



Katedra Technologii Produkcji Roślinnej i Towaroznawstwa, Uniwersytet Przyrodniczy
w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin, Polska

e-mail: dorota.jagiello@up.lublin.pl

DOROTA JAGIEŁŁO 

Alternatywne do azotu metody maksymalizacji plonowania roślin uprawnych

Alternative to nitrogen fertilization methods for maximizing crop plants yields

Abstrakt. Azot, jako najważniejszy pierwiastek warunkujący jakość i wielkość plonowania każdej rośliny uprawnej, powinien być dostarczany roślinie w sposób racjonalny, umożliwiając maksymalne wykorzystanie jego zasobów przez roślinę i nie dopuszczając do gromadzenia jego nadmiaru w profilu glebowym. Forma mineralna jest najwygodniejsza technologicznie oraz pozwala precyzyjnie zaplanować i podać odpowiednią dla uprawianego gatunku dawkę tego pierwiastka. Jednak z uwagi na potencjalne przenikanie nadmiaru azotu z nawozów mineralnych do gleby i wód gruntowych w praktyce rolniczej poszukuje się alternatywnych metod prowadzących do zwiększania plonowania. W niniejszej pracy opisano znaczenie azotu w odżywianiu roślin i jego wpływ na glebę. Przedstawiono także alternatywne do mineralnego nawożenia azotem sposoby jego dostarczania (przez stosowanie np. nawożenia naturalnego, organicznego, pochodzenia odpadowego, uprawę roślin przedplonowych wiążących azot z powietrza atmosferycznego) oraz sposoby modyfikacji metabolizmu roślin przez biostymulację preparatami zawierającymi: kwasy humusowe, glony, aminokwasy, a także mikroorganizmy. Ograniczenie gromadzenia się w środowisku przyrodniczym zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego jest ważne, ponieważ służy przywróceniu biologicznej równowagi ekosystemów.

Słowa kluczowe: azot, plonowanie, nawożenie, biostymulatory

Cytowanie: Jagiełło D., 2025. Alternatywne do azotu metody maksymalizacji plonowania roślin uprawnych. *Agron. Sci.* 80(3), 83–100. <https://doi.org/10.24326/as.2025.5554>

WSTĘP

Zadaniem rolnictwa – sektora gospodarki odgrywającego szczególną rolę poprzez zaspokajanie podstawowych potrzeb ludzkości – jest produkcja wysokich, dobrych jakościowo plonów przy ekonomicznie uzasadnionych nakładach i ochronie środowiska przyrodniczego. Właściwy poziom nawożenia mineralnego warunkuje dobry wzrost roślin i wysokie plony, jest jednak czynnikiem niepozostającym bez wpływu na środowisko naturalne [Murawa i Przyborowski 2014]. O tych kwestiach mówi także strategia Europejskiego Zielonego Ładu, która zakłada do 2030 r. zmniejszenie o co najmniej 50% strat składników odżywczych i zmniejszenie o co najmniej 20% zużycia nawozów mineralnych, aby przywrócić zdrową równowagę ekosystemów [Wiśniewski i Marks-Bielska 2022, Stefanis i in. 2024]. Zatem niezwykle istotne jest opracowywanie nowych metod przywracania naturalnych mechanizmów stabilności ekosystemów [Dara 2019, Baker i in. 2020, Hamid i in. 2021].

Główna koncepcja nawożenia azotem służy zwiększaniu wydajności uprawy. Zboża lepiej odżywione azotem przyśpieszają fazy rozwojowe i silniej się krzewią [Faizy i in. 2017], wytwarzają większą biomasę, co pośrednio wpływa na regulację zachwaszczenia [Harasim i Wesołowski 2013]. Podstawowe nawożenie zbóż azotem zwiększa wydajność jednostkową upraw i poprawia jakość pozyskanego ziarna. Uzupełnienie nawożenia dodatkowo siarką wpływa na optymalizację plonowania, ponieważ jej niedobór prowadzi do słabego wykorzystania azotu z nawozów, co skutkuje migrowaniem niepożądanego azotu w głąb gleby i do wód gruntowych [Klikocka i in. 2017, Stankowski i in. 2019]. Także Rachon i in. [2013] potwierdzają wpływ intensywności technologii produkcji polegającej na zastosowaniu większych dawek azotu, na zwiększenie zawartości białka w ziarnie pszenicy zwyczajnej, twardej, orkiszu i jednoziarnistej.

Chęć ograniczenia nadmiernego stosowania nawozów mineralnych, a zarazem uzyskanie wysokich oraz dobrych jakościowo plonów wiąże się również z dostosowaniem dawki azotu w okresie wegetacji do potrzeb pokarmowych i faz rozwojowych roślin [Skudra i Ruza 2016]. W celu uzupełnienia zawartości azotu w glebie nie tylko stosuje się nawozy mineralne, lecz także naturalne, organiczne, biostymulatory mikrobiologiczne i pochodzenia naturalnego [Soppelsa i in. 2019], produkty odpadowe z przemysłu [Klapec i Cholewa 2012] oraz dokonuje się wyboru odpowiedniego płodozmianu [Łagocka i in. 2016]. Należy zaznaczyć, iż nadmierne stężenie azotynów i azotanów w glebie, wodzie czy roślinach będące skutkiem nadmiernego nawożenia mineralnego może stanowić zagrożenie dla zdrowia organizmów żywych. Według Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) dopuszczalna norma stężenia azotanów w wodzie przeznaczonej do spożycia wynosi $50 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, a azotynów $0,5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ [Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r.]. Dlatego też celem niniejszej pracy jest omówienie, na podstawie dostępnej literatury, alternatywnych do mineralnego nawożenia azotem upraw rolniczych sposobów prowadzących do zwiększenia plonowania i poprawy jego jakości.

NAWOŻENIE AZOTEM W ODŻYWIANIU ROŚLIN I WPŁYW NA GLEBĘ

Bardzo ważnym składnikiem pokarmowym w produkcji roślinnej jest azot, który w największym stopniu decyduje o wielkości oraz jakości zebranego plonu [Murawa i Przyborowski 2014, Patyra i in. 2022]. Zwiększenie dawki azotu w uprawie pszenicy z $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ do $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ skutkowało zwiększeniem wartości wskaźników: kąta nachylenia liści (MTA), indeksu powierzchni liści (LAI), zieloności liścia (SPAD), a także innych badanych parametrów jakościowych oraz zwiększeniem wielkości plonu [Buczek i Jańczak-Pieniążek 2021]. Azot jest także głównym składnikiem chlorofilu i bierze pośredni udział w procesach fotosyntezy [Cetner i in. 2016], syntezie enzymów, fitohormonów i aminokwasów będących składnikiem budulcowym białek strukturalnych [Kubiak-Siwińska i Kotlarz 2023]. Jest również składnikiem biologicznie ważnych związków, tj. kwasów nukleinowych, hormonów roślinnych, metabolitów wtórnych oraz ATP, czyli nośników energii [Podleśna 2018]. Zatem niedobór azotu stanowi czynnik silnie ograniczający wzrost i rozwój roślin. Bogaty rezerwuar azotu cząsteczkowego (78%) stanowi atmosfera ziemna, nie może być on jednak bezpośrednio asymilowany przez rośliny. Redukcję do form łatwo przyswajalnych utrudnia występujące potrójne wiązanie kowalencyjne pomiędzy atomami azotu [Oldroyd i Dixon 2014]. Z nawożeniem mineralnym jest wprowadzany do gleby azot w formie amonowej NH_4^+ , azotanowej NO_3^- i amidowej C-NH_2 (mocznikowej). Forma azotanowa jest stosunkowo łatwo przyswajalna dla roślin, natomiast jej intensywne pobieranie przez rośliny może przyczynić się do pogorszenia jakości oraz nadmiernej akumulacji azotu w plonie. Łatwo także przedostaje się w głąb profilu glebowego, do wód gruntowych, a także w procesie przemian denitryfikacyjnych ulatnia się do atmosfery, ponieważ nie jest wiązana przez kompleks sorpcyjny gleby [Hołubowicz-Kliza i in. 2021]. Forma amonowa azotu natomiast jest wiązana w glebie, przez co dostępność dla roślin jest dłuższa, jednak przez procesy nityfikacji zachodzące w glebie przekształca się w lotną formę azotanową [Rutkowska 2020]. Forma amidowa powoduje kilkukrotnie mniejsze zasolenie niż pozostałe, podlega przemianie w glebie do formy amonowej, a w konsekwencji do azotanowej. Stratą azotu można zapobiec, stosując podzielone dawki nawozu, aby roślina w pełni mogła go wykorzystać i by nie dostał się do środowiska naturalnego [Głodowska i Gałązka 2018].

