



BIOSTIMULÁTOROK SZEREPE A NÖVÉNYEK STRESSZ FOLYAMATAIBAN

KUBINA LAJOS – KALOCSAI RENÁTÓ– MOLNÁR ZOLTÁN – VONA
VIKTÓRIA– GICZI ZSOLT– NAGY VIKTOR

Széchenyi István Egyetem,

Albert Kázmér Kar, Mosonmagyaróvár

BEVEZETÉS

Napjainkban a növénytermesztők számára az abiotikus környezeti stresszhatásokkal (szárazság, UV-stressz, sókoncentráció, víznyomás) szembeni védekezés az egyik legnagyobb kihívás, hiszen ezek a tényezők mind káros hatással vannak a termesztett növényeink növekedésére és megakadályozzák a genetikai potenciálban, illetve a tápanyagutánpótlásban rejlő lehetőségek elérését. A gazdasági veszteségek megelőzése érdekében egyre többen alkalmaznak rendszeresen biostimulátor hatóanyagokat azzal a céllal, hogy segítsék a növények fiziológiai folyamatait.

A szemle áttekintést nyújt a növények szempontjából fontosabb stresszhatások növényi életfolyamatokban betöltött szerepéről, valamint a stresszhatások esetlegesen káros következményeinek biostimulátorokkal (huminsav, fulvosav) történő mérsékléséről.

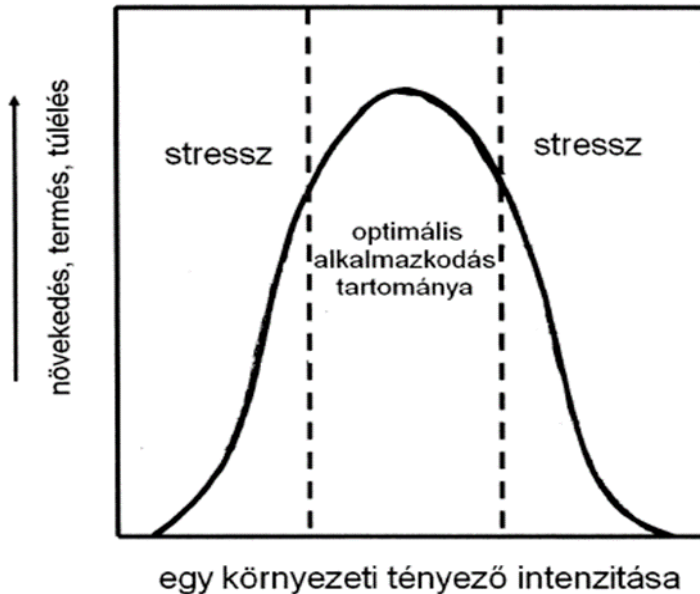
Kulcsszavak: növénytermesztés, abiotikus stressz, biotikus stressz, biostimulátor

STRESSZ

A stressz kifejezést először a fizikában alkalmazták egy testben külső erő hatására ébredő belső feszültség jellemzésére. A fogalomnak orvosi, pszichológiai, szociológiai megközelítései is vannak. A stressz megterheléssel járó helyzet, amelyben egy szervezet a “normális” viselkedéstől eltérő módon viselkedik. *Selye* (1936) szerint: „A stressz a szervezet túlterhelt, túlerőltetett állapota a test aspecifikus reakciója mindenfajta

igénybevétellel szemben”. Aspecifikus reakció: a stresszortól függetlenül mindig azonosan zajlik le. *Tischler* (1984) szerint: „a stressz a normálistól eltérő olyan helyzet, amely az élőlényt megterheli, de az életét közvetlenül nem veszélyezteti”. *Larcher* (1987) a növények stresszállapotát vizsgálva a következő definíciót fogalmazza meg: „a stressz olyan terheléses állapot, amelyben a növényvel szembeni fokozott igénybevétel a funkciók kezdeti destabilizációját követően egy normalizálódáson át az ellenállóság fokozódásához vezet, majd a tűréshatár túllépésekor tartós károsodást, vagy akár pusztulást is okoz.” A stressz a növényre gyakorolt külső, biotikus vagy abiotikus eredetű előnytelen hatás, mint pl. a fertőzés, a hőség, a vízhiány és az anoxia. A stressz hatását legtöbb esetben a túlélés jellemzőivel, illetve a termés, a gyarapodás (biomassza akkumuláció), vagy a primer asszimilációs folyamatok mérésével jellemzik *Tai* és *Zeiger* (2006, 2010). *Szigeti* (2018) alapján „növényi stressz az a fiziológiai állapot, amelyben a növények növekedése, fejlődése és szaporodása az optimális alkalmazkodás tartományán kívül, a fokozott környezeti terhelés miatt a genomban meghatározott lehetőségek alatt marad.”

A szervezetben a stresszállapotot a stresszor váltja ki, ami nem más, mint a környezet egy eleme, ami a növény életműködésében olyan változást okoz, ami megváltozott környezethez való élettani alkalmazkodást eredményez. Az 1. ábra valamely élettani funkciónak (pl. növekedés, túlélés, termés) valamilyen környezeti tényező hatására bekövetkező változását mutatja. Az ábra kiválóan szemlélteti, hogy amennyiben egy külső tényező értéke a szervezet számára az optimális alkalmazkodás tartományán kívül van, akkor az stresszállapotba kerül. Az optimális körülményektől eltérő környezeti tényezők stresszorként hatnak a növényekre. Ha pl. kevés vagy sok a víz, kevés vagy több a fény, kevés vagy több a fényintenzitás, kevés vagy több a felvehető tápanyag akkor a növény stresszállapotba kerül. Mindez függ attól, hogy mit tekintünk az optimális alkalmazkodás tartományának.



1.ábra: A növény funkcionális paramétereinek változása a környezeti tényezők intenzitásának függvényében (Szigeti 1998).

Figure 1: Changes of plant functional parameters depending on the environmental factors. (horizontal axis = environmental factor intensity; vertical axis = growth, yield or survival; stressz = stress; optimális alkalmazkodás tartománya = range of optimal adaptation). (Szigeti 1998).

Mi határozza meg, hogy egy növény milyen mértékben képes alkalmazkodni a környezetéhez? Ez a fenotípusos plaszticitás, ami nem más, mint egy genotípusnak az a képessége, hogy a környezet változásaira adott válaszként fenotípusok széles tartományát képes felmutatni Fordyce (2006). A fenotípusos plaszticitás az a tulajdonság, amikor egy adott genotípusú egyed különböző biokémiai, fiziológiai vagy morfológiai állapotok egy bizonyos tartományában képes különböző környezeti feltételekre választ adni (Whitman és Agrawal 2009).

NÖVÉNYEKRE HATÓ STRESSZOROK

A növényekre ható *stresszorokat* (stressztényezőket) többféleképpen csoportosíthatjuk. Az egyik szokásos felosztás szerint *természetes tényezőket*, valamint *antropogén*

faktorokat különböztetünk meg. Természetesnek tekintjük a természeti környezet spontán, de hirtelen vagy szélsőséges megváltozásait: a nagy fényintenzitást, a hőhatást, az alacsony hőmérsékletet, a hirtelen fagyot, a szárazságot, az ásványi tápanyagok hiányát, a nagy sókoncentrációt stb. Antropogén stresszorokként tartjuk számon többek között a herbicideket, a légszennyező anyagokat (kén- és nitrogénoxidok, ózon stb.), a savas esőt, a talajsavanyodást, a toxikus nehézfémek feldúsulását a környezetben és a fokozott UV sugárzást. Másik megközelítésből *abiotikus* (abiogén) és *biotikus* (biogén) felosztást is alkalmazhatunk. Ez utóbbiak közé tartoznak a növény paraziták: vírusok, baktériumok, gombák, de ide soroljuk a rovarok, csigák stb. rágása által okozott sebzéseket is *Szigeti* (2013).

POZITÍV ÉS NEGATÍV STRESSZ

A stressznek lehetnek pozitív következményei is. Az *eustressz* egy pozitív, alkalmazkodási válasz, amit a stresszor kis dózisa vált ki *Selye* (1964). A szubletális abiotikus stresszviszonyoknak kitett növények a morfogén válaszok széles skáláját mutatják. A fenotípusok sokfélesége ellenére felismerhető egy általános „stressz által kiváltott morfogén válasz”, amely úgy tűnik, hogy gondosan megtervezett, és három összetevőből áll: (a) a sejtmegnyúlás gátlása, (b) a sejtosztódás lokalizált stimulálása és (c) változások sejtdifferenciálódási állapotában. Egy stresszor alacsony dózisa adaptív fenotípusos változást okozhat, mely fenotípus számos alkalmazkodás jellegű változást magában foglal *Potters et al.* (2007). A gyenge stressz tehát aktiválhatja a sejttanyagcserét, javíthatja a növény fiziológiai aktivitását és még tartósan hatva sem feltétlenül okoz károsodást *Lichtenthaler* (1988). A *distressz* egy erősebb, negatív válasz, amit a stresszor intenzívebb, tartósabb hatása, nagyobb dózisa okoz, ami védekezéssel (coping) vagy alkalmazkodással már nem korrigálható, szubcelluláris károsodással járhat.

