

## **ASPECTS REGARDING BIOSTIMULANTS HISTORY, APPLICATION AND EFFECTS**

**Alexandra-Loredana ALMĂȘAN\*, Adina Daniela DATCU**

West University of Timisoara, Faculty of Chemistry, Biology, Geography, Department of Biology-Chemistry, Pestalozzi 16, Timișoara

\*Corresponding author e-mail: alexandra.almasan98@e-uvt.ro

Received 6 May 2022; accepted 30 December 2022

### **ABSTRACT**

*The purpose of this review is to discuss numerous aspects regarding biostimulants. One of the biggest challenges for agriculture is the development of sustainable and environmentally friendly systems to address the need to feed the growing world population. With decreasing area of arable land as we approach the limits of genetic potential of staple crops, the only way to achieve this objective is by increasing the crop yield and protecting what we produce. Biostimulators improve the quantity and quality of crops. These compounds cause morphological and physiological changes in plants and also protect them from abiotic and biotic stress. Their positive effects have been demonstrated in several studies.*

**KEYWORDS:** *biostimulant, crop, plants production, horticulture, abiotic stress, agronomy, agriculture*

### **Aspecte generale**

În zilele noastre, sectorul agricol se confruntă cu provocări concomitente de îmbunătățire a productivității pentru a hrăni populația globală și de creștere a eficienței utilizării resurselor, reducând în același timp impactul de mediu asupra ecosistemelor și sănătății umane (Colla & Rouphael, 2020). Declinul resurselor naturale și daunele asupra mediului cauzate de practicile agricole actuale au devenit limitări majore în agricultura convențională. În acest context, agroecologia oferă o abordare științifică importantă care ține cont de preocupările legate de agricultură, economie și, în special, de mediu. Prin utilizarea principiilor ecologice se urmărește studierea și proiectarea sistemelor agricole bazate pe interacțiunile principalelor lor componente biofizice, tehnice și socioeconomice. Cercetarea se concentrează acum puternic pe utilizarea principiilor agroecologice pentru a minimiza substanțele chimice potențial dăunătoare și pentru a gestiona relațiile ecologice și agro-biodiversitatea (Le Mire et al. 2016). Îngrășămintele și pesticidele joacă un rol crucial în agricultură, reprezentând un instrument puternic pentru cultivatori pentru a crește randamentul și a garanta o productivitate continuă pe tot parcursul anotimpurilor, atât în condiții optime, cât și suboptime (Colla & Rouphael,

2020). Metodele de producție ale plantelor de cultură bazate doar pe îmbunătățirea tehnologiei agricole (de exemplu, lucrarea solului, irigarea recultivarea, fertilizarea) sunt limitate din cauza incapacității de a utiliza eficient potențialul biologic al soiului cultivat. În fața unei sarcini dificile, de prevenire a daunelor cauzate de organismele dăunătoare, stresul abiotic sau biotic în culturile de câmp, protecția și productivitatea plantelor ar trebui să se bazeze pe stimularea creșterii și dezvoltării acestora, cu reducerea simultană a pericolelor prezentate pentru om și mediu, precum și cu asigurarea produselor agricole sigure de înaltă calitate. Acest lucru implică o limitare puternică a pesticidelor și erbicidelor toxice (Posmyk & Szafrńska, 2016).

O inovație promițătoare care îndeplinește cerințele menționate mai sus este utilizarea biostimulatorilor. Termenul cel mai potrivit pentru anumite produse de specialitate utilizate în beneficiul producției vegetale este cel de biostimulatori vegetali, dar alte denumiri adesea folosite pentru a descrie aceste produse includ: biofertilizatori, amelioratori metabolici sau probiotice pentru plante (Sible et al. 2021). Un biostimulator este descris ca orice microorganism (fie benefic sau patogen) sau substanță aplicată plantelor sau solului cu scopul de a crește eficiența nutrienților, toleranța la stres abiotic/biotic și caracteristicile calității culturii (Ganugi et al. 2021). În funcție de compoziția lor și de rezultatele așteptate, biostimulatorii pot fi aplicați pe sol sau pe frunze (Parađiković et al. 2018). Momentul aplicării biostimulatorilor este foarte important, acești compuși fiind utilizați în stadiile de dezvoltare ale plantelor, cruciale pentru calitatea și cantitatea randamentului prospectiv, de exemplu, în timpul încolțirii, înfloririi și apariției fructelor. Fitostimulatorii sunt, de asemenea, recomandați ca metodă de intervenție pentru a fi utilizați în caz de condiții de stres, de exemplu, îngheț, secetă, grindină, vânt puternic și contaminare chimică cu erbicide sau pesticide. Aceste substanțe pot fi aplicate înainte de stresul așteptat, în condiții nefavorabile și, de asemenea, după apariția stresului, pentru o mai bună recuperare a plantelor (Posmyk & Szafrńska, 2016). Biostimulatorii cuprind o gamă diversă de ingrediente active, care includ inoculante microbiene, acizi humici, aminoacizi, acizi fulvici, extracte de alge marine, polizaharide, vitamine, minerale și altele.

