



¹ Katedra Agronomii, Wydział Rolnictwa i Biotechnologii, Politechnika Bydgoska,
ul. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Polska

² Centrum Badawczo-Rozwojowe ul. Kościelna 1, Śmielin, 89-110 Sadki, Polska
*e-mail: darekjas@pbs.edu.pl

DARIUSZ JASKULSKI¹, IWONA JASKULSKA¹,
EMILIAN RÓŻNIAK²

Ocena innowacyjnych właściwości nawozów dolistnych z dodatkiem żelującym oraz ich oddziaływania na biomasę i plonowanie wybranych roślin uprawnych

Evaluation of innovative properties of foliar fertilizers with a gelling additive
and their impact on biomass and yielding of selected crops

Streszczenie. Nalistna aplikacja składników pokarmowych to ważny i ciągle doskonalony sposób nawożenia roślin. W przeprowadzonych badaniach wykazano, że możliwe jest wprowadzenie do nawozów w formie stałej substancji żelującej, która nada ich roztworom korzystne właściwości przy dolistnym zastosowaniu. Doświadczenia z aplikacją dolistną nawozów 1-NPKMgS + mikro oraz 2-NPKMgS + mikro przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych i polowych. Stwierdzono, że ich 1% wodne roztwory utrzymywały się na liściu słonecznika o blisko 20% dłużej niż roztwory nawozów bez dodatku żelującego. Nalistna aplikacja ocenianych nawozów zwiększyła zawartość składników pokarmowych w biomacie roślin rzodkwi oleistej, w tym żelaza o 14,3%. Maksymalne uzyskane plony ziemniaka, buraka cukrowego, cebuli i rzepaku ozimego wzrosły odpowiednio o 2,3 t · ha⁻¹; 4,2 t · ha⁻¹; 3,2 t · ha⁻¹ i 0,32 t · ha⁻¹ w porównaniu z plonami roślin niedokarmianych dolistnie.

Słowa kluczowe: nawożenie dolistne, nawozy z dodatkiem żelującym, skład chemiczny roślin, plon

WSTĘP

Nawożenie dolistne jest ważnym zabiegiem agrotechnicznym we współczesnych technologiach uprawy roślin rolniczych i ogrodniczych [Haytova 2013, Vasundhara

Cytowanie: Jaskulski D., Jaskulska I., Różniak E., Ocena innowacyjnych właściwości nawozów dolistnych z dodatkiem żelującym oraz ich oddziaływania na biomasę i plonowanie wybranych roślin uprawnych. *Agron. Sci.* 78(2), 69–81. <https://doi.org/10.24326/as.2023.5054>

i Chhabra 2021]. Nalistna aplikacja składników pokarmowych umożliwia ich szybkie pobranie przez rośliny i uzupełnienie niedoborów, zwłaszcza w warunkach ograniczonej aktywności systemu korzeniowego, takich jak niska temperatura, niedostateczna lub nadmierna wilgotność gleby, nieoptymalne pH [Michałojć i Szewczuk 2003, Szewczuk i Michałojć 2003]. Ten sposób nawożenia i dokarmiania roślin jest uzasadniony zarówno ekonomicznie, jak i ze względu na oddziaływanie na środowisko [Fageria i in. 2009], dlatego jest ciągle doskonalony [Lenart i in. 2022]. Postęp dotyczy zarówno samych nawozów dolistnych, jak i cieczy roboczej z ich udziałem. Nowe rozwiązania mają na celu poprawę efektywności pokrycia części zielonych roślin podczas zabiegów dolistnych, wnikania składników pokarmowych do tkanek, a następnie ich alokacji i biologicznego wykorzystania [Fernandez i Brown 2013, Alshaal i El-Ramady 2017]. Równie ważne są warunki produkcji tych nawozów, w tym źródła surowców i dalszej ich logistyki [Patil i Chetan 2018, Matlok i in. 2020]. Prace takie były i są sukcesywnie prowadzone, a w ich efekcie powstają nowe formy użytkowe nawozów, w tym stała czy żelowa [Meurer i in. 2017, Jaskulska i Jaskulski 2019]. Makro- i mikroelementy we współczesnych nawozach dolistnych występują często w formie schelatowanej lub kompleksowej, a nawet nanocząstek [Mahil i in. 2019, Sour i Hatamian 2019, Niu i in. 2021]. Istotnym komponentem nawozów są dodatkowe składniki poprawiające ich parametry oraz właściwości cieczy roboczej. Według Szewczuka i Sugier [2009] mogą być to: dodatkowe składniki mineralne, np. Si, Se, Ti; regulatory wzrostu roślin; emulgatory i środki obniżające napięcie powierzchniowe cieczy oraz zmieniające jej pH; substancje zwiększające przyczepność cieczy opryskowej do liści oraz ułatwiające wnikanie składników do ich tkanek.

Zgodnie z trendem badań nad nawozami wzbogaconymi w dodatki funkcjonalne (smart fertilizers) [Calabi-Floody i in. 2018, Raimondi i in. 2021] założono, że dodatek żelujący do nawozów dolistnych w formie stałej wpłynie korzystnie na ich właściwości, a także na cechy użytkowe cieczy roboczej. Roztwór będzie dłużej utrzymywał się na liściach, co zwiększy pobieranie składników pokarmowych i spowoduje większą efektywność nawożenia.

Celem badań była ocena możliwości formułacji nawozu dolistnego w formie proszku zawierającego dodatek żelujący, a następnie określenie jego właściwości fizykochemicznych i oddziaływania nalistnej aplikacji na biomasę i plonowanie wybranych roślin uprawnych.

