

WPLYW ZAPRAWIANIA NASION NAWOZEM MIKROELEMENTOWYM NA ZAWARTOŚĆ CHLOROFILU W LIŚCIACH ORAZ PLON NASION SOI

AGNIESZKA BRZEZIŃSKA¹, ANIKA MROZEK-NIEĆKO

PPC ADOB Sp. z o.o. Sp. k. ul. Kołodzieja 11, 61-070 Poznań

Synopsis. Doświadczenia polowe prowadzono w latach 2016–2017 w Polowej Stacji Doświadczalnej Instytutu Ochrony Roślin-Państwowego Instytutu Badawczego w Winnej Górze. Nasiona soi odmiany Merlin i Augusta zaprawiono przedsiawnie, Nitraginą (dawka 300 g·ha⁻¹) i mikroelementowym nawozem nasiennym (dawka 250 ml·100 kg⁻¹ nasion). Rośliny, zostały nawiezione także mikroelementowym nawozem nalistnym w dwóch fazach wzrostu: BBCH 41 i 61 (dawka nawozu odpowiednio 2 l·ha⁻¹ i 4 l·ha⁻¹). Po drugim zabiegu nalistnym w młodych liściach soi oznaczono zawartość chlorofilu oraz stężenie azotu i magnezu. Przeprowadzone doświadczenia potwierdziły pozytywny wpływ stosowania nawożenia nalistnego na wzrost stężenia magnezu oraz na zawartość chlorofilu w liściach soi. Zaobserwowano zależność między wzrostem zawartości chlorofilu w liściach wraz ze wzrostem stężenia magnezu. Nie odnotowano podobnej zależności między zawartością chlorofilu a stężeniem azotu w liściach, które pomimo nawożenia dogłębowego było na stałym poziomie. Po zbiorze określono wysokość plonu nasion soi dla każdej kombinacji doświadczalnej. Najwyższy plon zebrano na poletkach, na których rośliny nawożone były zarówno mikroelementowym nawozem nasiennym i nawozem nalistnym.

Słowa kluczowe: soja, chlorofil, nawożenie mikroelementowe

WSTĘP

Ze względu na rosnące zapotrzebowanie na produkty wysokobiałkowe w żywieniu ludzi i zwierząt, uprawa soi (*Glycine max* (L.) Merr) na świecie systematycznie rośnie. Od kilku lat obserwuje się wzrost zainteresowania uprawą soi również w Polsce. Opracowanie skutecznego nawożenia w polskim agroklimacie jest trudne ze względu na zmienne warunki atmosferyczne i słabą jakość gleby. Zastosowanie odpowiednio dobranej kombinacji nawozowej może znacząco zwiększyć plon oraz korzystnie wpłynąć na skład nasion soi [Jarecki i Bobrecka-Jamro 2015].

Chlorofil to główny, zielony barwnik fotosyntetyczny występujący w chloroplastach. W liściach roślin występuje kilka rodzajów chlorofilu. Najbardziej rozpowszechniony jest chlorofil a, który występuje u większości roślin. Chlorofil b stanowi około 30% całkowitej ilości chlorofilu a i charakteryzuje rośliny wyższe. Pierwiastkiem niezbędnym do prawidłowego wzrostu chlorofilu obok azotu, jest magnez. Jon magnezu zajmuje centralne miejsce w strukturze chlorofilu i łączy się z atomami azotu wiązaniami koordynacyjnymi, typowymi dla kompleksów i chelatów [Myśliwa-Kurdziel i Gabruk 2011, Strzałka 2012]. Niedobór magnezu w liściach może zakłócić przebieg fotosyntezy, co w konsekwencji prowadzi do słabszego wzrostu, rozwoju oraz plonowania roślin. W liściach soi najwyższe zawartości chlorofilu odnotowuje się w fazie wzrostu i rozwoju liści trójdzielnych oraz w fazie kwitnienia. Po tym okresie obserwuje się spadek zawartość chlorofilu w liściach [Nowak i Wróbel 2009].

