do których zalicza się rośliny kapustne oraz cebulę i czosnek [Siuta i Rejman-Czajkowska 1980, Lipiński i in. 2003]. Gatunkami o średnich wymaganiach (30-40 kg S·ha⁻¹) są rośliny bobowate, buraki cukrowe i kukurydza. Niskie pobranie siarki (12-25 kg S·ha⁻¹) cechuje zboża, ziemniaki oraz trawy. Rośliny dwuliścienne mają większe wymagania względem tego składnika niż jednoliścienne. Wytworzenie jednej tony nasion rzepaku i odpowiadającej jej ilości słomy wymaga pobrania średnio około 16 kg S (z zakresem 5-20 kg·t⁻¹). W przypadku roślin strączkowych wartość ta wynosi 8 kg (wahania 5-13 kg·t⁻¹), a dla zbóż – 3-4 kg·t⁻¹ [Jamal i in. 2010].

Tabela 1. Średnie jednostkowe pobranie siarki przez rośliny uprawne (kg·t⁻¹ ziarna/nasion +odpowiednia masa słomy/liści) [wg różnych źródeł]

Roślina uprawna	Pobranie siarki [kg S·t ⁻¹]
Rzepak	15-25
Burak cukrowy	0,7-0,8
Ziemniak	0,3-0,5
Kukurydza na ziarno	3-4
Pszenica ozima	4-5
Pszenżyto ozime	3-4
Żyto ozime	2,5-3,5
Jęczmień jary	3-4
Owies	3-4
ROŚLINY STRĄCZKOWE	6-7

Zawartość siarki w roślinie zależy od gatunku, organu, fazy rozwojowej oraz poziomu nawożenia. W świetle zaleceń nawozowych obowiązujących w krajach zachodnich w agrotechnice grochu w Wielkiej Brytanii należy stosować 25-30 kg S·ha⁻¹, a w Szwecji pod fasolę 15-20 kg S·ha⁻¹ [Walker i Dawson 2003]. Grzebisz i Przygocka-Cyna [2003] podkreślają, że rośliny uprawiane w warunkach naszego kraju na ogół pobierają znacznie mniejsze ilości siarki niż uprawiane w krajach zachodnich, co należy tłumaczyć zróżnicowaniem wielkości plonów.

Konieczność nawożenia siarką roślin strączkowych wynika z jej obecności w procesie wiązania wolnego azotu z powietrza oraz syntezy białka [Ruiz i in. 2005, Scherer 2008]. Optymalne nawożenie tym składnikiem skutkuje zwiększeniem wydajności fotosyntezy, a powstające składniki odżywcze, zasilając brodawki korzeniowe, indukują asymilację azotu w roślinie [Zhao i in. 1999c, Hussain i in. 2011]. Rośliny bobowate pod wpływem siarki wykazują większą produkcję biomasy oraz nasion [Naeve i Shibles 2005, Ruiz i in. 2005, Zhao i in. 2008]. Dane te korespondują z badaniami nad koniecznością białą, u której deficyt tego składnika istotnie ograniczył wiązanie N₂ w wyniku słabszego rozwoju brodawek korzeniowych, niskiej produkcji leghemoglobiny oraz obniżonej aktywności nitrogeazy [Varin i in. 2010]. Aplikacja siarki w ilości 30 kg S·ha⁻¹ w uprawie soi wykazała nie tylko wzrost wielkości plonu, ale także ilości związanego azotu o 60 kg·ha⁻¹ w stosunku do kontroli [Hussain i in. 2011]. Podobne rezultaty osią-

gnęli Zhao i in. [1999c] oraz Ganeshamurthy i Reddy [2000], odpowiednio w uprawie grochu i soi.