Stosowanie nawozów powinno wpływać na poprawę jakości i żyzności gleby, a także na zwiększenie aktywności drobnoustrojów. Jednak zbyt duże dawki nawozów przyczyniają się do nagromadzenia azotu i amoniaku (forma amonowa azotu), który toksycznie wpływa na rośliny i ogranicza rozwój pewnych grup drobnoustrojów oraz przyspiesza proces nityfikacji, zakwaszając glebę [Hołubowicz-Kliza i in. 2021]. Stosowanie małych dawek nawozów może powodować natomiast wzrost konkurencyjności pomiędzy roślinami i mikroorganizmami, a w konsekwencji – obniżenie plonu [Galus-Barchan i Chmiel 2019]. Alternatywą może być stosowanie innych źródeł azotu, opisanych poniżej (tab. 1).

Tabela 1. Wpływ alternatywnych sposobów dostarczania azotu na roślinę uprawną i glebę
 Table 1. The impact of alternative nitrogen delivery methods on the cultivated plant and soil

Alternatywny do mineralnego sposób dostarczania azotu Alternative methods of nitrogen delivery	Wpływ/Impact	
	na roślinę on the plant	na glebę on the soil
Nawożenie naturalne (np. Biovita obornik, naturalny granulowany obornik zwierzęcy Oboplus, kompostowany obornik dżdżownicowy Agrecol, obornik granulowany bydłocy, Petro 330 ST BIO, Biopon obornik koński, obornik koński granulowany Florovit Pro Natura) Natural fertilization (e.g. Biovita manure, granular natural animal manure Oboplus, composted vermicompost Agrecol, granulated cattle manure, Petro 330 ST BIO, Biopon horse manure, granular horse manure Florovit Pro Natura)	– źródło niezbędnych składników odżywczych/ source of essential nutrients – wyższe plonowanie przez szybszą mineralizację/ increased yield due to faster mineralization – pozytywny wpływ na bezpieczeństwo wytworzonych surowców do produkcji żywności, tj. zbóż, warzyw, owoców oraz pasz/ positive impact on the safety of raw materials produced for food production, such as cereals, vegetables, fruits, and feedstuffs	– dogodne warunki dla rozwoju mikroorganizmów glebowych/ favorable conditions for the development of soil microorganisms – wzrost poziomu próchnicy/ increase in humus content – przyspieszenie mineralizacji/ acceleration of mineralization – poprawa właściwości biologicznych, fizycznych i chemicznych/ improvement of biological, physical, and chemical properties – poprawa stanu środowiska naturalnego/ enhancement of the natural environment – źródło węgla/ source of carbon
Nawożenie organiczne (np. Bioilsa, ASL, Bio Plantella, Florovit kompost granulowany, kompost ogrodniczy, mączki i wyciągi roślinne) Organic fertilization (e.g. Bioilsa, ASL, Bio Plantella, Florovit granulated compost, horticultural compost, plant-based meals and extracts)	– zmniejszenie zawartości azotanów i azotynów, metali ciężkich/ reduction of nitrate and nitrite concentrations, heavy metal – poprawa cech morfometrycznych/ improvement of morphometric characteristics – zwiększenie plonowania/ increasing in crop yield	– zwiększenie żyzności gleby/ increasing in soil fertility – poprawa retencji wodnej i składników odżywczych/ improvement of water retention and nutrient availability – stymulacja aktywności mikroorganizmów glebowych/ stimulation of soil microbial activity
Nawożenie odpadowe (np. Fertilan, Salmix-1, nawozy struwitowe z osadów ściekowych, nawozy pofermentacyjne z biogazowni) Waste-derived fertilization (e.g. Fertilan, Salmix-1, struvite fertilizers from sewage sludge, post-fermentation fertilizers from biogas plants)	– zwiększanie dostępności azotu/ increasing nitrogen availability	– cenne źródło materii organicznej/ a valuable source of organic matter – poprawa właściwości/ improvement of properties

Alternatywny do mineralnego sposób dostarczania azotu Alternative methods of nitrogen delivery	Wpływ/Impact	
	na roślinę on the plant	na glebę on the soil
Uprawa roślin bobowatych wiążących azot (np. koniczyny, lucerny, łubiny, bobik, groch, wyka) Cultivation of leguminous plants that fix nitrogen (e.g. clovers, lucernes, lupins, faba bean, pea, vetch)	– źródło azotu dla rośliny następcej (tj. mineralizacja przyoranych resztek poźniwnych)/ source of nitrogen for the subsequent crop (i.e. mineralization of incorporated post-harvest residues) – cenne źródło azotu dzięki wsiewkom/ valuable source of nitrogen through cover crops – poprawa wydajności rośliny następcej/ enhancement of subsequent crop yield	– wzbogacenie w przyswajalny azot/ enrichment of available nitrogen – zwiększanie zawartości składników mineralnych/ increase in mineral nutrient content – udział w tworzeniu próchnicy/ contribution to humus formation

Źródło: opracowanie własne na podstawie:/ Source: prepared on the basis of:

<https://pnos.pl/>, <https://zielonepogotowie.pl/>, <https://grupaaazoty.com/>, <https://target.com.pl/>, <https://eco-vita.pl/>, <https://ogrodnik24.pl/>, Pilarska i in. 2014, Rogers i Oldroyd 2014, Oleńska 2015, Gawdzik i in. 2015, Pilarska i in. 2016, Łagocka i in. 2016, Kapusta 2017, Cieciora-Olczyk i Prośba-Białczyk 2018, Cieciora-Olczyk 2019, Łabętowicz i in. 2019, Olejnik 2020, Oleś 2021, Patyra i in. 2022, Jama-Rodzeńska i Gałka 2022, Tyburski i in. 2023

ALTERNATYWNE DO MINERALNEGO NAWOŻENIA AZOTEM SPOSOBY DOSTARCZANIA AZOTU

Nawożenie naturalne

Centrum Doradztwa Rolniczego (CDR) zwraca uwagę na ograniczanie stosowania nawozów mineralnych w uprawach i wprowadzenie produkcji zwierzęcej jako nieodłącznej części gospodarstwa, by pozyskiwać własny nawóz naturalny [Szońska 2020]. Do nawozów naturalnych zalicza się: obornik, gnojówkę, gnojowicę, także odchody, z wyjątkiem odchodów pszczoł, guano z przeznaczeniem do rolniczego wykorzystania [Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 24 stycznia 2024 r.]. Wiąże się to z poprawą właściwości biologicznych, fizycznych i chemicznych gleby oraz wpływa bezpośrednio na stan środowiska naturalnego, bezpieczeństwo produkcji żywności pochodzenia roślinnego, tj. zbóż, warzyw, owoców oraz pasz [Patyra i in. 2022]. Rolnicy prowadzący chów zwierząt mają możliwość stosowania nawozów naturalnych bogatych w azot (tab. 2). Jednak stosowanie obornika i gnojowicy wymaga ich uzdatniania. Do metod neutralizacji nawozów naturalnych najbardziej ekologicznych oraz ekonomicznie uzasadnionych należy fermentacja beztlenowa i kompostowanie [Pilarska i in. 2014].

W uprawie ziemniaka, który tradycyjnie był uprawiany po oborniku, ze względu na niedobory tego rodzaju nawozu można zastosować pomiot kurzy. Korzystnie wpływa on na plonowanie ziemniaka oraz innych gatunków roślin, gdyż cechuje się m.in. szybszą mineralizacją substancji organicznej [Cieciora-Olczyk i Prośba-Białczyk 2018]. Pomiot kurzy skutkował także bezpośrednio osiągnięciem największej masy bulw z pojedynczej rośliny ziemniaka odmiany jadalnej, natomiast odmiana skrobiowa osiągnęła najwyższy plon po nawożeniu obornikiem [Cieciora-Olczyk 2019].