Biostimulatorii au numeroase efecte benefice asupra plantelor. Pe lângă apărarea împotriva stresului abiotic și biotic, stimularea creșterii, îmbunătățirea absorbției nutrienților și creșterea productivității culturilor, acești compuși ajută, de asemenea, la creșterea dimensiunii fructelor, la îmbunătățirea dezvoltării sistemului radicular, la creșterea activităților țesuturilor fotosintetice și a altor țesuturi vegetative, la creșterea vigoarei și uniformității plantelor, la reglarea înfloririi și stimularea apariției și coacerii fructelor. Toate aceste efecte se adaugă la creșterea, dezvoltarea și

productivitatea culturilor îmbunătățite și echilibrate (Parađiković et al. 2018). Biostimulatorul considerat ideal ar trebui să aibă următoarele caracteristici: sigur pentru animale și mediu, trebuie să fie netoxic, preluat ușor și activ de către plante din mediu, de origine naturală sau ușor de sintetizat în laboratoare, să nu fie scump, să poată fi dizolvat în diferiți solvenți: apă, alcoolii dar și lipide – care facilitează utilizarea diferitelor metode de aplicare, să pătrundă ușor în compartimentele celulare, trebuie să îmbunătățească rezistența plantelor la condiții nefavorabile și să contribuie la generarea de toleranță la stres (Posmyk & Szafrńska, 2016).

### **Istoric**

Prima discuție despre teoria „stimulantului biogenic” poate fi atribuită profesorului Vladimir Petrovici Filatov și a fost începută în 1933 în URSS. Filatov a afirmat faptul că materialele biologice derivate din diferite organisme, inclusiv plante, care au fost expuse la factori de stres ar putea afecta procesele metabolice și energetice la oameni, animale și plante (Yakhin et al. 2017). Atunci când aceste produse biologice, reprezentate de țesuturi bogate în „stimulatori biogenici”, au fost introduse într-un organism bolnav sau stresat, puterile regenerative ale organismului tratat au crescut, iar procesele patologice au fost suprimate (Cataldo et al. 2022). Mai târziu, în 1950, Blagoveščenski a dezvoltat în continuare aceste idei cu referire specifică la aplicarea lor pentru plante, considerând stimulentele biogene ca „acizi organici cu efecte stimulatorie datorită proprietăților lor dibazice care pot spori activitatea enzimatică în plante” (Yakhin et al. 2017; Cataldo et al. 2022).

Potrivit altor autori, acești compuși au avut efecte benefice în creșterea și vigoarea plantelor prin îmbunătățirea eficienței absorbției de nutrienți și apă (Berlyn & Russo, 1990; Cataldo et al. 2022). Pe de altă parte, biostimulatorii sunt considerați ca fiind „produse nefertilizate și substanțe care conțin hormoni care pot stimula creșterea atunci când sunt aplicate exogen în concentrații scăzute” sau ca „sistem echilibrat multicomponent de substanțe biologice active de origine metabolică pe bază de materii prime vegetale cu un spectru larg de activitate biologică” (Naumov et al. 1993; Cataldo et al. 2022). În anul 1994, Herve, în revizuirea sa de pionierat, oferă prima abordare conceptuală modernă reală a biostimulatorilor, introducând conceptul că dezvoltarea de noi produse ce trebuie să se bazeze pe caracteristici precum: a fi activ la doze mici, a fi ecologic și a prezenta efecte benefice reproductibile asupra plantelor cultivate. Cu alte cuvinte, acest cercetător sugerează că dezvoltarea de noi „produse bio-raționale” ar trebui să se desfășoare pe baza unei abordări sistematice bazate pe sinteza chimică, biochimie și biotehnologie, aplicate la

constrângerile fiziologice, agricole și ecologice reale ale plantelor (Herve, 1994; Yakhin et al. 2017).

Cuvântul „biostimulator” a fost inventat aparent de specialiștii în horticultură pentru a descrie substanțele care promovează creșterea plantelor fără a fi nutrienți, amelioratori de sol sau pesticide. Prima definiție concretă a cuvântului s-a identificat într-un jurnal web dedicat profesioniștilor de întreținere a gazonului, numit „Ground Maintenance”. În acest jurnal web, Zhang & Schmidt (2000) au definit biostimulatorii ca „materiale care, în cantități mici, promovează creșterea plantelor”. Folosind cuvintele „cantități minime” pentru descrierea biostimulatorilor, autorii au urmărit să distingă acești compuși de nutrienți și amelioratorii de sol, care promovează creșterea plantelor, dar sunt aplicate în cantități mai mari (Zhang & Schmidt, 1999; du Jardin, 2015). În lucrările ulterioare, aceiași autori au subliniat necesitatea unei analize cuprinzătoare și empirice a acestor produse, cu un accent deosebit pe sistemele hormonale și antioxidante, ca bază pentru multe beneficii importante ale biostimulatorilor. Aceștia discută despre conceptul de biostimulatori ca „amelioratori pre-stres”, efectele acestora manifestându-se în eficiența fotosintetică îmbunătățită, reducerea răspândirii și intensității unor boli și în producții mai bune (Zhang & Schmidt, 2000; Yakhin et al. 2017).