Najważniejsza rola siarki wynika z jej obecności w białkach. Zawartość białka u roślin strączkowych mieści się w przedziale od 14% (nasiona fasoli) do 40% (nasiona soi i łubinu) [Gawęcki 2003]. Ilość dostępnej siarki determinuje zawartość białka, na co wskazują badania Goźlińskiego [1970] nad bobem i peluszką. Istnieją również dane o braku istotnego wpływu siarki na to kryterium jakości nasion seradeli [Uziak i Szymańska 1987] oraz pszenicy [Podleśna i Cacak-Pietrzak 2006]. Scherer [2008] podaje, że redukcja plonu w warunkach deficytu siarki jest spowodowana hamowaniem translacji białek. Zastosowanie siarki w uprawie łubinu prowadzi do poprawy jego jakości w aspekcie żywieniowym [Podleśna 2013]. Zhao i in. [1999c], Podleśna [2005] oraz Barczak [2010] wskazują na podobny kierunek zmian jakości nasion u innych gatunków z rodziny *Fabaceae*. Optymalne zaopatrzenie siarką wpływa korzystnie na syntezę aminokwasów egzogennych, w tym na zawierającą siarkę metioninę. Badania Ruiza i in. [2005] wykazały, że w warunkach niedoboru siarki, jak i jej nadmiaru nasiona cechowały się niską zawartością białka.

Siarka obok azotu jest niezbędnym składnikiem w przebiegu fotosyntezy, bowiem azot jest składnikiem chlorofilu i wchodząc w skład niektórych aminokwasów, wpływa bezpośrednio na jego syntezę [Zhao i in. 1999b, Roje 2006, Varin i in. 2010]. Niedobór siarki w glebach powoduje obniżenie zawartości aminokwasów siarkowych (cysteiny i metioniny), przy jednoczesnym wzroście zawartości azotu niebiałkowego [Marska i Wróbel 2000]. Badania Pysia i Pucka [1993] wskazują, że wysoka podaż azotu przy niewielkiej ilości siarki sprzyja akumulacji jego niebiałkowych form, których udział może przekraczać 50% ogólnej zawartości azotu. Dane literaturowe [Hrivna i in. 1999, Eriksen i Mortensen 2002, Sator i in. 2002] dowodzą możliwości zmian składu aminokwasowego białka i proporcji ilościowych między aminokwasami egzo- a endogennymi pod wpływem oddziaływania siarki. W badaniach Barczak [2010] nad łubinem wąskolistnym w wyniku zastosowania tego pierwiastka uzyskano zwiększenie zawartości metioniny w nasionach o 14,5%. Kierunek tych zmian był zgodny z badaniami Smatanowej i in. [2004], a także Satora i in. [2002]. Niekorzystne zmiany zawartości aminokwasów siarkowych można zahamować, aplikując siarkę w późnych fazach rozwojowych [Eriksen i Mortensen 2002].

Nasiona różnych gatunków roślin strączkowych wykazują duże zróżnicowanie pod względem składu chemicznego oraz wartości odżywczej (tab. 2 i 3). Nasiona łubinu zawierają stosunkowo dużo włókna, gromadzą energię w postaci polisacharydów nieskrobiowych, których łubin żółty syntetyzuje mniej niż inne gatunki łubinów. Nasiona grochu zawierają między innymi polisacharydy nieskrobiowe, fityniany, oligosacharydy oraz lektyny, a także inhibitory tripsyny i taniny. Niekorzystnymi składnikami nasion roślin strączkowych są związki antyżywniowe, głównie alkaloidy. Współczesne odmiany cechują się znacznie niższą koncentracją składników antyodżywczych w porównaniu z odmianami uprawianymi w ubiegłym stuleciu [Rutkowski i in. 2015].

Jednym z kryteriów oceny wartości odżywczej białka jest porównanie jego składu ze składem aminokwasowym białka wzorcowego. Zastosowanie takie ma wskaźnik aminokwasu ograniczającego (CS), który wyraża stosunek zawartości danego aminokwasu w badanym białku do jego zawartości w białku wzorcowym [Barczak 2010]. Autorka w badaniach nad łubinem wąskolistnym wykazała, że pierwszym aminokwasem ograniczającym syntezę białka jest aminokwas siarkowy – metionina. Potwierdza to ważną rolę tego składnika w kształtowaniu ilości i jakości plonu. Sujak i in. [2006]

podają, że białko roślin bobowatych zawiera niedostateczną ilość aminokwasów egzogennych, w tym metioniny, lizyny, izoleucyny oraz waliny.

