

*Biostimulants in modern agriculture.
Mechanism of action and legal status***Biostymulatory we współczesnym rolnictwie.
Mechanizm działania oraz status prawny**

DOI: 10.15199/62.2025.4.6

A review, with 44 refs., concerning the effect of biostimulants on plant growth and development, with a discussion of the main types of substances contained in them. The concept of a biostimulant in legal terms was defined. Growth stimulants permitted for circulation in Poland were presented.

Keywords: legislation on fertilizers and fertilization, biostimulants, humic acids, amino acids, plant extracts, microorganisms

Przegląd literaturowy dotyczący wpływu biostymulatorów na wzrost i rozwój roślin z omówieniem głównych substancji w nich występujących. Zdefiniowano pojęcie biostymulatora w ujęciu prawnym. Przedstawiono stymulatory wzrostu dopuszczone do obrotu w Polsce.

Słowa kluczowe: legislacja w zakresie nawozów i nawożenia, biostymulatory, kwasy humusowe, aminokwasy, wyciągi roślinne, mikroorganizmy

We współczesnym rolnictwie podstawowymi środkami produkcji są nawozy i środki ochrony roślin, bez których nie jest możliwe zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego. Ciągłe wzrastająca świadomość społeczna związana z troską o środowisko naturalne skłania jednak do poszukiwania nowych rozwiązań, sprzyjających utrzymaniu produktywności roślin przy ograniczeniu zużycia nawozów oraz zwiększeniu efektywności wykorzystania zawartych w nich składników pokarmowych. Odpowiedzialne podejście do rolnictwa znajduje odzwierciedlenie w podejmowanych inicjatywach wspólnotowych i krajowych odnośnie do zmniejszania zanieczyszczeń wody, powietrza i gleby oraz zminimalizowania zużycia nieodnawialnych źródeł surowców naturalnych, jak chociażby Europejski Zielony Ład stanowiący centralny element strategii Unii Europejskiej na rzecz zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych, ochrony bioróżnorodności, promowania zrównoważonego rolnictwa oraz wprowadzenia gospodarki o obiegu zamkniętym¹⁾.

Odpowiedzią na potrzeby konsumenta, związane z produkcją zdrowej żywności oraz ograniczeniem presji rolnictwa na środowisko, są produkty określane jako biostymulatory lub stymulatory wzrostu. Na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat biostymulatory stanowią bardzo dynamicznie rozwijający się segment rynku produktów nawozowych. Większość analityków podaje, że europejski rynek biostymulatorów stanowi ok. połowę rynku światowego. Szacunki wartości rynku europejskiego w 2022 r. wahały się w granicach 1,5–2,0 mld USD²⁾. Działanie biostymulatorów polega, najogólniej, na usprawnieniu procesów życiowych zachodzących w roślinach na różnych poziomach organizacji oraz na zwiększeniu ich tolerancji na czynniki stresowe. Ważną funkcją biostymulatorów w aspekcie ochrony środowiska jest zwiększenie efektywności wykorzystania składników pokarmowych z gleby i z zastosowanych nawozów, co może umożliwić ograniczenie ilości stosowanych nawozów mineralnych.

Definicja i podział biostymulatorów

Ze względu na mnogość produktów stymulujących oraz dynamiczny rozwój rynku tych produktów w 2012 r. Komisja Europejska zaproponowała na podstawie opracowania de Jardin, cytowanego przez Rouphael i Colla³⁾, uwzględniającego ponad 250 doniesień naukowych dotyczących preparatów o charakterze biostymulującym, następującą definicję biostymulatora: *biostymulatory to substancje i materiały, z wyłączeniem substancji odżywczych i pestycydów, które zastosowane na rośliny, nasiona lub podłoże, w którym wzrastają rośliny, wykazują zdolność do*



Dr hab. Agnieszka RUTKOWSKA (ORCID: 0000-0001-9799-0327) w roku 1997 ukończyła studia na Wydziale Filozofii Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego. W 2005 r. uzyskała stopień doktora nauk rolniczych w dziedzinie agronomii, a w 2022 r. stopień doktora habilitowanego w dziedzinie nauk rolniczych, w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo. Jest zatrudniona w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym w Puławach na stanowisku adiunkta. Specjalność – nawożenie i gospodarka nawozowa.