MATERIAŁ I METODY

W latach 2020–2022 zespół pracowników naukowych Katedry Agronomii Politechniki Bydgoskiej i Centrum Badawczo-Rozwojowego Agro-Środki-Technika-Technologia wykonał badania przemysłowe i prace rozwojowe, w tym doświadczenia laboratoryjne i polowe zlokalizowane w Śmielinie (53°09'04"N, 17°29'11"E) i gospodarstwach współpracujących. W pierwszym etapie opracowano założenia receptur dwóch nawozów dolistnych w formie stałej (proszek). Nawóz pierwszy (1-NPKMgS + mikro) zawierał (% m/m): N – 15,0, w tym azot azotanowy – 1,5 i azot amidowy – 13,5; P₂O₅ – 15,0; K₂O – 15,0; MgO – 6,0; SO₃ – 12,0; B – 0,04; Cu – 0,12; Fe – 0,25; Mn – 0,20; Zn – 0,15; Mo – 0,003; Co – 0,003, natomiast skład drugiego nawozu (2-NPKMgS+mikro) to: N – 7,0, w tym azot azotanowy – 0,7 i azot amidowy – 6,3;

P_2O_5 – 7,0; K_2O – 7,0; MgO – 7,0; SO_3 – 13,0; B – 0,4; Cu – 1,2; Fe – 2,5; Mn – 2,0; Zn – 1,5; Mo – 0,03; Co – 0,03. W składzie obu nawozów występował dodatek substancji o właściwościach żelujących w formie stałej, o maksymalnej wielkości strat masy przy suszeniu w $105^\circ C$ 15% m/m, w ilości odpowiednio 0,6–0,5% (m/m). Do badań porównawczych przygotowano również nawozy o analogicznej zawartości makro- i mikroelementów, ale bez dodatku żelującego.

W badaniach laboratoryjnych określono gęstość nasypową nawozów, ich barwę, rozpuszczalność w wodzie o temperaturze $10^\circ C$ pozwalającą przygotować opryskową ciecz roboczą, pH roztworów (1%) w wodzie demineralizowanej oraz retencję ich kropli na liściu słonecznika w fazie 6 liści w temperaturze $18^\circ C$ i wilgotności powietrza 40%. Różnicę czasu retencji wyrażono w jednostkach względnych (%), przyjmując za 100% czas wysychania kropli roztworu nawozu bez dodatku żelującego. Ponadto wykonano próbki nawozów w celu określenia ewentualnych zmian zachodzących podczas ich przechowywania przez 6 miesięcy w warunkach nieklimatyzowanego magazynu, w tym w niskiej temperaturze: od $+5^\circ C$ do $-10^\circ C$. Analizę zawartości makroskładników (przed i po magazynowaniu) wykonano z dokładnością do drugiego, mikroelementów do trzeciego, w tym molibdenu i kobaltu do piątego miejsca po przecinku. Wyniki podano natomiast z dokładnością odpowiednio: 0,1; 0,01; 0,001.

W wielkogabarytowej komorze wegetacyjnej (BIOGENET Sp. z o.o.) o kontrolowanych warunkach klimatycznych (światło, temperatura, wilgotność) oceniono wpływ dolistnej aplikacji roztworu nawozów na rośliny rzodkwi oleistej. Rośliny, po 5 szt., wzrastały w doniczkach ($10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$) w podłożu, które stanowiła gleba pobrana z warstwy uprawnej opisanej pod względem właściwości rolniczych jako miejsce realizacji doświadczenia polowego z udziałem rzepaku ozimego (tab. 1). Nawozy aplikowano nalistnie w fazie 4–6 liści rzodkwi, a po 14 dniach oceniano świeżą masę roślin i jej skład chemiczny (N, P, K, Mg i 5 podstawowych mikroelementów: B, Cu, Fe, Mn, Zn). Wykonano po trzy serie dwóch doświadczeń jednoczynnikowych w układzie całkowicie losowym. W pierwszym doświadczeniu oceniano oddziaływanie nawozu 1-NPKMgS + mikro w porównaniu z nawozem bez dodatku żelującego i obiektem bez nawożenia dolistnego, a w drugim analogicznie wpływ nalistnej aplikacji nawozu 2-NPKMgS+mikro.

W celu określenia wpływu nawozów dolistnych z dodatkiem żelującym na plony roślin wykonano cztery doświadczenia polowe. W obrębie plantacji produkcyjnych ziemniaka 'Jasia', buraka cukrowego 'Kujavia', rzepaku ozimego 'Broadway' i cebuli 'Barbaro F1' wyznaczono po cztery bloki, w których rozlosowano obiekty doświadczalne – dolistna aplikacja nawozów: 1-NPKMgS + mikro z dodatkiem żelującym, 1-NPKMgS + mikro bez dodatku, 2-NPKMgS + mikro z dodatkiem żelującym, 2-NPKMgS + mikro bez dodatku, obiekt kontrolny bez aplikacji nawozu dolistnego. Rośliny uprawiano zgodnie z zasadami integrowanej agrotechniki poszczególnych gatunków i dobrą praktyką rolniczą. Dawki nawozów mineralnych ustalono na podstawie zasobności gleby w przyswajalne dla roślin makroskładniki i wielkości potencjalnego plonu. W uprawie ziemniaka i buraka stosowano jesienne nawożenie obornikiem w dawce $25\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nawożenie dolistne stosowano w dwóch zabiegach, w ilości 200 dm^3 1% roztworu wodnego badanych nawozów w każdym zabiegu, wykonanych co 14 dni w okresie intensywnego wzrostu wegetatywnego. Doświadczenia zlokalizo-

wano w rejonie o średniej wieloletniej sumie opadów wynoszącej 550 mm i średniej temperaturze powietrza 7,7°C. Okres badań charakteryzował się wyższą temperaturą powietrza i mniejszymi rocznymi opadami – 502 mm. Warunki glebowe przedstawiono w tabeli 1. Zawartość przyswajalnego fosforu i potasu oznaczano zgodnie z metodą Egnera-Riehma, a magnezu – Schachtschabela. Natomiast zawartość boru, miedzi, żelaza, manganu i cynku oceniono po ekstrakcji próbek gleby w 1 mol HCl dm⁻³.