Tabela 2. Zawartość składników pokarmowych i antyodżywczych w nasionach wybranych roślin strączkowych w % [na podstawie Rutkowskiego i in. 2015]

Składnik odżywczy i antyżywniowy	Łubiny	Groch siewny	Groch pastewny
Sucha masa	88,0-92,7	85,3-90,4	85,1-86,2
Białko ogólne	31,2-44,4	22,2-27,6	20,8-25,3
Włókno surowe	12,2-20,9	6,1-7,3	5,9-7,4
Skrobia	-	43,9-47,6	40,0-47,7
Tłuszcz surowy	4,5-11,9	1,0-1,4	1,1-1,3
Popiół surowy	3,4-4,8	2,8-3,2	2,8-3,2
Wapń	0,25-0,39	0,12-0,14	0,12-0,15
Fosfor	0,45-0,98	0,42-0,66	0,40-0,50
P-fitynowy	0,50-0,81	0,21-0,55	0,21-0,36
Alkaloidy	0,004-0,145	-	-
α -galaktozydy	7,7-11,8	6,8-8,3	7,2-8,8

Tabela 3. Skład aminokwasowy białka ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$) nasion roślin strączkowych oraz wartość odżywcza białka [na podstawie Rutkowskiego i in. 2015]

Aminokwasy	Łubiny	Groch siewny	Groch pastewny
Kwas asparaginowy	8,64-9,7	10,5-11,2	10,8-11,5
Treonina	2,9-3,9	3,5-3,9	3,9-4,2
Seryna	4,2-4,9	4,4-4,5	4,5-4,8
Kwas glutaminowy	21,4-26,2	19,2-19,9	19,0-19,5
Prolina	5,1-7,6	5,4-6,4	5,3-5,8
Cystyna	1,1-2,7	0,9-1,6	1,3-1,5
Glicyna	3,5-4,1	3,8-4,5	4,2-4,5
Alanina	2,8-3,4	3,8-4,2	4,0-4,2
Walina	3,2-3,9	4,1-4,6	4,4-4,7
Metionina	0,32-0,81	0,64-0,94	0,65-0,79
Izoleucyna	3,2-4,1	3,7-4,2	3,8-4,0
Leucyna	6,1-7,3	6,6-7,3	6,7-7,1
Tyrozyna	2,4-4,7	2,7-3,4	2,9-3,0
Fenylalanina	3,3-4,4	4,3-5,0	4,3-4,7
Histydyna	2,7-3,3	2,8-3,4	2,8-3,5
Lizyna	4,1-4,8	6,5-7,3	6,2-7,1
Arginina	9,1-11,6	6,6-8,8	6,5-7,5
SAA	37,0-41,3	40,8-42,8	41,0-42,8
CS	27-48 (met + cys)	28-40 (met+cys)	37-38 (met+cys)
EAAI	61-68	69-74	72-74

SAA – suma aminokwasów niezbędnych, CS – wskaźnik aminokwasu ograniczającego, EAAI – wskaźnik aminokwasów egzogennych

Rośliny strączkowe wyróżniają się na tle innych roślin uprawnych stosunkowo wysoką zawartością tłuszczu, która mieści się w zakresie od 0,7% dla wyki do 22% dla

soi. Polskie odmiany łubinów zawierają 4-9% tłuszczu [Grochowicz i in. 2003]. Zastosowanie siarki w nawożeniu łubinu wąskolistnego wpływało istotnie korzystnie na zawartość tłuszczu w nasionach [Barczak i in. 2013b]. Wyniki te znajdują potwierdzenie w badaniach nad gatunkami z rodziny kapustowatych [Wielebski i Muśnicki 1998, Kaczor i Kozłowska 2002].

