

Katedra Technologii Produkcji Roślinnej i Towaroznawstwa,  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin,  
\*e-mail: [aleksandra.glowacka@up.lublin.pl](mailto:aleksandra.glowacka@up.lublin.pl)

ALEKSANDRA GŁOWACKA\* , AGNIESZKA KASICZAK 

## Efektywność rolnicza i ekonomiczna nawożenia azotem i siarką w uprawie soi

Agricultural and economic efficiency of nitrogen and sulfur fertilization  
in soybean cultivation

**Streszczenie.** Soja jest bardzo wartościową rośliną uprawną. Ważnymi składnikami pokarmowymi, niezbędnymi do pełnego wykorzystanie jej możliwości plonotwórczych, są azot i siarka. Celem badań była ocena efektywności rolniczej i ekonomicznej nawożenia azotem oraz siarką stosowanego w uprawie soi. W pracy wykorzystano dane pozyskane z dwuczynnikowego eksperymentu polowego przeprowadzonego w latach 2015–2017, w którym zróżnicowano dawki azotu (I czynnik: 0, 30 i 60 kg·ha<sup>-1</sup>) i siarki (II czynnik: 0 i 40 kg·ha<sup>-1</sup>). Do określenia efektywności wykorzystano nadwyżkę bezpośrednią oraz wskaźnik efektywności rolniczej i końcowej nawożenia azotem i siarką. Wykazano, że dawka 30 kg·ha<sup>-1</sup> azotu istotnie zwiększyła plon nasion soi, a termin zastosowania tej dawki nie miał znaczenia. Najwyższe plony uzyskano po zastosowaniu 60 kg N·ha<sup>-1</sup>. Korzystny wpływ siarki stwierdzono w wyniku wyłącznej pogłówniej aplikacji siarki w dawce 40 kg ha<sup>-1</sup> oraz po łącznym jej zastosowaniu z wprowadzoną pogłównie dawką 30 kg N·ha<sup>-1</sup>. Wskaźniki efektywności rolniczej i końcowej nawożenia azotem bez dodatku siarki były najwyższe dla dawki 30 kg N ha<sup>-1</sup> wniesionej przedsięwzięcie, a przy łącznym stosowaniu azotu i siarki dla tej samej dawki, ale aplikowanej na początku wypełniania nasion.

**Słowa kluczowe:** soja, azot, siarka, efektywność ekonomiczna, efektywność rolnicza

### WSTĘP

Soja uchodzi za jedną z bardziej wymagających roślin uprawnych. Pobiera potrzebne składniki w dość dużych ilościach, dlatego ważne jest odpowiednio zasobne stanowisko [Kahraman 2017]. Jednym z pierwiastków niezbędnych do prawidłowego wzrostu i rozwoju soi jest azot. W przypadku roślin bobowatych nawożenie azotem z reguły

ogranicza się do wniesienia na stanowisko tak zwanej dawki startowej [Jarecki i Bobrecka-Jamro 2015b]. Ta dawka jest zróżnicowana w zależności od panujących warunków glebowych, jednakże zazwyczaj jest wyraźnie niższa od standardowych dawek tego składnika stosowanych w nawożeniu innych roślin. Te różnice wynikają ze specyfiki wszystkich bobowatych, które żyją w symbiozie z wieloma szczepami bakterii brodawkowych. W przypadku soi – głównie ze szczepem *Bradyrhizobium japonicum* [Martyniuk i in. 2013]. Wiązanie azotu przez bakterie brodawkowe pozwala roślinom wykorzystać azot atmosferyczny. Soja, tak jak inne bobowate, pobiera azot z dwu źródeł: z atmosfery (jest wiązany przez bakterie brodawkowe) oraz z nawozów mineralnych [Wysokiński i in. 2013]. Nawożenie azotem wpływa w głównej mierze na wielkość plonu roślin. Według Lorenc-Kozik i Pisulewskiej [2003] dawka azotu korzystnie wpływająca na plonowanie roślin soi waha się pomiędzy 30 kg N·ha<sup>-1</sup> a 60 kg N·ha<sup>-1</sup>. Według badań Faligowskiej i Szukały [2010] nawożenie azotem soi wpływa korzystnie na takie elementy struktury plonu, jak wysokość roślin, liczba strąków na roślinie czy masa nasion z jednej rośliny. Nawożenie azotem może również modyfikować skład chemiczny nasion [Jarecki i Bobrecka-Jamro 2015a]. Niższe dawki powodują zwiększenie zawartości tłuszczu w nasionach, a wyższe – zwiększenie zawartości białka [Luboiński i Markowicz 2017].