¹ Adres do korespondencji – *Corresponding address:* agnieszka.brzezinska@adob.com.pl

Bakterie (*Bradyrhizobium japonicum*) znajdujące się w brodawkach na korzeniach soi pochłaniają azot atmosferyczny i redukują go do formy amonowej, całkowicie przyswajalnej przez rośliny [Stasiak i in. 2016]. Najbardziej efektywna redukcja azotu atmosferycznego przez bakterie odbywa się w fazie kwitnienia roślin. W początkowych fazach rozwoju soi, przed pełnym wykształceniem brodawek aktywność bakterii jest ograniczona. Roślina pobiera azot głównie z gleby, stąd duże znaczenie ma odpowiednia zasobność gleby pod uprawę soi w ten pierwiastek. W polskich glebach przypadki występowania bakterii brodawkowych są nieliczne i słabo udokumentowane [Martyniuk 2012]. Korzystnie na rozwój bakterii wpływa przedsiewne szczepienie nasion, np. Nitraginą [Jarecki i Bobrecka-Jamro 2016]. Wiązanie azotu przez bakterie wspomaga rozwój roślin na glebach ubogich w ten pierwiastek, bez konieczności ciągłego nawożenia [Kunert i in. 2016]. W uprawie soi ważną rolę odgrywa zrównoważone nawożenie azotem; zbyt intensywne dawkowanie tego składnika może działać ograniczająco na rozwój brodawek lub całkowicie zahamować ich wzrost [Gai i in. 2017, Korsak-Adamowicz i in. 2007, Kumar i in. 2013].

Celem doświadczenia było zbadanie wpływu działania mikroelementowej zaprawy nasiennej i mikroelementowego nawozu nalistnego na zawartość chlorofilu oraz stężenie azotu i magnezu w liściach soi odmiany Augusta i Merlin. Ponadto, celem było określenie wysokości plonu nasion soi w zależności od zastosowanej kombinacji nawozowej.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenia polowe prowadzono w latach 2016–2017 w Polowej Stacji Doświadczalnej (PSD) IOR-PIB w Winnej Górze (52°21' N, 17°43' E; województwo wielkopolskie, powiat średzki), w układzie bloków losowych, kompletnych w czterech powtórzeniach. Badania prowadzono niezależnie na dwóch odmianach soi: Augusta i Merlin. Nasiona wysiano na poletkach o wielkości 16,5 m² w rozstawie rzędów 25 cm, na głębokości około 4 cm z normą wysiewu dla nasion soi 100–120 kg nasion·ha⁻¹ (obsada roślin na poziomie 80–90 roślin·m⁻²). Gleba, pod uprawę soi pod względem kategorii agronomicznej była glebą średnią (głina, lekko pylasta) a wartość pH zawierała się w zakresie 6,1–6,5. Poziom zasobności gleby w podstawowe składniki pokarmowe: N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B i Mo oznaczono w obu latach doświadczeń zgodnie z metodami zawartymi w katalogu Polskiego Komitetu Normalizacyjnego. Zawartości poszczególnych pierwiastków po ekstrakcji gleby oznaczono na analizatorze ASA 400 firmy Perkin Elmer, natomiast pH gleby zgodnie z PN-ISO 10390. Nasiona soi pochodziły z zasobów PSD w Winnej Górze. Były to nasiona jednoroczne, w których oznaczono zawartość makro i mikroelementów przed wysiewem. Nasiona soi, na wybranych obiektach doświadczalnych zaprawiono przed siewem mikroelementową zaprawą nasienną w dawce 250 ml·100 kg⁻¹ nasion. Równoległe z zaprawą nasienną, nasiona zaszczerpiono bakteriami *Bradyrhizobium japonicum* (Nitragina z IUNG-PIB w Puławach w dawce 300 g·ha⁻¹). Nasiona zaprawiane były na chwilę przed wysiewem. Nie stosowano chemicznych zapraw grzybobójczych.

Zastosowane mikroelementowe zaprawy nasienne miały następujący skład:

ZN1: B – 0,2%; Fe – 0,1%; MgO – 1%; Mo – 0,1%; Zn – 1,5%; N – 2% m/m

ZN2: B – 0,2%; Cu – 0,2%; Fe – 0,1%; MgO – 1%; Mn – 1%; Mo – 0,1%; Zn – 1,5%; N – 2% m/m

W obu zaprawach nasiennych B, Mo, Fe, MgO, Zn i N wprowadzono na tym samym poziomie stężeń. Zaprawy różniły się zawartością miedzi i manganu, mikroelementy te wprowadzono w celu potwierdzenia ich hamującego wpływu na aktywność bakterii brodawkowych szczególnie w początkowych fazach rozwoju, co w konsekwencji wpływa na wysokość plonu soi [Bethlenfalvay i Franson 1989, Sanchez-Pardo i in. 2012].