* Adres do korespondencji:

Zakład Nawożenia i Zarządzania Składnikami Pokarmowymi, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy, tel.: (81) 478-68-40, e-mail: agrut@iung.pulawy.pl

modyfikowania procesów życiowych w sposób zapewniający uzyskanie potencjalnych korzyści związanych ze wzrostem, rozwojem lub odpowiedzią na czynniki stresowe. Jak podają autorzy pracy³⁾, du Jardin proponował, na podstawie analizy składu surowcowego opisywanych w literaturze preparatów biostymulujących, ich podział na 8 kategorii: substancje humusowe, kompleksowe materiały organiczne (uzyskane z produkcji przemysłowej substancje odpadowe, ekstrakty z osadów ściekowych, kompost i obornik), pierwiastki chemiczne wykazujące korzystny wpływ na rośliny (Al, Co, Na, Se i Si), nieorganiczne fosforyny, wyciągi z wodorostów morskich (brązowe, czerwone i zielone algi), pochodne chityny i chitozanu, antytranspiranty (kaolin i poliakrylamid) oraz wolne aminokwasy i substancje zawierające azot (peptydy, poliaminy, betainy). Klasyfikacja ta nie obejmowała biostymulatorów mikrobiologicznych. Trzy lata później du Jardin⁴⁾ na podstawie wyników badań nad biostymulatorami stosowanymi w rolnictwie i ogrodnictwie proponował nową definicję: *biostymulator to dowolna substancja lub mikroorganizm zastosowana na roślinę w celu zwiększenia efektywności odżywienia roślin, tolerancji na stres abiotyczny i/albo zawartości w roślinie składników odżywczych*. Colla i Roupheal⁵⁾, również na podstawie doniesień naukowych, wyróżnili 6 kategorii biostymulatorów niemikrobiologicznych: chitozan, kwasy huminowe i fulwowe, hydrolizaty białkowe, fosforyny, ekstrakty z wodorostów morskich, krzem oraz 3 kategorie stymulatorów mikrobiologicznych: arbuskularne grzyby mykoryzowe, ryzobakterie promujące wzrost roślin i grzyby *Trichoderma* spp. W związku z koniecznością uregulowań w zakresie jednoznacznej definicji biostymulatora oraz wprowadzenia wymagań prawnych w stosunku do tych produktów w celu uporządkowania rynku, w 2019 r. Komisja Europejska podała ostateczną definicję biostymulatora jako jednej z kategorii produktów nawozowych ujętych rozporządzeniem⁶⁾. Zgodnie z definicją podaną w obowiązującym rozporządzeniu z dnia 20 listopada 2024 r. biostymulator oznacza produkt, który stymuluje procesy odżywiania rośliny niezależnie od zawartości składników pokarmowych i którego jedynym celem jest poprawa co najmniej jednej z następujących właściwości rośliny lub ryzosfery roślin: efektywność wykorzystania składników pokarmowych, odporność na stres abiotyczny, cechy jakościowe i przyswajalność składników pokarmowych z form trudno dostępnych w glebie lub ryzosferze. Rozporządzenie klasyfikuje produkty biostymulujące jako PFC 6. Biostymulator, z podziałem na PFC 6. A. Biostymulator mikrobiologiczny i PFC 6. B. Biostymulator niemikrobiologiczny. W odniesieniu do biostymulatorów mikrobiologicznych rozporządzenie precyzuje, że produkty te mogą składać się wyłącznie z mikroorganizmu lub konsorcjum mikroorganizmów określonych w CMC 7 w części II załącznika II do cytowanego rozporządzenia, czyli *Azotobacter* spp., grzyby mykoryzowe, *Rhizobium* spp., *Azospirillum* spp., przy czym preparat mikrobiolo-