Tabela 1. Właściwości gleby w doświadczeniach polowych
Table 1. Soil properties in field experiments

Właściwość Property	Jednostka Unit	Roślina/Crop			
		ziemniak potato	burak cukrowy sugar beet	rzepak ozimy winter rape	cebula onion
Uziarnienie/Texture					
Piasek/ Sand	%	60,5	34,8	46,1	40,4
Pył / Silt	%	35,7	56,5	47,9	52,3
Il / Clay	%	3,8	8,7	6,0	7,3
pH _{KCl}		5,8	7,1	6,5	6,3
Węgiel organiczny Organic carbon (C)	g·kg ⁻¹ gleby g kg ⁻¹ soil	9,3	14,6	10,9	11,8
Składniki przyswajalne Available nutrients					
Fosfor/ Phosphorus (P)		64,9	123,2	83,4	79,5
Potas/ Potassium (K)	mg·kg ⁻¹	158,6	204,8	231,7	156,4
Magnez/ Magnesium (Mg)	gleby	48,1	86,0	74,0	40,2
Bor/ Boron (B)	mg g ⁻¹ soil	1,2	3,7	2,4	1,6
Miedź/ Copper (Cu)		2,3	5,5	5,7	4,6
Żelazo/ Iron (Fe)		2320	2754	1898	3106
Mangan/ Manganese (Mn)		126	260	214	163
Cynk/ Zinc (Zn)		7,8	12,6	10,1	8,9

Wyniki analiz biomasy rzodkwi i plonów roślin poddano analizie statystycznej. Dla wielkości cech mających rozkład normalny wykonano analizę wariancji ANOVA w modelu właściwym dla doświadczeń laboratoryjnych i polowych pojedynczych, a następnie syntezy dla serii eksperymentów laboratoryjnych i kolejnych lat doświadczeń polowych. Istotność statystyczną oddziaływania dolistnej aplikacji nawozów oceniono testem F, a istotność różnic pomiędzy wartościami średnimi poszczególnych cech uzyskanych pod ich wpływem testem post-hoc Tukeya przy $p < 0,05$. Analizy matematyczne i statystyczne wykonano przy użyciu programów komputerowych Microsoft Excel, Statistica 12, Analwar-5FR. Tabele i ryciny zawierają średnie wyniki z serii i lat badań.

WYNIKI

Efektem badań były dwa nawozy w formie proszku mające w składzie chemicznym dodatek żelujący, o jasnej barwie i dobrze rozpuszczające się w zimnej wodzie (tab. 2). 1% roztwory miały kwasowy odczyn – pH 5,4 i 5,0, a ich kropla utrzymywała się na liściu słonecznika o blisko 20% dłużej niż krople analogicznych roztworów nawozów bez dodatku żelującego.

Nawozy przechowywane przez 6 miesięcy w szczelnych foliowych opakowaniach w nieklimatyzowanym magazynie, w niskiej temperaturze spadającej do -10°C nie uległy niekorzystnym zmianom. Zachowały stan skupienia i barwę właściwą dla świeżego produktu, bez oznak zbrzylenia, a skład chemiczny nie zmienił się znacząco (tab. 3). Względna różnica zawartości makro- i mikroelementów, zgodnie z wynikami analiz chemicznych przed przechowywaniem i po przechowywaniu nie była większa niż $\pm 5,0\%$. Tylko zawartość żelaza i cynku w nawozie 1-NPKMgS + mikro po przechowywaniu była o około 10% mniejsza niż po wytworzeniu.

Nalistna aplikacja nawozu 1-NPKMgS + mikro zawierającego dodatek żelujący istotnie zwiększyła biomasa młodych roślin rzodkwi i zawartość w niej wszystkich oznaczonych makro- i mikroelementów w porównaniu z roślinami nienawożonymi (tab. 4). Natomiast korzystny wpływ tego nawozu bez dodatku żelującego na rzodkiew wystąpił tylko w odniesieniu do zawartości azotu i cynku w jej biomacie.

Tabela 2. Właściwości nawozów dolistnych z dodatkiem żelującym
Table 2. Properties of foliar fertilizers with a gelling additive

Właściwość Property	Jednostka Unit	Nawóz/Fertilizer	
		1-NPKMgS + mikro	2-NPKMgS + mikro
Forma/Form	–	proszek/ powder	proszek/ powder
Barwa/ Color	–	jasnoszara light grey	jasnobłękitna light blue
Gęstość nasypowa/ Bulk density	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	0,94	0,93
Rozpuszczalność w wodzie Solubility in water	$\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$	>100	>100
pH roztworu/ pH solution	jednostka unit pH	5,4	5,0
Retencja na liściu słonecznika Retention on the sunflower leaf	%*	119,3	119,0

* 100% – czas retencji roztworu nawozu bez dodatku żelującego

* 100% – retention time of the fertilizer solution without gelling additive

Tabela 3. Skład chemiczny nawozów z dodatkiem żelującym poddanych przechowywaniu
 Table 3. Chemical composition of fertilizers with a gelling additive subjected to storage