Innym składnikiem pokarmowym niezbędnym do prawidłowego funkcjonowania roślin jest siarka, która wchodzi m.in. w skład aminokwasów, a tym samym białek czy witamin. Jej obecność jest niezbędna do procesu biosyntezy białka w nasionach [Klikocka i in. 2017, Podleśna i in. 2017, Barczak i in. 2018]. Siarka pozytywnie wpływa nie tylko na ilość, ale także na jakość białka ogólnego w plonie roślin, zwłaszcza w przypadku roślin bobowatych. Rośliny z rodziny *Fabaceae* zalicza się do gatunków o średnim zapotrzebowaniu w stosunku do tego składnika [Zhao i in. 1999]. Dla soi, w zależności od warunków glebowych, optymalna dawka waha się pomiędzy 20 a 60 kg S·ha<sup>-1</sup>. Siarkę zaleca się stosować jednorazowo w fazie niezupełnie zwartych międzyrzędzi (BBCH 27–29), dwukrotnie w tej fazie oraz na początku kwitnienia (BBCH 61), a także trzykrotnie – w dwóch wyżej wymienionych fazach oraz w pełni kwitnienia (BBCH 65). Należy jednak pamiętać, że jednorazowa dawka tego składnika nie powinna przekraczać 20 kg S·ha<sup>-1</sup> [Barczak 2010]. Wiele badań [Podleśna i Kocoń 2009, Barczak i in. 2016] wskazuje na silną interakcję siarki i azotu jako składników nawozowych niezbędnych do syntezy aminokwasów wchodzących w skład białek. Liczni autorzy [Zhao i in. 1999, Scherer i in. 2008, Barczak 2010], potwierdzili dodatni wpływ nawożenia siarką na wiązanie azotu atmosferycznego przez brodawki korzeniowe roślin bobowatych oraz lepsze wykorzystanie azotu mineralnego, a co za tym idzie – większą produkcję biomasy roślin. Dlatego też odpowiednie zaopatrzenie roślin w te składniki umożliwia pełne wykorzystanie ich potencjału plonotwórczego.

Celem badań było określenie efektywności rolniczej i ekonomicznej zróżnicowanego nawożenia azotem i siarką w uprawie soi.

#### MATERIAŁ I METODY

Eksperyment polowy przeprowadzono w latach 2015–2017 w gospodarstwie indywidualnym położonym w powiecie zamojskim. Doświadczenie przeprowadzono w układzie losowanych podbloków w trzech powtórzeniach. Pole doświadczalne zlokalizowano na glebie o składzie granulometrycznym pyłu ilastego, lekko kwaśnej (pH w 1 M KCl

– 6,5), o zawartości materii organicznej 1,9% oraz średniej zasobności w fosfor i potas. Przedmiotem badań była soja odmiany Merlin.

W doświadczeniu analizowano następujące czynniki:

I – dawka azotu (0, 30 i 60 kg·ha<sup>-1</sup>) stosowana przedsięwzięcie lub w fazie początku wypełniania nasion (BBCH 73–75),

II – dawka siarki (0 i 40 kg·ha<sup>-1</sup>) stosowana po 20 kg S ha<sup>-1</sup> w dwóch terminach: w fazie niezupełnie zakrytych międzyrzędzi (BBCH 30–33) i na początku kwitnienia (BBCH 50–53).

W efekcie uzyskano następujące kombinacje:

1. N 0 – S 0; 2. N 30 (30 : 0) – S 0; 3. N 30 (0 : 30) – S 0; 4. N 60 (30 : 30) – S 0; 5. N 0 – S 40; 6. N 30 (30 : 0) – S 40; 7. N 30 (0 : 30) – S 40; 8. N 60 (30 : 30) – S 40.