Tabela 2. Średnia zawartość azotu w oborniku, gnojówce i gnojowicy w zależności od grupy technologicznej oraz systemu utrzymania zwierząt gospodarskich
 Table 2. Average nitrogen content in manure, liquid manure and slurry depending on livestock management group and housing system

Nawóz naturalny Natural fertilizer	System utrzymania Housing system	Grupa technologiczna		
		bydło (powyżej 1 roku) cattle (over 1 year)	trzoda chlewna (powyżej 1 roku) swine (over 1 year)	drób (powyżej 20 tyg. kury, brojlery kurze, kaczki, gęsi) poultry (over 20 weeks: laying hens, broilers chickens, ducks, geese)
Obornik Manure (kg N·t ⁻¹)	głęboka ściółka deep litter	2,5–3,7	2,7–4	20,7–24,7
	ściółowo bedded	2,3–3,3	1,4–4,3	brak danych/ no data
Gnojówka Liquid manure (kg N·m ⁻³)	ściółowo bedded	2,1–3,8	0,7–4,6	brak danych/ no data
Gnojowica Slurry (kg N·m ⁻³)	bezściółowo non-bedded	2,9–4,5	2,9–4,3	–
Pomiot ptasi Poultry litter (kg N·t ⁻¹)	bezściółowo non-bedded	–	–	17,0–32,7

Źródło: opracowanie własne na podstawie Żaba 2024/ Source: prepared on the basis of Żaba 2024

Nawożenie organiczne

Do nawozów organicznych zaliczane są preparaty wyprodukowane z substancji organicznej lub z mieszanin substancji organicznych, w tym komposty, jak również komposty wyprodukowane z wykorzystaniem dżdżownic [Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 24 stycznia 2024 r.]. Ocena bezpieczeństwa nawozów organicznych jest dokonywana wraz z procesem rejestracyjnym w ramach badań urzędowych [Rozporządzenie Komisji (UE) nr 142/2011 z dnia 25 lutego 2011 r.]. Monitorowanie bezpieczeństwa bakteriynego nawozów organicznych pozwala na ograniczenie dostania się substancji niepożądanych do środowiska, powodujących zanieczyszczenie wód, ekotoksyczne oddziaływanie na organizmy glebowe oraz przenikanie do łańcucha pokarmowego [Patyra i in. 2022].

Żywność pochodząca z gospodarstw nawożonych organicznie charakteryzuje się znacznie niższą zawartością azotanów i azotynów, co zmniejsza nawet o 50% ryzyko dostania się tych związków do organizmu. Przy stosowaniu nawozów organicznych istotna jest niska zawartość metali ciężkich, przede wszystkim kadmu w ziarnie zbóż i w bulwach ziemniaków, natomiast ich podwyższona ilość może być spowodowana przez stosowanie niektórych nawozów mineralnych. Azotany co prawda nie są szkodliwe dla człowieka, jednak łatwo ulegają redukcji do azotynów, które z kolei upośledzają transport tlenu przez krew do komórek w organizmie człowieka [Łagocka i in. 2016].

Zastosowanie nawożenia w postaci nawozu organicznego Bioilsa (o zawartości 12,5% N) oraz nawozu ASL (o zawartości 8%N i 9%S) wpłynęło istotnie na poprawę cech morfometrycznych pszenicy ozimej i zwiększenie plonu odpowiednio o $4,95 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$; $5,32 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w stosunku do obiektu bez nawożenia ($3,58 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) [Tyburski i in. 2023].

Nawozy pochodzenia odpadowego

Jako nawozy organiczne mogą być także wykorzystane roślinne pozostałości poprodukcyjne, poprawiające strukturę gleby [Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 9 sierpnia 2024 r.]. Wyróżnia się odpady pochodzenia: rolniczego (biodegradowalne z dużych ferm oraz pieczarek, biogazowni), komunalne (biodegradowalne osady ściekowe, biomasa odpadowa z terenów zielonych), przemysłowe (głównie popioły z przemysłu cukrowniczego, browarniczego, gorzelniczego, owocowo-warzywnego, mięsnego). Odpady przemysłowe i komunalne po przekompostowaniu znajdują zastosowanie głównie do poprawy właściwości gleb uprawnych. Użycie masy pofermentacyjnej z biogazowni w celach nawozowych przyczynia się do zwiększania dostępności azotu dla rośliny uprawnej (forma amonowa N-NH_4), zwracając stosunek C : N w masie pofermentacyjnej przez degradację materii organicznej. Poferment jest zróżnicowany pod względem jakościowym w zależności od przyjętej technologii produkcji biogazu, zależy także od rodzaju odpadu rolniczego użytego jako wsad (tab. 3) [Łabętowicz i in. 2019]. W osadach ściekowych fosfor i azot stanowią dwa główne pierwiastki, dlatego uzasadniony jest odzysk osadu ściekowego i ponowne wprowadzenie do rolnictwa, przy jednoczesnym kontrolowaniu stężeń metali ciężkich [Gawdzik i in. 2015]. Odpady powinny być przekształcone w gotowy produkt i wrócić do środowiska w postaci nawozów, co jest zgodne z ideą zrównoważonego rozwoju [Geissler i in. 2018]. Dlatego należy zwiększyć działania związane z rozwojem sektora nawozowego mające na celu produkcję nawozów z surowców wtórnych (konceptcja gospodarki o obiegu zamkniętym), w tym z osadów ściekowych [Jama-Rodzeńska i in. 2021]. Jama-Rodzeńska i Gałka [2022] zalecają stosowanie nawozów struwitowych pochodzących z osadów ściekowych (o niższej o ok. 5% zawartości azotu i potasu niż typowe nawozy) łącznie z nawozami mineralnymi.

Tabela 3. Zawartość azotu w wybranych nawozach pochodzenia pofermentacyjnego ($\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$)
Table 3. Nitrogen content in selected digestate-based fertilizers ($\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$)

Baza/Base	Dodatek/Additive	$\text{NH}_4\text{-N}$
Gnojowica świńska Pig slurry	roślinny/ plant-derived	2,6–2,9
	zwierzęcy/ animal-derived	2,2–3,5
Gnojowica bydlęca Cattle slurry	gliceryna/ glycerol	0,4–1,0
	gnojówka bydlęca, kiszonka owsa, kukurydzy cattle manure effluent, oat and maize silage	2,4

Źródło: opracowanie własne na podstawie/ Source: prepared on the basis of Alburquerque i in. 2012

Pilarska i in. [2016] zaznaczają, iż nawożenie z zastosowaniem pulpy z gnojowicy i buraka cukrowego zasadniczo zwiększyło plon tymotki łąkowej z 12 do 20 g s.m. na wazon. Natomiast zastosowanie pofermentu z gliceryną oraz z wywarem gorzelnianym w obu przypadkach spowodowało zmniejszenie plonu, odpowiednio z 12 i 9 do ok. 5 g s.m. na wazon.

Uprawa roślin przedplonowych wiążących azot

Stosowanie roślin bobowatych w strukturze zasiewów wzbogaca glebę w przyswajalny azot, co jest skutkiem prowadzonego przez nie procesu symbiotycznego z bakteriami *Rhizobium* i *Bradyrhizobium*. Ten proces odgrywa kluczową rolę w obiegu azotu w przyrodzie, jest pożądanym w funkcjonowaniu ekosystemów lądowych oraz gospodarki rolnej [Rogers i Oldroyd 2014, Oleńska 2015]. Ilość azotu dostarczanego przez rośliny bobowate waha się od 20 do 200 kg·ha⁻¹, uzależniona jest od gatunku, odmiany, wielkości plonu i pH gleby. Ich uprawa ma zatem podstawowe znaczenie ekologiczne dla środowiska naturalnego, a także ekonomiczne, przez obniżenie kosztów nawożenia mineralnego (tab. 4) [Kapusta 2017]. Znaczne ilości azotu niewykorzystane przez same rośliny bobowate, są udostępniane uprawom następczym w postaci przyoranych resztek poźniwnych, które ulegają mineralizacji [Olejnik 2020]. Stosowanie wsiewek z roślin bobowatych stanowi także cenne źródło azotu dla innych roślin w uprawie mieszanej [Oleś 2021]. Duże ilości łatwo przyswajalnego azotu w glebie pozostawia po zbiorze także ziemniak uprawiany po nawożeniu obornikiem, wpływając na poprawę wydajności pszenicy ozimej [Tyburski i in. 2023].