STRESSZ LEKÜZDÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI

Sérült, fertőzött, stresszben lévő növényekben a regenerációt és a védekezést szolgáló folyamatok aránya megnövekszik. A regenerációt és védekezést a klasszikus agrotechnikai megoldások (pl.: jó talajelőkészítés, ideális vetési időpont, stressztűrő fajták, öntözés, megfelelő termesztés technológia) mellett lehetőség van a

fiziológiai/biokémiai összefüggésekre építő, a növény anyagcseréjébe céloztabban/közvetlenebbül beavatkozó és gyorsabb eredményt biztosító megoldások alkalmazására is. Ezek a megoldások részben a károsodások mérséklését, részben a már károsodott növények gyorsabb regenerálódását biztosítják. Ezt a regenerációt és védekezést bioaktív anyagok, *biostimulátorok* alkalmazásával mi is tudjuk erősíteni. A szabad gyökök közömbösítésére a növényekben enzimek működnek, pl. kataláz, peroxidáz, szuperoxid-dizmutáz. Ezeknek az enzimeknek az aktivitása az öregedéssel csökken és a gyökök ezért felhalmozódhatnak. A szabad gyökök közömbösítésére a növényekben antioxidáns hatású vegyületek is találhatóak. Ilyenek pl. a C-vitamin, karotinoidok, flavonoidok, citokininek, betain (trimetil-glicin) stb. Növényi kivonatok nagy mennyiségben tartalmazhatják a fenti hasznos anyagokat. Antioxidánsokat tartalmazó természetes növényi kivonatok (biostimulátorok) növényi állományra permetezéssel vagy kertészeti és erdészeti kultúráknál (ültető gödör vagy árok) beöntözésével fokozhatjuk a növények természetes védekező mechanizmusait és ezzel csökkenteni lehet a stressz során fellépő károsodási tüneteket.

Mindezeket túl kitérünk arra is, hogy az elmúlt évek során milyen nemzetközi kutatások és kísérletek láttak napvilágot az adott biostimulátorok kapcsán.

A tartós fejlődés minden gazdasági ágazatban megköveteli a környezetvédelmi igények tiszteletben tartását *Pandia et al.* (2018). A demográfiai robbanással összefüggésben a nagy mennyiségű élelmiszer előállításához nagy mennyiségű műtrágyára van szükség (*Butnariu és Caunii*, 2013). A műtrágyák használata fontos az élelmiszer-termelésben, másrészt viszont nagyon veszélyes a környezetre *Zhang et al.* (2018). Még akkor is, ha a növénytermesztésre gyakorolt hatás nyilvánvalóan nyereséges, a műtrágya maradványok a talaj- és vízszennyezés gyakori okai *Pandia et al.* (2012). Az egyik leginnovatívabb és legígéretesebb megoldás a világ növekvő népességének élelmezési igényének kezelésére a *növényi biostimulánsok* használata. A növények fokozott védelme a környezeti tényezőkkel szemben a biostimulánsok használata után, ami a növénytermesztés termelékenységének és jövedelmezőségének növekedését eredményezi, a mezőgazdasági termelők fenntarthatósági támogatásának potenciális formáját jelenti (*Tarantino et al.* 2018, *Bulgari et al.* 2019, *Szparaga et al.* 2019). A biostimulánsok európai piaca 2018-ban mintegy 800 millió euró volt, és éves növekedési potenciálja meghaladta a 10%-ot *Saporta et al.* (2019). A biomassza magában foglal bármilyen típusú regenerálható szerves anyagot, mezőgazdasági növényeket, erdei fajokat vagy élőket, humusz

anyagokat, mikroalgákat stb., valamint a mezőgazdaságból származó hulladékok és szerves maradványok együttesét *Samfira et al.* (2013). Enzimek, fehérjék, aminosavak, mikrotápanyagok és egyéb vegyületek is használhatók biostimulánsként *du Jardin,* (2015). A forrásanyagok sokfélesége miatt a biostimulánsok hatásmódja nem könnyen meghatározható. A növények növekedését szolgáló új termékek kifejlesztésének a kémiai szintézisen és a biokémián alapuló szisztémás megközelítés alapján kell történnie (*Butnariu,* 2012, *Bostan et al.* 2013). A biostimulánsok és a *biotrágyák* alkalmazásával a növények növekedését vagy a hozam növekedését érhetjük el, de a túlzott használat ellenkező hatást is kiválthat: pl. termés csökkenés, növénypusztulás *Lyszkowska et al.* (2008).

BIOSTIMULÁTOROK

A leghatékonyabb biostimulátorok általában olyan természetes anyagok, melyek növényi hormonokból vagy növényi hormonok prekursoraiból állnak. Amennyiben ezeket a növényekben helyesen alkalmazzuk, közvetlenül a fiziológiai folyamatokra fognak hatást gyakorolni, így potenciális előnyökkel járnak a növekedés, fejlődés, termésképződés, valamint a környezeti stresszhatásokra adott válaszreakciók szempontjából.

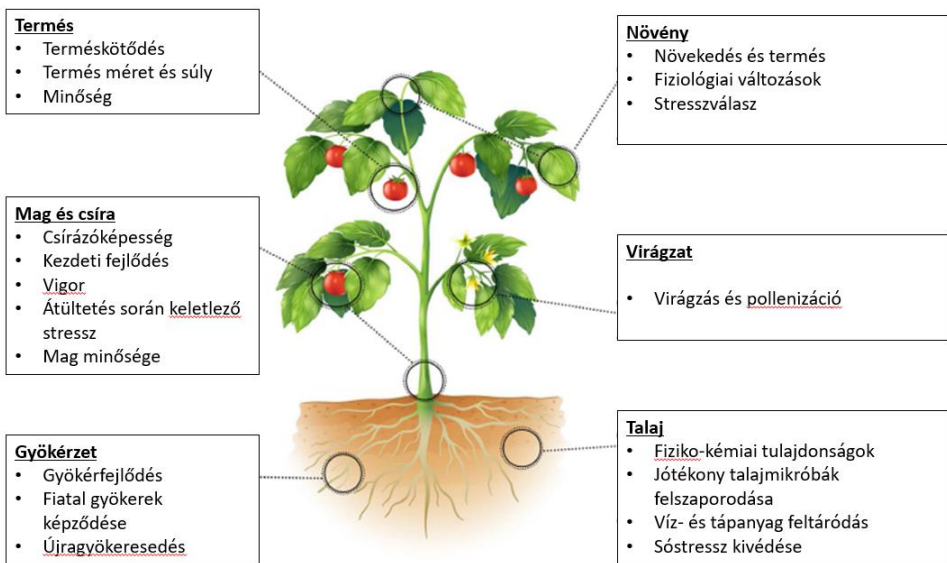
Az abiotikus és biotikus stressz elleni toleranciát kiváltó tényezők, hatások kezelésére a legígéretesebb megoldás lehet növényi biostimulánsok (PB) használata, amelyeket „*olyan anyagokat és/vagy mikroorganizmusokat tartalmazó anyagoknak*” neveznek, *amelyek funkciója a növényekre vagy a rizoszférára alkalmazva a természetes folyamatok serkentése a tápanyagfelvétel, a tápanyag-hatékonyság, az abiotikus stresszel szembeni tolerancia és/vagy a termés minőségének fokozása/előnyben részesítése érdekében, annak tápanyagtartalmától függetlenül*” European Biostimulant Industry Council [EBIC] (2016).URL¹

A biostimulánsok szabályozási státuszának tisztázására irányuló közelmúltbeli erőfeszítések ellenére a növényi biostimulánsoknak nincs jogi vagy szabályozási meghatározása a világon, így az Európai Unióban és az Egyesült Államokban sem. Ez a helyzet kizárja a fogalom hatálya alá tartozó anyagok és mikroorganizmusok részletes felsorolását és kategorizálását. Ennek ellenére egyes főbb kategóriákat széles körben elismernek a tudósok, a szabályozók és az érintettek (*Calvo et al.* 2014, *Halpern et al.*

(2015)), amelyek mind az anyagokra, mind a mikroorganizmusokra kiterjednek. A mikroorganizmusok közé tartoznak a hasznos baktériumok, főként a növénynövekedést elősegítő *rhizobaktériumok* (PGPR = Plant Growth Promoting Bacteria) és jótékony gombák. A PGPR-k különböző viszonyban vannak a gazdanövények különböző fajaival. A kapcsolatok két fő osztálya a rizoszféra és endofita. A rizoszférikus kapcsolatok a gyökér felszínét vagy a gazdanövény felszínes sejtközi tereit kolonizáló, gyakran képződő PGPR-kból állnak (gyökércsomók). Az endofita kapcsolatok magukban foglalják a gazdanövényben az apoplastikus térben élő és növekvő PGPR-eket. Lehetnek szabadon élő, rizoszférikus vagy endoszimbiotikusak du Jardin (2015).