4. PODSUMOWANIE

W ostatnich latach z uwagi na możliwość uzyskania dopłat bezpośrednich wzrasta zainteresowanie uprawą roślin strączkowych oraz nowymi trendami w ich agrotechnice. Gatunki te wykazują stosunkowo duże zapotrzebowanie na siarkę, która ze względu na postępujący niedobór w agrosystemach w Polsce i w innych krajach europejskich, stała się niezbędnym składnikiem nawozowym w ich uprawie. Rola siarki w nawożeniu roślin strączkowych wynika z jej obecności w procesie wiązania azotu atmosferycznego oraz udziału w biosyntezie białka, którego rośliny bobowate są cennym źródłem. Uwzględnienie tego składnika w nawożeniu roślin strączkowych korzystnie wpływa na metabolizm azotu i nie tylko zwiększa ich produktywność, ale również dodatnio wpływa na wyróżniki jakości plonu.

LITERATURA

- Barczak B., 2010. Siarka jako składnik pokarmowy kształtujący wielkość i jakość plonów wybranych roślin uprawnych. Rozpr. 144, Wyd. Uczeln. UTP Bydgoszcz.
- Barczak B., Nowak K., Knapowski T., Ralcewicz M., Kozera W., 2013a. Reakcja łubinu wąskolistnego (*Lupinus angustifolius* L.) na nawożenie siarką. Cz. I. Plon oraz wybrane elementy jego struktury. *Fragm. Agron.* 30(2), 23-34.
- Barczak B., Nowak K., Kozera W., Knapowski T., Ralcewicz M., 2013b. Reakcja łubinu wąskolistnego (*Lupinus angustifolius* L.) na nawożenie siarką. Cz. II. Zawartość i plon tłuszczu w nasionach. *Fragm. Agron.* 30(2), 35-41.
- Brunold K., von Ballmoos P., Hesse H., Fell D., Kopriva S., 2003. Interactions between sulfur, nitrogen and carbon metabolism. [W:] Sulfur transport and assimilation in plants, red. J.C. Davidian, D. Grill, L.J. de Kok, I. Stulen, M.J. Hawkesford, E. Schnug, H. Rennenberg, Backhuys Publishers Leiden, 45-56.
- Cobbet C.S., 2000. Phytochelatins and their roles in heavy metal detoxification. *Plant Physiol.* 123, 825-832.
- de Kok L.J., Castro A., Durenkamp M., Koralewska A., Posthumus F.S., Stuiver C.E.E., Yang L., Stulen I., 2005. Pathways of plant sulfur uptake and metabolism – an overview. *Landbauforsch. Völk.* 283, 5-13.
- de Kok L.J., Westerman S., Stuiver C.E.E., Weidner W., Stulen I., Grill D., 2002. Interaction between atmospheric hydrogen sulfide deposition and pedospheric sulfate nutrition in *Brassica oleracea* L. *Phyton* 42(3), Special issue: Global change, 35-44.
- Droux M., 2004. Sulfur assimilation and the role of sulfur in plant metabolism: a survey. *Photosynth. Res.* 79, 331-348.
- Dubis B., Budzyński W., 1998. Wartość przedplonowa różnych typów łubinu żółtego dla zbóż ozimych. *Rocz. Nauk Rol.* A(113), 3-4, 145-154.