Tabela 4. Ilość azotu wniesionego wraz z resztkami poźniwnymi i nawozami zielonymi z roślin bobowatych (kg·ha⁻¹)

Table 4. Amount of nitrogen introduced through crop residues and green manure from leguminous plants (kg·ha⁻¹)

Roślina Plant	Zielony nawóz Green manure	Resztki poźniwne Post-harvest residues
Koniczyna czerwona/ Red clover	80–120	80–100
Koniczyna biała/ White clover	60–100	100
Lucerna/ Lucerne	brak danych/ no data	110–185
Łubin/ Lupin	50–100	65–95
Bobik/ Faba bean	80–140	60–80
Groch i wyka/ Pea and vetch	50–80	40–60

Źródło: opracowanie własne na podstawie Krysztoforowski 2022/ Source: prepared on the basis of Krysztoforowski 2022

MODYFIKACJA METABOLIZMU ROŚLIN POPRZEZ STOSOWANIE BIOSTYMULATORÓW

W produkcji rolniczej obok nawozów i środków ochrony roślin, stosowane są także preparaty stymulujące wzrost i rozwój roślin (tab. 5). Biostymulatory mają cechy, które odróżniają je od innych preparatów ochrony roślin i stymulatorów, tj. substancja lub mieszanina substancji pochodzenia naturalnego lub z dodatkiem mikroorganizmów poprawia stan upraw bez ich niekorzystnego wpływu na środowisko glebowe [du Jardin 2015, Hamid i in. 2021]. Preparaty te zwiększają efektywność wykorzystania składników pokarmowych przez rośliny [Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/1009]. Ze względu na brak szkodliwego działania biostymulatorów dolistnych na ekosystem oraz zdrowie człowieka są one coraz częściej stosowane w uprawach [Kocira i in. 2018].

Tabela 5. Wpływ stosowania wybranych preparatów z dodatkiem kwasów humusowych, aminokwasów, alg morskich i żywych mikroorganizmów na roślinę uprawną i glebę
 Table 5. The effect of selected preparations containing humic acids, amino acids, extracts from marine algae and live microorganisms on crop plants and soil

Preparaty z dodatkiem Preparation with an additive	Wpływ/Impact	
	na roślinę/ on the plant	na glebę/ on the soil
Kwasów humusowych (np. Elvita Humus, Naturvital-Plus, Rosahumus, Humistar, Humusar, Nanogro Aqua Agrarius) Humic acids (e.g. Elvita Humus, Naturvital-Plus, Rosahumus, Humistar, Humusar, Nanogro Aqua Agrarius)	– zwiększanie intensywności pobierania składników pokarmowych przez korzenie i stymulacja ich rozwoju/ increasing the intensity of nutrient uptake by roots and promoting their development – pozytywny wpływ na procesy zachodzące w komórkach/ positive influence on cellular processes – zwiększanie plonowania i poprawa cech jakościowych plonu/ increase in yield and improvement of qualitative traits of the harvest	– akumulator mikrobiologiczny przyspieszający rozwój mikroflory glebowej/ microbiological reservoir accelerating soil microflora development – zwiększanie dostępności mikroelementów zawartych w podłożu/ increasing the availability of micronutrients present in the substrate – wzmacnianie struktury i żyzności gleby/ strengthening of soil structural stability and enhancement of soil fertility
Aminokwasów (np. Elvita Amino, AminoVital Power, Amminostim BIO, Shift BIOLCHIM, Protaminal, AGRO-SORB L-Amino + Mg) Amino acids (e.g. Elvita Amino, AminoVital Power, Amminostim BIO, Shift BIOLCHIM, Protaminal, AGRO-SORB L-Amino + Mg)	– wzrost efektywności pobierania i wykorzystywania składników pokarmowych (głównie azotu)/ increasing the efficiency of nutrient uptake and use (mainly nitrogen) – utrzymywanie korzystnego pH w komórce roślinnej/ regulation of intracellular pH homeostasis in plant cells – zwiększanie tempa biosyntezy chlorofilu i poprawa efektywności fotosyntezy/ enhancement of chlorophyll biosynthesis rate and photosynthetic efficiency – poprawa plonowania/ improves yield – wspomaganie odporności na patogeny/ supports resistance to pathogens	– brak danych/ no data

Preparaty z dodatkiem Preparation with an additive	Wpływ/Impact	
	na roślinę/ on the plant	na glebę/ on the soil
Ekstraktu z alg morskich (np. Elvita Alga, Vigor55 Lamina, Lamina Power 20, Maral, ALGEX, Algasoil) Extract from marine algae (e.g. Elvita Alga, Vigor55 Lamina, Lamina Power 20, Maral, ALGEX, Algasoil)	– zapobieganie skutkom stresów abiotycznych np. przymrozki, susza, zasolenie/ mitigation of the adverse effects of abiotic stresses e.g. frost, drought, salinity – stymulacja wielkości i jakości plonowania/ stimulation of yield volume and quality – zwiększanie zawartości chlorofilu/ increase in chlorophyll content – działanie regenerujące/ regenerating effect	– korzystne oddziaływanie na mikroorganizmy glebowe/ beneficial effects on soil microorganisms – stymulują pobierania składników odżywczych/ stimulate the uptake of nutrients
Żywych mikroorganizmów (np. Rhizosum N Plus, Messor Ceres Biotics, Elbio BakFos, Elbio FeN, Elbio Fungibactis, Messor Ceres Biotics) Live microorganisms (e.g. Rhizosum N Plus, Messor Ceres Biotics, Elbio BakFos, Elbio FeN, Elbio Fungibactis, Messor Ceres Biotics)	– stymulacja wielkości i jakości plonowania/ stimulation of yield volume and quality – pobudzanie wzrostu systemu korzeniowego/ stimulation of root system development – poprawa pobierania i akumulacji składników pokarmowych (azot atmosferyczny) oraz związków mineralnych/ enhancement of the uptake and accumulation of nutrients (atmospheric nitrogen) and mineral compounds – ochrona przed patogenami/ protection against pathogens	– poprawa zasobności i żyzności/ enhancement of soil fertility and resource availability – zwiększanie zawartości i dostępności rozpuszczalnych form P, K i Fe/ increased levels of soluble forms of P, K and Fe

Źródło: opracowanie własne na podstawie:/ Source: prepared on the basis of:

<https://agrosimex.pl/>, <https://zielonepogotowie.pl/>, <https://gumisil.store.pl/>, <https://farmino.pl/>, <https://wpolu.pl/>, <https://chemirol.com.pl/>, Informacja końcowa z realizacji projektu... 2015, Arioli i in. 2015, Sour i 2016, Shams i in. 2016, Rombel-Bryzek i Pisarek 2017, Chiaiese i in. 2018, Radkowski i in. 2018, Soppelsa i in. 2019, Grzyb i in. 2019, Soppelsa i in. 2019, Szparaga i in. 2019, Khan i in. 2019, Wang i in. 2019, Drobek i in. 2019, Kocira i in. 2020, Paćuta i in. 2021, Gawroński 2021, Janas 2023

Sposób wnikania składników pokarmowych do tkanek rośliny, skład i termin stosowania biostymulatorów powinien być ciągle udoskonalany [Alshaal i El-Ramady 2017], ważna jest także retencja oprysku na liściu (dzięki substancji żelującej), co w konsekwencji daje większą kumulację makro- i mikroelementów w biomasie [Jaskulski i in. 2023]. Biostymulatory można także stosować doglebowo, tj. poprzez roztwory wprowadzane do gleby głów-

nie z substancjami próchnicznymi. Preparaty te mogą być także aplikowane do systemu nawadniającego czy też bezpośrednio do gleby [Drobek i in. 2019], jak również przez podlewanie [Cristiano i in. 2018]. Preparaty dolistne wzbogacane są w różne substancje np. pobudzające metabolizm, zwiększające odporność na choroby czy szkodniki [Knapik 2018]. Należą do nich: ekstrakty z alg morskich [Chiaiese i in. 2018], kwasy humusowe, wyciągi roślinne [Soppelsa i in. 2019, Drobek i in. 2019], aminokwasy i hydrolizaty białkowe [Souri 2016]. Technologia dolistnej biostymulacji jest ciągle udoskonalana, modyfikowany jest skład preparatów. Biostymulatory regulujące wzrost i rozwój roślin mogą zawierać makro- i mikroelementy o zróżnicowanych proporcjach, będące składnikami tych biostymulatorów [Matysiak i Miziniak 2019, Stanisławska-Głubiak i in. 2020].