A növényi biostimulánsokat (PB = Plant Biostimulants) folyamatosan vizsgálják, de csak az elmúlt három évtizedben kaptak jelentős figyelmet, mint az éghajlatváltozás negatív hatásainak enyhítésére szolgáló potenciális keverékek (*Craigie, 2011, Sharma et al. 2014, Ricci et al. 2014, Jindo et al. 2020*). A korábbi megfontolások alapján a Környezetvédelmi Ügynökség (EPA) 2019-ben a biostimulánsokat úgy határozta meg, mint „természetesen előforduló anyagokat vagy mikrobákat, amelyeket önmagában vagy más, természetesen előforduló anyagokkal vagy mikrobákkal kombinálva használnak fel a növényekben zajló természetes folyamatok serkentésére vagy a talajban a növények tápanyag- és/vagy vízfelhasználásának hatékonyságának javítása, a növények abiotikus stressztűrésének elősegítése, vagy a talaj fizikai, kémiai és/vagy biológiai tulajdonságainak javítása érdekében, mint a növények növekedéséhez szükséges táptalaj.” Számos kutatást végeztek annak érdekében, hogy értékeljék a növények növekedését és fejlődését javító PB-eket, miután számos abiotikus stressznek, például szárazságnak, sós környezetnek, szélsőséges hőmérsékletnek, heves esőzésnek stb. voltak kitéve *Carillo et al. (2019)*. Ezenkívül különféle nyersanyagokat is használtak nem mikrobiális biostimuláns komponensek mellett, mint például humuszanyagok, fehérje-hidrolizátum, növényi alapú termékek, hínárkivonatok stb. és/vagy PGPM-et tartalmazó mikrobiális komponensek, például arbuszkuláris mikorrhiza gombák, fluoreszcens *Pseudomonas, Trichoderma spp., Bacillus pp.*, stb. Mindannyian óriási potenciált mutattak a növények növekedésének, virágzásának, termés hozamának, tápanyag-felhasználási hatékonyságának (NUE = Nutrient Use Efficiency) és transzlokációjának fokozására, valamint az abiotikus stresszekkel szembeni tolerancia fokozására a termés fiziológiai, biológiai és biokémiai folyamatainak módosításával.

Povero G. et al. (2016) a növényi biostimuláns készítmények általában tengeri moszat kivonatokon, komplex szerves anyagokon, növényi hormonszerű vegyületeken, aminosavakon és huminsavakon alapuló szabadalmaztatott készítmények. Kiterjedt áttekintések tárgyalják a tengeri moszatokból, különösen az *Ascophyllum nodosum*-ból származó PBS nagy csoportját (*Khan et al.* 2012, *Craigie* 2011, *Carvalho*, 2013), valamint a természetes biostimulánsok jótékony hatását a növény-növekedés, a termés és a gyümölcs minőségének sajátos szempontjait különböző kultúrákban (*Paradjikovic et al.*, 2011, *Bulgari et al.* 2015, *Saa et al.* 2015). Olyan specifikus PB-aktivitásokról is beszámoltak, mint a megnövekedett gyökér- és hajtásnövekedés, az abiotikus stresszel szembeni tolerancia, a vízfelvétel, a transzplantációs sokk csökkentése stb. (*Adami et al.* 1998, *Petrozza et al.* 2014). A biostimulánsok felhasználásával csökkenthetik a műtrágya mennyiségét és a tápoldat-koncentrációt is hidroponikus rendszerekben *Vernieri et al.* (2006). A PB jótékony hatásainak összefoglalása az 2. ábrán látható.



2.ábra: Biostimulátorok főbb igazolt növényélettani hatásai *Povero G. et al.* (2016).

Figure 2: Reported examples of the main effects and physiological actions played by plant biostimulant *Povero G. et al.* (2016).

A káros környezeti hatások mérséklésére különféle agrokémiai és hagyományos megközelítéseket alkalmaznak, de a cél elérésének egyik legígéretesebb és legkörnyezetbarátabb módja a biostimulánsok használata az ilyen problémák kezelésére *Yakhin et al.* (2017). Megfigyelték, hogy a biostimulánsok alkalmazásával csökkenthetik a szintetikus műtrágyák és peszticidek iránti igényt, mivel a biostimulánsok képesek növelni a növény tápanyag-felhasználási hatékonyságát mind a mikro-, mind a makroelemek tekintetében. (*Calvo et al.* 2014, *VanOosten et al.* 2017). Közvetlenül a műtrágyákat és a peszticideket a növényi biostimulánsok nem helyettesítik. Alkalmazásukkal azonban csökkenteni lehet a műtrágyák és peszticidek felhasznált mennyiségét, és ezáltal csökkenteni lehet a környezeti terhelésre, gyakorolt lehetséges hatásukat.

A BIOSTIMULÁNSOK TÍPUSAI ÉS JELENTŐSÉGÜK

A biostimulánsok sokféle forrásból származnak, például növényekből, humuszanyagokból, fehérje hidrolizátumból, tengeri hínárkivonatokból, makro- és mikroalgákból, élő mikrobiális kultúrákból és növényi növekedést elősegítő mikrobákból (PGPM) stb. Ezek a vegyületek ezért rosszul jellemezhetők, és hatásmechanizmusuk sem sejt, sem molekuláris szinten nem határozható meg pontosan. Így a jelenlegi tudásbeli hiányosságok miatt a PB fogalma még mindig fejlődik (*Calvo et al.* 2014, *Li et al.* 2021), ami némileg jelzi a PB-ként elfogadható inputok sokféleségét.

A biostimulátorok ahhoz képest, hogy kis dózisban alkalmazhatóak nagy mértékben befolyásolják a növények élettani folyamatait.

Patrick du Jardin (2015) „növényi biostimuláns minden olyan anyag vagy mikroorganizmus, amelyet növényeken alkalmaznak azzal a céllal, hogy tápanyagtartalmától függetlenül javítsák a táplálkozási hatékonyságot, az abiotikus stressztűrést és/vagy a termésminőségi tulajdonságokat.”

A növényi biostimulánsok fő típusai:

1. Huminsav és fulvosavak
2. Fehérje hidrolizátumok és más N-tartalmú vegyületek
3. Tengeri hínárkivonatok és növényi anyagok (=növényi kivonatok)
4. Kitozán és más biopolimerek
5. Szervetlen vegyületek

6. Hasznos gombák

7. Hasznos baktériumok

HUMINSAVAK ÉS FULVOSAVAK

A *humuszanyagok* a talajban lévő elhalt élőlények mikrobiális bomlásának és kémiai lebomlásának végtermékei *Asli* és *Neumann* (2010) és a Földön a legnagyobb mennyiségben előforduló, természetes szerves molekuláknak tartják őket *Simpson et al.* (2002), ill. a talaj szerves anyagának fő összetevői *Nardi et al.* (2002). A *huminsavak* a természetes és az ember alkotta környezetben is előfordulnak, a talajban, a komposztban, a szennyvízben, a természetes vizekben, a hulladéklerakókban és a légkörben egyaránt (*Gaffney et al.* 1996, *Liang et al.* 2009, *Olk et al.* 2019). A huminsavak üledékekben, tőzegben, lignitekben, barnaszénben és más szerves közetekben rakódnak le *Malcolm* (1990). Fontos bioszférikus funkciókat töltenek be, beleértve a szállítást, a felhalmozódást, a szabályozást, valamint a fiziológiai és védelmi szerepeket. Ezért elfogadott tény az a nézet, hogy a huminsavak létfontosságú szerepet játszanak a környezeti stabilitás fenntartásában *Piccolo* (1996). A humuszanyagok a talajban fontos szerepet játszanak a talaj és a növény különböző funkcióiban *Berbara* és *García* (2014), úgymint a tápanyag hozzáférhetőség, a talaj és a légkör közötti szén- és oxigéncsere szabályozása, valamint a mérgező vegyi anyagok átalakulása és szállítása *Piccolo* és *Spiteller* (2003). A talajban lévő humuszanyagok befolyásolják a növények élettanát és a rizoszféra mikroorganizmusainak összetételét és működését *Varanini* és *Pinton* (2001). Az északi féltekén és a trópusokon található hatalmas, nem meszes geológiai képződmények miatt az édesvíztestek, amelyek kémiáját az oldott humuszanyagok (HS) uralják, a fő típusnak tűnnek a Földön. A szerves lét tehetetlenségének paradigmája alapján az oldott HS-nek az édesvízi élőlényekkel való közvetlen kölcsönhatásait többnyire figyelmen kívül hagyják. Érdekes módon az oldott humuszanyagok gyakoriak az édesvízi testekben, ahol kimutatták, hogy kölcsönhatásba lépnek édesvízi élőlényekkel *Steinberg et al.* (2008). A humuszanyagok aktivitása összefügg szerkezeti jellemzőikkel *Berbara* és *García* (2014). A huminanyagokon belül megkülönböztetünk a) a huminsavat, amelyek bázikus közegben oldódnak, és így híg lúggal vonják ki a talajból, és savas közegben kicsapódnak, b) a fulvosavat, amelyek lúgos és savas közegben egyaránt oldódnak, és c) humint, amelyek nem vonhatók ki a talajból (*Stevenson* 1994,