Soję wysiewano pomiędzy 30 kwietnia a 2 maja, stosując ilość wysiewu 150 kg·ha<sup>-1</sup> i szerokość międzyrzędzi 20 cm. Nawożenie fosforowe (nawóz Fos Dar) i potasowe (sól potasowa 60% K<sub>2</sub>O) stosowano jednorazowo przed siewem roślin w dawkach: P – 48 kg·ha<sup>-1</sup> i K – 92 kg·ha<sup>-1</sup>. Do nawożenia azotem wykorzystano saletrę amonową 34, a siarkę stosowano dolistnie w formie siedmiowodnego siarczanu magnezu. Wielkość poletek wynosiła 12,5 m<sup>2</sup> (2,5 m × 5 m). W każdym z lat badań zbiór przeprowadzono w fazie pełnej dojrzałości (BBCH 99) w drugiej dekadzie września. Pielęgnację zasiewów ograniczono do regulacji zachwaszczenia. Bezpośrednio po siewie zastosowano doglebowo środki chwastobójcze zalecane do stosowania w uprawie soi, tj. Sencor Liquid 600 SC (substancja biologicznie czynna – metrybuzyna) w dawce 0,5 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> i Dual Gold 960 EC (substancja biologicznie czynna – metolachlor-S) w dawce 1,0 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> [www.minrol.pl]. W każdym roku prowadzenia badań soję uprawiano w stanowisku po pszenicy ozimej.

Po zbiorze roślin określono plon nasion w przeliczeniu na 1 hektar i wilgotność 15%. Wykorzystując dane uzyskane średnio z trzech lat, sporządzono ocenę efektywności nawożenia azotem i siarką na podstawie następujących wskaźników:

- Nadwyżka bezpośrednia – wyrażona w PLN, którą obliczono jako różnicę pomiędzy produkcją potencjalnie towarową i kosztami zmiennymi;
- Wskaźnik efektywności ekonomicznej, obliczony jako stosunek przychodu z produkcji do poniesionych kosztów;
- Wskaźnik efektywności rolniczej nawożenia azotem i siarką wyrażony w kg/kg, który jest stosunkiem przyrostu masy plonu uzyskanego w wyniku nawożenia składnikiem do ilości składnika wniesionego z nawożeniem;
- Wskaźnik efektywności końcowej nawożenia N i S wyrażony w PLN, obliczony jako stosunek wartości przyrostu plonu w wyniku zastosowania nawozów do kosztów ich zakupu.

Wyniki opracowano statystycznie, wykonując analizę wariancji, różnice między średnimi oszacowano w oparciu o test Tukeya z 95% prawdopodobieństwem.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Przeprowadzone badania potwierdzają korzystny wpływ nawożenia azotem na wielkość plonów nasion soi (tab. 1). Podobnie jak w badaniach Lorenc-Kozik i Pisulewskiej [2003] średnio dla nawożenia azotem najwyższy plon uzyskano w wyniku zastosowania

60 kg N·ha<sup>-1</sup> w dwóch terminach. Dawka 30 kg N·ha<sup>-1</sup> azotu istotnie zwiększyła plon nasion soi w porównaniu z kontrolą, natomiast podział tej dawki nie miał istotnego wpływu na jego działanie. Z reguły nawożenie azotem tego gatunku ograniczane jest do tzw. dawki startowej, wprowadzanej przedsięwzięcie, ale liczne badania [Jarecki i Bobrecka-Jamro 2015a, Luboński i Markowicz 2017] potwierdzają, że zastosowanie dodatkowej dawki może znacząco wpłynąć na rozwój i plonowanie roślin oraz efektywność uprawy soi. Według Lorenc-Kozik i Pisulewskiej [2003] wzrost plonu nasion w porównaniu z obiektem kontrolnym może wynosić nawet 13% po zastosowaniu 30 kg N·ha<sup>-1</sup> i 14% po zastosowaniu 60 kg N·ha<sup>-1</sup>. Również nawożenie siarką zwiększyło istotnie plon nasion. Według Barczak [2010] dzięki różnorodnej roli siarki w regulowaniu procesów zachodzących w roślinach nawożenie tym składnikiem może dość znacząco wpływać na ostateczną wielkość plonu roślin, a szczególnie wpływ na efektywność plonotwórczą ma dawka tego składnika, a także sposób jego aplikacji. Rozpatrując współdziałanie azotu i siarki, można zauważyć istotnie korzystny wpływ wyłącznej aplikacji siarki oraz w kombinacji z dawką 30 kg N·ha<sup>-1</sup> wniesioną w fazie początku wypełniania nasion. Najwyższe plony nasion uzyskiwano z kombinacji 60 kg N·ha<sup>-1</sup> i 40 kg S·ha<sup>-1</sup>.