- Eriksen J., Mortensen J.V., 2002. Effects of timing of sulphur application on yield, S-uptake and quality of barley. *Plant Soil* 242, 283-289.
- Gaj R., Klikocka H., 2011. Wielofunkcyjne działanie siarki w roślinie – od żywienia do ochrony. *Prog. Plant Prot.* 51(1), 33-44.
- Ganeshamurthy A.N., Reddy K.S., 2000. Effect of integrated use farmyard manure and sulphur in a soybean and wheat cropping system on nodulation, dry matter production and chlorophyll content of soybean on swellshrink soils in central India. *J. Agron. Crop Sci.* 185, 91-97.
- Gawęcki J. (red.), 2003. *Białka w żywności i żywieniu*. Wyd. AR Poznań.
- Goźliński H., 1970. Działanie nawozowe siarki (SO_4^{2-}) przy różnych poziomach nawożenia azotem. Cz. II. Badania nad peluszką, bobem, koniczyną, gorczycą i ziemniakami. *Rocz. Nauk Rol. A* 97(1), 95-112.
- Grochowicz J., Andrejko D., Mazur J., 2003. Określenie podstawowych właściwości fizycznych i chemicznych nasion polskich odmian łubinów. *Acta Agrophys.* 2(3), 539-548.
- Grzebisz W., Przygocka-Cyna K., 2000. Aktualne problemy gospodarowania siarką w rolnictwie polskim. [W:] *Zbilansowane nawożenie rzepaku – aktualne problemy*, red. W. Grzebisz, Wyd. AR Poznań, 64-77.
- Grzebisz W., Przygocka-Cyna K., 2003. Aktualne problemy gospodarowania siarką w rolnictwie polskim. *Fert. Fertiliz.* 4(17), 64-77.
- Hrivna L., Richter R., Ryant P., 1999. Possibilities of improving the technological quality of winter wheat after sulphur fertilization. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Sesja Nauk.* 64, 143-150.
- Hussain K., Islam M., Siddique M.T., Hayat R., Mohsan S., 2011. Soybean growth and nitrogen fixation as affected by sulfur fertilization and inoculation under rainfed conditions in Pakistan. *Int. J. Agric. Biol.* 13, 951-955.
- Jakubus M., 2006. *Siarka w środowisku*. Wyd. AR Poznań.
- Jakubus M., Toboła P., 2005. Zawartość siarki ogólnej i siarczanowej w rzepaku ozimym w zależności od nawożenia. *Rośl. Oleiste* 26, 149-161.
- Jamal A., Moon Y.S., Abdin M.Z., 2010. Sulphur – a general overview and interaction with nitrogen. *Aust. J. Crop Sci.* 4(7), 523-529.
- Jasińska Z., Kotecki A., 1998. Masa i skład chemiczny resztek poźniwnych wybranych odmian grochu i bobiku. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 446, 239-246.
- Jasińska Z., Kotecki A., 2003. *Rośliny strączkowe*. [W:] *Szczegółowa uprawa roślin*. Wyd. AR Wrocław, 2, 7-22.
- Jerzak M.A., 2014. Możliwości restytucji rynku rodzimych roślin strączkowych na cele paszowe w Polsce. *Stowarzyszenie ekonomistów rolnictwa i agrobiznesu. Rocz. Nauk.* 16(3), 104-109.
- Jędryczka M., Podleśna A., Lewartowska E., 2002. Wpływ nawożenia azotem i siarką na zdrowotność roślin rzepaku ozimego. *Pam. Puł.* 130, 329-338.