Berbara és *García*, 2014). A huminsavakat operatíván az oldhatóság alapján határozzák meg: a huminfrakció a teljes pH-tartományban oldhatatlan, a huminsavak <2- es pH-értéken oldhatatlanok, a *fulvosavak* pedig a teljes pH-tartományban oldódnak. A huminsavak lúgosan extrahálható, alkoholban oldódó frakciója himatomelánsav (HMA) néven ismert *Stevenson* (1994). A humin- és fulvosavak között alapvető különbség, hogy a huminsavak jellemzően nagy molekulatömegűek, míg a fulvosavak alacsony molekulatömegűek *Nardi et al.* (2009). Kis molekulaméretük miatt a fulvosavak átjuthatnak a biológiai vagy mesterséges membránrendszerek mikropórusain, míg a huminsavak nem. A fulvosavak együttes kapacitása mind a tápanyagok, például a vas kelátja, mind a membránokon való áthaladás szempontjából arra utal, hogy a fulvosavak hasonló szerepet játszhatnak, mint a természetes kelátképzők a vas és más mikrotápanyagok mobilizálásában és szállításában *Bocanegra et al.* (2006). Mivel kisebb molekulatömegűek, a fulvosavak még magas sókoncentrációban és a pH széles tartományában is a talajoldatban maradhatnak (*Zimmerli et al.* 2008, *Zhuang et al.* 2007, *Zhang et al.* 2010, *Zhang et al.* 2006). Ezért hosszú távú potenciállal rendelkeznek a növényi gyökerekkel való kölcsönhatásra *Varanini és Pinton* (2001). *Kelleher és Simpson* (2006) arra a következtetésre jutott, hogy a talajból kivont humuszanyagok fehérjéket, szénhidrátokat, alifás biopolimereket és lignint tartalmaznak, amelyek a növények és mikrobák fő vegyületosztályait képviselik. Korábbi tanulmányok azt közölték, hogy a humuszanyagok csak látszólag nagy molekulamérettel rendelkeznek, amely reverzibilisen tönkretelhető. Ez a feltételezés azonban nem ért egyet a talajból kivont huminmolekulák méretével (az oldatok deflokálásával), amelyek lebontják a humin - kolloid micellákat. Ezeknek az anyagoknak a látszólagos molekulatömege túl magas ahhoz, hogy áthatoljanak a sejtmembránokon. A huminmolekulák felszabadulását eredményezik, ha a humuszoldatokat alacsony koncentrációjú mono-, di- és trikarbonsavval kezelik *Nardi et al.* (1988). A közelmúltban számos tanulmány kimutatta, hogy a gyökérváladékban lévő szerves savak amfifil tulajdonságai kis molekulaméretűre és nagy molekulaméretűre disszociálhatják a humuszanyagot (*Nardi et al.* 2000, 2002, *Piccolo et al.* 2002, *Piccolo és Spiteller* 2003). Ez az új értelmezés alátámasztja azt a hipotézist, hogy a rizoszférában oldott humusz konformációs viselkedése, és így a humuszkomponensek kölcsönhatása növényi-gyökérsejtekkel szabályozható a talajoldatban lévő gyökérből kiürült vagy mikrobák által kibocsátott szerves savak jelenlétével *Piccolo et al.* (2003). Ezek az anyagok közvetlenül a talajra juttathatók és

fizikai, kémiai, biológiai és fizikai-kémiai tulajdonságaik megváltoztatásával hatnak a talaj termékenységére. Számos tanulmányban megfigyelték, hogy a huminsavak haszonnövényeken történő alkalmazása serkentheti a növények növekedését és fejlődését, valamint növelheti a biomasszát, de a gazdaszervezetre gyakorolt hatásuk még nem teljesen ismert *Rose et al.* (2014). A humin anyagokról ismert, hogy segítik a tápanyagok és a víz felvételét, mivel a tápanyagokkal együtt oldható komplexeket képeznek. Ily módon segítenek csökkenteni a tápanyagok kimosódását, és könnyebben hozzáférhetővé teszik azokat a növények számára *Chen et al.* (2004). Mivel a humuszanyagok javítják a talaj fizikai tulajdonságait, enzimatikusan aktív komponenst képeznek a rizoszférában, amely megváltoztatja a mikroorganizmusok aktivitását és növeli a rizoszféra mikrobióm populációját, ami gyakran korrelál a növények növekedésének fokozásával *Visser* (1985). A humin anyagok az abiotikus stressztűrésben is segítik a növényeket. Számos korábbi tanulmány kimutatta, hogy a vermikomposztból, vagy más hasonló szerves forrásokból izolált humuszanyagok a talaj szikességének csökkentésével és a mikro- és makroelemek (például N, Fe, Mg, P, S, K, Ca, Cu) által a haszonnövények életminőségét szolgálja *Cimrin et al.* (2010). Ezenkívül a humuszanyag segít a növényeknek a stressz elleni védekezésben azáltal, hogy serkenti az antioxidáns és ROS-megkötő enzimek bioszintézisét *Garcia et al.* (2012).

FEHÉRJE HIDROLIZÁTUMOK ÉS MÁS N-TARTALMÚ VEGYÜLETEK

A *fehérje hidrolizátumok* fehérjeszerű és nem fehérjeszerű vegyületek keverékei, beleértve az aminosavakat, peptideket és polipeptideket. Az ilyen keverékek általában növényi és állati nyersanyagok kémiai, valamint enzimes hidrolíziséből keletkeznek *Colla et al.* (2017). A növényi eredetű fehérje-hidrolizátumokat általában növényi, vagy gyümölcs hulladékokból, hüvelyesekből stb. állítják elő, míg az állati eredetű biostimulánsokat madártollból, tejkazeinből, bőrkollagénrostokból, állati szövetekből, halhulladékokból stb. (*Colla et al.* 2015, *Scagila et al.* 2017). Az aminosavak a növényekben természetes körülmények között megtalálható szerves vegyületek. Az aminosavakat leggyakrabban négy csoportba sorolják a) univerzális fehérjealkotó aminosavak - számuk 20 és belőlük épülnek fel a fehérjék és a növények egyéb aktív vegyületei (enzimek, hormonok), b) speciális fehérje alkotó aminosavak, c) univerzális nem fehérjealkotó aminosavak, d) speciális nem fehérjealkotó aminosavak. Az utolsó