Tabela 1. Plon nasion soi i wielkość poniesionych kosztów bezpośrednich  
Table 1. Soybean yield and the amount of direct costs

Nawożenie azotem Nitrogen fertilization (kg N·ha <sup>-1</sup> )	Plon nasion Seed yield (dt ha <sup>-1</sup> )			Koszty bezpośrednie* Direct costs (PLN)		
	dawka siarki/ sulfur dose (kg S·ha <sup>-1</sup> )			dawka siarki/ sulfur dose (kg S·ha <sup>-1</sup> )		
	S 0	S 40	średnio mean	S 0	S 40	średnio mean
N 0 (0)	23,45a	24,85b	24,15A	2129a	2264b	2196A
N 30 (30:0)	28,21cd	29,23de	28,72B	2229b	2363c	2296B
N 30 (0:30)	27,59c	29,46e	28,53B	2243b	2377c	2310B
N 60 (30:30)	30,50e	31,67f	31,08C	2343c	2477d	2410C
Średnio/ Mean	27,44A	28,80B	–	2236A	2370B	–

\* Do kosztów bezpośrednich zaliczono koszty materiału siewnego, nawozów mineralnych, środków ochrony roślin, paliwa/ Direct costs include costs of seed material, mineral fertilizers, pesticides and fuel.

Średnie oznaczone innymi literami różnią się istotnie przy (p = 0,05), duże litery – efekty główne, małe litery – interakcja/ Values marked with different letters differ significantly (p = 0.05), capital letters – main effects, small letters interaction.

Potwierdzeniem przydatności technologii produkcji roślinnej oprócz wielkości uzyskiwanych plonów powinna być jej ocena ekonomiczna. W uprawie soi wpływ na końcową efektywność ekonomiczną ma wysokość ponoszonych kosztów. Według Czerwińskiej-Kayzer i Florek [2012] w uprawie roślin bobowatych największe nakłady ponoszone są na zabiegi agrotechniczne, środki ochrony roślin i materiał siewny. W badaniach dotyczących ekonomicznych aspektów uprawy soi Dobek i in. [2009] stwierdzili, że w strukturze kosztów największy udział mają koszty poniesione na materiały oraz surowce, a także na serwis i eksploatację maszyn. W analizowanym doświadczeniu różnice

w wielkości kosztów poniesionych na wyprodukowanie nasion w poszczególnych wariantach nawozowych wynikały ze zróżnicowania dawek stosowanych nawozów mineralnych i w efekcie z różnych kosztów paliwa zużytego w trakcie wykonywania zabiegów (tab. 1). Można zaobserwować, że najwyższe koszty bezpośrednio generowała kombinacja 60 kg N·ha<sup>-1</sup> i 40 S·ha<sup>-1</sup>, która wymagała większej liczby zabiegów agrotechnicznych. Ten wariant nawozowy pozwolił również na uzyskanie najwyższego przychodu ze sprzedaży nasion (tab. 2).

Tabela 2. Przychód uzyskany z uprawy soi w poszczególnych wariantach nawozowych (zł·ha<sup>-1</sup>)  
Table 2. Revenue obtained from soybean cultivation (in PLN per 1 ha)

Nawożenie azotem Nitrogen fertilization (kg N·ha <sup>-1</sup> )	Sprzedaż nasion Sale of seeds			Sprzedaż nasion + dopłaty bezpośrednie* Sale of seed + direct payments		
	dawka siarki/ sulfur dose (kg S·ha <sup>-1</sup> )			dawka siarki/ sulfur dose (kg S·ha <sup>-1</sup> )		
	S 0	S 40	średnio mean	S 0	S 40	średnio mean
N 0 (0)	2908a	3229b	2995A	4160a	4481b	4246A
N 30 (30:0)	3498cd	3625de	3562B	4750cd	4877de	4813B
N (0) (0:30)	3421c	3654e	3537B	4673c	4906e	4788B
N 60 (30:30)	3782f	3927g	3854C	5033f	5179g	5105C
Średnio/ Mean	3402A	3572B	–	4654A	4738B	–

\* Dopłaty wypłacane do upraw za pośrednictwem Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa/ Payments paid to farmers through the Agency for Restructuring and Modernization of Agriculture.

Średnie oznaczone innymi literami różnią się istotnie przy (p = 0,05), duże litery – efekty główne, małe litery – interakcja/ Values marked with different letters differ significantly (p = 0.05), capital letters – main effects, small letters interaction.