giczny może zawierać również mikroorganizmy martwe lub nieaktywne i nieszkodliwe substancje reszkowe z pożywek, na których zostały one wyprodukowane, które nie zostały poddane żadnemu innemu przetwarzaniu niż suszenie lub liofilizacja. Ze względu na ograniczoną listę dopuszczalnych mikroorganizmów na wniosek European Biostimulants Industry Council (EBIC) trwają obecnie konsultacje w sprawie rozszerzenia wspomnianej listy.

Należy podkreślić, że prawodawstwo krajowe również odnosi się do preparatów stymulujących wzrost i rozwój roślin. W Polskim prawie nawozowym ta kategoria produktów zaliczana jest do środków wspomagających uprawę roślin. Ustawa z dnia 10 lipca o nawozach i nawożeniu⁷⁾ definiuje stymulator wzrostu jako *niebędący produktem nawozowym UE związek organiczny lub mineralny lub jego mieszanina, wpływające korzystnie na rozwój roślin lub inne procesy życiowe roślin, z wyłączeniem regulatora wzrostu będącego środkiem ochrony roślin w rozumieniu przepisów o ochronie roślin*. Ustawa nie wprowadza klasyfikacji stymulatorów wzrostu, wyróżnia natomiast kategorię nawozowych produktów mikrobiologicznych. Nawozowe produkty mikrobiologiczne to *produkty zawierające wyłącznie mikroorganizmy, w tym mikroorganizmy martwe lub nieaktywne lub konsorcja tych mikroorganizmów oraz substancje stanowiące pożywkę dla tych mikroorganizmów i ich metabolity, a także nieszkodliwe substancje reszkowe z pożywek, które poprawiają aktywność biologiczną gleby lub stymulują procesy odżywiania roślin lub grzybów, a wyłącznym celem ich zastosowania jest poprawa efektywności wykorzystania składników pokarmowych przez rośliny lub grzyby, ich odporności na stres abiotyczny, ich cech jakościowych lub przyswajalności przez nie składników pokarmowych z form trudno dostępnych w glebie*. Oznacza to, że preparaty wpisujące się w definicję nawozowego produktu mikrobiologicznego i niezawierające żadnych dodatkowych substancji i substratów nie mogą być klasyfikowane i rejestrowane w Polsce jako stymulatory wzrostu. Nawozowe produkty mikrobiologiczne nie są wprowadzane do obrotu na podstawie decyzji wydanej przez ministra właściwego ds. rolnictwa. Zgodnie z rozporządzeniem⁸⁾ jednostką uprawnioną do prowadzenia wykazu nawozowych produktów mikrobiologicznych jest Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach (IUNG-PIB), który udostępnia ten wykaz na stronie internetowej <https://www.iung.pl/informacje/do-pobrania/>. Produkty te wpisywane są do wykazu na wniosek podmiotu zgłaszającego.

Wpływ wybranych substancji obecnych w biostymulatorach na rośliny

Kwasy humusowe

Kwasy humusowe to mieszanina wielkocząsteczkowych związków organicznych wchodzących w skład próchnicy glebowej. Do produkcji biostymulatorów wykorzystuje

się 2 grupy tych związków: kwasy huminowe i fulwowe. Bezpośredni efekt stymulujący kwasów humusowych polega na zmianach w metabolizmie roślin⁹⁾. Kwasy humusowe mają wpływ na błony komórkowe, zwiększając ich przepuszczalność, co przekłada się na sprawniejszy transport związków mineralnych do miejsc aktywnych metabolicznie¹⁰⁾. Po wnikięciu tych makromolekuł do komórek następuje wzrost intensywności oddychania komórkowego oraz wzmoczenie podziałów komórkowych. Dlatego kwasy huminowe (*humic acids*, HAs) i fulwowe (*fulvic acids*, FAs) przyspieszają kiełkowanie nasion i wzrost siewek¹¹⁾. HAs i FAs powodują zwiększenie ilości mRNA w komórkach, niezbędnego w wielu procesach biochemicznych. Aktywacja tych procesów powoduje wzmoczenie syntezy niektórych enzymów, a tym samym zawartości białek nośnikowych i strukturalnych, przede wszystkim w liściach.