három csoportba az első csoport képződése ill. átalakulása során keletkező, ún. köztes- vagy másodlagos anyagcsere termékek tartoznak. Az egyes aminosavak növényen belüli szerepéről sok ismeretanyag áll rendelkezésre. Ennek az a rendkívül fontos jelentősége, hogy megfelelő gyártástechnológiával olyan aminosav összetételű termék állítható össze, amely a növény aktuális élettani igényéhez lehet igazítani. Egy korábbi tanulmány megerősítette, hogy az állati eredetű fehérje-hidrolizátumok kereskedelmi forgalomban kapható termékei negatív hatással vannak a növények növekedésére a növényi eredetű fehérje hidrolizátumokhoz képest *Cerdan et al.* (2008). Például az állati eredetű fehérje hidrolizátumok nagy mennyiségben tartalmaznak hőstabil aminosavat, például glicint, alanint és prolint, beleértve a hidroxiprolint és a hidroxilizint, de magas koncentrációjuk gátolhatja a gyökérnövekedést, a tápanyagfelhasználás hatékonyságát, és így negatívan befolyásolhatja a növények növekedését és a termésképzést *Trovato et al.* (2018). *Rouphael et al.* (2021) arról számoltak be, hogy az állati eredetű fehérje-hidrolizátumok 0,05 g N/kg feletti koncentrációja bazsalikom növényeken csökkentette a levelek számát és felületét, a növényi fotoszintézis sebességét és a biomassza termelést. Néhány esetben azonban az állati eredetű fehérje-hidrolizátumok nagyobb koncentrációban történő alkalmazása ellensúlyozta a toxikus ionok negatív hatását is. *Botta* (2012) vizsgálataiban az állati eredetű hidrolizátumok használata növelte a hajtások biomasszáját a kontroll növényekhez képest. Ezzel szemben *Trevisan és mtsi.* (2019) megfigyelték, hogy amikor növényi alapú fehérje hidrolizátumot (ILSA, SpA, Arzigano VI, Itali) használtak a hidroponikusan termesztett kukoricanövényekben, a fehérje hidrolizátumok serkentik a növények növekedését és védekezési reakcióit számos abiotikus stressz ellen. *Lucini et al.* (2015) a saláta metabolikus profilozása során megfigyelték, hogy a fehérje-hidrolizátum alkalmazása enyhítette a sós stresszt a védekezéssel kapcsolatos gének és metabolitok, például a terpének, szénhidrátok, aminosavak és szterolok eltérő szabályozásával. *Colla et al.* (2017) a komplex fehérjékben, aminosavakban és szöveti hidrolizátumokban, prolinokban stb. kelátképző tulajdonságokkal rendelkező hormonális aktivitások megvédték a növényeket néhány nehézfém- és iontoxicitástól. Egyes nitrogéntartalmú vegyületek, köztük az aminosavak, például a glicin, a betain és a prolin antioxidáns tulajdonságokkal is rendelkezik, amelyek megvédik a növényeket az abiotikus stressztől a szabad gyökök megkötőjeként. A fehérje hidrolizátumokat jól tanulmányozták, hogy elősegítsék a mikrobák növekedését és aktivitását a rizoszféra zónáiban, és ezáltal javítsák a talajok általános termékenységet *Bulgari és mtsi.* (2019).

TENGERI HÍNÁRKIVONATOK ÉS NÖVÉNYI ANYAGOK

A tengeri moszatok a többsejtű makroalgák változatos csoportja, amelyek többnyire a tengervízben találhatóak. Az algafajok többsége a Rhodophyta, a Phaeophyta, a Chlorophyta és a Charophyta tagjai közé tartozik *Carillo et al.* (2020). A tengeri moszatokat évezredek óta használják, akár közvetlenül, akár a komposztálást követően, mint talajmódosítást a talaj termékenység és a terméstermelékenység növelésének érdekében (*Khan et al.* 2009, *Craigie* 2011). A hínárkivonatok előállítására szolgáló eljárás 1950-es években történt kezdeti kifejlesztését követően *Milton* (1952) ma már világszerte számos kereskedelmi tengeri moszatkivonat termék áll rendelkezésre mezőgazdasági és kertészeti felhasználásra. A kivonatok kelátképzőként működnek, javítják az ásványi tápanyagok növények általi felhasználását, javítják a talaj szerkezetét és levegőztetését, ami serkentheti a gyökérnövekedést *Milton* (1964). Alkalmazhatók talajon hidroponikus oldatokban, vagy lombkezelésként (*Craigie et al.* 2008, *Craigie* 2011). A talajban poliszacharidjaik hozzájárulnak a gélképződéshez, a vízvisszatartáshoz és a talaj levegőztetéséhez. A polianionos vegyületek hozzájárulnak a kationok rögzítéséhez és cseréjéhez, a nehézfémek rögzítéséhez. A hínárkivonatok biostimulánsként való hatásáról a közelmúltban számos kutató számolt be, ami elősegíti a tengeri moszatok és tisztított vegyületeik, például különböző szénhidrátok, köztük alginátok, fukoidánok, karragének és néhány más növényi hormon forgalmazását, amelyek jelentősen kapcsolódnak a növény növekedéséhez *Battacharyya et al.* (2015). Ezenkívül növényi hormonokat is tartalmaznak, például auxinokat, citokinineket, abszcizinsavat, gibberelineket vagy más hormonszerű anyagokat, például szterineket és poliaminokat *Craigie* (2011). A növényi hormonok változatos módon befolyásolják a növekedést és a stressz válaszok kialakulását. Ez indokolja a növényi hormonok különböző kombinációjának az alkalmazását, amelyek így alkalmasak a növénytermesztésben és kertészetben a növény növekedésének és a termés mennyiségének a szabályozására *Ördög* (2014). Az algakivonatok többsége barna algákból nyert készítmény, beleértve az *Ascophyllum nodosumot* és néhány más nemzetséget, például a *Fucus*-t, a *Laminaria* spp.-t stb. (*Khan et al.* 2009, *Sharma et al.* 2014). A mikroalgák gazdag forrásai a metabolitoknak és a növekedést elősegítő hormonoknak, melyek nagyon jól hasznosíthatóak a mezőgazdaságban különböző módokon, például talajjavító és/vagy növény-növekedési biostimulátorokkal (*Bulgari et*

al. 2019, *Behera et al.* 2021). A tengeri moszat kivonatok biostimulánsként is működnek, fokozzák a vetőmagok csírázását, serkentik a növények növekedését, növelhetik a hozamot, növelik a biotikus és abiotikus stresszekkel szembeni ellenálló képességet, és javítják a betakarítás utáni eltarthatósági időt (*Mancuso et al.* 2006, *Norrie és Keathley* 2006, *Khan et al.*, 2009, *Craigie* 2011, *Mattner et al.* 2013). Ezek a bioaktív kivonatok a növényekre permetezve szintén képesek voltak javítani a növény teljesítményét különböző abiotikus stresszek alatt, és ezáltal kompenzálták a lehetséges hozamvesztést és több növény termőképességének fenntartását *Battachayya et al.* (2015). *Calvo et al.* (2014) beszámolt még antistressz hatásokról is, mind a tengeri moszatkivonatokban lévő védő vegyületek, például az antioxidánsok és az endogén stresszre reagáló gének szabályozói is szerepet játszhatnak.

A *növényi kivonatok*, a növényekből kivont anyagokat írják le, amelyeket gyógyszerészeti és kozmetikai termékekben, élelmiszer-összetevőként, valamint növényvédő szerekben használnak *Seiber et al.* (2014). A növényi kivonatokról sokkal kevesebbet tudunk, a tengeri moszatokhoz képest, a biostimuláns aktivitásukról, a figyelem eddig a peszticid hatásukra összpontosult. Úgy tűnik azonban, hogy lehetőség van biostimulánsként való felhasználásra is (*Ertani et al.* 2013, *Ziosi et al.* 2012). Az ökoszisztémákban a növényi kölcsönhatásokat növényi hatóanyagok, úgynevezett allelokémiai anyagok közvetítik, amelyek egyre nagyobb figyelmet kapnak a fenntartható természetstechnológia összefüggésében. Bár a vetésforgót, a köztes kultúrákat, a takarónövényeket és a mulcsozást elsősorban a növények közötti allelokémiai kölcsönhatások (az úgynevezett allelopátia) kiaknázására használják, az új biostimulánsok kifejlesztése érdekében nagyobb figyelmet kell fordítani ezekre a kémiai kölcsönhatásokra (du Jardin 2015).