În literatura științifică, cuvântul biostimulator a fost definit pentru prima dată de Kauffman et al. (2007) într-o lucrare revizuită de colegi, cu modificări: „biostimulatorii sunt materiale, altele decât îngrășămintele, care favorizează creșterea plantelor atunci când sunt aplicate în cantități mici”. În aceeași lucrare se încearcă o clasificare a biostimulatorilor: „Biostimulatorii sunt disponibili într-o varietate de formulări și cu ingrediente diferite, dar sunt, în general, clasificați în trei grupuri majore pe baza sursei și conținutului lor. Aceste grupuri includ substanțe humice (HS), produse care conțin hormoni (HCP) și produse care conțin aminoacizi (AAP). HCP, cum ar fi extractele de alge marine, conțin cantități identificabile de substanțe active de creștere a plantelor, cum ar fi auxinele, citochininele sau derivații acestora”. Pe de altă parte, Basak (2008) a inițiat discuția sistematică asupra biostimulatorilor și a creat condițiile conceptuale pentru formarea științei actuale a biostimulatorilor. Acesta a fost considerat „pionierul simpozionului sistematic despre biostimulatori” (Cataldo et al. 2022).

În anul 2013, Consiliul European al Industriei Biostimulatorilor (EBIC) a stabilit o definiție precisă a biostimulatorilor, aceștia fiind „substanțe și/sau microorganisme care, aplicate plantei sau rizosferei, stimulează procesele naturale care îmbunătățesc eficiența absorbției și asimilării nutrienților, toleranța la stres abiotic și calitatea produsului. Biostimulatorii nu au niciun efect asupra paraziților și agenților patogeni și, prin urmare, nu se încadrează

în categoria pesticidelor” (Drobek et al. 2020). Un alt cercetător important în domeniul biostimulatorilor este Du Jardin, care a oferit prima analiză aprofundată a științei biostimulatorilor vegetali, cu accent pe sistematizarea și clasificarea acestor compuși pe baza funcțiilor biochimică și fiziologică, a modului de acțiune și a originii. Clasificarea realizată de acest autor cuprinde următorii compuși: substanțe humice, materiale organice complexe, extracte de alge marine, aminoacizi și alți compuși azotați antitranspirante, elemente chimice benefice, săruri anorganice inclusiv fosfor, chitina și derivații chitosanului (du Jardin, 2012; du Jardin, 2015; Cataldo et al. 2022). Analiza și clasificarea au fost influente în informarea dezvoltării legislației și reglementărilor ulterioare în Uniunea Europeană (Yakhin et al. 2017). La nivelul UE, biostimulatorii au fost definiți ca „substanțe sau materiale (fără a include nutrienții și pesticidele), care atunci când sunt aplicate pe plantă, semințe sau substrat de creștere în formulări specifice pot modifica procesele fiziologice ale plantelor prin îmbunătățirea creșterii, dezvoltării și/sau creșterii toleranței la stres abiotic” (du Jardin, 2012).

În 2015, au fost propuse șase categorii non-microbiene și trei microbiene de biostimulatori ai plantelor, acestea fiind cele ce urmează: chitosan, hidrolizate de proteine, acizi humici și fulvici, fosfiți, extracte din alge marine, siliciu, micorize arbusculare, rizobacteriile care promovează creșterea plantelor, *Trichoderma* spp (Colla & Rouphael, 2015). Una dintre cele mai recente definiții a acestor compuși a fost dată în anul 2020, aceasta fiind „Un biostimulant vegetal este un produs fertilizant UE a cărui funcție este de a stimula procesele de nutriție a plantelor, independent de conținutul de nutrienți al produsului, cu unicul scop de a îmbunătăți una sau mai multe dintre următoarele caracteristici ale plantei sau ale rizosferei: eficiența utilizării nutrienților, toleranța la stresul abiotic, trăsături de calitate, disponibilitatea nutrienților limitați în sol sau rizosferă” (Colla & Rouphael, 2020). Cu toate acestea, se crede că această definiție limitată ar putea fi extinsă, cu privire la rezistența plantelor la stresul biotic (Cataldo et al. 2022).

### **Consumul global**

Biostimulatorii cuprind materiale naturale și prietenoase cu mediul, care nu dăunează solului și mediului, ceea ce duce la adoptarea lor la nivel mondial. Factorii cheie care determină creșterea pieței biostimulatorilor sunt conștientizarea cu privire la efectele adverse ale pesticidelor și îngrășămintelor sintetizate chimic și adoptarea din ce în ce mai mare a practicilor de agricultură ecologică (Critchley et al. 2021). Biostimulatorii au un impact semnificativ asupra randamentului culturilor, ajutând astfel națiunile să răspundă cererii crescânde de alimente. Ținând cont de acest lucru, explozia populației globale

este unul dintre cei mai importanți factori care conduc piața de biostimulatori. Piața globală de fitofertilizatori a fost concentrată în principal în Europa (Shubha et al. 2017). Distribuția pieței globale de biostimulatori este reprezentată în figura 1.

Conform studiilor și rapoartelor statistice dimensiunea pieței de biostimulatori a fost estimată la 1,69 miliarde de dolari în 2016, 2,24 miliarde până în 2018. În 2021, aceasta a fost evaluată la 3,2 miliarde de dolari și se estimează că va ajunge la 5,6 miliarde dolari până în 2026. Totodată, productivitatea culturilor va înregistra o creștere de 60–100% până în 2050, datorită ascensiunii populației globale estimată la 9,7 miliarde (Popp et al. 2021; Lau et al. 2022). Din datele menționate, reiese faptul că piața globală de biostimulatori este într-o continuă creștere.