Składnik/Ingredient (% m/m)	1-NPKMgS + mikro		2-NPKMgS + mikro	
	przed/before*	po/after**	przed/before	po/after
Azot ogólny/ Total nitrogen (N)	14,8	14,7	6,8	6,9
Azot azotanowy/ Nitrate nitrogen	1,5	1,5	0,6	0,7
Azot amidowy/ Amide nitrogen	13,3	13,2	6,2	6,2
Fosfor/Phosphorus (P ₂ O ₅)	15,1	15,1	7,1	7,0
Potas/Potassium (K ₂ O)	14,9	15,0	7,1	7,0
Magnez/Magnesium (MgO)	6,3	6,1	7,3	7,4
Siarka/Sulfur (SO ₃)	12,2	12,4	13,2	13,4
Bor/Boron (B)	0,04	0,05	0,40	0,43
Miedź/Copper (Cu)	0,13	0,14	1,18	1,21
Żelazo/Iron (Fe)	0,27	0,31	2,47	2,42
Mangan/Manganese (Mn)	0,21	0,20	2,06	2,01
Cynk/Zinc (Zn)	0,13	0,15	1,53	1,55
Molibden/Molybdenum (Mo)	0,003	0,004	0,03	0,03
Kobalt/Cobalt (Co)	0,003	0,004	0,03	0,03

* analiza przed okresem przechowywania/ pre-storage analysis

** analiza po okresie przechowywania/ post-storage analysis

Nawóz 2-NPKMgS + mikro, niezależnie od obecności dodatku żelującego w składzie, nie wpłynął na wielkość biomasy rzodkwi i zawartość w niej potasu (tab. 5). Zastosowanie nawozu z dodatkiem żelującym, w odróżnieniu od aplikacji nawozu bez dodatku, spowodowało istotne zwiększenie zawartości w biomase rzodkwi makroskładników: azotu, fosforu, magnezu oraz żelaza, cynku i boru. Z kolei zawartość manganu pod wpływem nawozu 2-NPKMgS + mikro z dodatkiem żelującym w biomacie roślin była istotnie większa niż u roślin nienawożonych, jak również nawożonych nawozem bez dodatku.

Dolistne dokarmianie roślin przy użyciu nawozów 1-NPKMgS + mikro i 2-NPKMgS + mikro zróżnicowało plony roślin w doświadczeniach polowych. Plon bulw ziemniaka tylko pod wpływem nawozu 1-NPKMgS + mikro z dodatkiem żelującym był istotnie większy niż roślin niedokarmianych, a plonotwórcze oddziaływanie dolistnej aplikacji tego nawozu w agrotechnice ziemniaka było podobne jak nawozu bez dodatku żelującego i nawozu 2-NPKMgS + mikro z takim dodatkiem (ryc. 1).

Tabela 4. Wpływ nawozu 1-NPKMgS + mikro na rośliny rzodkwi oleistej w zależności od obecności lub braku dodatku żelującego
 Table 4. Effect of 1-NPKMgS + micro fertilizer on oil radish plants according to presence or absence of gelling additive

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Nawóz/fertilizer		
		1-NPKMgS + mikro z dodatkiem with additive	1-PKMgS + mikro bez dodatku without additive	bez nawożenia without fertilization
Biomasa Biomass	g ś.m. g f.m.	4,68 ^{a*}	4,55 ^{ab}	4,20 ^b
N	g·kg ⁻¹ s.m. g kg ⁻¹ d.m.	29,7 ^a	29,0 ^a	27,7 ^b
P		4,35 ^a	4,17 ^{ab}	4,09 ^b
K		28,4 ^a	26,7 ^{ab}	26,0 ^b
Mg		2,03 ^a	1,95 ^b	1,89 ^b
Mn	mg·kg ⁻¹ s.m. mg kg ⁻¹ d.m.	36,8 ^a	36,1 ^{ab}	35,2 ^b
Fe		243 ^a	233 ^{ab}	219 ^b
Cu		5,22 ^a	5,11 ^{ab}	5,03 ^b
Zn		31,7 ^a	31,7 ^a	29,2 ^b
B		21,6 ^a	21,0 ^{ab}	20,5 ^b

* te same litery w rzędzie oznaczają brak istotnego zróżnicowania

* the same letters in a row indicate no significant differentiation

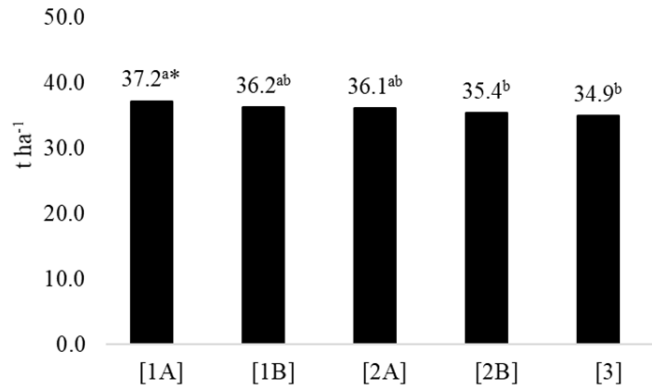
Tabela 5. Wpływ nawozu 2-NPKMgS + mikro na rośliny rzodkwi oleistej w zależności od obecności lub braku dodatku żelującego
 Table 5. Effect of 2-NPKMgS + micro fertilizer on oil radish plants according to presence or absence of gelling additive