KÍTOZÁN ÉS MÁS BIOPOLIMEREK

A *kitozán* nagy mennyiségben és könnyen előállítható prekursorából, a *kitinből*, amelyet természetesen és iparilag állítanak elő. Sokoldalú tulajdonságainak köszönhetően (biokompatibilitás, adhéziós tulajdonságok, oldhatóság, ár) számos módon felhasználható. A változó, ellenőrzött méretű poli- és oligomereket az élelmiszer-, kozmetikai, orvosi és mezőgazdasági ágazatokban használják. A kitozán oligomerek élettani hatása a növényekben annak köszönhető, hogy ez a polikationos vegyület képes

a sejtkomponensek széles skáláját megkötni, beleértve a DNS-t, a plazmamembránt és a sejtfal összetevőit, de a védekező génaktiválásban részt vevő specifikus receptorokat is (El Hadrami *et al.* 2010, Hadwinger *et al.* 2013). A kitin és a kitozán nyilvánvalóan különböző receptorokat és jelátviteli útvonalakat használ. Mind a kitin, mind a kitozán vírusellenes, antibakteriális és gombaellenes tulajdonságokat mutatott, és számos mezőgazdasági felhasználásra vizsgálták őket. Ezeket a betegségek megfékezésére vagy terjedésük csökkentésére, a kórokozók hozzáféréseinek megakadályozására vagy a növényi veleszületett védekezés fokozására használták. A kitozán többé-kevésbé specifikus sejtreceptorokhoz való kötődésének sejtes következményei között a hidrogén-peroxid felhalmozódása. Kimutatták a sejtbe történő szivárgást, amely nagy élettani változásokat okoz, mivel ezek kulcsfontosságú szereplők a stresszválaszok jelzésében és a fejlődés szabályozásában. A kitozánnal kezelt növényi szövetek proteomjának Ferri *et al.* (2014) vagy transzkriptomjának Povero *et al.* (2011) vizsgálata is megerősíti ezt a feltételezést. Ennek következtében a kitozán mezőgazdasági alkalmazásai a gombás kórokozókval szembeni növényvédelemre összpontosítottak, de a szélesebb körű mezőgazdasági felhasználások az abiotikus stresszel (aszály, sótartalom, hideg stressz), valamint az elsődleges és másodlagos metabolizmussal kapcsolatos minőségi jellemzőkkel szembeni toleranciára támaszkodnak. A kitozán által ABA-függő mechanizmuson keresztül indukált sztomatikus záródás Iriti *et al.* (2009) részt vesz a biostimuláns által biztosított környezeti stresszvédelemben.

SZERVETLEN VEGYÜLETEK

A szervezet életsiklusának befejezéséhez alapvető elemekre van szükség. A föld 92 ismert eleme közül 19-ről tudjuk, hogy minden növény számára nélkülözhetetlen. Ezek *makro- és mikrotápanyagokra* oszlanak. A makrotápanyagok közé tartozik a C, H, O, Ca, K, Mg, N, S és P, amelyek közül a C, H és O a növényi szárazanyag nagyjából 96% -át teszi ki, a többi pedig jellemzően >1000 mg/kg száraz tömeggel van jelen. A mikrotápanyagok (más néven nyomelemek) közé tartozik a Cl, B, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni és Zn, amelyek jellemzően <100 mg/kg száraz tömegben vannak jelen. A nagyon alacsony szintű szükségletük miatt lehetséges, hogy a jövőben további mikrotápanyagokat azonosítsanak. Azokat az elemeket, amelyek elősegítik a növények növekedését, és amelyek nélkülözhetetlenek lehetnek bizonyos taxonok számára, de nem minden növény

igényli őket, *hasznos elemeknek* nevezzük *Pilon-Smits et al.* (2009). Az öt fő hasznos elem az Al, Co, Na, Se és Si, amelyek a talajban és a növényekben különböző szeretlen sókként és oldhatatlan formákként vannak jelen, mint az amorf szilícium-dioxid ($\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$) Gramineae fajokban. A hasznos elemek meghatározása tehát nem korlátozódik kémiai természetükre, hanem utalni kell azokra a speciális összefüggésekre is, ahol a növények növekedésére és a stresszválaszra gyakorolt pozitív hatások megfigyelhetők. Feltételezhető, hogy egyes összetett biostimulánsok, például tengeri moszatok, növényi maradványok, állati hulladékok kivonatainak bioaktivitása magában foglalja a benne lévő hasznos elemek élettani funkcióit.

Rahmani et al. (2022) az ozmotikus stressz vizsgálatát hét különböző NaCl- vagy polietilén-glikol koncentrációnál végezték kontroll mellett. A tápoldatban szilíciumot (kontroll és 1 mM) alkalmaztak. Az eredmények azt mutatták, hogy csökkent az ozmotikus potenciál mindkét feszültségben, mely csökkentette a nitrogén (N), a foszfor (P), a kálium (K), a réz (Cu), a mangán (Mn), a vas (Fe) és a cink (Zn) felszívódását, és növelte a malondialdehid (MD) és a prolin felszívódását a hajtásban. Jelentősen csökkent ezeknek a tápanyagoknak a felhalmozódása a gyökérben, kivéve a P és N. A szilícium szintén csökkentette a Na-koncentrációt a gyökérben és a hajtásban, és növelte a makrotápanyagok és a Zn, Fe, Mn és Cu felszívódását és eloszlását a só-stresszes növényekben. A prolin és az elemek felszívódásának növekedését figyelték meg az aszálystresszes növényekben, amelyek szilíciumot használnak. Általánosságban elmondható, hogy a szilícium javíthatja a növények stressz alatti növekedését a tápanyagok ozmoregulációja és felszívódásának és eloszlásának modulációja révén. Ezek a jótékony hatások azonban jelentősebbek voltak a sós-stresszben. A szilícium részt vett a toxikus ionok felvételének és átvitelének csökkentésében, valamint a káliumtartalom javításában.

A tudomány ezen elemek számos hatásáról számol be, amelyek elősegítik a növények növekedését, a növényi termékek minőségét és az abiotikus stresszel szembeni toleranciát. Mely magában foglalja a sejtfal merevítését, az ozmoregulációt, a kristálylerakódások által csökkentett transzspirációt, a sugárzás visszaverődésen keresztüli hőszabályozást, a kofaktorok enzimaktivitását, a növényi táplálkozást a felvétel és a mobilitás során más elemekkel való kölcsönhatások révén, antioxidáns védelmet, szimbionttal való kölcsönhatásokat, kórokozó és növényevő választ, védelmet a

nehézfémek toxicitása ellen, növényi hormonszintézist és jelátvitelt *Pilon-Smits et al.* (2009).

Fungicidként hasznos és esszenciális elemek – kloridok, foszfátok, foszfitok, szilikátok és karbonátok – szervesen sóit használták *Deliopulos et al.* (2010). Bár a hatásmódok még nincsenek teljesen meghatározva, ezek a szervesen vegyületek befolyásolják az ozmotikus, pH- és redox-homeosztázist, a hormonjelzést és a stresszválaszban részt vevő enzimeket (pl. peroxidázok). Több figyelmet érdemel a növények növekedésének biostimulánsaként betöltött funkciójuk, amely a táplálkozás hatékonyságára és az abiotikus stressztűrésre hat, ezért különbözik fungicid hatásuktól és műtrágya tápanyagforrásként betöltött funkciójuktól.

HASZNOS GOMBÁK

A gombák különböző módon lépnek kölcsönhatásba a növényi gyökerekkel, a kölcsönös szimbiózisoktól (azaz amikor mindkét szervezet közvetlen kapcsolatban él egymással és kölcsönösen előnyös kapcsolatokat alakít ki) a parazitizmusig *Behie és Bidochka* (2014). Az összes növényfaj több mint 90%-a szimbiózist alkot a talajgombákkal. Ezek a kapcsolatok több mint 450 millió évvel ezelőtt indultak, és ez a korai eredet arra utal, hogy a hasznos növény-gomba kölcsönhatások fontos szerepet játszottak a szárazföldi növények globális kolonizációjában. A mikorrhizális gombák kölcsönös szimbiózist alkotnak a növényekkel és megfertőzik a gyökereket anélkül, hogy gyökérbetegséget okoznának. Ezek a gombák megtalálhatók a legtöbb növény rhizoszférájában, és társulásokat alkotnak az összes zárvatermő és a kétszikű növények több mint 83% -ával és az egyszikű növények 79% -ával. A mikorrhizális gombák struktúrákat képezhetnek a növényi gyökerek felületén (ectomycorrhizae) vagy belsejében (endomycorrhizae), a gomba fonalak lehetővé teszik, hogy a gyökerek nagyobb mennyiségű talajjal érintkezzenek *Kennedy, A.C. és de Luna, L.Z.* (2005). Segítik a növényt a tápanyagok felszívódásának növelésében, különösen stresszes környezetben (pl. foszfor- és vízhiányos talajok), szelektív ionfelvételben, és védelmet nyújtanak a környezet szélsőségei ellen. A talajgombával való ilyen kölcsönhatás eredményeként a növénynek nyújtott előnyök közé tartozik a fokozott ásványi tápanyag-felszívódás, a vízfelhasználás hatékonysága és a betegségállóság. Egyre nagyobb az érdeklődés a mikorrhiza használata iránt a fenntartható mezőgazdaság előmozdítása

érdekében, figyelembe véve a szimbiózisok széles körben elfogadott előnyeit a táplálkozási hatékonyságra (mind a makrotápanyagok, különösen a P, mind a mikrotápanyagok esetében), a vízháztartásra, a növények biotikus és abiotikus stresszvédelmére (Harrier és Watson 2004, Siddiqui et al. 2008). A legújabb ismeretek arra is rámutatnak, hogy léteznek olyan kötőjel-hálózatok, amelyek nemcsak a gomba- és növényi partnereket, hanem a növényközösségen belüli egyes növényeket is összekapcsolják. Ennek jelentős ökológiai és mezőgazdasági következményei lehetnek, mivel bizonyíték van arra, hogy a gombás vezetékek lehetővé teszik a növények közötti jelzés átvitelt Johnson és Gilbert (2015). A mikorrhizális társulások előnyeinek kihasználása érdekében a természetstechnológiai gyakorlatokat és a növényfajtákat hozzá kell igazítani a mikroorganizmusokkal való kölcsönhatáshoz (Plenchette et al. 2005, Gianiazzi et al. 2010).