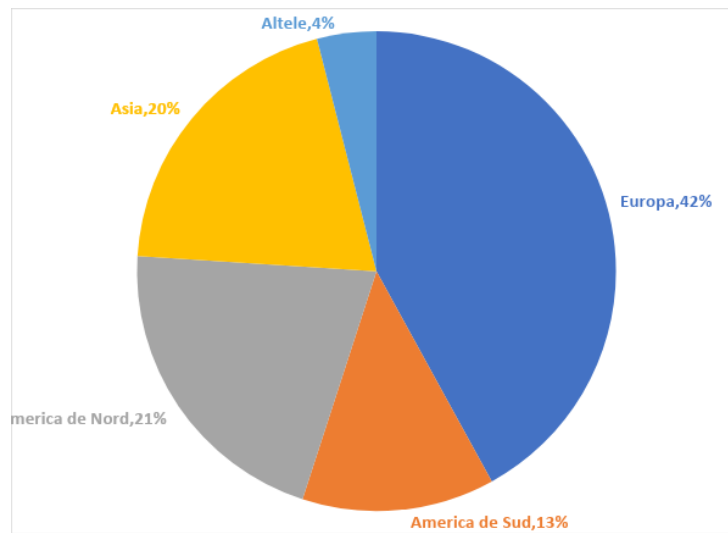


FIG. 1. Cota globală de piață a biostimulatorilor (după Shubha et al. 2017)

### Aspecte ale modificărilor fiziologice datorate aplicării biostimulatorilor

Beneficiile biostimulatorilor pot fi corelate cu modificările activității enzimatică și cu sinteza antioxidantilor. S-a sugerat că moleculele active conținute în fitostimulatori pot crește asimilarea azotului prin stimularea enzimelor ciclului Krebs. Bacterii fixatoare de azot și solubilizatoare de fosfat, cum ar fi *Bacillus* sp. sunt aplicate eficient în cultivarea plantelor organice. Aceste bacterii fixează azotul și eliberează fitohormoni (acid giberelic și acid indol acetic), care stimulează absorbția nutrienților și fotosinteza netă. Unii aminoacizi ar putea influența creșterea prin conexiunea lor la biosinteza giberelinei. Biostimulatorii pot modifica starea hormonală a plantei și pot

acționa asupra creșterii acesteia. De exemplu, drojdia uscată activă este un biofertilizant natural și sigur (o sursă naturală de citochinină), care crește diviziunea și dimensiunea celulelor, precum și sinteza acizilor nucleici și a proteinelor. Semnalizarea peptidelor este, de asemenea, importantă în timpul morfogenezei frunzelor, organizării meristemelor și răspunsurilor de apărare la stresul abiotic sau biotic. De fapt, peptidele de semnalizare conținute într-un hidrolizat proteic derivat din plante afectează organizarea meristemului, creșterea calusului, creșterea rădăcinilor și reglarea formei frunzei (Cataldo et al. 2022).

Plantele sunt adesea afectate de stresul abiotic, precum și cel biotic. Stresul abiotic este manifestat, cel mai frecvent, prin temperaturile ridicate sau scăzute, salinitatea, seceta (deficitul de apă), acidificarea solului și expunerea excesivă la radiații (Tester & Bacic, 2005). Schimbarea rapidă a climei a exacerbat diverse tensiuni biotice și abiotice asupra plantelor/culturilor agricole, provocând o schimbare a mecanismelor fiziologice, celulare biochimice și moleculare ale plantelor (Ma et al. 2020; 2022). Accelerarea încălzirii globale are efecte devastatoare asupra creșterii plantelor și a randamentului culturilor, precum și asupra calității nutriționale, amenințând producția durabilă a culturilor la nivel mondial (Saddiq et al. 2021; Ma et al. 2022). Scăderea temperaturii sau revenirea temperaturilor reci la sfârșitul primăverii este una dintre cele mai periculoase cauze de stres abiotic care afectează serios producția (Ferrante & Mariani, 2018). Daunele sunt semnificative, în special pentru culturile cu înflorire timpurie, dar pot apărea daune considerabile și la culturile timpurii de pepene și roșii. Temperaturile scăzute cauzează în principal leziuni ale membranelor celulare, ducând la moarte în cazurile severe sau la întârzierea creșterii în cazurile mai ușoare (Franzoni et al. 2022). Doi biostimulatori comerciali, Bactor S13 sau Flortis Micorrize, și-au demonstrat capacitatea de a contracara reducerea creșterii plantelor sub stres la rece prin creșterea osmoliților (substanțe active osmotice), a compușilor antioxidanți și a substanțelor care protejează membranele celulare (Miceli et al. 2021). Rezultate excelente au fost obținute din biostimulatori pe bază de alge, bacterii sau aminoacizi care pot induce protecție împotriva temperaturilor scăzute, prin acumularea de substanțe crioprotectoare și / sau activarea sistemelor de reparare a membranei (De Saeger et al. 2020).

Temperaturile ridicate pot provoca, de asemenea, daune culturilor ca urmare a modificărilor membranelor celulare și a funcționalităților enzimatică. În special, leziunile fosfolipidelor membranare apar cu pierderea compartimentării celulare care provoacă tulburări metabolice. Plantele răspund la temperaturi ridicate prin creșterea transpirației, cu scopul de a ameliora

termoreglarea. Prin urmare, cele mai grave daune pot fi obținute în zonele geografice cu temperaturi peste 37 °C, unde pot apărea cazuri de temperaturi ridicate asociate cu condiții de disponibilitate scăzută a apei (Ferrante & Mariani, 2018). Pe de altă parte, un al tip de stres abiotic este salinitatea, care apare în cazul plantelor situate în zonele de coastă, care pot fi supuse stresului salin din cauza concentrației mari de săruri solubile în apa de irigare sau în sol. Stresul salin induce o reducere a creșterii plantelor și daune la nivel celular, compromițând vitalitatea și productivitatea. Concentrația mare de sare provoacă stres osmotic datorită concentrației ionice mari din sol, ceea ce poate duce la reducerea absorbției apei de către rădăcini. Într-adevăr, plantele stresate prezintă simptome de stres hidric. Biostimulatorii pot atenua efectele salinității prin creșterea toleranței culturii. Mecanismele endogene de a face față salinității sunt similare cu cele observate la plantele supuse secetei. Biostimulatorii pot induce o creștere a concentrației de prolină, zaharuri simple, alcooli, acid abscisic și a compușilor antioxidanți capabili să contracareze daunele cauzate de acumularea de radicali liberi. S-au obținut rezultate bune cu hidrolizate proteice de origine vegetală, care au îmbunătățit toleranța la salinitate în diferite culturi horticole, precum salata verde, crescând astfel randamentul și acumularea de substanță uscată. Rezultate similare pot fi obținute și cu biostimulatorii microbieni care au fost aplicați pe salata verde, ardei, năut și fasole, plante cultivate într-un mediu cu salinitate ridicată (Frazoni et al 2022).

Reducerea disponibilității apei afectează direct activitatea fotosintetică, modificând schimburile de gaze din frunze. Simptomele vizibile ale stresului hidric sunt pierderea turgescenței și îngălbenirea frunzelor din cauza degradării clorofilei. Conținutul de clorofilă este, de fapt, folosit ca un indicator de încredere al dezechilibrului metabolic la plantele aflate sub stres hidric. Unii biostimulatori comerciali, obținuți din extracte de alge marine, cresc acumularea de compuși activi osmotic care pot ajuta plantele să contracareze și să depășească cele mai critice perioade de secetă, evitând o scădere a randamentului și a calității. Printre compușii acumulați, se pot găsi diferite substanțe, precum zaharuri, prolina, alcooli, nitrați și acid abscisic. S-a propus că biostimulanții pot amplifica răspunsurile endogene ale plantelor, îmbunătățind echilibrul hidric al culturii, crescând capacitatea de absorbție a apei radiculare și, în final, reducând pierderile. Rezultate excelente au fost obținute în cazul cultivării legumelor cu frunze, ca de exemplu culturile de spanac (Frazoni et al. 2022).

Biosinteza fitoalexinelor (metaboliți secundari cu greutate moleculară mică, cu efecte antimicrobiene) la plantele stresate este un subiect de studiu actual. Acești compuși sunt implicați în rezistența plantelor (Cataldo et al.



2022). Trebuie subliniat faptul că rezistența mecanică crescută sau schimbarea culorii fructelor rezultă din starea bună a plantelor, care, la rândul său, este rezultatul nutriției lor adecvate. Biostimulatorii sunt furnizați extern, de exemplu, induși de procesul de fotosinteză, jucând un rol important în nutriția plantelor. Inducția indirectă, de exemplu, constă în creșterea suprafeței frunzelor. Frunzele sunt principalele organe în care are loc fotosinteza. Prin urmare, creșterea suprafeței frunzelor duce la o creștere a fotosintezei. Plantele intens fotosintetice sunt mai bine hrănite. Creșterea suprafeței frunzelor duce și la creșterea suprafeței de transpirație. Acest fenomen are funcția deosebit de importantă de a proteja planta de supraîncălzire. S-a demonstrat că extractul de frunze de *Moringa oleifera* a crescut suprafața *Cucurbita pepo* L. cu 9,7% și a condus simultan la o creștere cu 34,6% a conținutului de clorofilă al frunzelor comparativ cu probele martor (Abd El-Mageed et al. 2017). Efectul pozitiv al extractului de alge marine în perioada de secetă este reprezentat de creșterea conținutului relativ de apă al frunzelor de spanac de la 76% la 82%. Suprafața frunzei a fost, de asemenea, crescută cu 16% (spray foliar), 21% (biostimulator în sistemul de irigare) și 38% (biostimulator în sistemul de irigare și în spray). Creșterea suprafeței frunzei a condus la o creștere a intensității fotosintezei și a îmbunătățit condițiile de creștere a spanacului în condiții de stres (Xu & Leskovar, 2015).

S-a dovedit, de asemenea, că acizii humici induc efecte asemănătoare auxinei asupra plantelor datorită inelului lor aromatic și structurilor care conțin azot. Aceste efecte de auxină sunt cel mai adesea asociate cu alungirea rădăcinii și inițierea perișorilor, ceea ce poate duce la absorbția ridicată a nutrienților (Sible et al. 2021). În ceea ce privește stresul biotic, s-a demonstrat că tratamentele înainte de însămânțare bazate pe biostimulatori contracarează eficient bolile și dăunătorii și, totodată, îmbunătățesc viabilitatea semințelor și vigoarea răsadurilor în sine (Posmyk & Szafranska, 2016).