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Nawóz/ Fertilizer		
		2-NPKMgS + mikro z dodatkiem with additive	2-NPKMgS + mikro bez dodatku without additive	bez nawożenia without fertilization
Biomasa Biomass	g ś.m. g f.m.	4,57 ^{a*}	4,40 ^a	4,17 ^a
N	g·kg ⁻¹ s.m. g kg ⁻¹ d.m.	26,5 ^a	26,1 ^{ab}	25,1 ^b
P		4,14 ^a	4,07 ^{ab}	3,93 ^b
K		30,2 ^a	30,2 ^a	28,6 ^a
Mg		1,89 ^a	1,85 ^{ab}	1,70 ^b
Mn	mg·kg ⁻¹ s.m. mg kg ⁻¹ d.m.	42,3 ^a	38,9 ^b	37,8 ^c
Fe		256 ^a	229 ^b	224 ^b
Cu		4,86 ^a	4,87 ^a	4,58 ^b
Zn		34,6 ^a	32,1 ^b	31,4 ^b
B		19,8 ^a	18,9 ^b	18,2 ^b

* te same litery w rzędzie oznaczają brak istotnego zróżnicowania

* the same letters in a row indicate no significant differentiation

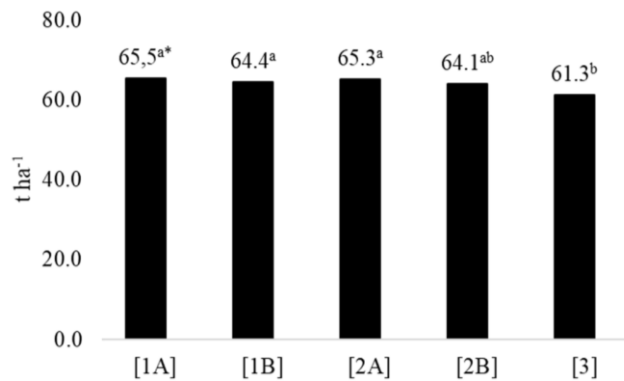
Korzystnie na wielkość plonu korzeni buraka cukrowego wpłynęła nalistna aplikacja nawozu 1-NPKMgS + mikro zarówno z dodatkiem żelującym, jak i bez dodatku, a także nawozu 2-NPKMgS + mikro z dodatkiem funkcjonalnym (ryc. 2).



Ryc. 1. Plon bulw ziemniaka pod wpływem aplikacji nawozów dolistnych:

[1A] – 1-NPKMgS + mikro z dodatkiem żelującym, [1B] – 1-NPKMgS + mikro bez dodatku, [2A] – 2-NPKMgS + mikro z dodatkiem żelującym, [2B] – 2-NPKMgS + mikro bez dodatku, [3] – obiekt kontrolny, bez aplikacji; * te same litery oznaczają brak istotnego zróżnicowania

Fig. 1. Potato tuber yield after foliar fertilizer application: [1A] – 1-NPKMgS + micro with gelling additive, [1B] – 1-NPKMgS + micro without additive, [2A] – 2-NPKMgS + micro with gelling additive, [2B] – 2-NPKMgS + micro without additive, [3] – control treatment, without application; * the same letters indicate no significant differentiation

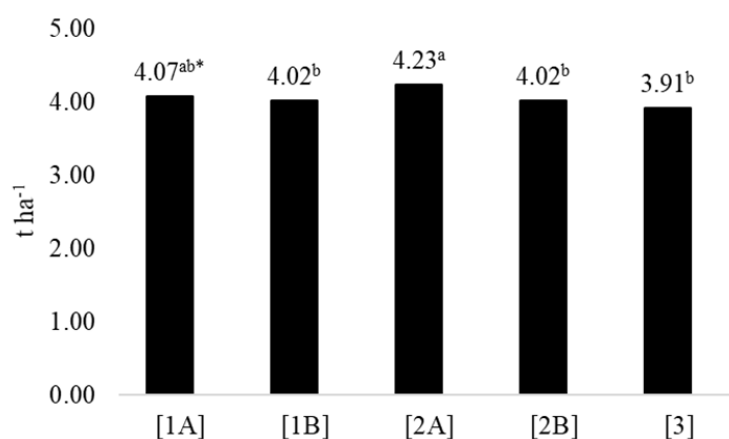


Ryc. 2. Plon korzeni buraka cukrowego pod wpływem aplikacji nawozów dolistnych:

[1A] – 1-NPKMgS + mikro z dodatkiem żelującym, [1B] – 1-NPKMgS + mikro bez dodatku, [2A] – 2-NPKMgS + mikro z dodatkiem żelującym, [2B] – 2-NPKMgS + mikro bez dodatku, [3] – obiekt kontrolny, bez aplikacji; * te same litery oznaczają brak istotnego zróżnicowania

Fig. 2. Sugar beet roots yield after foliar fertilizer application: [1A] – 1-NPKMgS + micro with gelling additive, [1B] – 1-NPKMgS + micro without additive, [2A] – 2-NPKMgS + micro with gelling additive, [2B] – 2-NPKMgS + micro without additive, [3] – control treatment, without application; * the same letters indicate no significant differentiation

Istotny przyrost plonu nasion rzepaku ozimego dokarmianego dolistnie stwierdzono w efekcie użycia nawozu 2-NPKMgS + mikro z dodatkiem żelującym, choć podobnie na plon wpłynęła aplikacja nawozu 1-NPKMgS + mikro z dodatkiem żelującym (ryc. 3). Z kolei w agrotechnice cebuli odwrotnie, największy i istotny wzrost plonu wystąpił pod wpływem nalistnej aplikacji nawozu 1-NPKMgS + mikro z dodatkiem żelującym, a podobny statystycznie plon miał miejsce w wyniku zastosowania nawozu 2-NPKMgS + mikro z dodatkiem funkcjonalnym (ryc. 4).