A *Trichoderma* spp.-t, alaposan tanulmányozták és felhasználták biopeszticid (mycoparasitic) és biokontroll (a betegségekkel szembeni rezisztencia induktora) képességük szempontjából, és a biotechnológiai iparágak enzimmorforrásként használták fel őket Nicolas et al. (2014). Számos növényi válasz is indukálódik, beleértve az abiotikus stresszel szembeni fokozott toleranciát, a szervek növekedését és a morfogenezist Colla et al. (2015). Ezen hatások alapján ezek a gombás endofiták biostimulánsoknak tekinthetők, bár mezőgazdasági felhasználásukat jelenleg biopeszticideként való állítások támasztják alá.

HASZNOS BAKTÉRIUMOK

Ezek a rizoszféra mikroorganizmusai valószínűleg nagy mennyiségben termelnek növekedést serkentő anyagokat, amelyek közvetve befolyásolják a növények általános morfológiáját. A közelmúltban elért haladás a növényi növekedést elősegítő rizobaktériumok (PGPR) rizoszférában való sokféleségével, valamint kolonizációs képességével és hatásmechanismusával kapcsolatos ismereteink terén, elősegíti a fenntartható mezőgazdasági rendszer kezelésének megbízható összetevőjeként való alkalmazásukat.

A PGPR gyökérrel kapcsolatos növényi növekedést serkentő baktériumok, amelyek szimbiotikus asszociációkat alkotnak számos kultúrnövényvel. A PGPR által termelt fitohormonok hatékonyan vesznek részt a növények növekedésének szabályozásában.

Mezőgazdasági termelésük alapján különböző célokra hasznosítják őket, mint például biotrágyák, biopeszticidok és biokontroll szerek, valamint fito-stimulánsok *Bhattacharyya és Jha* (2012). A PGPR-alapú biostimulánsokat jelentős mértékben használják hatékony agroökológiai technikaként a növények növekedésének serkentésére és a tápanyag-felhasználás hatékonyságának fokozására a kultúrnövényekben, valamint ellenállóvá teszik a gazdanövényeket a különféle abiotikus stresszekkel szemben, az érzékeléstől a sejtes és molekuláris aktiválásig (*Le Mire et al.* 2016, *Lephatsi et al.* 2021). A PGPR számos nemzetséget foglal magában, köztük *Arthrobacter*, *Enterobacter*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Ochrobactrum*, *Bacillus*, *Rhodococcus*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, stb. Némelyiket, főleg a *Pseudomonas*, *Rhizophagus* és *Bacillus* fajokat jelentős mértékben hasznosítják a kereskedelemben, mint talajaktivátort, amely képes támogatni a növények növekedését *Radhakrishnan et al.* (2017).

A PGPR biostimulánsként való alkalmazását a mezőgazdasági gyakorlatban számos eredmény is alátámasztotta. Sok kutató beszámolt arról, hogy a *Bacillus*, *Brevibacillus* és *Rhizobium* spp. brokkoli gyökérben (*Brassica oleracea*) növelte a fotoszintetikus sebességet a klorofil lebomlásának csökkentésével vagy szintézisének stimulálásával, és ezáltal növelte a növények összhozamát *Khan et al.* (2009). Hasonló eredményeket figyeltek meg az *Azotobacter*, *Bacillus* és *Pseudomonas* baktériumokkal kezelt paradicsomban, valamint a *Fragaria ananassa* esetében is a PGPR különböző csoportjaival végzett kezelést követően *Karlidag et al.* (2013). A PGPR a növények biológiai és fizikai-kémiai aktivitásának serkentésével is javíthatja a növények környezeti stresszekkel szembeni reakcióit *Ruzzi és Aroca*, (2015).

A PGPR-ek sokoldalúak, befolyásolják a növényi élet minden aspektusát: táplálkozás és növekedés, morfogenezis és fejlődés, biotikus és abiotikus stresszre adott válasz, kölcsönhatások más szervezetekkel az ökoszisztémákban. A bakteriális biostimulánsok világszerte növekszik, és a PGPR oltóanyagokat ma már egyfajta növényi „probiotikumnak” tekintik, azaz hatékonyan járul hozzá a növényi táplálkozáshoz és immunitáshoz *Berendsen et al.* (2012).

Az időjárás és a gazdasági környezet változásával együtt olyan technológiák térhódítása várható, melynek jelentősen átformálhatják az eddigi mezőgazdasági termelést. Minden olyan növény egészségét célzó eljárás fel fog értékelődni, melyek ma még széleskörben nem elterjedtek és ismertek. A biostimuláció vagy biostimulátor készítmények

alkalmazása is ide sorolható. Ahhoz azonban szükséges ezen anyagok és biológiai háttérük széleskörű ismerete. Jelen szemle cikkünk ezen biostimulátorok legfontosabb típusainak bemutatását célozza azzal a nem titkolt reménnyel, hogy mint több gazdatársunk ismeri fel alkalmazásuk előnyeit.

THE ROLE OF BIOSTIMULATORS IN THE STRESS PROCESSES OF PLANTS

LAJOS KUBINA – RENÁTÓ KALOCSAI – ZOLTÁN MOLNÁR – VIKTÓRIA
VONA – ZSOLT GICZI – VIKTOR NAGY

Széchenyi István University,
Albert Kázmér Agricultural Faculty, Mosonmagyaróvár

SUMMARY

Nowadays, under the influence of changed, extreme climatic factors (drought, UV stress, salt concentration, water pressure), protection against various stresses is one of the greatest challenges in crop production, as these factors have a detrimental effect on plant growth and prevent the achievement of the maximum yield inherent in genetic potential. In this paper we summarize the relevant literature and studies of the most important biostimulators, as well as the related research results of recent years.

Keywords: crop production, abiotic stress, biotic stress, biostimulator

IRODALOM

Adani, F. - Genevini, P. - Zaccheo, P. - Zocchi, G. (1998): The effect of commercial humic acid on tomato plant growth and mineral nutrition *J. Plant Nutr.* 21, 561–575.

Ahmad, S. – Khan. I. - Bilal Ahmad, M. - Jaskani, J. - Rashid Ahmad - Aman U, M. (2012): Foliar application of mixture of amino acids and seaweed (*Ascophylum nodosum*) extract improve growth and physico-chemical properties of grapes. *Int. J. Agric. Biol.*, 14: 383–388

Asli, S. - Neumann, P. (2010): Rhizosphere humic acid interacts with root cell walls to reduce hydraulic conductivity and plant development *Plant Soil* 336:313–322

- Battacharyya, D. - Babgohari, M. Z. - Rathor, P. - Prithiviraj, B. (2015):* Seaweed extracts as a biostimulant in gardening. *Horticultural science.* 196, 39–48.
- Bhattacharyya, P.N. - Jha, D.K. (2012):* Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): its appearance in agriculture. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 28, 1327–1350.
- Behera, B. - Supraja, K. V. - Paramasivan, B. (2021):* Integrated microalgae biorefinery for the production and application of biostimulants in the circular bioeconomy. *Bioresour. Technology.* 2021:125588.
- Behie, S.W. - Bidochka, M.J. (2014):* Nutrient transfer in plant–fungal symbioses *Trends in Plant Science* 19. 734-740.
- Berbara, R. - Garcia, A. (2014):* Humic Substances and Plant Defense Metabolism Physiological Mechanisms and Adaptation Strategies in Plants Under Changing Environment pp 297–319
- Berendsen, L.- Corné, M. - Pieterse, J. - Bakker, A.H.M. (2012):* The rhizosphere microbiome and plant health *Trends in Plant Science* 17.478-486.
- Bocanegra, M.P. – Lobartini, J.C. – Orioli, G.A. (2006):* Plant uptake of iron chelates with humic acids of different molecular weights. *Commun Soil Sci Plant* 37:1–2
- Bostan, C. – Butnariu, M. – Butu, M. - Ortan, A. Butu, A. – Rodino, S. – Parvu, C. (2013):* Allelopathic effect of *Festuca rubra* on perennial grasses. *Romanian Biotechnological Letters* 18(2):8190-8196.
- Botta, A. (2012):* "Increasing the Tolerance of Plants to Temperature Stress with Amino Acids: An Approach to Their Mode of Action", in *I World Congress on the Use of Biostimulants in Agriculture*, Vol. 1009, 29–35.
- Butnariu, M. (2012):* An analysis of *Sorghum halepense*'s behavior in presence of tropane alkaloids from *Datura stramonium* extracts. *Chemistry Central Journal* 6:75
- Butnariu, M. – Caunii, A. (2013):* Design management of functional foods for quality of life improvement. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 20(4):736-741.
- Bulgari, R. - Cocetta, G. - Trivellini, A. - Vernieri, P. - Ferrante, A. (2015):* Biostimulants and crop responses: a review. *Biol. Agric. Hortic.* 31, 1–17.
- Bulgari, R. – Franzoni, G. – Ferrante, A. (2019):* Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy* 9:306.
- Calvo, P. - Nelson, L. - Kloepper, J. W. (2014):* Agricultural use of plant biostimulants. *Vegetable Soil* 383.3–41.