Ponieważ kwasy humusowe silnie oddziałują na wzrost korzeni, to często określane są jako stymulatory wzrostu korzeni¹²⁾. Korzenie, liście oraz inne wzrastające części młodych roślin reagują silniej na działanie kwasów humusowych w porównaniu ze starszymi roślinami. Stąd aplikacja preparatów humusowych jest bardziej skuteczna przy stosowaniu na rośliny we wczesnych fazach wzrostu. Z danych literaturowych wynika również, że aplikacja dolistna daje lepsze efekty w porównaniu z zastosowaniem doglebowym. Aplikacja doglebowa powoduje, że znaczna część HAs i FAs zatrzymywana jest przez korzenie i dopiero kiedy związki te osiągną właściwe stężenie w tych organach, transportowane są do pędów i liści. U większości roślin stanowi to zaledwie 5–30% puli kwasów humusowych pobranych przez korzenie¹³⁾. Kwasy humusowe, szczególnie FAs, stosowane dolistnie wpływają korzystnie na zawartość chlorofilu w liściach. Niektóre molekuły wchodzące w skład substancji humusowych regulują gospodarkę hormonalną roślin. Zarówno kwasy huminowe, jak i fulwowe działają jak inhibitory powodujące rozkład kwasu indolilo-3-octowego (IAA), który reguluje wzrost i rozwój roślin¹⁴⁾. Poprzez regulację gospodarki hormonalnej kwasy humusowe determinują również reakcję obronną roślin na niekorzystne warunki środowiska, w tym stres suszy i niskie temperatury¹⁵⁾.

Ekstrakty z wodorostów morskich

Ekstrakty roślinne (*seaweed extracts*) stanowią ważną grupę biostymulatorów. Najczęściej do ich produkcji wykorzystywane są makroalgi czerwone, zielone i brązowe³⁾. Brązowe algi *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus* i *Saccharina longicirris* zawierają laminarynę i alginian. Laminaryna jest polisacharydem, który pełni funkcję materiału zapasowego, bierze również udział w aktywacji genów odpowiedzialnych za naturalną odporność roślin. Alginian jest składnikiem ścian komórkowych, który tworzy strukturę wiążącą wodę, przez co zapobiega wysuszeniu tych roślin podczas bezpośredniego działania powietrza, np. podczas odpływów¹⁶⁾. Spośród mikroalg popularne są, takie jak

Chlorella vulgaris, *Acutodesmus dimorphus*, *S. platensis*, *Scenedesmus quadricauda*, *Dunaliella salina*, *Chlorella ellipsoidea*, *Spirulina maxima* i *Calothrix elenkinii*¹⁷⁾. Algi morskie są cennym źródłem makro- i mikoskładników pokarmowych, aminokwasów oraz witamin, niemniej jednak zawierają poza substancjami odżywczymi regulatory wzrostu, w tym hormony roślinne, takie jak auksyny, cytokininy i kwas abscysynowy¹⁸⁾. Obecne w ekstraktach z alg cytokininy stymulują kiełkowanie nasion, regulują tempo podziałów komórkowych oraz procesy starzenia się roślin poprzez hamowanie rozkładu białek¹⁹⁾.