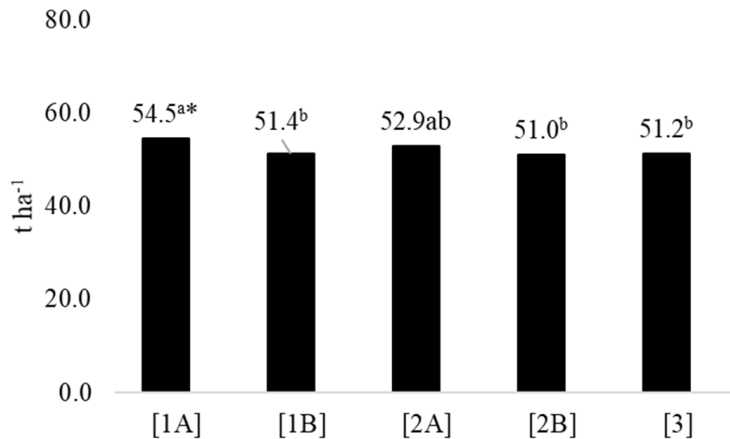
Ryc. 3. Plon nasion rzepaku ozimego pod wpływem aplikacji nawozów dolistnych: [1A] – 1-NPKMgS + mikro z dodatkiem żelującym, [1B] – 1-NPKMgS + mikro bez dodatku, [2A] – 2-NPKMgS + mikro z dodatkiem żelującym, [2B] – 2-NPKMgS + mikro bez dodatku, [3] – obiekt kontrolny, bez aplikacji; * te same litery oznaczają brak istotnego zróżnicowania

Fig. 3. Winter rape seeds yield after foliar fertilizer application: [1A] – 1-NPKMgS + micro with gelling additive, [1B] – 1-NPKMgS + micro without additive, [2A] – 2-NPKMgS + micro with gelling additive, [2B] – 2-NPKMgS + micro without additive, [3] – control treatment, without application; * the same letters indicate no significant differentiation

Zasady rolnictwa zrównoważonego wymuszają, aby środki do produkcji rolnej spełniały coraz większe wymagania jakościowe stawiane przed nimi zarówno na etapie produkcji, logistyki, jak i stosowania. Konieczność spełnienia tych wymagań leży u podłoża rozwoju nawozów inteligentnych, w tym nawozów dolistnych z dodatkami funkcjonalnymi [Calabi-Floody i in. 2018, Karthik i Maheswari 2021].

Odpowiedzią na te potrzeby są sformułowane i badane nawozy dolistne. Ich wodny roztwór o stężeniu 1% (2–3 kg nawozu w 200–300 dm³ wody) posiada odczyn zbliżony do optymalnego dla cieczy aplikowanej podczas nawożenia dolistnego. Wskaźnik pH cieczy roboczej około 5,0–5,5 jest uważany za właściwy i nie wymaga stosowania dodatkowych środków regulujących właściwości wody [Wójcik 1998, Kannan 2010]. Dodatek substancji żelującej poprawił właściwości cieczy roboczej i wydłużył jej retencję na liściu o 19,0–19,3%, co zwiększa prawdopodobieństwo wnikania składników pokarmowych do tkanek roślin i ich bardziej efektywne oddziaływanie na procesy fizjologiczne, wzrost i plonowanie roślin. Zatem jego wpływ jest podobny jak nawozów dolistnych z udziałem adiuwantów, surfaktantów [Fritz i in. 2018, Januszkiewicz i in.

2019]. Pod wpływem nawozu 1-NPKMgS + mikro z dodatkiem żelującym wzrosła zawartość podstawowych makroskładników w biomase młodych roślin rzodkwi olejstej od 6,4% (fosfor) do 9,2% (potas), a mikroskładników od 3,8% (miedź) do 11,0% (żelazo). Analogiczna zmiana składu chemicznego biomasy rzodkwi pod wpływem nawozu 2-NPKMgS + mikro z dodatkiem żelującym wyniosła od 5,3% (fosfor) do 5,6% (potas) oraz od 6,1% (miedź) do 14,3% (żelazo). Największy względny przyrost zawartości składników w biomase roślin w wyniku aplikacji nawozów bez dodatku żelującego wyniósł natomiast 8,8%. Dobre i trwałe pokrycie blaszek liściowych cieczą roboczą z udziałem nawozów zawierających dodatek żelujący nie tylko zwiększa wykorzystanie składników pokarmowych nawozu, ale także zmniejsza ryzyko jego spływu do gleby i ewentualnego zanieczyszczenia środowiska. Takie właściwości nawozów i cieczy roboczej z ich udziałem wpisują się w aktualne innowacyjne trendy nawożenia dolistnego [Kocoń 2016].