Biostymulatory zawierające kwasy humusowe

Zastosowanie w preparatach nawozowych kwasów humusowych, których składnikami są kwasy huminowe i fulwowe, pozytywnie oddziałuje na rośliny, powodując zwiększenie intensywności pobierania składników pokarmowych przez korzenie, a także umożliwia dostęp do mikroelementów zawartych w podłożu [Yakhin i in. 2017]. Substancje humusowe wpływają zarówno pośrednio, jak i bezpośrednio na roślinę, w zależności od dawki i stężenia substancji. Jednak mechanizm działania kwasów humusowych na stymulację wzrostu roślin nie jest jeszcze do końca znany [Knapik 2018]. Wielu badaczy wskazuje na szerokie pozytywne oddziaływanie kwasów humusowych na glebę i rosnące w niej rośliny [Rombel-Bryzek i Pisarek 2017, Drobek i in. 2019, Soppelsa i in. 2019]. Działają one jak akumulator mikrobiologiczny przyspieszający rozwój mikroflory glebowej [Informacja końcowa z realizacji projektu... 2015]. Można znaleźć wiele potwierdzeń w literaturze oddziaływania kwasów humusowych, powodujących zwiększenie i poprawę cech jakościowych plonu, np. buraka cukrowego [Rombel-Bryzek i Pisarek 2017, Wilczewski i in. 2018], ziemniaka [Matysiak 2020], pszenicy twardej [Paćuta i in. 2021].

Biostymulatory zawierające aminokwasy

Preparaty zawierające pojedyncze aminokwasy oraz hydrolizaty białkowe (mieszanki peptydów i aminokwasów) zaliczane są do biostymulatorów białkowych [Calvo i in. 2014]. Produkty mające w swoim składzie aminokwasy wpływają stymulująco na wzrost i rozwój roślin zarówno w sposób bezpośredni [Souri 2016], jak i pośredni [Radkowski i in. 2018, Khan i in. 2019] m.in. przez poprawę efektywności pobierania i wykorzystywania składników pokarmowych przez roślinę uprawną [Souri 2016, Wang i in. 2019]. Zastosowanie aminokwasów utrzymuje korzystne pH w komórce roślinnej dzięki ich budowie buforowej [Radkowski i in. 2018]. Biostymulatory zawierające aminokwasy powodują lepszy wzrost roślin, szczególnie w niesprzyjających warunkach klimatycznych, przez zwiększenie tempa biosyntezy chlorofilu i poprawę efektywności fotosyntezy [Shams i in. 2016].

Jak podaje Rosa i in. [2024] zastosowanie mieszaniny aminokwasów (L-glutaminanu, L-tryptofanu oraz L-tryptofanu i L-glutaminu) zwiększyło udział korzeni handlowych marchwi uprawnej w plonie ogółem (średnio od 95,1% do 97,2% oraz do 98,2%) w porównaniu z kontrolą (średnio 90,7%). Najlepsze rezultaty w tym samym doświadczeniu uzyskano po aplikacji doglebowej i dolistnej L-tryptofanu i L-glutaminu – udział plonu handlowego korzeni w plonie ogólnym wzrósł do 99,6%. Badania Pipiak i Skwarek [2020] potwierdzają wzrost

akumulacji azotu w roślinach nawożonych preparatami aminokwasowymi, co przekłada się na zwiększenie biomasy pędów i korzeni oraz liczby i masy owoców pomidora, winorośli i papai.

Biostymulatory zawierające ekstrakty z alg morskich

Algi brunatne w preparatach dolistnych stosowane są głównie jako regulatory wzrostu i rozwoju roślin, rzadziej jako źródła substancji pokarmowych. Dodatkowo wykazują one korzystne oddziaływanie na glebę i mikroorganizmy w niej żyjące [Arioli i in. 2015]. Choć ich korzystne działanie było wielokrotnie udowodnione naukowo [Drobek i in. 2019, Janas 2023], to nadal trwają prace nad poznaniem mechanizmów ich działania [Rudawska i in. 2018]. Potwierdzono pozytywny wpływ stosowania biostymulatorów z dodatkiem alg na wielkość i jakość plonu w uprawie: fasoli [Szparaga i in. 2019, Kocira i in. 2020], pszenicy twardej [Paćuta i in. 2021], marchwi nasiennej [Janas 2023], pietruszki nasiennej [Janas 2024]. Frioni i in. [2018] nie obserwowali natomiast korzystnego wpływu alg na wielkość plonu winorośli. Skuteczność biostymulatorów na bazie alg morskich badana była także w uprawie ziemniaków, gdzie stwierdzono m.in. wzrost plonu ogólnego, przyrost świeżej i suchej masy roślin, zwiększenie wysokości roślin oraz liczby łodyg [Prajapati i in. 2016].

Biostymulatory zawierające mikroorganizmy

Odrębną grupę biostymulatorów stanowią preparaty, do których produkcji wykorzystuje się żywe mikroorganizmy (tj. bakterie i grzyby), wpływające na plonowanie i wzrost roślin uprawnych [Grzyb i in. 2019]. Te produkty są badane i stosowane coraz częściej jako biostymulatory, poprawiające pobieranie, translokację i akumulację składników pokarmowych [Krawczyk i in. 2015, Grzyb i in. 2019]. Dlatego też są włączane do zrównoważonego rolnictwa zarówno w Polsce, jak i na świecie [Preininger i in. 2018].

Pozytywny wpływ na roślinę [Janas 2023] i glebę mają różne grupy mikroorganizmów, tj. grzyby, wirusy i bakterie [Krawczyk i in. 2015, Preininger i in. 2018, Chiaiese 2018]. Są to np. bakterie *Azotobacter* (wiążące wolny azot atmosferyczny i udostępniające go roślinom) czy bakterie fosforowe, np. *Bacillus megaterium* (udostępniające fosfor z form uwstecznionych do form przyswajalnych dla roślin) [Gawroński 2021]. Badania potwierdzają, że produkty zawierające mikroorganizmy wpływają korzystnie na plonowanie upraw rolniczych, np. ziemniaka [Maciejczak i in. 2023] czy pszenicy jarej [Kowalska i in. 2020].

PODSUMOWANIE

Azot jako najważniejszy pierwiastek warunkujący jakość i wielkość plonowania każdej rośliny uprawnej powinien być dostarczany roślinie w sposób racjonalny, tak aby umożliwić maksymalne wykorzystanie jego zasobów przez roślinę i nie dopuścić do gromadzenia jego nadmiaru w profilu glebowym. Pomimo iż forma mineralna azotu jest najwygodniejsza technologicznie oraz pozwala precyzyjnie zaplanować i zastosować odpowiednią dla uprawianego gatunku dawkę tego pierwiastka, w praktyce rolniczej poszukuje się alternatywnych metod prowadzących do zwiększania plonowania.

Właściwy poziom nawożenia mineralnego warunkuje dobry wzrost roślin i wysokie plony, jednak z uwagi na potencjalne przenikanie nadmiaru azotu z nawozów mineralnych

do gleby i wód gruntowych dąży się do redukcji stosowania nawozów mineralnych. Ma to na celu przywrócenie zdrowej równowagi ekosystemów, przez ograniczenie zanieczyszczeń środowiska pochodzących m.in. z sektora rolniczego.

Alternatywą dla azotu mineralnego może być aplikacja tego pierwiastka przez użycie np. nawozów naturalnych (tj. obornik, gnojówka, gnojowica), organicznych, pochodzących z odpadów lub poprzez dobór odpowiedniego przedplonu (tj. rośliny wiążące wolny azot z powietrza atmosferycznego, które po przyoraniu stanowią cenne źródło azotu dla rośliny następczej). Innym sposobem zwiększenia plonowania jest modyfikacja metabolizmu rośliny poprzez stymulację wzrostu i rozwoju rośliny uprawnej. Służą do tego preparaty spełniające definicję biostymulatora, zawierające np. kwasy humusowe, glony, aminokwasy, a także żywe mikroorganizmy (tj. bakterie i grzyby).

Dobór tych metod uzależniony jest od fizjologii i specyfiki poszczególnych gatunków roślin uprawnych oraz od zasobów, jakimi dysponuje producent rolny. Ważne, aby rolnicy mieli świadomość alternatywy do stosowania azotowych nawozów mineralnych, które nie w pełni wykorzystane przez roślinę uprawną mogą być wymywane w głąb profilu glebowego lub do wód gruntowych. W efekcie przyczyniają się do degradacji środowiska naturalnego, które jest miejscem bytowania wszystkich żywych organizmów.

Producenci żywności dostrzegają konieczność dostosowania się do potrzeb konsumentów i ochrony środowiska naturalnego, dlatego też należy w przyszłych zadaniach uwzględnić poszerzenie badań nad innymi sposobami nawożenia niż mineralne.

PIŚMIENNICTWO

- Alburquerque J.A., de la Fuente C., Ferrer-Costa A., Carrasco L., Cegarra J., Abad M., Bernal M.P., 2012. Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agroindustrial residues. *Biomass Bioenergy* 40, 181–189. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.02.018>
- 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>
- Arioli T., Mattner S.W., Winberg P.C., 2015. Applications of seaweed extracts in Australian agriculture: past, present and future. *J. Appl. Phycol.* 27(5), 2007–2015.
- Baker B.P., Green T.A., Loker A.J., 2020. Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. *Biol. Control.* 140(5), 104095. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104095>
- Buczek J., Jańczak-Pieniążek M., 2021. Reakcja pszenicy hybrydowej na wysokie dawki azotu i nawożenie dolistne. *Biul. Inst. Hod. Aklim. Rośl.* 296, 17–24. <https://doi.org/10.37317/10.37317/biul-2021-0010>
- Calvo P., Nelson L., Kloepper J.W., 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil* 383(1), 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- Cetner M., Dąbrowski P., Samborska I., Łukasik I., Swoczyna T., Pietkiewicz S., Bąba W., Hazem M., Kalaji H., 2016. Zastosowanie pomiarów fluorescencji chlorofilu w badaniach środowiskowych. *Kosmos* 65(2), 197–205.
- Chiaiese P., Corrado G., Colla G., Kyriacou M.C., Roupae Y., 2018. Renewable sources of plant biostimulation: microalgae as a sustainable means to improve crop performance. *Front. Plant Sci.* 9, 1782. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01782>
- Cieciura-Olczyk M., 2019. Narastanie plonu ziemiaka pod wpływem nawożenia organicznego, naturalnego i azotem. *Fragm. Agron.* 36(2), 7–17. <https://doi.org/10.26374/fa.2019.36.11>

- Cieciura-Olczyk M., Prośba-Białczyk U., 2018. Naturalne i organiczne nawożenie ziemiaka jadalnego. *Ziemn. Pol.* 28(3), 19–24.
- Cristiano G., Pallozzi E., Conversa G., Tufarelli V., De Lucia B., 2018. Effects of an animal-derived biostimulant on the growth and physiological parameters of potted snapdragon (*Antirrhinum majus* L.). *Front. Plant Sci.* 9, 861. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00861>
- Dara S.K., 2019. The new integrated pest management paradigm for the modern age. *J. Integ. Pest Manag.* 10(1), 12. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmz010>
- Drobek M., Frąc M., Cybulska J., 2019. Plant biostimulants: importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress. A review. *Agronomy* 9(6), 335. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060335>
- Faizy S.E.D., Mashali S.A., Youssef S.M., Elmahdy S.M., 2017. Study of wheat response to nitrogen fertilization, micronutrients and their effects on some soil available macronutrients. *J. Sus. Agric. Sci.* 43(1), 55–64. <https://doi.org/10.21608/JSAS.2017.3491>
- Frioni T., Sabbatini P., Tombesi S., Norrie J., Poni S., Gatti M., Palliotti A., 2018. Effects of a biostimulant derived from the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* on ripening dynamics and fruit quality of grapevines. *Sci. Hortic.* 232, 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.054>
- Galus-Barchan A., Chmiel M.J., 2019. Rola drobnoustrojów w pozyskiwaniu przez rośliny składników pokarmowych. *Kosmos* 68(1), 107–114.
- Gawdzik J., Długosz J., Urbaniak M., 2015. General characteristics of the quantity and quality of sewage sludge from selected wastewater treatment plants in Świętokrzyskie province. *Environ. Prot Eng.* 41(2), 107–117. <https://doi.org/10.5277/epe150209>
- Gawroński D., 2021. Ograniczenie skutków suszy w uprawach poprzez stosowanie kwasów humusowych i biohumusu. *Zag. Doradz. Rol.* 104(2), 48–59.
- Geissler B., Hermann L., Mew M.C., Steiner G., 2018. Striving toward a circular economy for phosphorus: The role of phosphate rock mining. *Minerals* 8(9), 395. <https://doi.org/10.3390/min8090395>
- Głodowska M., Gałązka A., 2018. Intensyfikacja rolnictwa a środowisko naturalne. *Zesz. Probl. Postęp. Nauk Roln.* 592, 3–13. <https://doi.org/10.22630/ZPPNR.2018.592.1>
- Grzyb A., Waraczewska Z., Niewiadomska A., Wolna-Maruwka A., 2019. Czym są biopreparaty i jakie jest ich zastosowanie?. *Nauka Przyr. Tech.* 13(2), 65–76. <https://doi.org/10.17306/J.NPT.2019.2.7>
- Hamid B., Zaman M., Farooq S., Fatima S., Sayyed R.Z., Baba Z.A., Sheikh T.A., Reddy M.S., Enshasy H.E., Gafur A., Suriani N.L., 2021. Bacterial plant biostimulants: a sustainable way towards improving growth, productivity, and health of crops. *Sustainability* 13(5), 2856. <https://doi.org/10.3390/su13052856>
- Harasim E., Wesołowski M., 2013. Wpływ nawożenia azotem na zachwaszczenie łanu pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.* 30(1), 36–44.
- Hołubowicz-Kliza G., Jadczyżyn T., Sulek A., 2021. Poradnik wapnowania gleb gruntów ornych. IUNG-PIB, Puławy, 23–24.
- <https://chemirol.com.pl/> [dostęp: 20.07.2025].
- <https://eco-vita.pl/> [dostęp: 20.07.2025].
- <https://farmino.pl/> [dostęp: 20.07.2025].
- <https://grupaaazoty.com/> [dostęp: 20.07.2025].
- <https://gumisil.store.pl/> [dostęp: 20.07.2025].
- <https://ogrodnik24.pl/> [dostęp: 20.07.2025].
- <https://target.com.pl/> [dostęp: 20.07.2025].
- <https://wpolu.pl/> [dostęp: 20.07.2025].
- <https://zielonepogotowie.pl/> [dostęp: 20.07.2025].
- Informacja końcowa z realizacji projektu w ramach programu operacyjnego „Innowacyjna gospodarka”, 2015. <https://www.inhort.pl/files/ekotechprodukt/Informacja-koncowa-z-realizacji-projektu-EkoTechProdukt.pdf> [dostęp: 15.05. 2025].