- Kaczor A., Kozłowska J., 2002. Wpływ nawożenia siarką i wapnowania na ogólną zawartość tłuszczu i skład kwasów tłuszczowych w nasionach roślin krzyżowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 482, 245-250.
- Kaczor A., Zuzńska J., 2009. Znaczenie siarki w rolnictwie. *Chem. Dydak. Ekol. Metr.* 14(1-2), 69-78.
- Kopcewicz J., Lewak S., 2005. *Fizjologia roślin*. Wyd. Nauk. PWN Warszawa.
- Księżak J. (red.), 2015. *Wybrane zagadnienia uprawy roślin strączkowych*. Fundacja Programów Pomocy dla Rolnictwa FAPA Warszawa.
- Kucharska M., Bobrecka-Jamro D., Jarecki W., 2014. Stan produkcji nasion roślin strączkowych w województwie podkarpackim w latach 2000-2011. *Fragm. Agron.* 31(1), 44-52.
- Kulig B., 2009. *Uprawa roślin strączkowych*, <http://matrix.ar.krakow.pl>
- Leustek T., Saito K., 1999. Sulfate transport and assimilation in plants. *Plant Physiol.* 120, 637-643.
- Lipiński W., Terelak H., Motowicka-Terelak T., 2003. Propozycja liczb granicznych zawartości siarki siarczanowej w glebach mineralnych na potrzeby doradztwa nawozowego. *Rocz. Glebozn.* 3, 79-84.
- Marska E., Wróbel J., 2000. Znaczenie siarki dla roślin uprawnych. *Folia Univ. Agric. Stetin. Agricultura* 81, 69-76.
- McGrath S.P., Zhao F.J., Blake-Kalff M.M., 2003. History and outlook for sulphur fertilizers in Europe. *Fert. Fertiliz.* 2(15), 5-27.
- Miyazaki J., Yang S.F., 1987. The methionine salvage pathway in relations to ethylene and polyamine biosynthesis. *Physiol. Plant.* 69, 366-370.
- Morris R.J., 2007. Sulphur in Agriculture. Global overview. *Fertiliz. Focus* 1/2, 12-16.
- Motowicka-Terelak T., Terelak H., 2000. Siarka w glebach i roślinach Polski. *Folia Univ. Agric. Stetin. Agricultura* 81, 7-16.
- Naeve S.L., Shibles R.M., 2005. Distribution and mobilization of sulfur during soybean reproduction. *Crop Sci.* 45, 2540-2551.
- Nocito F.F., Lancilli C., Giacomini B., Sacchi G.A., 2007. Sulfur metabolism and cadmium stress in higher plants. *Plant Stress.* 1, 142-156.
- Patorczyk-Pytlik B., Zbroszczyk T., Zimoch A., 2008. Zawartość siarki w niektórych gatunkach roślin łąkowych. *Zesz. Nauk. UP Wrocław, Rolnictwo* 92(568), 67-77.
- Podleśna A., 2005. Nawożenie siarką jako czynnik kształtujący metabolizm roślin uprawnych i jakość płodów rolnych. *Pam. Puł.* 139, 161-174.
- Podleśna A., 2013. *Studia nad rolą siarki w kształtowaniu gospodarki mineralnej oraz wielkości i jakości plonu wybranych roślin uprawnych*. Monogr. Rozpr. Nauk. 37, IUNG-PIB Puławy.