Ryc. 4. Plon cebuli pod wpływem aplikacji nawozów dolistnych: [1A] – 1-NPKMgS + mikro z dodatkiem żelującym, [1B] – 1-NPKMgS + mikro bez dodatku, [2A] – 2-NPKMgS + mikro z dodatkiem żelującym, [2B] – 2-NPKMgS + mikro bez dodatku, [3] – obiekt kontrolny, bez aplikacji; * te same litery oznaczają brak istotnego zróżnicowania

Fig. 4. Onion yield after foliar fertilizer application: [1A] – 1-NPKMgS + micro with gelling additive, [1B] – 1-NPKMgS + micro without additive, [2A] – 2-NPKMgS + micro with gelling additive, [2B] – 2-NPKMgS + micro without additive, [3] – control treatment, without application; * the same letters indicate no significant differentiation

DYSKUSJA

Efektom produkcyjnym nalistnego stosowania nawozów z dodatkiem żelującym w agrotechnice roślin rolniczych i warzyw polowych był przyrost plonów w stosunku do roślin niedokarmianych od 3,3% do 8,2%. Największy przyrost plonu wystąpił u rzepaku ozimego w wyniku nalistnej aplikacji nawozu 2-NPKMgS + mikro z dodatkiem, czyli nawozu o relatywnie dużej zawartości 7 mikroelementów oprócz pierwszo-

i drugorzędowych makroskładników. Potwierdza to duże wymagania pokarmowe i nawozowe tej rośliny oraz jego silną reakcję na nawożenie, w tym dokarmianie dolistne [Jarecki i in. 2019, Jarecki 2021]. Słabsza, ale pozytywna reakcja na zastosowane dolistnie nawozy wystąpiła w agrotechnice ziemniaka i buraka cukrowego. Pod rośliny te stosowano jednak pełną dawkę obornika – 25 t ha⁻¹, tj. bogate źródło składników pokarmowych, zwłaszcza mikroelementów, co zdaniem Wróbla [2004] może ograniczać zasadność dodatkowego nawożenia mikroelementami. Autor bowiem wskazuje na jej potrzebę w przypadku gospodarki bezobornikowej. Z kolei największy wzrost plonu, w porównaniu z plonem uzyskanym w wyniku stosowania nawozów bez dodatku żelującego, wystąpił w przypadku użycia nawozu 1-NPKMgS + mikro w uprawie cebuli – 6,0%. Taka reakcja cebuli może wynikać z jej specyficznego ulistnienia. Pionowe lub prawie pionowe ustawienie szczypioru i warstwa woskowa na jego powierzchni utrudniają utrzymywanie się na nim cieczy opryskowej. Dlatego według Kierzka i Ratajkiewicza [2004] szczególnie u roślin jednoliściennych substancje modyfikujące właściwości cieczy roboczej poprawiają efektywność zabiegów nalistnych.

WNIOSKI

1. Opracowane nawozy w formie stałej zawierające makro- i mikroskładniki oraz dodatek żelujący pozwalają uzyskać ciecz roboczą o właściwościach fizykochemicznych właściwych do nalistnej aplikacji w uprawie roślin.
2. Dodatek żelujący w nawozie wydłużył o blisko 20% czas retencji jego roztworu na liściu słonecznika oraz zwiększył zawartość składników pokarmowych w biomacie roślin rzodkwi oleistej, w tym żelaza o 14,3%.
3. Dolistna aplikacja nawozów z dodatkiem żelującym 1-NPKMgS + mikro w cebuli i 2-NPKMgS + mikro w rzepaku ozimym spowodowała istotne zwiększenie plonu tych roślin w porównaniu z aplikacją nawozów bez dodatku żelującego i roślin nienawożonych.
4. Nawóz 1-NPKMgS + mikro z dodatkiem żelującym stosowany dolistnie spowodował istotne zwiększenie plonu bulw ziemniaka, a obydwa badane nawozy z tym dodatkiem zwiększyły plon korzeni buraka cukrowego w porównaniu z plonem roślin nienawożonych.

PIŚMIENNICTWO

- Alshaal T., El-Ramady H., 2017. Foliar Application: from plant nutrition to biofortification. *Env. Biodiv. Soil Security* 1, 71–83. <https://doi.org/10.21608/jenvbs.2017.1089.1006>
- Calabi-Floody M., Medina J., Rumpel C., Condon L.M., Hernandez M., Dumont M., de la Luz Mora M., 2018. Smart fertilizers as a strategy for sustainable agriculture. In: *Advances in agronomy*. Elsevier, London, UK, 147, 119–157. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.10.003>
- Fageria N.K., Filho M.B., Moreira A., Guimarães C.M., 2009. Foliar fertilization of crop plants. *J. Plant Nutr.* 32, 1044–1064. <https://doi.org/10.1080/01904160902872826>