Aplikację nalistną nawozem mikroelementowym wykonano w dwóch terminach, gdy rośliny znajdowały się w następujących stadiach rozwoju: BBCH 41 i BBCH 61. Dawka nawozu wynosiła 2 l·ha⁻¹ podczas pierwszego zabiegu nawożenia nalistnego oraz 4 l·ha⁻¹ podczas drugiego zabiegu. Zastosowany mikroelementowy nawóz nalistny (ND) miał następujący skład: B – 0,2%; Cu – 0,2%; Fe – 0,1%; MgO – 1%; Mn – 1%; Mo – 0,1%; Zn – 1,5%; N – 2% m/m.

Do nawozu nalistnego, w celu ułatwienia pobrania mikroelementów przez liście, dodano mieszaninę surfaktantów w dawce 15 ml·l⁻¹ nawozu. Zaprawa nasienne i nawóz nalistny zawierały mikroskładniki w formie łatwo przyswajalnych dla roślin chelatów. Składy nawozów mikroelementowych użytych w prowadzonych doświadczeniach dobrano na podstawie zapotrzebowania liści soi na określone składniki pokarmowe [Bergmann 1992]. Skład stosowanej zaprawy nasiennej i nawozu nalistnego został wzbogacony o bor i molibden. Mikroelementy te korzystnie wpływają na rozwój bakterii, szczególnie w początkowych fazach rozwoju soi [Yamagishi i Yamamoto 1994].

W schemacie doświadczenia uwzględniono obiekt kontrolny, nie nawożony nawozami mikroelementowymi, którego nasiona przed siewem zaprawiono jedynie bakteriami. Kolejne obiekty stanowiły rośliny zaprawione bakteriami i mikroelementowymi zaprawami nasiennymi (ZN1 lub ZN2) oraz te, na których zastosowano kombinację zaprawy nasiennej i nawozu nalistnego (ZN1+ND lub ZN2+ND). Rośliny z wszystkich obiektów doświadczalnych nawieziono pomiędzy pierwszym a drugim zabiegiem nalistnym, saletrą amonową w dawce 30 kg N·ha⁻¹. Zabieg ten wykonano tylko jeden raz podczas całego okresu wegetacyjnego roślin. Wykaz polowych obiektów doświadczalnych oraz formy ich nawożenia zebrano w tabeli 1.

Sprawdzano wpływ działania zaprawy nasiennej i nawozu nalistnego na zawartość chlorofilu oraz stężenie azotu i magnezu w liściach soi. Materiał roślinny został pobrany kilka dni po drugim zabiegu nalistnym. Liście do analiz chlorofilu dokładnie zabezpieczono i zamrożono zaraz po pobraniu. Chlorofil oznaczono w nich na drugi dzień po pobraniu. Świeże liście do analiz azotu i mikroelementów po pobraniu dokładnie umyto, a następnie wysuszono w suszarce w temperaturze 50°C przez 48 h. Tak przygotowany materiał roślinny zmielono w młynku elektrycznym. Próbkę do oznaczania wszystkich składników poza azotem zmineralizowano z dodatkiem stężonego kwasu azotowego w mineralizatorze Mars 6 firmy CEM. Po mineralizacji w liściach soi oznaczono stężenie następujących mikroelementów: Fe, Mn, Zn, Cu, B i Mo

Tabela 1. Wykaz polowych obiektów doświadczalnych oraz formy ich nawożenia

Table 1. A list of field experimental objects and forms of their fertilization

Obiekt Object	Nitragina (<i>Bradyrhizobium japonicum</i>)	Mikroelementowa zaprawa nasienne Microelemental seed primer	Mikroelementowy nawóz nalistny Microelemental foliar fertilizer	Saletra amonowa Amonium sulphate
K*	+	-	-	+
ZN1	+	+	-	+
ZN2	+	+	-	+
ZN1+ND	+	+	+	+
ZN2+ND	+	+	+	+

K* – Kontrola/Control; ZN1, ZN2 – Nasiona zaprawianie mikroelementowym nawozem nasiennym/Seeds treated with a microelemental seed primer; ZN1+ND, ZN2+ND – Nasiona zaprawianie mikroelementowym nawozem nasiennym i nawożone nalistnie/Seeds treated with a microelemental seed primer and a foliar fertilizer

metodą ICP-OES model iCAP OES ASX-560 firmy Thermo Scientific. Azot całkowity oznaczono po mineralizacji z dodatkiem kwasu siarkowego na analizatorze elementarnym Vario Max CNS firmy Elementar. Zawartość chlorofilu a i b w liściach oznaczono spektrofotometrycznie na spektrofotometrze DR 5000 firmy HACH Lange. Zawartość chlorofilu a mierzono przy długości fali 663 nm, a chlorofilu b przy 645 nm. Na tej podstawie określono sumę chlorofilu a i b. Pomiar chlorofilu oraz analizę stężenia azotu i magnezu w liściach wykonano w trzech powtórzeniach z każdego poletka doświadczalnego dla dwóch odmian soi. Dodatkowo kilka dni po drugim zabiegu nalistnym w świeżo zebranych roślinach policzono brodawki na korzeniach soi.