Hydrolizaty białkowe i aminokwasy

Wśród tej grupy biostymulatorów można wyróżnić produkty zawierające wolne aminokwasy (m.in. glutamina, prolina, betaina) oraz mieszaniny aminokwasów i peptydów^{20, 21)}. Mieszaniny aminokwasów i peptydów uzyskiwane są poprzez enzymatyczną lub chemiczną hydrolizę produktów roślinnych, takich jak resztki pozbiorowe łubinu, lucerny lub alg oraz półproduktów pochodzenia zwierzęcego, takich jak kolagen, elastyna i tkanki nabłonkowe²¹⁾. Jakkolwiek produkty takie zawierają zwykle znaczne ilości azotu, to biostymulujące oddziaływanie na roślinę nie wynika bezpośrednio z odżywczej roli tego makroskładnika^{22, 23)}. Hydrolizaty białkowe oraz aminokwasy oddziałują na szlaki metaboliczne węgla i azotu oraz wspomagają asymilację azotu przez rośliny^{24, 25)}. Lewoskrętne aminokwasy odgrywają istotną rolę w mechanizmie pobierania azotu przez system korzeniowy. Seryna, tryptofan i walina są prekursorami auksyn, hormonów roślinnych regulujących wzrost korzeni i części nadziemnych, oraz determinujących różnicowanie się tkanek ksylemu przewodzącego wodę od korzeni do górnych części roślin. Kwas asparaginowy, treonina i fenyloalanina przyspieszają kiełkowanie nasion, a glicyna i lizyna odgrywają ważną rolę w procesie formowania komórek roślinnych oraz w procesie syntezy chlorofilu^{26, 27)}. Hydrolizaty białkowe i aminokwasy wykazują również korzystny wpływ w mechanizmach odpowiedzi roślin na niekorzystne warunki środowiskowe. Betaina, glicyna i prolina to aminokwasy wykazujące działanie ochronne na błony komórkowe, białka i enzymy w warunkach wysokiej temperatury i intensywnego promieniowania słonecznego, dlatego odnotowano korelację pomiędzy poziomem tych aminokwasów a wzrostem tolerancji niektórych roślin na niekorzystne warunki środowiskowe^{28, 29)}.

Preparaty mikrobiologiczne

Zgodnie z polskim prawodawstwem⁷⁾ preparaty zawierające wyłącznie mikroorganizmy klasyfikowane są jako nawozowe produkty mikrobiologiczne, które nie podlegają procesowi rejestracyjnemu. W stosunku do tych produktów nie sformułowano żadnych wymagań odnośnie do komponentu mikrobiologicznego, natomiast zgodnie z rozporządzeniem⁶⁾ jedynie 3 rodzaje bakterii oraz grzyby mykoryzowe mogą stanowić komponent biostymulatora

mikrobiologicznego. Wymienione mikroorganizmy uznano za wystarczająco poznane pod względem oddziaływania na rośliny oraz bezpieczeństwa ich stosowania w odniesieniu do zdrowia ludzi, zwierząt i środowiska.

Bakterie z rodzaju *Azotobacter* należą do szerokiej grupy wolno żyjących diazotrofów powszechnie występujących w glebie, wykazujących zdolność wiązania azotu atmosferycznego oraz wytwarzających związki stymulujące wzrost i rozwój roślin. Dotychczas rozpoznano 8 gatunków tych bakterii, czyli *A. armeniacus*, *A. bryophylli*, *A. chroococcum*, *A. nigricans*, *A. paspali*, *A. salinestris* i *A. vinelandii*^{30, 31}.

Bakterie z rodzaju *Rhizobium* zaliczane są do grupy bakterii wchodzących w symbiozę z roślinami bobowatymi, przy czym większość gatunków roślin bobowatych tworzy układ symbiotyczny jedynie ze specyficznymi dla nich bakteriami z rodzaju *Rhizobium*. Wprowadzenie do gleby aktywnych szczepów tych bakterii przyczynia się do lepszego plonowania roślin oraz polepszenia cech jakościowych nasion poprzez zwiększenie zawartości białka. Wymierną korzyścią ze stosowania tych bakterii jest zwiększenie puli azotu w glebie dla roślin następczych^{32, 33}.

Bakterie z rodzaju *Azospirillum* to endofity fakultatywne, mikroorganizmy występujące w glebie, ale zdolne również do kolonizacji powierzchni tkanek roślinnych. Mają nie tylko zdolność do wiązania azotu atmosferycznego, ale również syntezy substancji wzrostowych, które stymulują rozwój i tworzenie korzeni bocznych, a co za tym idzie usprawniają gospodarkę wodną i pobieranie soli mineralnych przez rośliny. Do tej pory wyizolowano wiele gatunków *Azospirillum*, a wśród nich: *A. brasilense*, *A. lipoferum*, *A. alopraeferens*, *A. oryzae*, *A. melinis*, *A. zae* i *A. palantum*, bytujące w różnych środowiskach oraz zasiedlające ryzosferę różnych gatunków roślin^{34, 35}.

Grzyby mykoryzowe

Grzyby mykoryzowe to grzyby żyjące w symbiozie z roślinami, rzadko specyficzne dla jednego gatunku gospodarza, co oznacza, że jeden gatunek grzyba może skolonizować kilka gatunków roślin. Mykoryzę tworzą grzyby zaliczane do wielu grup systematycznych. Najbardziej rozpowszechnioną mykoryzę arbuskularną (endomycoryzę) tworzą grzyby z typu *Glomeromycota*, które najczęściej są grzybami glebowymi. Symbioza mykoryzowa wpływa nie tylko na poprawę stanu odżywienia roślin, ale również wzmacnia odporność rośliny żywicielskiej na stresy abiotyczne³⁶. Stwierdzono, że niektóre rośliny mykoryzowe mają większe stężenia kwasów organicznych, wykorzystywanych przez rośliny do rozpuszczania fosforanów glebowych³⁷. W związku ze zwiększeniem fotosyntezy u roślin obserwuje się większe stężenie heksozy w tkankach roślin, która jest częściowo metabolizowana przez grzyby mykoryzowe do glukozy na początku zawiązywania symbiozy lub w warunkach niedoboru fosforu^{38, 39}. Większe stężenia cukru mogą być wykorzystane przez roślinę do jej własnego rozwoju i dają

roślinom większą tolerancję na różne stresy abiotyczne, takie jak susza, zbyt niskie temperatury, wysokie zasolenie gleby lub zanieczyszczenie, ponieważ cukry mogą zapobiegać zmianom strukturalnym w rozpuszczalnych białkach, a co za tym idzie utrzymywać integralność błony komórkowej oraz równowagę osmotyczną^{40–43}.

Stymulatory wzrostu dopuszczone do obrotu w Polsce

Na podstawie decyzji ministra rolnictwa i rozwoju wsi do obrotu handlowego w Polsce zostało wprowadzonych ponad 100 stymulatorów wzrostu. Korzystne oddziaływanie tych preparatów na wzrost i rozwój roślin lub inne parametry fizjologiczne zostało potwierdzone w badaniach prowadzonych przez jednostki wskazane w rozporządzeniu⁴⁴. Wśród stymulatorów wzrostu przeważają produkty na bazie kwasów humusowych, aminokwasów oraz wyciągów roślinnych.

Należy podkreślić, że stymulatory wzrostu nie zastępują nawożenia, mimo że stanowią jeden z elementów agrotechniki. Choć mogą zawierać składniki pokarmowe ze względu na skład surowcowy, stosowane są zwykle w niewielkich ilościach, które nie zaspokajają potrzeb pokarmowych roślin uprawnych. Przekraczanie zalecanych przez producentów dawek biostymulatorów jest niekorzystne, ponieważ substancje zawarte w tych preparatach mogą w dużych stężeniach działać na rośliny toksycznie. Preparaty biostymulujące wpływają korzystnie na wykorzystanie składników pokarmowych z gleby, a co z tym związane na plonowanie roślin. Z badań prowadzonych przez IUNG-PIB wynika, że przyrost plonu, zależnie od gatunku rośliny oraz warunków pogodowych w danym sezonie wegetacyjnym, waha się zwykle w granicach 5–15%.

Wykaz stymulatorów wzrostu zarejestrowanych w Polsce dostępny jest w bazie nawozów i środków wspomagających uprawę roślin na stronie <https://www.iung.pl/programy-doradcze-online>.

Opracowano w ramach zadania 1.2. „Doskonalenie internetowej bazy danych o produktach nawozowych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi w 2025 r.

Otrzymano: 29-01-2025

Zrecenzowano: 06-02-2025

Zaakceptowano: 13-03-2025

Opublikowano: 18-04-2025

LITERATURA

- [1] C. Fetting, *The European Green Deal*, ESDN Report, ESDN Office, Vienna 2020.
- [2] <https://biostimulants.eu/plant-biostimulants/market-overview/>, dostęp 04.03.2025 r.
- [3] Y. Rouphael, G. Colla, *Front. Plant Sci.* 2020, **11**, 40.
- [4] P. du Jardin, *Sci. Hortic.* 2015, **196**, 3.
- [5] G. Colla, Y. Rouphael, *Sci. Hortic.* 2015, **196**, 1.
- [6] 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. UE* L 170/1.
- [7] Ustawa z dnia 10 lipca o nawozach i nawożeniu, *Dz.U.* 2024, poz. 105, z późn. zm.
- [8] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 1 grudnia 2022 r. w sprawie upoważnienia Instytutu Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowego Instytutu Badawczego do prowadzenia wykazu nawozowych produktów mikrobiologicznych, *Dz.U.* 2022, poz. 2490.
- [9] F. Madgoff, R.R. Weil, *Soil organic matter in sustainable agriculture*, CRC Press, Upper Saddle River 2024.
- [10] Y. Chen, C.E. Clapp, H. Magen, *Soil Sci. Plant Nutr.* 2024, **50**, 1089.
- [11] M.M. Tahir, M. Khurshid, M.Z. Khan, M.K. Abbasi, M.H. Kazmi, *Pedosphere* 2011, **21**, nr 1, 124.
- [12] B. Eyheraguibel, J. Silvestre, P. Morard, *Bioresour. Technol.* 2008, **99**, nr 10, 4206.
- [13] R.E. Pettit, E. Robert, *CTI Research* 2004, **10**, 1.
- [14] F.L. Olivares, N.O. Aguiar, R.C.C. Rosa, L.P. Canellas, *Sci. Hort.* 2015, **183**, 100.
- [15] M. Schiavon, D. Pizzeghello, A. Muscolo i in., *J. Chem. Ecol.* 2010, **36**, 662.
- [16] S. Mancuso, E. Azzarello, S. Mugnai, X. Braind, *Adv. Hort. Sci.* 2006, **20**, nr 2, 156.
- [17] P. Chiaise, G. Corrado, G. Colla, M.C. Kyriacou, Y. Roupheal, *Front. Plant Sci.* 2018, **9**, 1782.
- [18] A. González, R.A. Contreras, G. Zúiga, A. Moenne, *Molecules* 2014, **19**, 12690.
- [19] A. Ertani, D. Pizzeghello, A. Baglieri, V. Cadili, F. Tambone, M. Gennari i in., *J. Geochem. Exp.* 2013, **129**, 103.
- [20] G. Schaafsma, *Eur. J. Clin. Nutr.* 2009, **63**, 1161.
- [21] M. Halpern, A. Bar-Tal, M. Ofek, D. Minz, T. Muller, U. Yermiyahu, *Adv. Agron.* 2015, **130**, 141.
- [22] P. Calvo, L. Nelson, J.W. Kloepper, *Plant Soil* 2014, **383**, 3.
- [23] O.I. Yakhin, A.A. Lubyantov, I.A. Yakhin, P.H. Brown, *Front. Plant Sci.* 2017, **7**, 2049.
- [24] G.B. Forde, P.J. Lea, *J. Exp. Bot.* 2007, **58**, nr 9, 2339.
- [25] P. Walch-Liu, L.H. Liu, T. Remans, M. Tester, B.G. Forde, *Plant Cell Physiol.* 2006, **47**, nr 8, 1045.
- [26] L. Ugolini, S. Cinti, L. Righetti, A. Stefan, R. Matteo, L. D'Avino i in., *Ind. Crops Prod.* 2015, **75**, 15.
- [27] G. Colla, L. Hoagland, M. Ruzzi, M. Cardarelli, P. Bonini, R. Canaguier, Y. Roupheal, *Front Plant Sci.* 2017, **8**, 2202.
- [28] R. Ahmad, C.J. Lim, S.Y. Kwon, *Plant Biotechnol. Rep.* 2013, **7**, 49.
- [29] A. Ertani, D. Pizzeghello, O. Francioso, P. Sambo, S. Sanchez-Cortes, S. Nardi, *Front. Plant Sci.* 2014, **5**, 375.
- [30] M. Koziet, A. Gałazka, S. Martyniuk, *Studia i Raporty IUNG-PIB* 2018, **56**, nr 10, 57.
- [31] M. Koziet, A. Gałazka, S. Martyniuk, *Polish J. Agron.* 2023, **52**, 136.
- [32] S. Martyniuk, *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 2008, **53**, nr 4, 9.
- [33] S. Jaisval, M. Mohammed, F.Y.I. Ybny, F.D. Dakora, *Front. Sustain. Food Syst.* 2021, **4**, 619676.
- [34] A. Gałazka, J. Bigos, S. Siebielec, *Polish J. Agron.* 2015, **23**, 8.
- [35] M. Delaeter, M. Magnin-Robert, B. Randoux, A. Sahraoui, *Microorganisms* 2024, **12**, nr 7, 1281.
- [36] L.S. Ryder, B.D. Harris, D.M. Soanes, M.J. Kershaw, N.J. Talbot, C.R. Thornton, *Microbiology* 2012, **158**, 84.
- [37] M. Chen, M. Arato, L. Borghi, E. Nouri, D. Reinhardt, *Front. Plant Sci.* 2018, **9**, 1270.
- [38] B. Bago, P.E. Pfeffer, Y. Shachar-Hill, *Plant Physiol.* 2000, **124**, 949.
- [39] A. Schubert, P. Allara, A. Morte, *New Phytol.* 2004, **161**, 495.
- [40] R. Balestrini, C. Brunetti, W. Chitarra, L. Nerva, *Plants* 2020, **9**, 1105.
- [41] K.S. Subramanian, C. Charest, L.M. Dwyer, R.I. Hamilton, *Can. J. Bot.* 1997, **75**, 1582.
- [42] E.T. Kiers, M. Duhamel, Y. Beesetty, J.A. Mensah, O. Franken, E. Verbruggen, C.R. Fellbaum, G.A. Kowalchuk, M.M. Hart, A. Bago i in., *Science* 2011, **333**, 880.
- [43] U. Hildebrandt, M. Regvar, H. Bothe, *Phytochemistry* 2007, **68**, 139.
- [44] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 9 sierpnia 2024 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu, *Dz.U.* 2024, poz. 1261.



chemik-czasopismo.pl

czasopismo naukowo-techniczne science technical journal

CHEMIK

nauka • technika • rynek science • technique • market



**Odkrywaj
publikuj
inspiruj**

CZASOPISMO PEŁNE CHEMII

Chemia stosowana: badania stosowane, technika, technologia przemysłowa, kontrola procesów, zarządzanie: jakością, środowiskiem i bezpieczeństwem oraz zagadnienia organizacyjno-prawne.



nauka



technika



rynek

Decyzją Zarządu Głównego SITPChem, publikacja prac naukowych do końca 2024 r. jest dla autorów bezpłatna. Warunkiem przyjęcia pracy jest pozytywna ocena recenzentów (obowiązuje dwustopniowy proces recenzji).

"CHEMIK" Czasopismo Naukowo-Techniczne założone w 1948 roku. Wydawane od 2022 r. przez Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego i Politechnikę Wrocławską