- Podleśna A., Cacak-Pietrzak G., 2006. Kształtowanie plonu oraz parametrów przemianowych i wypiekowych pszenicy jarej poprzez nawożenie azotem i siarką. *Pam. Puł.* 142, 381-392.
- Podleśny J., 2005a. Rośliny strączkowe w Polsce – perspektywy uprawy i wykorzystanie nasion. *Acta Agroph.* 6(1), 213-224.
- Podleśny J., 2005b. Wpływ sposobu siewu i rozstawy rzędów na wzrost, rozwój i plonowanie zdeterminowanej formy lubinu białego. *Pam. Puł.* 140, 199-214.
- Podleśny J., Bieniaszewski T., 2012. Ocena plonowania grochu siewnego (*Pisum sativum* L.) w różnych rejonach Polski. *Fragm. Agron.* 29(4), 125-135.
- Podleśny J., Książek J., 2009. Aktualne i perspektywiczne możliwości produkcji nasion roślin strączkowych w Polsce. *Studia i raporty IUNG-PIB* 14, Puławy, 111-132.
- Prusiński J., Kaszkowiak E., Borowska M., 2008. Wpływ nawożenia i dokarmiania roślin azotem na plonowanie i strukturalne elementy plonu nasion bobiku. *Fragm. Agron.* 25(4), 111-127.
- Prusiński J., Olach T., 2007. Plonowanie fasoli szparagowej w zależności od intensywności technologii uprawy. Cz. I. Wysokość i jakość plonu strąków. *Biul. IHAR* 243, 251-266.
- Przybylski Z., 2001. Problemy ochrony roślin występujące w agrocenozach zanieczyszczonych związkami siarki. *Post. Nauk Rol.* 2, 39-47.
- Pyś J., Pucek T., 1993. Wartość pokarmowa roślin pastewnych uprawianych w rejonie składowiska siarki kopalni „Jeziórko”. Cz. I. Podstawowy skład chemiczny roślin. *Arch. Ochr. Środ.* 1-2, 153-161.
- Riley N.G., Zhao F.J., McGrath S.P., 2000. Availability of different forms of sulphur fertilisers to wheat and oilseed rape. *Plant Soil* 222, 139-147.
- Roje S., 2006. S-Adenosyl-L-methionine: Beyond the universal methyl group donor. *Phytochemistry* 67, 1686-1698.
- Ruiz J.M., Rivero R.M., Romero L., 2005. Regulation of nitrogen assimilation by sulfur in bean. *J. Plant Nutr.* 28, 1163-1174.
- Rutkowski A., Kasproicz-Potocka M., Mięka R., Hejdysz M., 2015. Możliwości zastosowania nasion roślin strączkowych w żywieniu zwierząt gospodarskich. [W:] *Wybrane zagadnienia uprawy roślin strączkowych*, red. J. Książek, Fundacja Programów Pomocy dla Rolnictwa FAPA Warszawa, 31-44.
- Salac I., Bloem E., Haneklaus S., Schnug E., 2003. Sulphur induced resistance (SIR). [W:] *Zbilansowane nawożenie rzepaku – aktualne problemy*, red. W. Grzebisz, Wyd. AR Poznań, 206-212.
- Sator Ch., Rogasik J., Schnug E., 2002. Influence of sulfur nutrition on yield and dietary quality of lupin seeds. *Proc. 10th Int. Lupin Conf.*, Laugarvatn, Iceland, 1-4.
- Scherer H.W., 2008. Sulphur in crop production. *Europ. J. Agron.* 14, 81-111.
- Schnug E., Haneklaus S., 1994. Ecological aspects of plant sulphur supply. *Norw. J. Agric. Sci., Suppl.* 15, 149-156.

Siebielec G., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Kordybach B., Terek H., Koza P., Łysiak M., Gałązka R., Pecio M., Suszek B., Miturski T., Hryńczuk B., 2012. Monitoring chemizmu gleb w Polsce w latach 2010-2012. Biblioteka Monitoringu Środowiska Warszawa, 196.

Szulc W., Rutkowska B., Łabętowicz J., 2004. Zawartość siarki ogólnej, organicznej i siarczanowej w profilu glebowym w warunkach różnych systemów uprawy gleby. Ann. UMCS 49(1), E, 55-62.

Siuta J., Rejman-Czajkowska M., 1980. Siarka w biosferze. PWRiL Warszawa.

Smatanova M., Richter R., Klusek J., 2004. Spinach and pepper response to nitrogen and sulphur fertilization. Plant Soil Environ. 50, 303-308.

Stawiński S., 2015. Wybrane zagadnienia z zakresu nasiennictwa i doboru odmian roślin strączkowych. [W:] Wybrane zagadnienia uprawy roślin strączkowych, red. J. Książak, Fundacja Programów Pomocy dla Rolnictwa FAPA, 6-17.

Sujak A., Kotlarz A., Strobel W., 2006. Compositional and nutritional evaluation of several lupin seeds. Food Chem. 98(4), 711-719.

Szpunar-Krok E., 2011. Produkcyjne i ekonomiczne efekty wybranych technologii produkcji nasion roślin strączkowych w siewie czystym i ich mieszanek ze zbożami. Rozprawy, UR, Rzeszów.

Szukała J., 2012. Nowe trendy w agrotechnice roślin strączkowych i sposoby zwiększania opłacalności uprawy. Mat. Komisji Rolnictwa i Rozwoju Wsi 45, Warszawa, 8-10.