Dane dotyczące wysokości plonów nasion soi poddano analizie wariancji. Wyniki testu Fishera oceniano na poziomie istotności $p=0,05$. Po stwierdzeniu istotnych różnic dokonano porównania średnich za pomocą testu HSD Tukeya. Obliczenia wykonano wykorzystując program komputerowy ARM (Agriculture Research Manager). Dane dotyczące zawartości magnezu, azotu i chlorofilu w liściach nie poddano analizie wariancji. Zaprezentowane wyniki są wynikami średnimi z czterech niezależnych powtórzeń doświadczalnych.

WYNIKI I Dyskusja

Soja jest rośliną o dużych wymaganiach klimatycznych, sprzyjające warunki pogodowe jak ciepłe, słoneczne dni, brak suszy, wpływają korzystnie na rozwój roślin [Fenta i in. 2014, Kunert i in. 2016]. Rok 2016 i 2017 cechowały zbliżone wartości temperatury, jednak różnice w obu latach doświadczeń widoczne są w sumie opadów (tab. 2). Rok 2017 obfitował w wyższe, średnie miesięczne opady w porównaniu z rokiem 2016. W roku 2016 był wysoki poziom opadów w lipcu na poziomie 115 mm, w okresie najintensywniejszego rozwoju roślin. W pozostałych miesiącach suma opadów była na kilkukrotnie niższym poziomie.

Tabela 2. Dane dotyczące warunków pogodowych w latach 2016–2017 zebrane na terenie PSD IOR-PIB w Winnej Górze

Table 2. Data on weather conditions in 2016–2017 collected at the PDS IOR-PIB in Winna Góra

Miesiąc Month	2016		2017	
	Temperatura Temperature (°C)	Opady Rainfall (mm)	Temperatura Temperature (°C)	Opady Rainfall (mm)
V	15,9	27,3	14,2	64,3
VI	19,1	32,5	18,1	51,1
VII	19,5	115,9	18,6	77,1
VIII	18,3	18,5	19,7	76,8
IX	16,9	15,2	13,9	54,2

Zawartość chlorofilu (a+b) w liściach odmiany Augusta i Merlin zestawiono w tabelach 3 i 4. Zawartość chlorofilu w liściach soi oznaczono po drugim zabiegu nawożenia nalistnego. Liście próby kontrolnej, nieaplikowane nawozem, charakteryzowały się zawartością chlorofilu na niższym poziomie niż liście z obiektów nawożonych.

Tabela 3. Zawartość chlorofilu a+b ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ś.m.) oraz stężenie N ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) i Mg ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) w liściach soi odmiany Augusta

Table 3. The content of a+b chlorophyll ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ fresh mass) and the concentration of N ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) and Mg ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) in leaves of Augusta

Obiekt Object	2016			2017		
	Chlorofil Chlorophyll	N	Mg	Chlorofil Chlorophyll	N	Mg
K	890	30,0	1,99	807	31,9	4,04
ZN1	960	29,4	2,75	902	30,7	4,34
ZN2	1019	29,4	2,60	906	32,2	4,51
ZN1+ND	1059	31,2	2,69	1060	32,6	4,59
ZN2+ND	1050	29,9	2,40	1058	31,3	4,38

* – oznaczenia jak w tabeli 1/explanation as table 1

Tabela 4. Zawartość chlorofilu a+b ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ś.m.) oraz stężenie N ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) i Mg ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) w liściach soi odmiany Merlin

Table 4. The content of a+b chlorophyll ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ fresh mass) and the concentration of N ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) and Mg ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) in leaves of Merlin

Obiekt Object	2016			2017		
	Chlorofil Chlorophyll	N	Mg	Chlorofil Chlorophyll	N	Mg
K	890	30,4	2,00	841	31,0	4,82
ZN1	960	31,7	2,24	963	33,0	5,72
ZN2	1022	33,8	2,21	961	31,3	6,00
ZN1+ND	1059	32,1	2,35	1060	30,1	6,13
ZN2+ND	1056	32,2	2,19	1050	30,7	5,94

* – oznaczenia jak w tabeli 1/explanation as table 1

Liście odmiany Merlin z obiektów kontrolnych miały wyższą zawartość chlorofilu w porównaniu z odmianą Augusta. Wynikać to może z różnic w budowie morfologicznej liścia między odmianami [Nowak i Wróbel 2010]. Najwyższą zawartość chlorofilu w liściach odnotowano dla roślin z obiektów, na których zastosowano kombinację szczepienia nasion bakteriami i zaprawą mikroelementową w połączeniu z późniejszą aplikacją dolistną (ZN+ND). Stężenie chlorofilu w liściach z tych obiektów kształtowało się na poziomie $1050 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ i było średnio o 25% wyższe niż zawartość chlorofilu w liściach kontrolnych.

Zastosowanie nawożenia nalistnego (ND) wpłynęło na zwiększenie zawartości chlorofilu w liściach soi odmiany Augusta i Merlin w porównaniu z nieaplikowaną kontrolą, średnio o ponad 25%. W liściach prób nawożonych jedynie nawozem nasiennym (ZN) widoczny jest również wzrost zawartości chlorofilu w porównaniu z kontrolą, jednak niższy niż dla kombina-

cji ZN+ND. Wprowadzenie do składu jednego z nawozów nasiennych (ZN2) miedzi i manganu nie wpłynęło na zawartość chlorofilu w liściach obu odmian. W przypadku stosowania ZN1 i ZN2 chlorofil w liściach oznaczono na podobnym poziomie. Nowak i Wróbel [2010] oraz Fu i in. [2000] potwierdzają, że zawartość chlorofilu zależy od fazy rozwojowej rośliny. Do wzrostu zawartości chlorofilu w liściach soi mogą przyczynić się sprzyjające warunki atmosferyczne i zrównoważone nawożenie.

Poza zawartością chlorofilu oznaczono również stężenie azotu i magnezu w liściach soi. Nawożenie nawozem mikroelementowym wzbogaconym w magnez spowodowało wyraźny wzrost stężenia chlorofilu w liściach soi. Wzrost zawartości chlorofilu nie był związany ze wzrostem stężenia azotu w liściach. Widoczny był natomiast wzrost stężenia magnezu wraz ze wzrostem chlorofilu w liściach prób nawożonych. Na zawartość chlorofilu poza stężeniem azotu i magnezu mogą mieć wpływ również cechy morfologiczne roślin oraz czynniki środowiskowe. Stężenie azotu oznaczone we wszystkich liściach było w obu latach doświadczeń na niskim poziomie i wynosiło średnio $30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Prawidłowy zakres stężenia azotu w liściach soi powinien wynosić $45\text{--}55 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ [Bergmann 1992]. Podaje się, że uprawa soi powinna opierać się na zrównoważonym nawożeniu azotem, szczególnie w początkowych fazach rozwoju roślin [Mieshekari 2013]. Pozytywny wpływ na stężenie azotu w liściach soi ma szczepienie nasion bakteriami [Pierozan i Favarin 2015, Luboiński i Markiewicz 2017]. Nawożenie nalistne nie wpłynęło na wzrost zawartości azotu w liściach. Rośliny nie miały jednak oznak niedoborów, dlatego pomimo braku wyraźnego wzrostu stężenia azotu w liściach, nie zaobserwowano także spadku jego zawartości podczas intensywnego wzrostu i rozwoju roślin. Rośliny pobierały azot z powietrza, poprzez działalność bakterii, lub ten dostępny w glebie. Stężenie azotu wprowadzonego podczas aplikacji nalistnych było na zbyt niskim poziomie by mogło znacząco wpłynąć na wzrost zawartości oznaczonego azotu w liściach soi. Stosowane zaprawy nasienne i nawozy nalistne były wzbogacone w magnez. Stężenie magnezu we wszystkich nawozach było na takim samym poziomie i wynosiło $1\% \text{ MgO}$. Prawidłowe stężenie magnezu w liściach soi powinno wynosić $3\text{--}7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ [Bergmann 1992]. W 2017 roku oznaczone stężenie magnezu we wszystkich obiektach odmiany Augusta i Merlin było ponad dwukrotnie wyższe niż w 2016 roku i wynosiło średnio $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Zawartość magnezu oznaczonego w liściach kontrolnych była niższa niż w liściach roślin traktowanych nawozem. Na wszystkich obiektach, na których zastosowano nawożenie nasienne lub nalistne można było zaobserwować wzrost zawartości magnezu w liściach soi obu odmian. W 2017 roku odnotowano wzrost stężenia magnezu na wszystkich obiektach doświadczalnych soi w porównaniu z rokiem 2016. Skład chemiczny gleby nie miał wpływu na wzrost stężenia magnezu w liściach, gdyż w dwóch latach badań był zbliżony i wynosił $15\text{--}18 \text{ mg Mg na } 100 \text{ g gleby}$.

Zbyt duże nawodnienie roślin może powodować spadek zawartości mikroelementów i chlorofilu w liściach [Michałek i Sawicka 2005]. Zjawisko takie może występować podczas intensywnych opadów deszczu przez dłuższy czas. Porównując wyniki analiz liści z tych samych kombinacji doświadczalnych, dwóch odmian soi nie zaobserwowano znaczących różnic w stężeniu azotu i chlorofilu, wynikających z różnic w ilości opadów w dwóch latach badań. Różnice są widoczne w przypadku stężenia magnezu w liściach. W 2016 roku podczas zabiegów nalistnych suma opadów była o ponad $1/3$ wyższa niż w roku 2017 i wynosiła ponad 115 mm . Intensywne opady powodują obniżenie efektywności aplikacji nalistnej, przez wymywanie części nawozu z powierzchni liścia, co w konsekwencji mogło doprowadzić do obniżenia koncentracji magnezu. Efekt ten nie miał wpływu na zawartość azotu, który mógł być pobierany w wystarczających ilościach z gleby lub przez bakterie z powietrza.

Zawartości pozostałych oznaczonych mikrośladników w liściach były na prawidłowym poziomie stężeń i mieściły się w optymalnym zakresie dla soi: B – $25\text{--}60$, Cu – $10\text{--}20$, Mn – $30\text{--}100$, Zn – $25\text{--}60 \text{ (mg} \cdot \text{kg}^{-1})$ [Bergmann 1992].

Tabela 5. Plon nasion soi ($t \cdot ha^{-1}$) odmiany Augusta i Merlin
 Table 5. Soybean yield ($t \cdot ha^{-1}$) in Augusta and Merlin

Obiekt Object	Augusta		Merlin	
	2016	2017	2016	2017
K	2,30	3,02	2,98	4,84
ZN1	2,45	3,15	3,10	5,14
ZN2	2,46	3,19	3,11	4,98
ZN1+ND	2,83	3,85	3,76	5,58
ZN2+ND	2,41	3,50	3,18	5,03
NIR _{0,05} /LSD _{0,05}	0,07	0,16	0,15	0,14

* – oznaczenia jak w tabeli 1/explanation as table 1

W obu latach badań po zbiorze określono wysokość plonu nasion soi. Wysokość plonu policzono z uwzględnieniem wilgotności nasion na poziomie 13%. Podane wartości plonu są liczbami średnimi dla każdego obiektu z czterech poletek doświadczalnych.

W 2017 roku zebrany plon soi był wyższy dla obu odmian z każdego obiektu doświadczalnego niż w 2016 roku (tab. 5). Dla odmiany Augusta wzrost plonu wyniósł średnio około 23%, dla odmiany Merlin średnio około 35% w porównaniu z wysokością plonu w roku 2016. Wpływ na to może mieć wysokość opadów, która w 2017 roku była na stałym poziomie 55–75 mm przez cały okres wegetacyjny roślin, natomiast w 2016 roku poza wysokimi opadami w lipcu (115 mm) średnia ilość opadów w pozostałych miesiącach była na znacznie niższym poziomie i wynosiła zaledwie 15–30 mm. Intensywne opady w lipcu 2016 roku mogły spowodować obniżenie efektywności aplikacji nalistnych, przez wymywanie części nawozu z powierzchni liścia, co w konsekwencji mogło doprowadzić do obniżenia wysokości plonu soi. Najwyższy plon w obu latach badań dla dwóch odmian soi uzyskano dla obiektu, na którym zastosowano kombinację mikroelementowego nawozu nasiennego, bez dodatku miedzi i manganu, w połączeniu z nawożeniem nalistnym (ZN1+ND). Dla tej kombinacji również zawartości oznaczonego chlorofilu i magnezu w liściach były najwyższe, co mogło mieć znaczący wpływ na wysokość uzyskanego plonu. Zastosowanie kombinacji Nitraginy z mikroelementowym nawozem nasiennym i nalistnym wpływa na zwiększenie zawartości mikrośladników w liściach soi, co przekłada się na zwiększenie plonu soi [Jarecki i in. 2016].

Szczepienie nasion bakteriami i zaprawianie mikroelementowym nawozem nasiennym oraz dwukrotna aplikacja nawozem nalistnym, pozwoliła zapewnić roślinom optymalne warunki do rozwoju. Zastosowanie pełnej kombinacji nawozowej wpłynęło korzystnie na rozwój bakterii brodawkowych na korzeniach oraz wzrost zawartości chlorofilu w liściach. Mikroelementowa zaprawa nasenna, stosowana w uprawie soi nie powinna zawierać miedzi i manganu, które działają szkodliwie na żywotność bakterii. Dodatek tych mikroelementów do nawozu nalistnego jest jednak wskazany ze względu na ich korzystny wpływ na prawidłowy wzrost i rozwój roślin. Nawożenie wpłynęło korzystnie na wzrost stężenia magnezu oraz zawartość chlorofilu w liściach soi, a także na zwiększenie liczby wytworzonych brodawek na korzeniach. Według Lorenc-Kozik i Pisulewskiej [2003] nawożenie mikroelementowe powoduje zwiększenie liczby bakterii, co wpływa na wzrost liczny nasion w strąkach. Niedobór mikroelementów w roślinach prowadzi do zaburzenia rozwoju oraz spadku odporności na warunki stresowe. Aplikację

nalistną w obu latach doświadczeń przeprowadzono dwukrotnie, w dwóch różnych fazach wzrostu soi. Udowodniono, że powtarzalność stosowania zabiegów nawożenia nalistnego wpływa korzystnie na stan odżywienia roślin [Jarecki i Bobrecka-Jamro 2015].

WNIOSKI

1. Zastosowanie nawozów nasiennych i nalistnych zawierających w swoim składzie mikroelementy i magnez, wpłynęło korzystnie na wzrost zawartości chlorofilu i stężenie magnezu w liściach soi. Wzrost zawartości magnezu powodował wzrost zawartości chlorofilu w liściach. Azot nie wpływał bezpośrednio na zawartość chlorofilu.
2. Na wysokość plonu soi korzystny wpływ miał wzrost koncentracji chlorofilu i magnezu w liściach. Zastosowanie pełnej kombinacji nawozowej w postaci mikroelementowego nawozu nasiennego i nawozu nalistnego wpłynęło na wzrost wysokości uzyskanego plonu soi.

PIŚMIENNICTWO

- Bergmann W. (Ed.) 1992. Nutritional Disorders of Plants – Development, Visual and Analytical Diagnosis. Colour Atlas. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart. New York: 374.
- Bethlenfalvay G., Franson R. 1989. Manganese toxicity alleviated by mycorrhizae in soybean. J. Plant Nutr. 12: 953–970.
- Fenta B.A., Beebe S.E., Kunert K.J., Burridge J.D., Barlow K.M., Lynch J.P., Foyer C.H. 2014. Field phenotyping of soybean roots for drought stress tolerance. Agronomy 4: 418–435.
- Fu J., Huang B., Zhang G. 2000. Physiological and biochemical changes during seed filling in relations to leaf senescence in soybean. Biol. Plant. 43: 545–548.
- Gai Z., Zhang J., Li C. 2017. Effects of starter nitrogen fertilizer on soybean root activity, leaf photosynthesis and grain yield. Plos One 12(4).
- Jarecki W., Bobrecka-Jamro D. 2015. Wpływ nawożenia dolistnego na plon i skład chemiczny nasion soi (*Glycine max* (L.) Merrill). Fragm. Agron. 32(4): 22–31.
- Jarecki W., Bobrecka-Jamro D. 2016. Reakcja roślin soi na szczepienie nasion nitryną oraz nawożenie startowe azotem. Nauka Przyr. Technol. 10(1): 1–12.
- Jarecki W., Buczek J., Bobrecka-Jamro D. 2016. Response of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) to bacterial soil inoculants and foliar fertilization. Plant Soil Environ. 62: 422–427.
- Korsak-Adamowicz M., Starczewski J., Dopka D. 2007. Oddziaływanie niektórych zabiegów agrotechnicznych na brodawkowanie soi. Fragm. Agron. 24(3): 232–237.
- Kumar V.C., Vaiyapuri K., Amanullah M.M., Gopalaswamy G. 2013. Influence of foliar spray of nutrients on yield and economics of soybean (*Glycine max* L. Merrill). J. Biol. Sci. 13: 563–565.
- Kunert K.J., Vorster B.J., Fenta B.A., Kibido T., Dionisio G., Foyer C.H. 2016. Drought stress responses in soybean roots and nodules. Front. Plant Sci. 7: 1015.
- Lorenc-Kozik A., Pisulewska E. 2003. Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem i mikroelementami na plonowanie wybranych odmian soi. Rośliny Oleiste 24: 131–142.
- Luboiński A., Markowicz M. 2017. Wpływ systemu nawożenia azotem na plonowanie trzech odmian soi (*Glycine max* (L.) Merr.). Fragm. Agron. 34(3): 66–75.
- Martyniuk S. 2012. Naukowe i praktyczne aspekty symbiozy roślin strączkowych z bakteriami brodawkowymi. Pol. J. Agron. 9: 17–22.
- Michałek W., Sawicka B. 2005. Zawartość chlorofilu i aktywność syntetyczna średnio późnych odmian ziemniaka w warunkach pola uprawnego w środkowo-wschodniej Polsce. Acta Agrophys. 6(1): 183–195.
- Mieshekari B. 2013. Spraying of soybean with nitrogenous fertilizers at earlier flowering stage: an ecof-