- Jama-Rodzeńska A., Gałka B., 2022. Effect of phosphate fertilizers based on sewage sludge on yielding, chemical composition of plants and soil. *Agron. Sci.* 77(3), 5–25. <https://doi.org/10.24326/as.2022.3.1>
- Jama-Rodzeńska A., Sowiński J., Koziel J.B.A., 2021. Phosphorus recovery from sewage sludge ash based on cradle-to-cradle approach – mini-review. *Minerals* 11(9), 985. <https://doi.org/10.3390/min11090985>
- Janas R., 2023. Opracowanie ekologicznych metod produkcji nasiennej marchwi (*Daucus carota* L.). Instytut Ogrodnictwa – PIB, Skierniewice.
- Janas R., 2024. Przewodnik uprawy pietruszki nasiennej w systemie ekologicznym. Instytut Ogrodnictwa – PIB, Skierniewice.
- du Jardin P., 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Sci. Hortic.* 196, 3–14.
- Jaskulski D., Jaskulska I., Różniak E., 2023. 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>
- Kapusta F., 2017. Rola roślin strączkowych w rolnictwie polskim. *Zag. Doradz. Rol.* 87(1), 68–78.
- Khan Sh., Yu H., Li Q., Gao Y., Sallam B.N., Wang H., Liu P., Jiang W., 2019. Exogenous application of amino acids improves the growth and yield of lettuce by enhancing photosynthetic assimilation and nutrient availability. *Agronomy* 9(5), 266. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050266>
- Klapec T., Cholewa A., 2012. Zagrożenia dla zdrowia związane ze stosowaniem nawozów organicznych i organiczno-mineralnych. *Med. Og. Nauk Zdr.* 18(2), 131–136.
- Klikocka H., Cubulska 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. <https://doi.org/10.15244/pjoes/69942>
- Knapik M., 2018. Zastosowanie biostymulatorów we współczesnym rolnictwie. *Zesz. Stud. Ruchu Nauk. Uniw. Jana Kochanowskiego Kielce* 27(2), 79–84.
- Kocira A., Lamorska J., Kornas R., Nowosad N., Tomaszewska M., Leszczyńska D., Tabor S., 2020. Changes in biochemistry and yield in response to biostimulants applied in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agronomy* 10(2), 189. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020189>
- Kocira A., Świeca M., Kocira S., Złotek U., Jakubczyk A., 2018. Enhancement of yield, nutritional and nutraceutical properties of two common bean cultivars following the application of seaweed extract (*Ecklonia maxima*). *Saudi J. Biol. Sci.* 25(3), 563–571. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.01.039>
- Kowalska J., Tyburski J., Bocianowski J., Krzywińska J., Matysiak K., 2020. Methods of silicon application on organic spring wheat (*Triticum aestivum* L. spp. *vulgare*) cultivars grown across two contrasting precipitation years. *Agronomy* 10(11), 1655. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111655>
- Krawczyk A., Supel P., Kaszycki P., Lis-Krzyściń A., 2015. Zastosowanie dwuskładnikowego bio-nawozu bakteryjno-mineralnego w uprawie roślin ozdobnych. *Przem. Chem.* 94, 1183–1189. <https://doi.org/10.15199/62.2015.7.22>
- Krysztoforski M., 2022. Gospodarowanie substancją organiczną i składnikami pokarmowymi w rolnictwie ekologicznym. *CDR w Brwinowie, Radom*, 24–39.
- Kubiak-Siwińska K., Kotlarz J., 2023. Pomiary zapotrzebowania nawozowego kukurydzy za pomocą aktywnego czujnika azotu. *PAR* 27(3), 13–18. https://doi.org/10.14313/PAR_249/13
- Łabętowicz J., Stępień W., Kobiś M., 2019. Innowacyjne technologie przetwarzania odpadów na nawozy agroekologicznej użyteczności. *Inż. Ekol.* 20(1), 13–23. <http://dx.doi.org/10.12912/23920629/106203>
- Łagocka A., Kamiński M., Cholewiński M., Pospolita W., 2016. Korzyści ekologiczne ze stosowania pofermentu z biogazowni rolniczych jako nawozu organicznego. *Kosmos* 65(4), 601–607.
- Maciejczak M., Filipiak T., Gołbiewska B., Urbanowicz J., Osowski J., Treder K., 2023. Zróżnicowanie opłacalności tradycyjnej i innowacyjnej uprawy ziemniaków w Polsce. *Zag. Ekon. Rol.* 377(4), 70–85. <http://dx.doi.org/10.30858/zer/177251>

- Matysiak K., 2020. Effect of foliar application of humic substances on qualitative and quantitative traits of the yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) and sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Prog. Plant Prot. 60(1), 17–23. <http://dx.doi.org/10.14199/ppp-2020-003>
- Matysiak K., Miziniak W., 2019. Assessment of the biostimulative effect of Lithovit and Kelpak on selected biometric and qualitative features of winter oilseed rape. Prog. Plant Prot. 59(3), 188–195. <http://dx.doi.org/10.14199/ppp-2019-025>
- Murawa D., Przyborowski K., 2014. Plonowanie dziewięciu odmian pszenicy jarej grupy użytkowej a w zależności od poziomu agrotechniki. Zesz. Nauk. Wyd. WSA. Łomża 54, 40.
- Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 24 stycznia 2024 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o nawozach i nawożeniu, Dz.U. z 2024 r., poz. 105.
- Oldroyd G.E., Dixon R., 2014. Biotechnological solutions to the nitrogen problem. Curr. Opin. Biotechnol. 26, 19–24.
- Olejek P., 2020. Rola wybranych mechanizmów molekularnych w doborze partnerów symbiotycznych w interakcjach roślin bobowatych z bakteriami brodawkowymi. Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce 25, 25–30.
- Oleńska E., 2015. Asocjacja symbiotyczna roślin bobowatych z ryzobiami. W: A. Bajguz, I. Ciereszk, Różnorodność biologiczna – od komórki do ekosystemu. Funkcjonowanie roślin i grzybów. Środowisko – eksperyment. Polskie Towarzystwo Botaniczne, 187–200.
- Oleś I., 2021. Uprawa międzyplonów korzyścią dla rolnika i środowiska. KPODR w Minikowie, 5–25.
- Pačuta V., Rašovský M., Michalska-Klimczak B., Wyszyński Z., 2021. Grain yield and quality traits of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) treated with seaweed-and humic acid-based biostimulants. Agronomy 11(7), 1270. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071270>
- Patyra E., Osinski Z., Grenda T., Kwiatek K., 2022. Wybrane aspekty sanitarno-weterynaryjne wytwarzania oraz stosowania nawozów organicznych i naturalnych. Życie Wet. 97(03), 185–190.
- Pilarska A., Piechota T., Szymańska M., Pilarski K., Wolna-Maruwka A., 2016. Ocena wartości nawozowej pofermentów z biogazowni oraz wytworzonych z nich kompostów. Nauka Przyroda Technol. 10(3), 35. <http://dx.doi.org/10.17306/J.NPT.2016.3.35>
- Pilarska A., Pilarski K., Dach J., Boniecki P., Dobrzański K., 2014. Nowoczesne metody oraz perspektywy zagospodarowania nawozów naturalnych. Tech. Rol. Ogrod. Leśna. 2, 9–11.
- Pipiak P., Skwarek M., 2020. Zastosowanie nawozów aminokwasowych w rolnictwie. Technol. Jakość Wyr. 65, 144–157.
- Podleśna A., 2018. Proces wiązania N₂ przez rośliny bobowate jako źródło azotu dla roślin uprawnych. Stud. Rap. IUNG–PIB 56(10), 71–85. <https://bc.iung.pl/handle/123456789/728>
- Prajapati A., Patel C.K., Singh N., Jain S.K., Chongtham S.K., Maheshwari M.N., Patel R.N., 2016. Evaluation of seaweed extract on growth and yield of potato. Environ. Ecol. 34(2), 605–608.
- Preininger C., Sauer U., Bejarano A., Berninger T., 2018. Concepts and applications of foliar spray for microbial inoculants. Appl. Microbiol. Biotechnol. 102(17), 7265–7282.
- Rachoń L., Szumiło G., Kurzydłowska I., 2013. Wpływ intensywności technologii produkcji na jakość ziarna pszenicy zwyczajnej, twardej, orkisz i jednoziarnistej. Annales UMCS, Sec. E Agric. 68(2), 60–68.
- Radkowski A., Radkowska I., Godyń D., 2018. Effects of fertilization with an amino acid preparation on the dry matter yield and chemical composition of meadow plants. J. Elem. 23(3), 947–958. <https://doi.org/10.5601/jelem.2017.22.4.1511>
- Rogers C., Oldroyd G.E., 2014. Synthetic biology approaches to engineering the nitrogen symbiosis in cereals. J. Exp. Bot. 65(8), 1939–1946.
- Rombel-Bryzek A., Pisarek I., 2017. Wpływ kwasów huminowych na aktywność metaboliczną buraka cukrowego w warunkach suszy. Prec. ECoPole 11(1), 279–286. [https://doi.org/10.2429/proc.2017.11\(1\)030](https://doi.org/10.2429/proc.2017.11(1)030)
- Rosa R., Franczuk J., Hajko L., Dydiv O., Dydiv I., 2024. Wpływ l-tryptofanu i kwasu l-glutaminowego na plonowanie marchwi uprawnej (*Daucus carota* L. subsp. sativus Thell.). W: „Сучасні технології вирощування екологічно безпечної плодовоовочевої продукції”. Матеріали II

- Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 90-річчю від дня народження видатної селекціонерки часнику Лідії Лішак. 28-29 березня 2024. Львів, 24–28. <https://repository.lnup.edu.ua/jspui/handle/123456789/1574>
- Rozporządzenie Komisji (UE) nr 142/2011 z dnia 25 lutego 2011 r. w sprawie wykonania rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1069/2009 określającego przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego, nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi, oraz w sprawie wykonania dyrektywy Rady 97/78/WE w odniesieniu do niektórych próbek i przedmiotów zwolnionych z kontroli weterynaryjnych na granicach w myśl tej dyrektywy, Dz.U. L 54 z 26.2.2011.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, Dz.U. z 2017 r., poz. 2294.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 9 sierpnia 2024 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu, Dz.U. z 2024 r., poz. 1261.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/1009 z dnia 5 czerwca 2019 r. ustanawiające przepisy dotyczące udostępniania na rynku produktów nawozowych UE, zmieniające rozporządzenia (WE) nr 1069/2009 i (WE) nr 1107/2009 oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 2003/2003, Dz.U. L 170 z 25.6.2019.
- Rudawska D., Wiśniewska J., Drygaś P., Szyszkowska A., Drygaś B., 2018. Znaczenie glonów brunatnych (*Phaeophyceae*) i ich wpływ na organizmy roślinne i zwierzęce. *Eduk. Biol. Śr.* 2, 3–9. <https://doi.org/10.24131/3247.180201>
- Rutkowska A., 2020. Innowacje w zakresie badań nad nawożeniem azotem w zakładzie żywienia roślin i nawożenia IUNG-PIB oraz rozwój rynku nawozów azotowych w Polsce. *Stud. Rap. IUNG-PIB* 63(17), 21–38. <https://doi.org/10.26114/sir.iung.2020.63.02>.
- Sazońska B., 2020. Zasady prowadzenia gospodarstw w systemie rolnictwa ekologicznego. *CDR w Brwinowie. Radom*, 1–24.
- Shams M., Yildirim E., Ekinci M., Turan M., Dursun A., Parlakova F., Kul R., 2016. Exogenously applied glycine betaine regulates some chemical characteristics and antioxidative defense systems in lettuce under salt stress. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 57(3), 225–231.
- Skudra I., Ruza A., 2016. Winter wheat grain baking quality depending on environmental conditions and fertilizer. *Agron. Res.* 14(2), 1460–1466.
- Soppelsa S., Kelderer M., Casera C., Bassi M., Robatscher P., Matteazzi A., Andreotti C., 2019. Foliar applications of biostimulants promote growth, yield and fruit quality of strawberry plants grown under nutrient limitation. *Agronomy* 9(9), 483. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090483>
- Souri M.K., 2016. Aminochelate fertilizers: the new approach to the old problem; a review. *Open Agric.* 1(1), 118–123.
- Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J., Zajączkowska A., 2020. Analiza rynku nawozów mikroelementowych na tle potrzeb nawożenia mikroelementami w Polsce. *Stud. Rap. IUNG-PIB* 63(17), 145–161. <https://doi.org/10.26114/sir.iung.2020.63.10>
- Stankowski S., Podolska G., Kaczmarek S., Jaroszevska A., Hury G., Sobolewska M., 2019. Influence of sulphur fertilization on yielding and chemical composition of grain of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in different habitat conditions. *J. Elementol.* 24(3), 1007–1023. <https://doi.org/10.5601/jelem.2018.23.4.1743>
- Stefanis C., Stavropoulos A., Stavropoulou E., Tsigalou C., Constantinidis T.C., Bezirtzoglou E., 2024. A spotlight on environmental sustainability in view of the European Green Deal. *Sustainability* 16(11), 4654. <https://doi.org/10.3390/su16114654>
- Szparaga A., Kuboń M., Kocira S., Czerwińska E., Pawłowska A., Hara P., Kwaśniewski D., 2019. Towards sustainable agriculture – agronomic and economic effects of biostimulant use in common bean cultivation. *Sustainability* 11(17), 4575. <https://doi.org/10.3390/su11174575>
- Tyburski J., Marks M., Franke K., 2023. Nawożenie azotem ekologicznie uprawianej pszenicy zwyczajnej jako czynnik ograniczający jej zachwaszczenie i zwiększający wydajność ziarna. *Fragm. Agron.* 40(2), 39–46. <https://doi.org/10.26374/fa.2023.40.9>

- Wang D., Deng X., Wang B., Zhang N., Zhu C., Jiao Z., Li R., Shen Q., 2019. Effects of foliar application of amino acid liquid fertilizers, with or without *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9, on cowpea yield and leaf microbiota. PLOS one 14(9), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222048>
- Wilczewski E., Szczepanek M., Wenda-Piesik A., 2018. Response of sugar beet to humic substances and foliar fertilization with potassium. J. Cent. Eur. Agric. 19(1), 153–165. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/19.1.2033>
- Wiśniewski P., Marks-Bielska R., 2022. Znaczenie realizacji Europejskiego Zielonego Ładu dla polskiej wsi i rolnictwa. W: J. Wilkin, A. Hałasiewicz (red.), Polska wieś 2022. Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa, Wydawnictwo Naukowe Scholar, Warszawa, 119–132.
- Yakhin O.I., Lubyantsev A.A., Yakhin I.A., Brown P.H., 2017. Biostimulants in plant science: a global perspective. Front. Plant Sci. 7, 2049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
- Żaba M. (oprac.), 2024. Program azotanowy, aktualizacja 2024, Dolnośląski Ośrodek Doradztwa Rolniczego.

Źródło finansowania: SUBB.WRS.19.030.2025.

Abstract. Nitrogen is the most critical nutrient influencing both the quality and quantity of crop yield. It should be supplied in a rational manner to ensure its optimal uptake by plants while preventing excess accumulation in the soil profile. Although the mineral form of nitrogen is the most technologically convenient and allows for precise dosing tailored to the needs of specific crop species, its potential to leach into soil and groundwater has prompted the search for alternative yield-enhancing strategies in agricultural practice. This paper discusses the role of nitrogen in plant nutrition and its impact on soil health. It also presents alternative methods to mineral nitrogen fertilization, (including the use of organic, natural, and waste-derived fertilizers, as well as the cultivation of nitrogen-fixing pre-crop plants) additionally, it explores approaches for modifying plant metabolism through biostimulation with products containing humic acids, algae extracts, amino acids, and microorganisms. Reducing the accumulation of agriculture-derived pollutants in the natural environment is crucial for restoring the biological balance of ecosystems.

Keywords: nitrogen, crop yield, fertilization, biostimulants

Otrzymano/Received: 2.06.2025
Zaakceptowano/Accepted: 7.10.2025
Opublikowano/Published: 13.11.2025