Niezależnie od zastosowanego nawożenia wartość nadwyżki bezpośredniej w uprawie soi była dodatnia (tab. 3). Największą nadwyżkę uzyskano po zastosowaniu 60 kg azotu, a dodatek siarki nie miał istotnego znaczenia. Średnio w doświadczeniu nawożenie siarką nie wpływało istotnie na wartość nadwyżki bezpośredniej ani na wskaźnik efektywności ekonomicznej. Natomiast wyłączone zastosowanie siarki korzystnie wpłynęło na efektywność ekonomiczną uprawy soi (tab. 3). Wskaźniki efektywności ekonomicznej dla wszystkich kombinacji były dodatnie, co oznacza, że uprawa soi w każdym wariantcie nawozowym była opłacalna. Dopłaty bezpośrednie wypłacane za pośrednictwem ARiMR znacząco zwiększały efektywność ekonomiczną uprawy soi.

Skuteczność nawożenia azotem można oceniać wielkością uzyskanego plonu, wskaźnikami ekonomicznymi (nadwyżka bezpośrednia), a także za pomocą takich wskaźników, jak efektywność rolnicza oraz efektywność końcowa nawożenia składnikiem. Wykorzystując je, można określić zdolność roślin do przetwarzania pobranego azotu na plon [Klikocka i in. 2017]. Te wskaźniki zwykle osiągają największe wartości w zakresie niskich dawek nawozu, a ich wartość zmniejsza się wraz ze wzrostem poziomu nawożenia [Rutkowska 2004]. Podobne zależności obserwowano w badaniach własnych. Wskaźnik efektywności rolniczej nawożenia azotem, który pozwala oszacować, ile kilogramów przyrostu plonu uzyskanego w efekcie stosowania nawozu przypada na jeden kilogram składnika wprowadzonego w nawozie, był najwyższy dla dawki 30 kg ha<sup>-1</sup> zastosowanej przedsięwzięciu (tab. 4) i wynosił 15,87 kg/1 kg. Natomiast w warunkach stosowania na-

wożenia siarką największą efektywność rolniczą azotu uzyskano dla dawki 30 kg N ha<sup>-1</sup>, zastosowanej na początku wypełniania nasion. Podobne zależności obserwowano w odniesieniu do efektywności końcowej nawożenia azotem (tab. 4).

Tabela 3. Efektywność ekonomiczna uprawy soi  
Table 3. Economic effectiveness of soybean cultivation

Nawożenie azotem Nitrogen fertilization (kg N·ha <sup>-1</sup> )	Nadwyżka bezpośrednia/ Direct surplus					
	bez dopłat without direct payments			z dopłatami with direct payments		
	dawka siarki/ sulfur dose (kg S·ha <sup>-1</sup> )			dawka siarki/ sulfur dose (kg S·ha <sup>-1</sup> )		
	S 0	S 40	średnio mean	S 0	S 40	średnio mean
N 0 (0)	779a	966b	798A	2030a	2218b	2124A
N 30 (30 : 0)	1270c	1262c	1265B	2521c	2514c	2517B
N 30 (0 : 30)	1178c	1276c	1227B	2429c	2528c	2478B
N 60 (30 : 30)	1439d	1449d	1444C	2690d	2701d	2695C
Średnio Mean	1166A	1201A	–	2418A	2452A	–
Wskaźnik efektywności ekonomicznej/ Economic efficiency indicator						
N 0 (0)	1,37a	1,43b	1,36A	1,95a	1,98a	1,97a
N 30 (30 : 0)	1,57cd	1,53c	1,55B	2,13c	2,06b	2,10b
N 30 (0 : 30)	1,53c	1,54c	1,53B	2,08b	2,06b	2,07b
N 60 (30 : 30)	1,61d	1,59cd	1,60B	2,15c	2,09bc	2,12b
Średnio/ Mean	1,52A	1,52A	–	2,08A	2,05A	–

Średnie oznaczone innymi literami różnią się istotnie przy (p = 0,05), duże litery – efekty główne, małe litery – interakcja/ Values marked with different letters differ significantly (p = 0.05), capital letters – main effects, small letters interaction

Tabela 4. Efektywność rolnicza i końcowa nawożenia soi azotem  
Table 4. Agricultural and final efficiency of nitrogen fertilization of soybean

Nawożenie azotem Nitrogen fertilization (kg N·ha <sup>-1</sup> )	Efektywność rolnicza Agronomic efficiency			Efektywność końcowa Final efficiency		
	dawka siarki/ sulfur dose (kg S·ha <sup>-1</sup> )			dawka siarki/ sulfur dose (kg S·ha <sup>-1</sup> )		
	S 0	S 40	średnio mean	S 0	S 40	średnio mean
N 0 (0)	–	–	–	–	–	–
N 30 (30:0)	15,87d	14,60c	15,24C	5,91d	5,45bc	5,68B
N 30 (0:30)	13,80b	15,37d	14,44B	5,14b	5,74cd	5,44B
N 60 (30:30)	11,75a	14,10bc	12,93A	4,38a	4,24a	4,31A

Średnie oznaczone innymi literami różnią się istotnie przy (p = 0,05), duże litery – efekty główne, małe litery – interakcja/ Values marked with different letters differ significantly (p = 0.05), capital letters – main effects, small letters interaction.