- Fernandez V., Brown P., 2013. From plant surface to plant metabolism: the uncertain fate of foliar-applied nutrients. *Front. Plant Sci.* 4:00289. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00289>
- Fritz B.K., Hoffmann W.C., Gizotti-de-Moraes J., Guerrero M., Golus J., Kruger G.R., 2018. The impact of spray adjuvants on solution physical properties and spray droplet size. In: *Pesticide Formulation and Delivery Systems: 37th Volume, Formulations with Ingredients on the EPA's List of Minimal Concern*. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 22–32. <https://doi.org/10.1520/stp160220160134>
- Haytova D., 2013. A review of foliar fertilization of some vegetables crops. *Annu. Res. Rev. Biol.* 3(4), 455–465. <https://journalarrb.com/index.php/ARRB/article/view/24752>
- Januszkiewicz K., Mrozek-Niećko A., Różański J., 2019. Effect of surfactants and leaf surface morphology on the evaporation time and coverage area of ZnIDHA droplets. *Plant Soil* 434, 93–105. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3785-4>
- Jarecki W., 2021. The reaction of winter oilseed rape to different foliar fertilization with macro- and micronutrients. *Agriculture* 11, 515. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060515>
- Jarecki W., Buczek J., Bobrecka-Jamro D., 2019. The response of winter oilseed rape to diverse foliar fertilization. *Plant Soil Environ.* 65, 125–130. <https://doi.org/10.17221/5/2019-PSE>
- Jaskulska I., Jaskulski D., 2019. Ocena oddziaływania nowego asortymentu żelowych nawozów dolistnych na plonowanie roślin uprawnych [Evaluation of the effect of a new assortment of gel foliar fertilizers on crop yielding]. *Przemysł Chemiczny* 98, 6, 936–939.
- Kannan S., 2010. Foliar fertilization for sustainable crop production. In: E. Lichtfouse (ed.), *Genetic engineering, biofertilisation, soil quality and organic farming. Sustainable Agriculture Reviews 4*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8741-6_13
- Karthik A., Maheswari M.U., 2021. Smart fertilizer strategy for better crop production. *Agric. Rev.* 42, 12–21. <https://doi.org/10.18805/ag.R-1877>
- Kierzek R., Ratajkiewicz H., 2004. Wpływ adiuwantów i parametrów opryskiwania na retencję cieczy na liściach w wybranych roślinach jednoliściennych. *Prog. Plant Prot. / Post. Ochr. Rośl.* 44(2), 829–831.
- Kocień A., 2016. Aktualne trendy i innowacje w dolistnym dokarmianiu roślin uprawnych. *Studia i Raporty IUNG – PIB Puławy* (48)2, 49–63. <https://doi.org/10.26114/sir.iung.2016.48.04>
- Lenart A., Wrona D., Klimek K., Kapłań M., Krupa T., 2022. Assessment of the impact of innovative fertilization methods compared to traditional fertilization in the cultivation of highbush blueberry. *PLOS ONE* 17(7): e0271383. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271383>
- Mahil T., Baburaj N., Aravinda K., 2019. Foliar application of nanofertilizers in agricultural crops – a review. *J. Farm Sci.* 32, 239–249.
- Matlok N., Szostek M., Antos P., Gajdek G., Gorzelany J., Bobrecka-Jamro D., Balawejder M., 2020. Effect of foliar and soil fertilization with new products based on calcinated bones on selected physiological parameters of maize plants. *Appl. Sci.* 10, 2579. <https://doi.org/10.3390/app10072579>
- Meurer R.A., Kemper S., Knopp S., Eichert T., Jakob F., Goldbach H.E., 2017. Biofunctional microgelbased fertilizers for controlled foliar delivery of nutrients to plants. *Angew. Chem. Int. Ed.* 56, 7380–7386. <https://doi.org/10.1002/anie.201701620>
- Michałojć Z., Szewczuk C., 2003. Theoretical aspects of foliar plant nutrition [Teoretyczne aspekty dolistnego dokarmiania roślin]. *Acta Agroph.* 85, 9–17.
- Niu J., Liu C., Huang M., Liu K., Yan D., 2021. Effects of foliar fertilization: a review of current status and future perspectives. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 21, 104–118. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00346-3>
- Patil B., Chetan H.T., 2018. Foliar fertilization of nutrients. *Marumegh* 3, 49–53.
- Raimondi G., Maucieri C., Toffanin A., Renella G., Borin M., 2021. Smart fertilizers: What should we mean and where should we go? *Ital. J. Agron.* 16(2). <https://doi.org/10.4081/ija.2021.1794>

- Souri M.K., Hatamian M., 2019. Aminocheleates in plant nutrition; a review. *Plant Nutr.* 42(1), 67–78. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1549671>
- Szewczuk C., Michałojć Z., 2003. Praktyczne aspekty dolistnego dokarmiania roślin. *Acta Agroph.* 85, 19–29.
- Szewczuk C., Sugier D., 2009. Ogólna charakterystyka i podział nawozów dolistnych oferowanych na polskim rynku. *Ann. UMCS, Sec. E Agricultura* 64(1), 29–36.
- Wójcik P., 1998. Pobieranie składników mineralnych przez części nadziemne roślin z nawożenia pozakorzeniowego. *Post. Nauk Roln.* 1, 49–64.
- Wróbel S., 2004. Rola mikroelementów w uprawie buraka cukrowego. *Post. Nauk Roln.* 4, 45–60.
- Vasundhara D., Chhabra V., 2021. Foliar nutrition in cereals: a review. *Pharma Innov. J.* 10, 1247–1254.

Źródło finansowania: Pracę wykonano w ramach badań przemysłowych i prac rozwojowych projektu badawczego współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju – Program Operacyjny Inteligentny Rozwój 2014-2020 – „Szybka Ścieżka 1_2020”. Projekt nr: POIR.01.01.01-00-0348/20 pn. Opracowanie innowacyjnych nawozów dolistnych i doglebowych nawozów startowych w formie stałej zawierających funkcjonalny dodatek żelujący.

Summary. The foliar application of nutrients is an important and constantly improved method of plant fertilization. The conducted research showed that it is possible to introduce a gelling substance into solid fertilizers, which will give their solutions beneficial properties for foliar application. Experiments with foliar application of 1-NPKMgS + micro and 2-NPKMgS + micro fertilizers were carried out in laboratory and field conditions. It was found that their 1% aqueous solutions remained on the sunflower leaf for nearly 20% longer than fertilizer solutions without the gelling additive. The foliar application of the assessed fertilizers increased the content of nutrients in the biomass of oil radish plants, including iron, by 14.3%. The maximum yields of potato, sugar beet, onion and winter rape increased, respectively by; 2.3 t ha⁻¹, 4.2 t ha⁻¹, 3.2 t ha⁻¹ and 0.32 t ha⁻¹ compared with the yields of plants not fed by foliar application.

Key words: foliar fertilization, fertilizers with a gelling additive, chemical composition of plants, yield

Otrzymano/Received: 30.01.2023
Zaakceptowano/Accepted: 20.07.2023
Opublikowano/Published: 26.09.2023