### **Efecte asupra producției**

Popularitatea biostimulatorilor în agricultură este asociată cu posibilitatea de a obține recolte mai mari fără a fi necesară întreruperea producției de culturi ecologice. Conform numeroaselor studii științifice, biostimulatorii au un efect pozitiv asupra producției la plantele de cultură. Randamentul este de obicei determinat ca cantitatea de fructe obținută dintr-o plantă sau parcelă. Randamentul depinde de tipul de biostimulator utilizat, de doză, de metoda de aplicare și de soiul de plante. Randamentul crescut este adesea asociat cu îmbunătățirea calității legumelor sau fructelor. Acest lucru este deosebit de important în agricultura ecologică, unde îngrășămintele artificiale nu pot fi utilizate (Drobek et al. 2020). Nivelul ridicat de carbon al

acestor compuși organici poate acționa ca o sursă de energie directă pentru diverse specii microbiene din sol, stimulând astfel activitatea acestora și, potențial, rezultând un sol mai productiv (Sible et al. 2021).

Biostimulatorii pe bază de acizi fulvic, humic și carboxilic au avut o influență pozitivă asupra producției de fructe de cais. Pomii martor au prezentat un randament de 12 kg fructe/pom și după aplicarea acizilor humic și fulvic împreună și a acizilor carboxilici într-un experiment separat, randamentul pomilor a crescut la 21 kg fructe/pom și respectiv 19 kg fruct/pom. Acest lucru a fost observat doar în al doilea an de utilizare a fitostimulatorilor. În timpul primului sezon de vegetație, randamentul pomilor martor a fost mai mare decât cel al pomilor care au fost tratați cu biostimulatori care conțin acizi humic și fulvic. Biostimulatorii pe bază de polizaharide s-au dovedit a fi ineficienți cu varietatea de cais testată, care a prezentat un randament comparabil cu cel martor în ambele sezoane de vegetație (Tarantino et al. 2018). Preparatele care conțin toți aminoacizii au permis o creștere a randamentului și la mango. Cu o doză de 3 L/ha, randamentul a crescut cu 18% față de martor. În același timp, compușii au determinat o scădere cu 15% a greutateii fructelor. Autorii au explicat acest fenomen prin competiția fructelor pentru nutrienți (Morales-Payan, 2015). Biostimulatorii care conțin compuși fenolici s-au dovedit a fi preparate benefice și culturii de zmeură. Ca urmare a aplicării foliare a compușilor fenolici, s-a obținut o creștere cu 20% a randamentului de zmeură (Grajkowski & Ochmian, 2007). Deja în primul an după utilizarea biostimulatorilor, cantitatea de fructe colectate dintr-o plantă a crescut. Cele mai bune rezultate au fost produse de 6-benziladenină în doză de 100 mg/L, ceea ce a determinat o creștere a randamentului în primul an cu aproximativ 0,5 kg. În al doilea an de utilizare a 6-benziladeninei în doză de 100 mg/L și acid  $\alpha$ -naftalenacetic la o doză de 20 mg/L, randamentul a crescut cu mai mult de 1 kg dintr-un singur individ (Milić et al. 2018). În plus, randamentul căpșunilor a crescut semnificativ după utilizarea biostimulanților care conțin extracte din plante și plante marine. În acest caz, studiul a demonstrat că biostimulatorii din sol sunt o sursă de compuși cu azot. Mai mult, aplicarea foliară de biostimulant nu a produs rezultate la fel de bune precum biostimulatorii adăugați în sol. Biostimulatorii adăugați în sol au determinat o creștere semnificativă a cantității de fructe și, de asemenea, au îmbunătățit starea plantelor. Plantele au fost mai rezistente la condițiile meteorologice și agenții patogeni (Filipczak et al. 2016). Producția viței de vie a crescut, de asemenea, prin aplicarea fitostimulatorilor, conform altor cercetători (Drobek et al. 2020).

### **Efecte asupra calității**

Calitatea poate fi definită ca un set de proprietăți agronomice (de exemplu, randamentul, mărimea fructelor, rezistența la bacterii și ciuperci) și organoleptice (de exemplu, culoare, fermitate formă,), precum și conținutul de nutrienți și vitamine. Calitatea fructelor și legumelor este modelată din momentul creșterii plantelor până la momentul recoltării fructelor și legumelor și constă în gustul și conținutul de nutrienți (Di Vittori et al. 2018). Calitatea este influențată de factori genetici și factori ai agro-mediului.

Biostimulatorii au influență asupra proprietăților mecanice, adică asupra fermității fructelor sau legumelor. În funcție de tip, acești compuși pot provoca rigidizarea pereților celulari, reducând astfel extensibilitatea acestora. Pe de altă parte, se mai cunoaște faptul că biostimulatorii cresc flexibilitatea pereților celulari și în același timp prelungesc termenul de valabilitate al fructelor și legumelor pentru consum și facilitează depozitarea acestora. Compușii chimici pe bază de acid carboxilic, humic și fulvic și, de asemenea, biopolimerii polizaharidelor au crescut rezistența mecanică a fructelor de cais pe parcursul a doi ani de utilizare a biostimulantului. La rândul lor, cei care conțin compuși fenolici sau chitosan au dus la pierderea fermității fructelor la cele trei soiuri de zmeură studiate. Utilizarea biostimulatorilor pe bază de compuși de titan nu a modificat fermitatea fructelor, care a fost comparabilă cu fermitatea din testul de control. Utilizarea citozimei care conține nutrienți esențiali pentru plante și biostimulatori de creștere în cantitate de 4 ml/L a redus semnificativ crăparea fructelor de rodie. Pe lângă îmbunătățirea proprietăților mecanice, biostimulatorii modifică forma și culoarea fructelor și legumelor (Drobek et al 2020).

O caracteristică vizuală importantă care dovedește calitatea fructelor este culoarea. Culoarea fructului este influențată substanțial de conținutul de antociani. Cercetătorii au examinat conținutul de antociani din căpșuni tratate cu extract de alge marine cu siliciu. Fructele tratate cu un biostimulator s-au caracterizat printr-un conținut mai mare de antociani în perioada inițială de fructificare, prin urmare, au fost mai roșii decât fructele martor. Cireșele tratate cu glicină și betaină au fost mai închise la culoare decât fructele martor (Weber et al 2018). Deși mecanismul de acțiune al betainei și glicinei asupra formării antocianilor nu este pe deplin înțeles, se știe că nuanța mai închisă a fructului a fost cauzată de un conținut mai mare de antioxidanți (Queirós et al 2019). Totodată, alți cercetători, în al doilea an de utilizare a biostimulatorilor au obținut fructe de caise cu coaja mai deschisă față de primul an. Acest lucru s-ar putea datora concentrației mai mari de biostimulatori utilizați în primul sezon de vegetație. Au existat diferențe semnificative în ceea ce privește culoarea fructului. În al doilea an al experimentului, culoarea caiselor a fost mai roșie

decât în primul an de fructificare. Nu au existat diferențe semnificative de culoare a fructelor produse de cei trei biostimulatori utilizați (1-biopolimeri de polizaharide; 2-acizi humic și fulvic; 3-acizi carboxilici) (Tarantino et al 2018).

### Concluzii

În contextul schimbării scenariului climatic, creșterii populației și epuizarea resurselor naturale este necesar să se asigure o agricultură durabilă, creșterea producției și utilizarea resurselor. Biostimulatorii sunt o alternativă viabilă în acest sens. Biostimulatorii se răspândesc rapid pe piață; unul dintre aceste motive este disponibilitatea din ce în ce mai limitată a produselor sintetice. Biostimulatorii plantelor includ diverse substanțe și microorganisme care sporesc creșterea plantelor și rezistența la stresul abiotic și cresc randamentul și calitatea culturilor. Definiția și conceptul de biostimulatori vegetali sunt încă în evoluție.

### Bibliografie

- Abd El-Mageed T.A., Semida W.M., Rady M.M. 2017. Moringa Leaf Extract as Biostimulant Improves Water Use Efficiency, Physio-Biochemical Attributes of Squash Plants under Deficit Irrigation. *Agric. Water Manag.* 193: 46-54.
- Basak A. 2008. Biostimulators—Definitions, Classification and Legislation, pp. 7-17. In: *Biostimulators in Modern Agriculture: General Aspects*. Dąbrowski Z.T. (eds.), Editorial House Wie Jutra, Warsaw, Poland.
- Berlyn G.P., Russo, R.O. 1990. The use of organic biostimulants to promote root growth. *Belowground Ecol.* 2: 12-13.
- Cataldo E., Fucile M., Mattii G.B. 2022. Biostimulants in Viticulture: A Sustainable Approach against Biotic and Abiotic Stresses. *Plants.* 11(2): 162.
- Colla G., Roupael Y. 2015. Biostimulants in horticulture. *Sci. Hortic.* 196: 1-134.
- Critchley A.T., Critchley J.S.C., Norrie J., Gupta S. 2021. Perspectives on the global biostimulant market: applications, volumes, and values, 2016 data and projections to 2022, pp.289-296. In *Biostimulants for Crops from Seed Germination to Plant Development*, Critchley A.T (eds.), Elsevier, Amsterdam, Netherlands
- De Saeger J., Van Praet S., Vereecke D., Park, J., Jacques, S., Han T., Depuydt S. 2020. Toward the Molecular Understanding of the Action Mechanism of *Ascophyllum nodosum* Extracts on Plants. *J. Appl. Phycol.* 32: 573–597.
- Di Vittori L., Mazzoni L., Battino M., Mezzetti B. 2018. Pre-Harvest Factors Influencing the Quality of Berries. *Sci. Hortic.* 233: 310-322.
- Drobek M., Fraç M., Cybulska J. 2020. Plant biostimulants: Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress-A review. *Agronomy.* 10(3): 433.
- du Jardin P. 2012. *The Science of Plant Biostimulants - A Bibliographic Analysis: Ad hoc Study Report*, European Commission, Brussels. 37 p.
- du Jardin P. 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae.* 196: 3-14.