Szukała J. i in., 2015. Nowe trendy w agrotechnice roślin strączkowych. [W:] Wybrane zagadnienia uprawy roślin strączkowych, red. J. Książak, Fundacja Programów Pomocy dla Rolnictwa FAPA Warszawa, 28-30.

Świdarska-Ostapiak M., Stankowski S., 2002. Wpływ nawożenia azotem i siarką na plonowanie i komponenty plonu owsa nieoplewionego i oplewionego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 484, 711-717.

Święcicki W.K., Surma M., Koziara W., Skrzypczak G., Szukała J., Bartkowiak-Broda I., Zimny J., Banaszak Z., Marciniak K., 2011. Nowoczesne technologie w produkcji roślinnej – przyjazne dla człowieka i środowiska. Pol. J. Agron. 7, 102-112.

Tabatabai M.A., 1984. Importance of sulphur in crop production. Biogeochemistry 1, 45-62.

Tabatabai M.A., 1986. Sulfur in agriculture. Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin.

Uziak Z., Szymańska M., 1987. Wpływ siarki na produktywność i wartość biologiczną wybranych roślin pastewnych. Pam. Puł. 89, 131-142.

Varin S., Cliquet J.B., Personeni E., Avice J.C., Lemauviel-Lavenant S., 2010. How does sulphur availability modify N acquisition of white clover (*Triticum repens* L.)? J. Exp. Bot. 61(1), 225-234.

Walker K., Booth E.J., 1994. Sulphur deficiency in Scotland and the effects of sulphur supplementation on yield and quality of oilseed rape. Norw. J. Agric. Sci. Suppl. 15, 97-104.

Walker K., Dawson C., 2003. Sulphur fertiliser recommendations in Europe. *Fertilizers Fertilization, Biogeochemistry of sulphur in agricultural systems. Part II. reprints from Inter. Fertilis. Soc. Proc.* 3, 71-84.

Wielebski F., 2011. Wpływ nawożenia siarką w warunkach stosowania zróżnicowanych dawek azotu na plonowanie różnych typów odmian rzepaku ozimego. *Rośl. Oleiste* 32, 61-78.

Wielebski F., Muśnicki C., 1998. Zmiany ilościowe i jakościowe u dwóch odmian rzepaku ozimego pod wpływem wzrastających dawek siarki w warunkach kontrolowanego niedoboru siarki. *Rocz. AR Poznań* 303, *Rolnictwo* 51, 129-147.

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. *Rośl. Oleiste* 21, 465-475.

Zhao F.J., McGrath S.P., Blake-Kalff M.M., Link A., Tucker M., 2003. Crop responses to sulphur fertilization in Europe. *Fert. Fertiliz.* 3(16), 26-47.

Zhao F.J. i in., 1999a. Responses of breadmaking quality to sulphur in three wheat varieties. *J. Sci. Food Agr.* 79, 1865-1874.

Zhao F.J., Wood A.P., McGrath S.P., 1999b. Effects of sulphur nutrition on growth and nitrogen fixation of pea (*Pisum sativum L.*). *Plant Soil* 212, 209-219.

Zhao F.J., Wood A.P., McGrath S.P., 1999c. Sulphur nutrition of spring peas. *Asp. Appl. Biol.* 56, 189-194.

Zhao Y., Xiao X., Bi D., Hu F., 2008. Effects of sulfur fertilization on soybean root and leaf traits, and soil microbial activity. *J. Plant Nutr.* 31, 473-483.

Źródła internetowe

IJHARS <http://www.ijhar-s.gov.pl/index.php/news/items/id-2016-miedzynarodowym-rokiem-roslin-straczkowych.html>.

IUNG http://bialkoroslinne.iung.pl/images/pdf/2016/rola_straczkowych.pdf.

Rocznik Statystyczny Rolnictwa GUS 2016. <https://danepubliczne.gov.pl/dataset/rocznik-statystyczny-rolnictwa-2014/resource/05270e9c-f59a-4136-b7c3-c5704febca54>.