Stosunek wartości przyrostu plonu w wyniku zastosowania nawozów do kosztów ich zakupu był najniższy po zastosowaniu dawki 60 kg N ha<sup>-1</sup> i wynosił dla wyłącznego stosowania azotu – 4,38 zł, a dla kombinacji tego składnika i siarki – 4,24 zł. Potwierdza to pośrednio opinię, że siarka ma duży wpływ na metabolizm azotu [Barczak i in. 2017]. Według Potarzyckiego [2003] nawożenie siarką zwiększa efektywność rolniczą nawożenia azotem.

Tabela 5. Efektywność rolnicza i końcowa nawożenia soi siarką  
Table 5. Agricultural and final efficiency of sulfur fertilization

Nawożenie azotem Nitrogen fertilization (kg N·ha <sup>-1</sup> )	Efektywność rolnicza Agronomic efficiency (kg)	Efektywność końcowa Final efficiency (PLN)
N 0 (0)	3,50b	1,63b
N 30 (30 : 0)	2,55a	1,19a
N 30 (0 : 30)	4,68c	2,19c
N 30 (30 : 30)	2,93ab	1,37ab
Średnio/ Mean	3,42	1,60

Średnie oznaczone innymi literami różnią się istotnie przy (p = 0,05), duże litery – efekty główne, małe litery – interakcja/ Values marked with different letters differ significantly (p = 0.05), capital letters – main effects, small letters interaction

Zarówno efektywność rolnicza, jak i efektywność końcowa nawożenia siarką była największa w kombinacji z dawką 30 kg azotu wniesioną pogłównie. Nieco niższą wartość tych wskaźników stwierdzono w kombinacji bez nawożenia azotem. Najmniej efektywne było stosowanie siarki w połączeniu z dawką 30 kg azotu zastosowaną przedsiemnie (tab. 5). Siarka jest niezbędna do biologicznej redukcji azotu cząsteczkowego. Może stymulować tworzenie brodawek na korzeniach roślin bobowatych i wiązanie azotu, a przez to wzrost i plonowanie roślin [Scherer i in. 2008]. Dlatego nawożenie tym składnikiem było bardziej efektywne w kombinacjach, w których rośliny we wczesnych fazach rozwojowych nie miały w nawożeniu mineralnym dostarczonego azotu.

#### WNIOSKI

1. Nawożenie azotem oraz siarką w istotny sposób wpływało na plonowanie soi. Dawka 30 kg N·ha<sup>-1</sup> istotnie zwiększyła plon nasion soi w porównaniu z kontrolą, natomiast termin zastosowania tej dawki nie miał wpływu na jego działanie. Najwyższe plony uzyskano po zastosowaniu 60 kg N·ha<sup>-1</sup>.

2. Korzystny wpływ stosowania siarki na plon nasion stwierdzono po wyłącznym stosowaniu siarki oraz w jej kombinacji z 30 kg N·ha<sup>-1</sup> aplikowanego pogłównie.

3. Największą nadwyżkę bezpośrednią uzyskano po zastosowaniu 60 kg N·ha<sup>-1</sup>, a dodatek siarki nie miał istotnego znaczenia. Średnio w doświadczeniu nawożenie siarką nie wpływało istotnie na wartość nadwyżki bezpośredniej ani na wskaźnik efektywności ekonomicznej.

4. Wskaźnik efektywności rolniczej oraz końcowej nawożenia azotem bez dodatku siarki był najwyższy dla dawki 30 kg N·ha<sup>-1</sup> zastosowanej przedsięwzię. Natomiast w warunkach nawożenia siarką największą efektywność rolniczą i końcową azotu uzyskano dla dawki 30 kg N·ha<sup>-1</sup>, ale zastosowanej na początku wypełniania nasion.

5. Zarówno efektywność rolnicza, jak i efektywność końcowa nawożenia siarką była największa w kombinacji z dawką 30 kg N·ha<sup>-1</sup> azotu wniesioną pogłównie.