- riently fertilization management system to improve crop yield. Leg. Res. 36: 318–322.
- Myśliwa-Kurdziel B., Gabruk M. 2011. Biosynteza chlorofilu: Dwa mechanizmy redukcji protochlorofilidu. Kosmos, Ser. A, Biologia 60(3/4): 435–444.
- Nowak A., Wróbel J. 2010. Wpływ egzogennych regulatorów wzrostu na zawartość barwników asymilacyjnych w liściach trzech odmian soi zwyczajnej (*Glycine max* L. Merr). Rośliny Oleiste/Oilseed Crops 31: 351–359.
- Pierozan Jr.C., Favarin J. 2015. Uptake and allocation of nitrogen applied at low rates to soybean leaves. Plant Soil 393: 83–94.
- Sanchez-Pardo B., Fernandez-Pacula M., Zornoza P. 2012. Copper microlocalisation, ultrastructural alterations and antioxidant responses in the nodules of white lupin and soybean plants grown under conditions of copper excess. Environ. Exp. Bot. 84: 52–60.
- Stasiak G., Mazur A., Koper P., Żebracki K., Skorupska A. 2016. Symbioza rizobów z roślinami bobowatymi. Post. Mikrobiol. 55(3): 289–299.
- Strzałka K. 2012. Fotosynteza i chemosynteza. W: Fizjologia roślin. Kopcewicz J., Lewak S. (red.). PWN Warszawa, 274–444.
- Yamagishi M., Yamamoto Y. 1994. Effect of boron on nodule development and symbiotic nitrogen fixation in soybean plants. Soil Sci. Plant Nutr. 40: 265–274.

A. BRZEZIŃSKA, A. MROZEK-NIEĆKO

THE EFFECT OF SEEDS TREATMENT WITH A MICRONUTRIENT FERTILIZER ON CHLOROPHYLL CONTENT IN LEAVES AND YIELD OF SOYA

Summary

Field experiments were conducted in 2016–2017 at the Field Experimental Station IOR-PIB in Winna Góra. Seeds of soybean species Merlin and Augusta were treated before sowing with Nitragina (dose 300 g·ha⁻¹) and a micronutrient fertilizer (dose 250 ml·100 kg⁻¹ seeds). Plants were fertilized with the microelement foliar fertilizer in two growth stages: BBCH 41 and 61 (dose of the fertilizer: 2 l·ha⁻¹ and 4 l·ha⁻¹, respectively). After the second foliar treatment in the young soybean leaves of both cultivars the following parameters were determined: content of chlorophyll and concentration of nitrogen and magnesium. The conducted experiments confirmed the positive effect of foliar fertilization on the increase in magnesium concentration and on the chlorophyll content in soybean leaves. A relationship was observed between the increase in the content of chlorophyll in the leaves and the increase in the concentration of magnesium. There was no similar relationship between the content of chlorophyll and the concentration of nitrogen in the leaves, which, despite soil fertilization, was stable. After the harvest, the amount of soybean seed yield for each experimental combination was determined. The highest yield was collected on plots where the plants were fertilized with micronutrient fertilizer and foliar fertilizer.

Key words: soybean, chlorophyll, micronutrient fertilizer

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 28.11.2018

Do cytowania – *For citation*

Brzezińska A., Mrozek-Niećko A. 2019. Wpływ zaprawiania nasion nawozem mikroelementowym na zawartość chlorofilu w liściach oraz plon nasion soi. *Fragm. Agron.* 36(1): 7–15.