- Carillo, P. - Colla, G. - Fusco, G. M. - Dell'Aversana, E. - El-Nakhel, C. - Giordano, M. et al.* (2019): Morphological and physiological responses induced by the ratio of protein hydrolyzate-based biostimulant and nitrogen in greenhouse spinach. *Agronomy* 9:450.
- Carillo, P. - Ciarmiello, L. F. - Woodrow, P. - Corrado, G. - Chiaiese, P. - és Rouphael, Y.* (2020): Enhancing sustainability by improving plant salt tolerance through macro- and microalgae biostimulants. *Biology* 9:253.
- Carvalho, S. - Vasconcelos, M. W.* (2013): Producing more with less: strategies and novel technologies for plant-based food biofortification. *Food Res. Int.* 54, 961–971.
- Cerdan, M. - Sánchez-Sánchez, A. - Oliver, M. - Juárez, M. - Sánchez-Andreu, J. J.* (2008): "The effect of foliar and root applications of amino acids on iron uptake in tomato crops," in IV Balkan Symposium on Vegetables and Potatoes, Vol. 830, 481–488.
- Chen, Y. - Clapp, C. E. - Magen, H.* (2004): Mechanisms of stimulating plant growth with humic substances: the role of organic iron complexes. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50, 1089–1095
- Çimrin, K. M. - Türkmen, Ö. - Turan, M. - Tuncer, B.* (2010): The use of phosphorus and humic acid relieves the stress of salinity in a pepper seedling. *African Biotechnol J.* 9, 5845–5851.
- Craigie, J. S.* (2011): Seaweed extract stimulations in plant science and agriculture. *J. Appl. Phycol.* 23, 371–393.
- Colla, G. - Nardi, S. - Cardarelli, M. - Ertani, A. - Lucini, L. - Canaguier, R. et al.* (2015): Protein hydrolysates as biostimulants in gardening. *Horticultural science.* 196, 28–38.
- Colla, G. - Hoagland, L. - Ruzzi, M. - Cardarelli, M. - Bonini, P. - Canaguier, R. et al.* (2017): Biostimulant effect of protein hydrolysates: exploring their effects on plant physiology and the microbiome. *Plant Sci.* 8:2202.
- Delipulos, T. - Kettlewel, P.S. - Hare, M.C.* (2010): Fungal disease suppression by inorganic salts *Crop Protection* 29. 1059-1075.
- du Jardin P.* (2015): Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation *Scientia Horticulturae* 196: 3-14.
- El Hadrami, - Adam, L.R. - Hadrami, I. - Daayf, F.* (2010): Chitosan in plant protection. *Marine Drugs* 8. 968-687.
- Ertani, M. - Schiavon, A. - Muscolo, S. - Nardi, S.* (2013): Alfalfa plant-derived biostimulant stimulates short-term growth of salt-stressed *Zea mays* L. plants *Plant soil*, 364 (2013), 145-158.

- Ferri, M. – Franceschetti, M. – Naldrett, M.J. – Saalbach, G. – Tassoni, A.* (2014): The effect of chitosan on the protein profile of subcellular fractions of grape cell culture Electrophoresis, 35. 1685-1692.
- Fordyce, J. A.* (2006): The evolutionary consequences of ecological interactions mediated through phenotypic plasticity. *Journal of Experimental Biology* 209: 2377–2383.
- Gaffney, J.S. - Marley, N.A. - Clarks, S.B.* (1996): Humic and fulvic acids and organic colloidal substances in the environment. in *humic and fulvic acids: isolation, structure and environmental role*; American Chemical Society: Washington, DC, USA, 2–16.
- Garcia, A. C. - Santos, L. A. - Izquierdo, F. G. - Sperandio, M. V. L. - Castro, R. N. - Berbara, R. L. L.* (2012): Vermicompost humic acids as an ecological way to protect the rice crop from oxidative stress. *Ecol.* 47, 203–208.
- Gianinazzi, S. - Gollotte, A. - Binet, M.N.* (2010): Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza* 20, 519–530.
- Jindo, K. - Canellas, L. P. - Albacete, A. - Figueiredo dos Santos, L. - Frinhani Rocha, R. L. - Carvalho Baia, D. et al.* (2020): The interaction of humic substances and plant hormones to obtain phosphorus. *Agronomy* 10:640
- Johnson, D. - Gilbert, L.* (2015): Interplant signalling through hyphal networks. *New Phytologist* 1448-1453.
- Hadwiger, L.A.* (2013): The Multiple Effects of Chitosan on Plant Systems: Solid Science or Hype *Plant Sci.*, 208, 42–49.
- Halpern, M. - Bar-Tel, A. – Maja, O. – Minz, D. – Muller, T. – Yermigahu, U.* (2015): Chapter Two: Using Biostimulants to Enhance Substance Uptake Advances in *Agronomy* 130, 141-174
- Harrier, L.A. - Watson, C.A.* (2004): The possible role of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in the biological protection of plants against soil-borne pathogens in organic and/or other sustainable farming systems *Pest Management Science* 60.2. 149-157.
- Iriti, M. – Picchi, V. – Rossoni, M. – Gomarasca, S. – Ludvig, N. – Gargano, M. – Faoro, F.* (2009): The antitranspirant activity of chitosan is due to the abscisic acid-dependent stomatal closure *Environ. Bot.*, 66. 493-500.
- Karlidag, H. - Yildirim, E. - Turan, M. - Pehlivan, M. - Donmez, F.* (2013): Plant growth-promoting rhizobacteria relieve the harmful effects of salt stress on strawberry plants (*Fragaria × ananassa*). *American Society for Horticultural Science* 48, 563–567.

- Kelleher, B.P. – Simpson, A.J.* (2006): Humic substances in soils: are they really chemically distinct? *Environ Sci Technol* 40:4605–4611
- Kennedy, A.C. - de Luna, L.Z.* (2005): Rhizosphere *Encyclopedia of Soil in the Environment* 399-406.
- Khan, W – Rayirath, UP. – Subramanian, S. et al.* (2009): Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Plant Growth J Regul* 28:386–399
- Larcher, W.* (1987): Stress bei Pflanzen. *Naturwissenschaften* 74: 158–167.
- Le Mire, G. - Nguyen, M. - Fassotte, B. - du Jardin, P. - Verheggen, F. - Delaplace, P.* (2016): Implementation of biostimulants and biocontrol strategies in the agroecological management of cultivated ecosystems. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 20, 299–313.
- Lephatsi, M.M. - Meyer, V. - Piater, LA. - Dubery, I.A. - Tugizimana, F.* (2021): Plant responses to abiotic stresses and rhizobacterial biostimulants: metabolomics and epigenetic perspectives. *Metabolites* 11:457.
- Li, H. - Yue, H. - Li, L. - Liu, Y. - Zhang, H. - Wang, J. et al.* (2021): *Bacillus* sp. MGW9 seed biostimulant improves corn salt tolerance during seed germination. *AMB Express* 11, 1–15.
- Liang, Z. - Liu, J.-X. - Li, J.* (2009): Decomposition and mineralization of aquatic humic substances (AHS) in the treatment of landfill leachate by the Anammox process. *Chemosphere* 74, 1315–1320.
- Lichtenthaler, H. K.* (1988): In vivo chlorophyll fluorescence as a tool for stress detection in plants. In: Lichtenthaler H. K. (ed.) *Application of chlorophyll fluorescence*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 129–142.
- Lucini, L. - Roupheal, Y. - Cardarelli, M. - Canaguier, R. - