

Received: 09.08.2025 / Accepted: 29.09.2025

ARTYKUŁ PRZEGLĄDOWY

Zastosowanie biostymulatorów w ogrodnictwie

Application of biostimulants in horticulture

Alina Kałużewicz* 

Streszczenie

Do grupy środków nazywanych biostymulatorami stosowanymi w ogrodnictwie czy rolnictwie należą preparaty zawierające w swoim składzie ekstrakty z alg morskich, roślinne oraz zwierzęce hydrolizaty białkowe, związki humusowe, korzystne bakterie i grzyby oraz korzystne mikroelementy. Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie efektów działania biostymulatorów należących do różnych grup. Efekty te obejmują zarówno wzrost i plonowanie roślin, poprawę ich odżywienia, wpływ na zawartość składników bioaktywnych, ochronę przed stresem spowodowanym czynnikami abiotycznymi (np. suszą czy niską temperaturą) lub biotycznymi (np. patogenami bakteryjnymi lub grzybowymi). Stosowanie biostymulatorów stanowi ważny element nowoczesnej uprawy roślin ogrodniczych, która dąży do poprawy wzrostu, plonowania i jakości roślin, przy jednoczesnym ograniczeniu syntetycznych agrochemikaliów.

Słowa kluczowe: biostymulatory, ekstrakty z alg morskich, hydrolizaty białkowe, kwasy humusowe i fulwowe, mikroorganizmy, mikroelementy

Abstract

The group of substances known as biostimulants used in horticulture and agriculture includes preparations containing seaweed extracts, plant and animal protein hydrolysates, humic compounds, beneficial bacteria and fungi, and beneficial elements. The aim of this study is to provide a broad overview of the effects of biostimulants belonging to the above-mentioned groups. These effects include plant growth and yield, improved nutrition, influence on the content of bioactive components, and protection against stress and bacterial and fungal pathogens. The use of biostimulants is an important element of modern horticultural plant cultivation, which aims to improve plant growth, yield and quality while reducing the use of chemicals.

Keywords: biostimulants, seaweed extracts, protein hydrolysates, humic and fulvic acids, microorganisms, microelements

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Dąbrowskiego 159, 60-594 Poznań
*corresponding author: alina.kaluzewicz@up.poznan.pl

Wstęp / Introduction

Jednym z trendów rozwoju obecnego ogrodnictwa czy szerzej pojętego rolnictwa jest dążenie do zrównoważonego rozwoju. Duży nacisk kładziony jest na prowadzenie produkcji z uwzględnieniem występującego już dobrostanu roślinnego i zwierzęcego w otaczającym środowisku. Ważną rolę odgrywa dbałość o środowisko glebowe, utrzymanie odpowiedniej ilości próchnicy i zróżnicowania mikrobiologicznego. Istotnym aspektem jest również ograniczanie chemicznych środków ochrony roślin, co wymusza poszukiwanie innych sposobów wspomagających wzrost roślin (Mannino 2023; Muhie 2023; Calia i wsp. 2025). Środkami opartymi na naturalnych składnikach stosowanymi zarówno w ogrodnictwie, jak i w rolnictwie są biostymulatory. Na podstawie rozporządzenia Parlamentu Europejskiego nr 2019/1009, od 16 lipca 2022 r. biostymulatory mogą być definiowane jako produkty, które stymulują procesy odżywiania roślin niezależnie od zawartości składników pokarmowych w produkcie. Ich jedynym celem jest poprawa co najmniej jednej z następujących właściwości rośliny lub ryzosfery, tj.: efektywności wykorzystania składników pokarmowych, odporności na stres abiotyczny, cechy jakościowe, przyswajalności składników pokarmowych z form trudno dostępnych w glebie lub ryzosferze (Rozporządzenie 2019). W zależności od rodzaju substancji czynnej można wyróżnić następujące grupy biostymulatorów: hydrolizaty białkowe i pojedyncze aminokwasy, algi morskie, kwasy humusowe i fulwowe, dobroczynne bakterie i grzyby oraz biostymulatory zawierające nieorganiczne pierwiastki, takie jak: glin (Al), kobalt (Co), sód (Na), selen (Se) i krzem (Si) (Du Jardin 2015).

Biostymulatory stanowią narzędzie, które jest wciąż niedoceniane przez producentów rolnych i dlatego stosunkowo rzadko używane. Wynika to z braku zrozumienia mechanizmu ich działania i oczekiwań związanych ze skutkiem ich stosowania. Ważne jest, aby zdawać sobie sprawę, że efektywność działania biostymulatorów jest wypadkową na którą składa się wiele czynników, a ich skuteczności nie można porównywać do środków chemicznych. Dlatego bardzo istotne jest ciągle propagowanie wiedzy o biostymulatorach i przekazywanie jej szerokiemu gronu odbiorców (Du Jardin i wsp. 2025).

Ekstrakty z alg morskich / Seaweed extracts

W oparciu o występujące barwniki i budowę wyróżnia się trzy zasadnicze grupy alg, tj.: zielenice (Chlorophyta), brunatnice (Phaeophyta) i krasnorosty (Rhodophyta). Do alg najczęściej wykorzystywanych do produkcji biostymulatorów roślinnych należą: *Ascophyllum nodosum*, *Ecklonia maxima*, *Kappaphycus alvarezii* oraz *Gracilaria* sp. (Shukla i wsp. 2021). Wśród substancji bioaktywnych alg wyróżniają się zawartością polisacharydów, steroli, poliamin

i peptydów oraz regulatorów wzrostu i hormonów roślinnych, tj.: auksyn, giberelin, cytokinin, betain, kwasu abscysynowego, salicylanów, jasmonianów i brassinosteroidów. Ponadto algi są bogatym źródłem mikroelementów, tj.: żelaza, miedzi, cynku, kobaltu, molibdenu, manganu i niklu (Khan i wsp. 2009).

Biostymulatory wytworzone na bazie alg morskich stosowane są w roślinach uprawnych w formie roztworu do podlewania lub oprysku nalistnego. Niektórzy autorzy wskazują, że preparaty te mogą mieć wpływ na zwiększenie wielkości i jakości plonu roślin (Trejo Valencia i wsp. 2018; Ashour i wsp. 2021; Samuels i wsp. 2022). Opryskiwanie cebuli 0,5% roztworem *A. nodosum* spowodowało wzrost plonu, zawartości suchej masy oraz makroelementów, tj.: azotu, fosforu i potasu. Ponadto po zastosowaniu roztworu w stężeniu 3% stwierdzono istotny wzrost zawartości kwasu askorbinowego (Abbas i wsp. 2020). Zamljen i wsp. (2024b) nie stwierdzili, aby zastosowanie ekstraktu z *A. nodosum* wpłynęło na wzrost plonu ogórka, natomiast zauważono, że miało ono wyraźny wpływ na wzrost zawartości pigmentów i tokoferoli. Wyciągi z alg morskich mają również zastosowanie w uprawie roślin sadowniczych. Mosa i wsp. (2023) stwierdzili, że zastosowanie ekstraktu z alg morskich u jabłoni wpłynęło na wzrost plonu, zawartości cukrów, barwników antocyjanowych w owocach oraz w liściach oraz wyższą zawartość chlorofilu i makroelementów, tj. azotu, fosforu i potasu. W dwuletnich badaniach nad morelą, ekstrakt z alg wpłynął na zwiększenie długości pędów, powierzchni liści, zawartości w nich chlorofilu oraz azotu, fosforu, potasu, wapnia i magnezu. Ponadto rośliny traktowane wspomnianym biostymulatorem charakteryzowały się wyższym plonem owoców o wyższej zawartości cukrów i witaminy C (Al-Saif i wsp. 2023).

Stosowanie ekstraktu z alg morskich jest również skutecznym sposobem w ograniczaniu porażenia roślin przez choroby zarówno grzybowe, jak i bakteryjne (Woo i Pepe 2018). Bioaktywne cząsteczki ekstraktów z alg morskich regulują fizjologiczne, biochemiczne i molekularne mechanizmy roślin w celu wzmocnienia obrony przed patogenami. Modulują również skład mikrobiologiczny ryzosfery, co przyczynia się do regulacji reakcji obronnych roślin. Powodują regulację szlaków sygnałowych kwasu salicylowego i kwasu jasmonowego oraz homeostazę reaktywnych form tlenu (Agarwal i wsp. 2021).

Stwierdzono, że biostymulatory których głównym składnikiem jest *A. nodosum* wykazywały u zainfekowanych roślin pomidora działanie przeciwbakteryjne w stosunku do *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* oraz przeciwgrzybicze w stosunku do *Alternaria solani* (Ali i wsp. 2019). Jayaraman i wsp. (2011) wykazali przeciwgrzybicze działanie *A. nodosum* (Stimplex™) w stosunku do *Alternaria cucumerinum*, *Didymella applanata*, *Fusarium oxysporum* i *Botrytis cinerea* u ogórka. Indukcja odporności następowała poprzez wzrost zawartości specyficznych enzymów, tj.: fenyloalaniny, peroksydazy, oksydazy polifenolowej,

chitynazy i β -1,3-glukanazy. Przeciwwgrzybicze i przeciwbakteryjne działanie ekstraktów z alg brunatnych *Cystoseira myriophylloides*, *Laminaria digitata* i *Fucus spiralis* na patogeny pomidora *Verticillium dahliae* i *Agrobacterium tumefaciens* zostało udowodnione również przez Esserti i wsp. (2017). Ekstrakt z *A. nodosum* indukował aktywną obronę roślin truskawki przed *Spharotheca macularis* poprzez indukcję metabolizmu wtórnego i regulację aktywności enzymów związanych z obroną. Ponadto oprysk dolistny 0,2% roztworem ekstraktu z *A. nodosum* wykonany 48 godzin po inokulacji zmniejszył kiełkowanie zarodników *S. macularis* o 75% (Bajpai i wsp. 2019).

Biostymulatory na bazie alg morskich mogą być wykorzystywane do wspomagania roślin poddanych warunkom stresowym (Boutahiri i wsp. 2024; Kumar i wsp. 2024). Rośliny pomidora traktowane ekstraktem z alg *Padina gymnospora* w warunkach stresu solnego charakteryzowały się większym przyrostem korzeni i pędów oraz świeżej masy. Natomiast spadek liczby owoców związany ze stresem zasolenia został zredukowany z 28,7% do zaledwie 3,4% u roślin traktowanych wspomnianym biostymulatorem. Pozytywne efekty stosowania ekstraktu z alg obejmowały również wcześniejsze kwitnienie oraz zwiększoną masę i jakość owoców. Niektórzy autorzy sugerują, że rośliny traktowane ekstraktem *P. gymnospora* wytwarzały system obrony antyoksydacyjnej związany ze wzrostem zawartości proliny, fenoli ogółem i flawonoidów (Hernández-Herrera i wsp. 2022). Zastosowanie ekstraktu z *A. nodosum* u rozsady pomidora spowodowało zwiększenie tolerancji roślin na stres wywołany wysoką temperaturą. Widoczne to było poprzez zwiększenie liczby kwiatów i owoców oraz zwiększoną zawartość cukrów w owocach. Nastąpił również wzrost transkrypcji genów białek szoku cieplnego (Carmody i wsp. 2020). W warunkach stresu suszy u pomidora, zastosowanie biostymulatora na bazie glonów morskich *Sargassum* sp. spowodowało wzrost fotosyntezy netto i zawartości chlorofilu, nie stwierdzono natomiast wpływu na wzrost roślin, grubość pędów, liczbę liści i plon owoców (Kadoglidou i wsp. 2025). Odpowiedź roślin bobu na stres suszy różniła się w zależności od rodzaju łącznego zastosowania dwóch rodzajów alg morskich. U roślin traktowanych *A. nodosum* i *F. spiralis* zaobserwowano wyższą akumulację proliny w tkankach roślinnych, natomiast zastosowanie *F. spiralis* i *Ulva lactuca* skutkowało wyższym stężeniem cukrów rozpuszczalnych (El Boukhari i wsp. 2023).

Hydrolizaty białkowe i pojedyncze aminokwasy / Protein hydrolysates and individual amino acids

Biostymulatory oparte o mieszanki aminokwasów i peptydów są otrzymywane w procesie chemicznej i enzymatycznej hydrolizy białek z produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego, zarówno ze źródeł roślinnych, jak i od-

padów zwierzęcych (Du Jardin 2015). Do źródeł roślinnych najczęściej należą: nasiona warzyw bobowatych, słoma lucerny, różne gatunki warzyw, natomiast do zwierzęcych – skóra zwierząt, czerwone mięso, ryby, pióra drobiu i kazeina. Ze względu na zastosowane metody hydrolizy możemy wyróżnić biostymulatory uzyskane na drodze hydrolizy kwasowej i zasadowej oraz na drodze hydrolizy enzymatycznej (Colla i wsp. 2015a). Hydrolizaty białkowe mają korzystny wpływ na wiele procesów fizjologicznych, w tym aktywność fotosyntetyczną, asymilację i translokację składników odżywczych, a także parametry ilościowe i jakościowe roślin (Ertani i wsp. 2017).

W badaniach przeprowadzonych przez Colla i wsp. (2014) zastosowanie roślinnego hydrolizatu białkowego zwiększyło długość pędów roślin grochu, całkowitą biomasę, indeks SPAD oraz zawartość azotu w liściach. Roślinne hydrolizaty białkowe stosowane w sałacie rzymskiej i pomidorze zarówno w formie oprysku, jak i w formie roztworu do podlewania wpłynęły korzystnie na wielkość plonu, przy czym lepsze efekty uzyskano stosując podlewanie. Roztwór dostarczany dokorzeniowo skuteczniej stymulował fotosyntezę, poprawiał efektywność wykorzystania wody, zwiększał zawartość chlorofilu oraz pobieranie azotu u obu badanych gatunków (Choi i wsp. 2022). Zastosowanie hydrolizatu białkowego pochodzącego z roślin strączkowych w formie oprysku zwiększyło plon pomidora oraz zawartość w owocach potasu, wapnia, magnezu i czerwonego barwnika – likopenu (Colla i wsp. 2017). Roślinny biostymulator zastosowany w formie mączki sojowej do zaprawiania nasion brokuła korzystnie wpłynął na wzrost roślin. Stwierdzono zwiększenie biomasy i wysokości roślin. Ponadto stwierdzono również większą powierzchnię liści oraz zawartość w nich chlorofilu (Amirkhani i wsp. 2016).

Według Roupheal i wsp. (2021) skuteczność działania hydrolizatów białkowych pochodzenia roślinnego była większa niż pochodzenia zwierzęcego w uprawie bazylii. Zwiększenie świeżej masy pędów dzięki dolistnej aplikacji hydrolizatów roślinnych była związana z wyższą asymilacją CO_2 , lepszym wykorzystaniem wody, przy jednoczesnym wyższym poborze i translokacji potasu, magnezu i siarki w liściach. Natomiast zastosowanie zwierzęcego hydrolizatu białkowego w uprawie truskawki nie miało korzystnego wpływu na liczbę rozłogów, ich długość i średnicę. Nie stwierdzono również istotnego wpływu biostymulatora na liczbę, długość i średnicę rozłogów, jak również na liczbę sadzonek. Rośliny truskawki traktowane biostymulatorem wytwarzały sadzonki o mniejszej średniej masie w porównaniu z roślinami nietraktowanymi (Lisiecka i wsp. 2011).

Zdaniem Paul i wsp. (2019) oraz Ceccarelli i wsp. (2021) hydrolizaty białkowe mogą poprawiać kondycję roślin poddanych warunkom stresowym. Peptydy odgrywają fundamentalną rolę w fizjologii roślin jako cząsteczki sygnałowe, które regulują mechanizmy obronne w odpowiedzi na stres. Cząsteczki te działają na poziomie błony ko-

mórkowej, aktywując określone szlaki metaboliczne (Colla i wsp. 2015a). Roślinny biostymulator białkowy, stosowany w formie oprysku, spowodował wzrost tolerancji brokuła na stres suszy, przy czym zauważono duże różnice w zależności od odmiany. U odmiany Agassi nastąpił wzrost fotosyntezy netto, przewodnictwa szparkowego, transpiracji oraz zawartości chlorofilu. Zależności takiej nie stwierdzono u odmiany Tiburon. U obu odmian zastosowanie biostymulatora spowodowało istotny wzrost badanych parametrów fizjologicznych po ponownym nawodnieniu roślin po stresie suszy (Kałużewicz i wsp. 2017). Zastosowanie biostymulatora Terrabion Aminovit® w warunkach stresu suszy spowodowało zmniejszenie poziomu stresu oksydacyjnego, czego potwierdzeniem było zmniejszenie enzymów antyoksydacyjnych, tj.: dysmutazy ponadtlenkowej, peroksydazy askorbinianowej i reduktazy glutationowej (Gil-Ortiz i wsp. 2023). Biostymulator CycoFlow zastosowany u pomidora zwiększył szybkość fotosyntezy netto i maksymalną wydajność PSII w warunkach stresu suszy, co może być związane z obecnością betainy glicynowej i kwasu asparaginowego w hydrolizacie białkowym. Rośliny poddane stresowi suszy i wysokiej temperaturze charakteryzowały się zwiększoną zawartością przeciwutleniaczy i zmniejszoną akumulacją nadtlenu wodoru, proliny i rozpuszczalnych cukrów (Francesca i wsp. 2022).

Kwasy humusowe / Humic acids

Substancje humusowe stanowią ponad 60% materii organicznej gleby i są podstawowym składnikiem nawozów organicznych (Canellas i wsp. 2015).

Substancje humusowe zawierają węgiel, wodór, tlen i azot z niewielkimi ilościami siarki i fosforu. Są mieszaniną kwasów, które można podzielić na podstawie różnic w ich rozpuszczalności na kwas humusowy, kwas fulwowy i frakcje huminowe. Kwas humusowy obejmuje agregaty długolącuchowych związków o wysokiej masie cząsteczkowej, rozpuszczalnych w zasadach, podczas gdy kwas fulwowy jest mieszaniną krótkolącuchowych związków o niskiej masie cząsteczkowej, rozpuszczalnych zarówno w roztworach kwaśnych, jak i zasadowych. Huminy natomiast stanowią frakcję nierozpuszczalną (De Melo i wsp. 2016; Goel i Dhingra 2021).

Kwasy humusowe przyczyniają się do zwiększenia aktywności fizycznej i biochemicznej gleby poprzez poprawę jej struktury, tekstury, zdolności zatrzymywania wody i populacji drobnoustrojów (Nardi i wsp. 2017). Według Mindari i wsp. (2018) zastosowanie kwasu humusowego zwiększyło zawartość sodu, wapnia, magnezu i potasu, a jednocześnie obniżyło pH gleby i EC (przewodnictwo elektrolityczne). Substancje humusowe działają również jako cząsteczki sygnalizacyjne w rykosferze, uwalniając hormony i substancje hormonopodobne lub promując ich

produkcję na poziomie rośliny/mikroorganizm (Nardi i wsp. 2017). Mogą one wpływać korzystnie na wzrost roślin, przy czym ich skuteczność zależy od źródła, stężenia i masy cząsteczkowej frakcji humusowej. Frakcja o niskiej masie cząsteczkowej łatwo dociera do plazmolemy komórek roślinnych i częściowo jest przez nie wchłaniana. Natomiast frakcja o wysokiej masie cząsteczkowej nie jest wchłaniana i może oddziaływać tylko na ścianę komórkową (Nardi i wsp. 2002).

Biostymulatory na bazie kwasów humusowych wpływają na wielkość i jakość plonu uprawianych roślin (Gemin i wsp. 2022; Zamljen i wsp. 2024a; Atero-Calvo i wsp. 2025). W hydroponicznej uprawie truskawki dolistne zastosowanie kwasów humusowych zwiększyło całkowity plon poprzez zwiększenie liczby owoców. Poprawiła się również jędrność owoców oraz zwiększyła się zawartość chlorofilu w liściach (Farahi i wsp. 2013). Zastosowanie kwasu fulwowego w hydroponicznej uprawie sałaty lodowej spowodowało zwiększenie wysokości roślin i długości korzeni. Główki sałaty były cięższe, o większej procentowej zawartości suchej masy oraz wyższej zawartości witaminy C, flawonoidów i fenoli ogółem (Keskin i wsp. 2025). Według Lüttke i wsp. (2021) zastosowanie biostymulatorów zawierających kwas humusowy wpłynęło na zwiększenie liczby liści i wielkości główki sałaty, natomiast efektu takiego nie uzyskano po zastosowaniu kwasu fulwowego. Oba biostymulatory miały korzystny wpływ na pobieranie potasu i żelaza przy ich łącznym stosowaniu z nawozami mineralnymi. Poprawę pobierania składników pokarmowych z pożywki po dodaniu kwasów fulwowych stwierdzili również Zhang i wsp. (2021) w hydroponicznej uprawie pomidora.

Zdaniem Atero-Calvo i wsp. (2024) kwasy humusowe zastosowane w warunkach stresowych mogą łagodzić ich szkodliwy wpływ na rośliny. Kwasy humusowe mogą działać jako elicytory i indukować reakcję fizjologiczną rośliny, która polega na zwiększeniu wytwarzania reaktywnych form tlenu (ROS) i zmianie równowagi hormonalnej (Canellas i wsp. 2024). Stosowanie kwasów humusowych w warunkach stresowych może poprawić wzrost i plonowanie uprawianych roślin (Qin i Leskovar 2020). Według Kiran i wsp. (2019) w warunkach stresu suszy podlewanie melona kwasami humusowymi spowodowało zwiększenie świeżej i suchej masy pędów. Stwierdzono również wzrost aktywności enzymów antyoksydacyjnych (dysmutazy ponadtlenkowej-SOD, katalazy-CAT i reduktazy glutationowej-GR) oraz wzrost zawartości chlorofilu. W uprawie sałaty w warunkach stresu zasolenia dodawanie kwasów fulwowych spowodowało wzrost liczby i powierzchni liści (İkiz i wsp. 2024). Dolistne zastosowanie kwasu humusowego złagodziło negatywny wpływ stresu zasolenia u ogórka. Na poziomie fizjologicznym stwierdzono zwiększenie poziomu enzymów, związków i kwasów fenolowych. Ponadto rośliny miały bardziej rozbudowany system korzeniowy, a w rezultacie tego uzyskano z nich wyższy plon (Amerian i wsp.

2024). Kwas humusowy dodawany w czasie nawadniania brokułów spowodował wzrost plonu róz głównych i bocznych. Zaobserwowano również obniżenie zawartości proliny oraz wzrost zawartości chlorofilu (Ibrahim i wsp. 2024). Zastosowanie kwasu humusowego u cebuli uprawianej przy deficycie wody znacząco zwiększyło biomasę liści, zawartość witaminy C, wapnia i flawonoidów (Amiri Forotaghe i wsp. 2022).

Ze względu na dużą liczbę grup karboksylowych, fenolowych i hydroksylowych w ich strukturze, substancje humusowe tworzą silne wiązania z metalami ciężkimi, przez co chronią rośliny przed ich szkodliwym działaniem. Zastosowanie kwasu humusowego i fulwowego w stężeniu 7000 mg/l spowodowało zwiększenie zawartości azotu (N), fosforu (P), potasu (K), wapnia (Ca), magnezu (Mg), żelaza (Fe), manganu (Mn), miedzi (Cu), cynku (Zn) i boru (B) odpowiednio o 75%, 23%, 84%, 87%, 40%, 85%, 143%, 1%, 65% i 115%. Ponadto zaobserwowano zmniejszenie pobierania kadmu (Cd) o 95% i chloru (Cl) o 80% (Yildirim i wsp. 2021). Badania Wu i wsp. (2017) potwierdziły zmniejszenie w glebie dostępnych form metali ciężkich, tj. miedzi, ołowiu i kadmu, po zastosowaniu kwasów humusowych.

Mikroorganizmy / Microorganisms

Biostymulatory oparte na mikroorganizmach posiadają w swoim składzie głównie bakterie i grzyby (w tym grzyby mikoryzowe), które są wyizolowane z gleby, materii organicznej i roślin (Ma i wsp. 2022). Najważniejszą grupą bakterii są bakterie z rodzaju *Rhizobium* sp., do których należą: *Azotobacter*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Bradyrhizobium*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Rhizobium*, *Streptomyces* i *Ochrobactrum* (Rai i wsp. 2021). Ryzobakterie indukują biosyntezę hormonów roślinnych, w tym auksyn, etylenu, giberelin, cytokinin i ABA (kwas abscysynowy), a tym samym przyczyniają się do stymulowania wzrostu roślin, pobierania składników odżywczych, opóźniania starzenia się liści, tworzenia owoców i kwiatów oraz dojrzewania nasion (Morcillo i Manzanera 2021).

Biostymulatory zawierające bakterie i grzyby mogą służyć do biologicznej ochrony roślin przed patogenami (Sangiorgio i wsp. 2023). W uprawie skorzonery biostymulator z *Trichoderma harzianum* T-22 indukował antagonistyczną aktywność saprotroficznych bakterii i grzybów ryzosferowych (*Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Trichoderma* sp., *Clonostachys* sp., *Albifimbria verrucaria* i *Trichothecium roseum*) przeciwko grzybowi patogenicznemu, takim jak: *Alternaria scorzonerae*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium oxysporum* i *Rhizoctonia solani* (Patkowska 2021). *Trichoderma aggressivum* f. *europaeum* hamował wzrost grzybów chorobotwórczych roślin, tj.: *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum* i *Mycosphaerella melonis* (Sánchez-Mon-

tesinos i wsp. 2021). Grzyby endofityczne *Hypocrea lixii* i *Trichoderma asperellum* zwalczały *Fusarium oxysporum lycopersici*, jednocześnie zwiększając plony pomidora (Muhorakeye i wsp. 2024). Bakteria *Bacillus licheniformis* hamowała rozwój zarazy papryki *Phytophthora capsici* (Li i wsp. 2020).

Niektórzy autorzy podkreślają, że zastosowanie biostymulatorów na bazie dobroczynnych bakterii i grzybów wpływa korzystnie na wzrost i plonowanie roślin. Doglebowe łączne zastosowanie *Glomus intraradices* i *Trichoderma atroviride* korzystnie wpłynęło na wzrost sałaty, melona, papryki, pomidora i cukinii, dzięki większej absorpcji makroelementów i niektórych mikroelementów. Zwiększeniu uległ również wskaźnik SPAD oraz fluorescencji chlorofilu (Colla i wsp. 2015b).

Szczepy bakterii *Azospirillum brasilense*, *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum seropedicae* i *Burkholderia ambifaria*, którymi inokulowane były nasiona cebuli, wpłynęły korzystnie na plon. Rośliny charakteryzowały się wyższą zawartością chlorofilu i fenoli. Wyższa też była aktywność przeciwutleniająca (Pellegrini i wsp. 2021). Zastosowanie bakterii z rodzaju *Pseudomonas* (*P. fluorescens*, *P. protegens*, *P. putida*, *P. migulae* i *Pseudomonas* sp. 5VmlK) spowodowało wzrost masy cebul (Novello i wsp. 2021). Inokulacja nasion cukinii sześcioma szczepami bakterii z rodzaju *Bacillus* (*B. subtilis*, *B. pumilus*, *B. megaterium*, *B. amyloliquefaciens*, *B. velezensis*, *B. licheniformis*) spowodowało uzyskanie wyższego plonu oraz wyższej zawartości fosforu w pędach, w stosunku do roślin uzyskanych z nasion nieinokulowanych (Savvas i wsp. 2024).

Zdaniem Xu i wsp. (2018) oraz Soussani i wsp. (2023) korzystne mikroorganizmy wspomagają rośliny poddane warunkom stresowym. Asocjacja roślin i drobnoustrojów powoduje modyfikacje ściany komórkowej u roślin, następuje zwiększenie zawartości rozpuszczalnych cukrów, co z kolei zwiększa zdolność zatrzymywania wody w komórce, a także zwiększa tolerancję roślin na stres osmotyczny i jonowy (Hasanuzzaman i wsp. 2021; Morcillo i Manzanera 2021). Ryzobakterie wydzielają osmolity, w tym prolinę, które działają synergistycznie z osmolitami syntetyzowanymi przez zestresowane rośliny (Curá i wsp. 2017; Ojuederie i wsp. 2019; Ma i wsp. 2020).

Korzystne pierwiastki chemiczne / Beneficial chemical elements

Zdaniem Singhal i wsp. (2023) do mikroelementów, których stosowanie w odpowiednich dawkach może korzystnie wpływać na wzrost roślin należą: glin (Al), cer (Ce), kobalt (Co), jod (J), lantan (La), sód (Na), selen (Se), krzem (Si), tytan (Ti) i wanad (V). Krzem, glin i sód mogą być podawane w stężeniach milimolarnych, natomiast

tytan, wanad, kobalt, jod i selen mogą być aplikowane w stężeniach mikromolarnych, co sugeruje, że rośliny są niezwykle wrażliwe na te pierwiastki i już niewielki wzrost stężenia może hamować wzrost roślin. Stwierdzono, że te korzystne pierwiastki zwiększają odporność roślin na stesy zarówno biotyczne, jak i abiotyczne (Pilon-Smits i wsp. 2009). Wpływają one również na pobieranie, translokację i wykorzystanie innych niezbędnych pierwiastków, pomagają w syntezie ważnych metabolitów, a także przeciwdziałają niepożądanym skutkom niektórych innych toksycznych pierwiastków lub antymetabolitów (Trejo-Téllez i Gómez-Merino 2023). Jednym z częściej stosowanych pierwiastków, będących składnikiem biostymulatorów jest tytan. W roślinach tytan wpływa korzystnie na pobieranie żelaza, poprawiając wzrost roślin (Lyu i wsp. 2017). Zastosowanie tytanu w formie biostymulatora o nazwie Tytanit w szklarniowej uprawie pomidora spowodowało wzrost zawartości azotu, fosforu, wapnia i magnezu w częściach wskaźnikowych roślin oraz witaminy C w owocach (Kleiber i Markiewicz 2013). Ten sam biostymulator zastosowany w warunkach stresu solnego w hydroponicznej uprawie pomidora zwiększył aktywność antyoksydacyjną w korzeniach oraz zawartość makroskładników w liściach (Cabajal-Vázquez i wsp. 2022).

Krzem jest jednym z najważniejszych pierwiastków występujących w glebie. Stanowi 26% skorupy ziemskiej i wchodzi w skład 377 minerałów (Brogowski 2000). Biostymulator zawierający krzem, zastosowany w polowej uprawie truskawki, wpłynął na wzrost roślin oraz ich metabolizm. Rośliny mateczne wytworzyły większą ilość rozłogów i sadzonek. Ponadto stwierdzono poprawę mechanizmów obronnych przed stresem poprzez zwiększenie ilości

enzymów antyoksydacyjnych i pogrubienie ścian komórkowych (Ambros i wsp. 2023). W badaniach nad papryką krzem obniżył stężenie kadmu w liściach. Wpłynął korzystnie na parametry fotosyntetyczne oraz wzrost roślin (Kaya i wsp. 2020).

Selen jest pierwiastkiem śladowym, który dodany w odpowiedniej ilości do podłoża może sprzyjać wzrostowi i rozwojowi roślin. Selen poprawia tolerancję roślin na stres związany z niektórymi metalami ciężkimi, takimi jak kadm i rtęć. Sprzyja usuwaniu nadmiaru reaktywnych form tlenu (ROS), zmniejszając uszkodzenia oksydacyjne komórek roślinnych pod wpływem stresu związanego z metalami ciężkimi. Selen łączy się z metalami ciężkimi tworząc fitochelatyny i zmniejszając w ten sposób akumulację jonów metali ciężkich w roślinach (Lai i wsp. 2022). Ponadto selen może być wykorzystywany do łagodzenia porażenia roślin przez choroby grzybowe. Xu i wsp. (2025) udowodnili, że zastosowanie selenu w uprawie ogórka hamowało kiełkowanie konidiów mączniaka prawdziwego i tworzenie grzybni.

Podsumowanie / Summary

Jak wynika z powyższego opracowania biostymulatory mają szerokie zastosowanie w ogrodnictwie. Dla najważniejszych grup tych preparatów wielu autorów opisało nie tylko wymierne skutki oddziaływania na rośliny, ale również wytłumaczono mechanizm ich działania na poziomie fizjologicznym. Niewątpliwie biostymulatory stanowią grupę środków, które będą miały coraz większe znaczenie w produkcji ogrodniczej, ze względu na ich naturalne pochodzenie i szeroki korzystny wpływ na rośliny.

Literatura / References

- Abbas M., Anwar J., Zafar-ul-Hye M., Iqbal Khan R., Saleem M., Rahi A.A., Danish S., Datta R. 2020. Effect of seaweed extract on productivity and quality attributes of four onion cultivars. *Horticulturae* 6 (2): 28. DOI: 10.3390/horticulturae6020028
- Agarwal P.K., Dangariya M., Agarwal P. 2021. Seaweed extracts: potential biodegradable, environmentally friendly resources for regulating plant defence. *Algal Research* 58: 102363. DOI: 10.1016/j.algal.2021.102363
- Al-Saif A.M., Sas-Paszt L., Awad R.M., Mosa W.F. 2023. Apricot (*Prunus armeniaca*) performance under foliar application of humic acid, brassinosteroids, and seaweed extract. *Horticulturae* 9: 519. DOI: 10.3390/horticulturae9040519
- Ali O., Ramsuhag A., Jayaraman J. 2019. Biostimulatory activities of *Ascophyllum nodosum* extract in tomato and sweet pepper crops in a tropical environment. *PLoS One* 14 (5): e0216710. DOI: 10.1371/journal.pone.0216710
- Ambros E., Kotsupiy O., Karpova E., Panova U., Chernonosov A., Trofimova E., Goldenberg B. 2023. A biostimulant based on silicon chelates enhances growth and modulates physiological responses of in-vitro-derived strawberry plants to in vivo conditions. *Plants* 12 (24): 4193. DOI: 10.3390/plants12244193
- Amerian M., Palangi A., Gohari G., Ntatsi G. 2024. Humic acid and grafting as sustainable agronomic practices for increased growth and secondary metabolism in cucumber subjected to salt stress. *Scientific Reports* 14 (1): 15883. DOI: 10.1038/s41598-024-66677-8
- Amiri Forotaghe Z., Souri M.K., Ghanbari Jahromi M., Mohammadi Torkashvand A. 2022. Influence of humic acid application on onion growth characteristics under water deficit conditions. *Journal of Plant Nutrition* 45 (7): 1030–1040. DOI: 10.1080/01904167.2021.1994604
- Amirkhani M., Netravali A., Huang W., Taylor A.G. 2016. Investigation of soy protein-based biostimulant seed coating for broccoli seedling and plant growth enhancement. *Horticultural Science* 51: 1121–1126. DOI: 10.21273/HORTSCI10913-16
- Ashour M., Hassan S.M., Elshobary M.E., Ammar G.A., Gaber A., Alsanie W.F., Tageldein Mansour A., El-Shenody R. 2021. Impact of commercial seaweed liquid extract (TAM®) biostimulant and its bioactive molecules on growth and antioxidant activities of hot pepper (*Capsicum annuum*). *Plants* 10 (6): 1045. DOI: 10.3390/plants10061045

- Atero-Calvo S., Magro F., Masetti G., Navarro-León E., Albacete A., Ruiz J.M. 2025. The effects of humic substances application on the phytohormone profile in *Lactuca sativa* L. *Annals of Applied Biology* 186 (2): 115–124. DOI: 10.1111/aab.12944
- Atero-Calvo S., Magro F., Masetti G., Navarro-León E., Blasco B., Ruiz J.M. 2024. Salinity stress mitigation by radicular and foliar humic substances application in lettuce plants. *Plant Growth Regulation* 104 (1): 151–167. DOI: 10.1016/B978-0-443-15884-1.00025-7
- Bajpai S., Shukla P.S., Asiedu S., Pruski K., Prithiviraj B. 2019. A biostimulant preparation of brown seaweed *Ascophyllum nodosum* suppresses powdery mildew of strawberry. *The Plant Pathology Journal* 35 (5): 406–416. DOI: 10.5423/PPJ.OA.03.2019.0066
- Boutahiri S., Benrkia R., Tembeni B., Idowu O.E., Olatunji O.J. 2024. Effect of biostimulants on the chemical profile of food crops under normal and abiotic stress conditions. *Current Plant Biology* 40: 100410. DOI: 10.1016/j.cpb.2024.100410
- Brogowski Z. 2000. Krzem w glebie i jego rola w żywieniu roślin. [Silicon in soil and its role in plant nutrition]. *Advances in Agricultural Sciences/Postępy Nauk Rolniczych* 47 (6): 9–16.
- Calia C., García S.G., Ingrao C., Lagioia G., Ruta C., Secchi N., De Mastro G. 2025. Life cycle assessment of microbial plant biostimulant production for application in sustainable agricultural systems. *Science of the Total Environment* 981: 179610. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2025.179610
- Canellas L.P., da Silva R.M., Busato J.G., Olivares F.L. 2024. Humic substances and plant abiotic stress adaptation. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 11 (1): 66. DOI: 10.1186/s40538-024-00575-z
- Canellas L.P., Olivares F.L., Aguiar N.O., Jones D.L., Nebbioso A., Mazzei P., Piccolo A. 2015. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulture* 196: 15–27. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.09.013
- Carbajal-Vázquez V.H., Gómez-Merino F.C., Alcántar-González E.G., Sánchez-García P., Trejo-Téllez L.I. 2022. Titanium increases the antioxidant activity and macronutrient concentration in tomato seedlings exposed to salinity in hydroponics. *Plants* 11 (8): 1036. DOI: 10.3390/plants11081036
- Carmody N., Goñi O., Langowski Ł., O'Connell S. 2020. *Ascophyllum nodosum* extract biostimulant processing and its impact on enhancing heat stress tolerance during tomato fruit set. *Frontiers in Plant Science* 11: 807. DOI: 10.3389/FPLS.2020.00807
- Ceccarelli A.V., Miras-Moreno B., Buffagni V., Senizza B., Pii Y., Cardarelli M., Rouphael Y., Colla G., Lucini L. 2021. Foliar application of different vegetal-derived protein hydrolysates distinctively modulates tomato root development and metabolism. *Plants* 10: 326. DOI: 10.3390/plants10020326
- Choi S., Colla G., Cardarelli M., Kim H.-J. 2022. Effects of plant-derived protein hydrolysates on yield, quality, and nitrogen use efficiency of greenhouse grown lettuce and tomato. *Agronomy* 12: 1018. DOI: 10.3390/plants10020326
- Colla G., Cardarelli M., Bonini P., Rouphael Y. 2017. Foliar applications of protein hydrolysate, plant and seaweed extracts increase yield but differentially modulate fruit quality of greenhouse tomato. *HortScience* 52 (9): 1214–1220. DOI: 10.21273/HORTSCI12200-17
- Colla G., Nardi S., Cardarelli M., Ertani A., Lucini L., Canaguier R., Rouphael Y. 2015a. Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulture* 196: 28–38. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.08.037
- Colla G., Rouphael Y., Canaguier R., Svecova E., Cardarelli M. 2014. Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. *Frontiers in Plant Science* 5: 448. DOI: 10.3389/fpls.2014.00448
- Colla G., Rouphael Y., Di Mattia E., El-Nakhel C., Cardarelli M. 2015b. Co-inoculation of *Glomus intraradices* and *Trichoderma atroviride* acts as a biostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of vegetable crops. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95: 1706–1715. DOI: 10.1002/jsfa.6875
- Curá J.A., Franz D.R., Filosofia J.E., Balestrasse K.B., Burgueño L.E. 2017. Inoculation with *Azospirillum* sp. and *Herbaspirillum* sp. bacteria increases the tolerance of maize to drought stress. *Microorganisms* 5: 41. DOI: 10.3390/microorganisms5030041
- De Melo B.A.G., Motta F.L., Santana M.H.A. 2016. Humic acids: structural properties and multiple functionalities for novel technological developments. *Materials Science and Engineering C* 62: 967–974. DOI: 10.1016/j.msec.2015.12.001
- Du Jardin P. 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* 196: 3–14. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.09.021
- Du Jardin P., Brown P.H., DeJong T.M., Cassán F., Ferrante A., Fotopoulos V., Manganaris G., Carillo P. 2025. Unlocking the black box of plant biostimulants. *Scientia Horticulturae* 350: 114281. DOI: 10.1016/j.scienta.2025.114281
- El Boukhari M.E.M., Barakate M., Drissi B., Bouhia Y., Lyamlouli K. 2023. Seaweed extract biostimulants differentially act in mitigating drought stress on faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Plant Growth Regulation* 42 (9): 5642–5652. DOI: 10.1007/s00344-023-10945-w
- Ertani A., Schiavon M., Nardi S. 2017. Transcriptome-wide identification of differentially expressed genes in *Solanum lycopersicon* L. in response to an alfalfa-protein hydrolysate using microarrays. *Frontiers in Plant Science* 8: 1159. DOI: 10.3389/fpls.2017.01159
- Esserti S., Smaili A., Rifai L.A., Koussa T., Makroum K., Belfaiza M., Kabil E.M., Faize L., Burgos L., Albuquerque N., Faize M. 2017. Protective effect of three brown seaweed extracts against fungal and bacterial diseases of tomato. *Journal of Applied Phycology* 29: 1081–1093. DOI: 10.1007/s10811-016-0996-z
- Farahi M.H., Aboutaleb A., Eshghi S., Dastyaran M., Yosefi F. 2013. Foliar application of humic acid on quantitative and qualitative characteristics of 'Aromas' strawberry in soilless culture. *Agricultural Communications* 1 (1): 13–16.
- Francesca S., Najai S., Zhou R., Decros G., Cassan C., Delmas F., Ottosen C., Barone A., Manuela M. 2022. Phenotyping to dissect the biostimulant action of a protein hydrolysate in tomato plants under combined abiotic stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 179: 32–43. DOI: 10.1016/j.plaphy.2022.03.012
- Gemin L.G., Mógor Á.F., Amatuzzi J., De Lara G.B., Mógor G. 2022. Organic onion growth, yield and storage improved by foliar sprays of microalgae and fulvic acid as a natural biofertilizer. *Bioscience Journal* 38: e38045. DOI: 10.14393/BJ-v38n0a2022-58854
- Gil-Ortiz R., Naranjo M.Á., Atares S., Vicente O. 2023. Antioxidant responses of water-stressed cherry tomato plants to natural biostimulants. *Agronomy* 13: 2314. DOI: 10.3390/agronomy13092314
- Goel P., Dhingra M. 2021. Humic substances: prospects for use in agriculture and medicine. s. 1–21. W: *Humic Substances* (A. Makan, red.). IntechOpen, London.

- Hasanuzzaman M., Parvin K., Bardhan K., Nahar K., Anee T.I., Masud A.A.C., Fotopoulos V. 2021. Biostimulants for the regulation of reactive oxygen species metabolism in plants under abiotic stress. *Cells* 10: 2537. DOI: 10.3390/cells10102537
- Hernández-Herrera R.M., Sánchez-Hernández C.V., Palmeros-Suárez P.A., Ocampo-Alvarez H., Santacruz-Ruvalcaba F., Meza-Canales I.D., Becerril-Espinosa A. 2022. Seaweed extract improves growth and productivity of tomato plants under salinity stress. *Agronomy* 12 (10): 2495. DOI: 10.3390/agronomy12102495
- Ibrahim E.A., Ebrahim N.E., Mohamed G.Z. 2024. Mitigation of water stress in broccoli by soil application of humic acid. *Scientific Reports* 14 (1): 2765. DOI: 10.1038/s41598-024-53012-4
- İkiz B., Dasgan H.Y., Balik S., Kusvuran S., Gruda N.S. 2024. The use of biostimulants as a key to sustainable hydroponic lettuce farming under saline water stress. *BMC Plant Biology* 24: 808. DOI: 10.1186/s12870-024-05520-8
- Jayaraman J., Norrie J., Punja Z.K. 2011. Commercial extract from the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* reduces fungal diseases in greenhouse cucumber. *Journal of Applied Phycology* 23 (3): 353–361. DOI: 10.1007/s10811-010-9547-1
- Kadoglidou K.I., Anthimidou E., Krommydas K., Papa E., Karapatzak E., Tsivelika N., Irakli M., Mellidon I., Xanthopoulou A., Kalivas A. 2025. Effect of biostimulants on drought tolerance of greenhouse-grown tomato. *Horticulturae* 11 (6): 601. DOI: 10.3390/horticulturae11060601
- Kałużewicz A., Krzesiński W., Spizewski T., Zaworska A. 2017. Effect of biostimulants on several physiological characteristics and chlorophyll content in broccoli under drought stress and re-watering. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 45 (1): 197–202. DOI: 10.15835/nbha45110529
- Kaya C., Akram N.A., Ashraf M., Alyemeni M.N., Ahmad P. 2020. Exogenously supplied silicon (Si) improves cadmium tolerance in pepper (*Capsicum annuum* L.) by up-regulating the synthesis of nitric oxide and hydrogen sulfide. *Journal of Biotechnology* 316: 35–45. DOI: 10.1016/j.jbiotec.2020.04.008
- Keskin B., Akhoundnejad Y., Dasgan H.Y., Gruda N.S. 2025. Fulvic acid, amino acids, and vermicompost enhanced yield and improved nutrient profile of soilless iceberg lettuce. *Plants* 14 (4): 609. DOI: 10.3390/plants14040609
- Khan W., Rayirath U.P., Subramanian S., Jithesh M.N., Rayorath P., Hodges D.M., Critchley A.T., Craigie J.S., Norrie J., Prithiviraj. 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation* 28: 386–399. DOI: 10.1007/s00344-009-9103-x
- Kiran S., Furtana G.B., Talhouni M., Ellialtıoğlu S.S. 2019. Drought stress mitigation with humic acid in two *Cucumis melo* L. genotypes differ in their drought tolerance. *Bragantia Campinas* 78 (4): 490–497. DOI: 10.1590/1678-4499.20190057
- Kleiber T., Markiewicz B. 2013. Application of “Tytanit” in greenhouse tomato growing. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 12 (3): 117–126.
- Kumar G., Nanda S., Singh S.K., Kumar S., Singh D., Singh B.N., Mukherjee A. 2024. Seaweed extracts: enhancing plant resilience to biotic and abiotic stresses. *Frontiers in Marine Science* 11: 1457500. DOI: 10.3389/fmars.2024.1457500
- Lai X., Yang X., Rao S., Zhu Z., Cong X., Ye J., Zhang W., Liao Y., Cheng S., Xu F. 2022. Advances in physiological mechanisms of selenium to improve heavy metal stress tolerance in plants. *Plant Biology* 24 (6): 913–919. DOI: 10.1111/plb.13435
- Lisiecka J., Knaflowski M., Spizewski T., Fraszczak B., Kałużewicz A., Krzesiński W. 2011. The effect on animal protein hydrolysate on quantity and quality of strawberry daughter plants cv. 'Elsanta'. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 10 (1): 31–40.
- Lüdtke A.C., Dick D.P., Morosino L., Kraemer V. 2021. Productivity of lettuce in greenhouse as affected by humic and fulvic acids application in association to mineral fertilizer. *Horticultura Brasileira* 39: 444–450. DOI: 10.1590/s0102-0536-20210414
- Lyu S., Wei X., Chen J., Wang C., Wang X., Pan D. 2017. Titanium as a beneficial element for crop production. *Frontiers in Plant Science* 8: 597. DOI: 10.3389/fpls.2017.00597
- Ma Y., Dias M.C., Freitas H. 2020. Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. *Frontiers in Plant Science* 11: 591911. DOI: 10.3389/fpls.2020.591911
- Ma Y., Freitas H., Dias M.C. 2022. Strategies and prospects for biostimulants to alleviate abiotic stress in plants. *Front Plant Sciences* 13: 1024243. DOI: 10.3389/fpls.2022.1024243
- Mannino G. 2023. A new era of sustainability: plant biostimulants. *International Journal of Molecular Sciences* 24 (22): 16329. DOI: 10.3390/ijms242216329
- Mindari W., Sasongko P.E., Kusuma Z., Syekhfani, Aini N. 2018. Efficiency of various sources and doses of humic acid on physical and chemical properties of saline soil and growth and yield of rice. *AIP Conference Proceedings* 2019: 030001. DOI: 10.1063/1.5061854
- Morcillo R.J., Manzanera M. 2021. The effects of plant-associated bacterial exopolysaccharides on plant abiotic stress tolerance. *Metabolites* 11: 337. DOI: 10.3390/metabo11060337
- Mosa W.F., Sas-Paszt L., Głuszek S., Górnik K., Anjum M.A., Saleh A.A., Abada H.S., Awad R.M. 2023. Effect of some biostimulants on the vegetative growth, yield, fruit quality attributes and nutritional status of apple. *Horticulturae* 9: 32. DOI: 10.3390/horticulturae9010032
- Muhie S.H. 2023. Plant biostimulants in organic horticulture: a review. *Journal of Plant Growth Regulation* 42 (5): 2698–2710. DOI: 10.1007/s00344-022-10738-7
- Muhorakeye M.C., Namikoye E.S., Khamis F.M., Wanjohi W., Akutse K.S. 2024. Biostimulant and antagonistic potential of endophytic fungi against fusarium wilt pathogen of tomato *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Scientific Reports* 14: 15365. DOI: 10.1038/s41598-024-66101-1
- Nardi S., Ertani A., Francioso O. 2017. Soil-root cross-talking: the role of humic substances. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 180: 5–13. DOI: 10.1002/jpln.201600348
- Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A., Vianello A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 1527–1536. DOI: 10.1016/S0038-0717(02)00174-8
- Novello G., Cesaro P., Bona E., Massa N., Gosetti F., Scarafoni A., Todeschini V., Berta G., Lingua G., Gamalero E. 2021. The effects of plant growth-promoting bacteria with biostimulant features on the growth of a local onion cultivar and a commercial zucchini variety. *Agronomy* 11: 888. DOI: 10.3390/agronomy11050888
- Ojuederie O.B., Olanrewaju O.S., Babalola O.O. 2019. Plant growth promoting rhizobacterial mitigation of drought stress in crop plants: implications for sustainable agriculture. *Agronomy* 9 (11): 712. DOI: 10.3390/agronomy9110712