#### PIŚMIENNICTWO

- Barczak B., 2010. Siarka jako składnik pokarmowy kształtujący wielkość i jakość plonów wybranych roślin uprawnych. Wyd. UTP Bydgoszcz, Rozpr. Nauk. 144, 7–131, [http://wu.utp.edu.pl/uploads/oferta/144\\_BARCZAK\\_Bozena\\_HABILITACJA\\_144.pdf](http://wu.utp.edu.pl/uploads/oferta/144_BARCZAK_Bozena_HABILITACJA_144.pdf) [dostęp 26.02.2019].
- Barczak B., Klikocka H., Kozera W., Knapowski T., 2018. Assessment of the effect of sulphur fertilization on the yield and micronutrient accumulation of oat grain. J. Elem. 23(1), 45–56, DOI: 10.5601/jelem.2017.22.1.1318.
- Barczak B., Nowak K., Moskal M., 2017. Ocena stanu odżywienia łubinu wąskolistnego siarką w fazie dojrzałości pełnej w warunkach nawożenia tym składnikiem. Fragm. Agron. 34(3), 25–32, [http://www.up.poznan.pl/pta/pdf/2017/FA34\(3\)2017Barczak.pdf](http://www.up.poznan.pl/pta/pdf/2017/FA34(3)2017Barczak.pdf) [dostęp 26.02.2019].
- Barczak B., Skinder Z., Piotrowski R., 2016. Sulphur as a factor that affects nitrogen effectiveness in spring rapeseed agrotechnics. Part II. Yield of seeds and protein. Acta Sci. Pol., Agric. 15(4), 3–14, <http://agricultura.acta.utp.edu.pl/index.php/agricultura/article/view/43/20> [dostęp 26.02.2019].
- Czerwińska-Kayzer D., Florek J., 2012. Opłacalność wybranych upraw roślin strączkowych, Fragm. Agron. 29(4), 36–44, [http://www.up.poznan.pl/pta/pdf/2012/FA29\(4\)2012\\_Czerwinska.pdf](http://www.up.poznan.pl/pta/pdf/2012/FA29(4)2012_Czerwinska.pdf) [dostęp 26.02.2019].
- Dobek T.K., Dobek M., Wojciechowska J., 2009. Ekonomiczne i energetyczne aspekty produkcji soi w warunkach polskiego rolnictwa. Inż. Rol. 6(115), 37–43.
- Faligowska A., Szukała J., 2010. Wpływ szczepienia nasion i nawożenia azotem na cechy biometryczne roślin strączkowych. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 550, 201–209, <http://www.zppnr.sggw.pl/550.pdf> [dostęp 26.02.2019].
- Jarecki W., Bobrecka-Jamro D., 2015a. Effect of fertilization with nitrogen and seed inoculation with nitragina on seed quality of soya bean (*Glicine max* (L.) Merrill). Acta Sci. Pol., Agric. 14(3), 51–59, [http://old-agricultura.acta.utp.edu.pl/uploads/pliki/14\(3\)2015\\_Jarecki.pdf](http://old-agricultura.acta.utp.edu.pl/uploads/pliki/14(3)2015_Jarecki.pdf) [dostęp 26.02.2019].
- Jarecki W., Bobrecka-Jamro D., 2015b. Reakcja roślin bobiku na dawkę startową azotu oraz dokarmianie dolistne. Fragm. Agron. 32(3), 55–53, [http://www.up.poznan.pl/pta/pdf/2015/FA32\(3\)2015Jarecki.pdf](http://www.up.poznan.pl/pta/pdf/2015/FA32(3)2015Jarecki.pdf) [dostęp 26.02.2019].
- Kahraman A., 2017. Nutritional value and foliar fertilization in soybean. J. Elem. 22(1), 55–66, DOI: 10.5601/jelem.2016.21.1.1106.
- Klikocka H., Cybulska M., Nowak A., 2017. Efficiency of fertilization and utilization of nitrogen and sulphur by the spring wheat. Pol. J. Environ. Stud. 26(5), 2029–2036, DOI: 10.15244/pjoes/69942.
- Lorenc-Kozik A.M., Pisulewska E., 2003. Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem i mikroelementami na plonowanie wybranych odmian soi. Oilseed Crop 24, 131–142. [http://biblioteka.ihar.edu.pl/oilseed\\_crops.php](http://biblioteka.ihar.edu.pl/oilseed_crops.php)