- Ferrante A., Mariani L. 2018. Agronomic Management for Enhancing Plant Tolerance to Abiotic Stresses: High and Low Values of Temperature, Light Intensity, and Relative Humidity. *Horticulturae*. 4: 21.
- Filipczak J., Żurawicz E., Paszt L.S. 2016. Wpływ wybranych biostymulatorów na wzrost i plonowanie roślin truskawki “Elkat” influence of selected biostimulants on the growth and yielding of “Elkat” strawberry plants. *Zesz. Naukowe Inst. Ogród.* 24: 43-58.
  - Franzoni G., Cocetta G., Prinsi B., Ferrante A., Espen L. 2022. Biostimulants on Crops: Their Impact under Abiotic Stress Conditions. *Horticulturae*. 8(3): 189.
- Ganugi P., Martinelli E., Lucini L. 2021. Microbial biostimulants as a sustainable approach to improve the functional quality in plant-based foods: A review. *Curr. Opin. Food Sci.* 41: 217–223.
- Grajkowski J., Ochmian I. 2007. Influence of three biostimulants on yielding and fruit quality of three primocane raspberry cultivars. *Hortorum Cultus*.6: 29-36.
- Herve J.J. 1994. Biostimulants, a new concept for the future; prospects offered by the chemistry of synthesis and biotechnology. *C. R. Acad. Agric. Fr.* 80: 91-102.
- Kauffman G.L., Kneivel D.P., Watschke T.L. 2007. Effects of a biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermostability, and polyphenol production of perennial ryegrass. *Crop Sci.* 47: 261-267.
- Lau S.E., Teo W.F.A., Teoh E.Y., Tan B.C. 2022. Microbiome engineering and plant biostimulants for sustainable crop improvement and mitigation of biotic and abiotic stresses. *Discov Food.* 2: 9
- Le Mire G., Nguyen M.L., Fassotte B., du Jardin P., Verheggen F., Delaplace P., Jijakli M.H. 2016. Implementing plant biostimulants and biocontrol strategies in the agroecological management of cultivated ecosystems. A review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 20(S1): 299-313.
- Ma Y., Dias M.C., Freitas H. 2020. Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. *Front. Plant Sci.* 11: 591911.
- Ma Y., Freitas H., Dias M.C. 2022. Strategies and prospects for biostimulants to alleviate abiotic stress in plants. *Front. Plant Sci.* 13: 1024243.
- Miceli A., Moncada A., Vetrano F. 2021. Use of Microbial Biostimulants to Increase the Salinity Tolerance of Vegetable Transplants. *Agronomy* 11: 1143.
- Milić B., Tarlanović J., Keserović Z., Magazin N., Miodragović M., Popara G. 2018. Bioregulators Can Improve Fruit Size, Yield and Plant Growth of Northern Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Sci. Hortic.* 235: 214-220.
- Morales-Payan J.P. 2015 Influence of Foliar Sprays of an Amino Acid Formulation on Fruit Yield of “Edward” Mango. *Acta Hortic.* 1075: 157-160.
- Naumov G.F., Bozhkov A.I., Leontovich V.P., Sklyar A.I., Belous A.M. 1993. Polyfunctionality of allelopathic substance allelostim. *Dokl. Akad. Nauk Ukr.* 11: 166-169.
  - Parađiković N., Teklić T., Zeljković S., Lisjak M., Špoljarević M. 2018. Biostimulants research in some horticultural plant species-A review. *Food and Energy Security.* 8(2): e00162.
- Popp J., Kovács S., Oláh J., Divéki Z., Balázs E. 2021. Bioeconomy: Biomass and biomass-based energy supply and demand. *N Biotechnol.* 60: 76-84.
- Posmyk M.M., Szafrńska K. 2016. Biostimulators: A New Trend towards Solving an Old Problem. *Front. Plant Sci.* 7: 748.
- Queirós F., Ribeiro C., Vilela A., Aires A., Barros A.I., Schouten R.; Paula A. Gonçalves B. 2019. *Scientia Horticulturae* Effects of Calcium and Growth Regulators on Sweet Cherry (*Prunus avium* L.) Quality and Sensory Attributes at Harvest. *Sci. Hortic.* 248: 231–240.
- Roupheal Y., Colla G. 2020. Biostimulants in agriculture. *Front. Plant Sci.* 11: 40.

- Saddiq M.S., Afzal I., Iqbal S., Hafeez M.B., Raza A. 2021. Low sodium content in leaves improves grain yield and physiological performance of wheat genotypes in saline-sodic soil. *Trop. Agric. Res. / Pesqu. Agropec. Trop.* 51: e67663.
- Shubha K., Mukherjee A, Kumari M., Tiwari K., Meena V.S. 2017. Bio-stimulants: An Approach Towards the Sustainable Vegetable Production, pp.259-277. In: *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture*. Meena S.V (eds), Springer Publishing, New York, US.
- Sible C.N., Seebauer J.R., Below F.E. 2021. Plant Biostimulants: A Categorical Review, Their Implications for Row Crop Production, and Relation to Soil Health Indicators. *Agronomy*. 11: 1297.
- Tarantino A., Lops F., Disciglio G., Lopriore G. 2018. Effects of Plant Biostimulants on Fruit Set, Growth, Yield and Fruit Quality Attributes of 'Orange Rubis®' Apricot (*Prunus armeniaca* L.) Cultivar in Two Consecutive Years. *Sci. Hortic.* 239: 26-34.
- Tester M., Bacic, A. 2005. Abiotic stress tolerance in grasses. From model plants to crop plants. *Plant Physiol.* 137: 791-793.
- Weber N., Schmitzer V.; Jakopic J., Stampar F. 2018. First Fruit in Season: Seaweed Extract and Silicon Advance Organic Strawberry (*Fragaria x Ananassa* Duch.) Fruit Formation and Yield. *Sci. Hortic.* 242: 103-109.
- Xu C., Leskovar D.I. 2015. Effects of *A. nodosum* Seaweed Extracts on Spinach Growth, Physiology and Nutrition Value under Drought Stress. *Sci. Hortic.* 183: 39-47.
- 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.
- Zhang X., Schmidt R.E. 2000. Hormone containing products impact on antioxidant status of tall fescue and creeping bent grass subjected to drought. *Crop Sci.* 40: 1344-1349.
- Zhang X., Schmidt R.E. 1999. Biostimulating turfgrasses. *Grounds Maintenance*. 34: 14-15.