- Patkowska E. 2021. Biostimulants managed fungal phytopathogens and enhanced activity of beneficial microorganisms in rhizosphere of scorzonera (*Scorzonera hispanica* L.). Agriculture 11: 347. DOI: 10.3390/agriculture11040347
- Paul K., Sorrentino M., Lucini L., Rouphael Y., Cardarelli M., Bonini P., Miras Moreno M.B., Reynaud H., Canaguier R., Trtilek M., Panzarova K., Colla G. 2019. A combined phenotypic and metabolomic approach for elucidating the biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate on tomato grown under limited water availability. Frontiers in Plant Science 10: 493. DOI: 10.3389/fpls.2019.00493
- Pellegrini M., Spera D.M., Ercole C., Del Gallo M. 2021. *Allium cepa* L. inoculation with a consortium of plant growth-promoting bacteria: effects on plants, soil and the autochthonous microbial community. Microorganisms 9 (3): 639. DOI: 10.3390/microorganisms9030639
- Pilon-Smits E.A., Quinn C.F., Tapken W., Malagoli M., Schiavon M. 2009. Physiological functions of beneficial elements. Current Opinion in Plant Biology 12: 267–274.
- Qin K., Leskovar D.I. 2020. Humic substances improve vegetable seedling quality and post-transplant yield performance under stress conditions. Agriculture 10 (7): 254. DOI: 10.3390/agriculture10070254
- Rai N., Rai S.P., Sarma B.K. 2021. Prospects for abiotic stress tolerance in crops utilizing phyto- and bio-stimulants. Frontiers in Sustainable Food Systems 5: 754853. DOI: 10.3389/fsufs.2021.754853
- Rouphael Y., Colla G., Hoagland L., Giordano M., El-Nakhel C., Cardarelli M. 2021. Vegetal-protein hydrolysates based microgranule enhances growth, mineral content, and quality traits of vegetable transplants. Scientia Horticulturae 290: 110554. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110554
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/1009 z dnia 5 czerwca 2019 r. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/1009/oj>
- Samuels L.J., Setati M.E., Blancquaert E.H. 2022. Towards a better understanding of the potential benefits of seaweed based biostimulants in *Vitis vinifera* L. cultivars. Plants 11 (3): 348. DOI: 10.3390/plants11030348
- Sánchez-Montesinos B., Santos M., Moreno-Gavira A., Marín-Rodulfo T., Gea F.J., Diáñez F. 2021. Biological control of fungal diseases by *Trichoderma aggressivum* f. *europaeum* and its compatibility with fungicides. Journal of Fungi 7: 598. DOI: 10.3390/jof7080598
- Sangiorgio D., Cellini A., Spinelli F., Donati I. 2023. Promoting strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) stress resistance, growth, and yield using native bacterial biostimulants. Agronomy 13 (2): 529. DOI: 10.3390/agronomy13020529
- Savvas D., Magkana P., Yfantopoulos D., Kalozoumis P., Ntatsi G. 2024. Growth and nutritional responses of zucchini squash to a novel consortium of six *Bacillus* sp. strains used as a biostimulant. Agronomy 14 (2): 362. DOI: 10.3390/agronomy14020362
- Shukla P.S., Borza T., Critchley A.T., Prithiviraj B. 2021. Seaweed-based compounds and products for sustainable protection against plant pathogens. Marine Drugs 19: 59. DOI: 10.3390/md19020059
- Singhal R.K., Fahad S., Kumar P., Choyal P., Javed T., Jinger D., Singh P., Saha D., Prathibha M.D., Bose B., Akash H., Gupta N.K., Sodani R., Dev D., Suthar D.L., Liu K., Harrison M.T., Saud S., Shah A.N., Nawaz T. 2023. Beneficial elements: new players in improving nutrient use efficiency and abiotic stress tolerance. Plant Growth Regulation 100 (2): 237265. DOI: 10.1007/s10725-022-00843-8
- Soussani F.E., Boutasknit A., Ben-Laouane R., Benkirane R. 2023. Arbuscular mycorrhizal fungi and compost-based biostimulants enhance fitness, physiological responses, yield, and quality traits of drought-stressed tomato plants. Plants 12: 1856. DOI: 10.3390/plants12091856
- Trejo-Téllez L.I., Gómez-Merino F.C. 2023. Beneficial elements: novel players in plant biology for innovative crop production. Frontiers in Plant Science 14: 1303462. DOI: 10.3389/fpls.2023.1303462
- Trejo Valencia R., Sánchez Acosta L., Fortis Hernández M., Preciado Rangel P., Gallegos Robles M. Á., Antonio Cruz R.D.C., Vázquez Vázquez C. 2018. Effect of seaweed aqueous extracts and compost on vegetative growth, yield, and nutraceutical quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit. Agronomy 8: 264. DOI: 10.3390/agronomy8110264
- Woo S.L., Pepe O. 2018. Microbial consortia: promising probiotics as plant biostimulants for sustainable agriculture. Frontiers in Plant Science 9: 1801. DOI: 10.3389/fpls.2018.01801
- Wu S., Li R., Peng S., Liu Q., Zhu X. 2017. Effect of humic acid on transformation of soil heavy metals. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 207: 012089. DOI: 10.1088/1757-899X/207/1/012089
- Xu X., Chen Z., Wang W., Pan K. 2025. The effect of selenium biological enhancement on cucumber growth and powdery mildew control under greenhouse conditions. Scientific Reports 15 (1): 10363. DOI: 10.1038/s41598-025-95172-x
- Xu L., Naylor D., Dong Z., Simmons T., Pierroz G., Hixson K.K., Kim Y.-M., Zink E.M., Engbrecht K.M., Wang Y., Gao C., DeGraaf S., Madera M.A., Sievert J.A., Hollingsworth J., Birdseye D., Scheller H.V., Hutmacher R., Dahlberg J., Jansson C., Taylor J.W., Lemaux P.G., Coleman-Derr D. 2018. Drought delays development of the sorghum root microbiome and enriches for monoderm bacteria. Proceedings of the National Academy of Sciences 115: E4284–E4293. DOI: 10.1073/pnas.1717308115
- Yildirim E., Ekinci M., Turan M., Ağar G., Dursun A., Kul R., Alim Z., Argin S. 2021. Humic + fulvic acid mitigated Cd adverse effects on plant growth, physiology and biochemical properties of garden cress. Scientific Reports 11 (1): 8040. DOI: 10.1038/s41598-021-86991-9
- Zamljen T., Grohar M.C., Slatnar A. 2024a. Effects of pre- and post-transplantation humic acid biostimulant treatment and harvest date on yield quantity and quality parameters of sweet peppers (*Capsicum annuum* L.). Scientia Horticulturae 338: 113747. DOI: 10.1016/j.scienta.2024.113747
- Zamljen T., Šircelj H., Veberič R., Hudina M., Slatnar A. 2024b. Impact of two brown seaweed (*Ascophyllum nodosum* L.) biostimulants on the quantity and quality of yield in cucumber (*Cucumis sativus* L.). Foods 13 (3): 401. DOI: 10.3390/foods130304
- Zhang P., Li X., Dong J. 2021. Dose-dependent application of straw-derived fulvic acid on yield and quality of tomato plants grown in a greenhouse. Frontiers in Plant Science 12: 736613. DOI: 10.3389/fpls.2021.736613