- Luboiński A., Markowicz M., 2017. Wpływ systemu nawożenia azotem na plonowanie trzech odmian soi (*Glycine max* L. Merr.). *Fragm. Agron.* 34(3), 66–75, [http://www.up.poznan.pl/pta/pdf/2017/FA34\(3\)2017Luboiniski.pdf](http://www.up.poznan.pl/pta/pdf/2017/FA34(3)2017Luboiniski.pdf) [dostęp 26.02.2019].
- Martyniuk S., Kozieł M., Stalenga J., 2013. Wpływ różnych szczepów bakterii symbiotycznych na plony i brodawkowanie łubinu i soi. *J. Res. Applic. Agric. Engin.* 58(4), 67–70.
- Podleśna A., Kocoń A., 2009. The effects of sulfur and nitrogen on yield and quality of winter oilseed rape. In: *Sulfur metabolism in higher plants*, Margraf Publishers, Werkeisheim, 123–127.
- Podleśna A., Podleśny J., Klikocka H., 2017. Wpływ nawożenia siarką i azotem na azotowo-fosforową gospodarkę kukurydzy. *Przem. Chem.* 96(6), 1374–1377, DOI: 10.15199/62.2017.6.32.
- Potarzycki J., 2004. Rola siarki z superfosfatu prostego w nawożeniu jęczmienia jarego. Cz. II. Wykorzystanie azotu i siarki z nawozów. *Nawozy Nawoż./Fer. Fertiliz.* 4(17), 193–205. [www.minrol.pl](http://www.minrol.pl)
- Wysokiński A., Kalembsa S., Symanowicz B., 2013. Dynamika gromadzenia azotu z różnych źródeł przez groch siewny (*Pisum sativum* L.). *Fragm. Agron.* 30(2), 162–169, [http://www.up.poznan.pl/pta/pdf/2013/FA30\(2\)2013Wysokiniski.pdf](http://www.up.poznan.pl/pta/pdf/2013/FA30(2)2013Wysokiniski.pdf) [dostęp 26.02.2019].
- Rutkowska A., 2004. Studia nad nawożeniem azotem pszenicy ozimej. *Nawozy Nawoż./Fert. Fertiliz.* 4 (21), 5–93.
- Scherer H.W., Pacyna S., Spoth K.R., Schulz M., 2008. Low levels of ferredoxin, ATP and leghemoglobin contribute to limited N<sub>2</sub> fixation of peas (*Pisum sativum* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) under S deficiency conditions. *Biol. Fertil. Soils* 44, 909–916.
- Zhao F.J., Wood A.P., McGrath S.P., 1999. Sulphur nutrition of spring peas. *Asp. Appl. Biol.* 56, 189–194.

Badania finansowane z dotacji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach działalności statutowej Katedry Technologii Produkcji Roślinnej i Towaroznawstwa, projekt nr RKS/DS/6.

**Summary.** Soybean is a very valuable crop. Nitrogen and sulfur are important nutrients necessary to make the full use of soybean yielding potential. The aim of the research was to assess the agricultural and economic efficiency of nitrogen and sulfur fertilization used in soybean cultivation. The paper presents data obtained from a field experiment conducted in 2015–2017, in which the following factors were analyzed: I. Dose of nitrogen: 0, 30 and 60 kg ha<sup>-1</sup>, II. Dose of sulfur: 0 and 40 kg ha<sup>-1</sup>. To determine the efficiency, a direct surplus, and the agronomic and final efficiency of nitrogen and sulfur fertilization were calculated. It was shown that the dose of 30 kg ha<sup>-1</sup> of nitrogen significantly increased the soybean yield compared to the combination without nitrogen fertilization, while the date of application was not significant. The highest soybean yields were obtained at a dose of 60 kg N ha<sup>-1</sup>. The beneficial effect of sulfur was found in combination without nitrogen fertilization and with a dose of 30 kg N ha<sup>-1</sup> applied as top dressing. The index of agricultural and final efficiency of nitrogen fertilization with no added sulfur was the highest for a dose of 30 kg ha<sup>-1</sup> applied pre-sowing, while under conditions of combined use of sulfur for a dose of 30 kg ha<sup>-1</sup>, but applied at the beginning of seed filling phase.

**Key words:** soybean, nitrogen, sulfur, economic efficiency, agronomic efficiency

Otrzymano/ Received: 28.02.2019  
Zaakceptowano/ Accepted: 31.03.2019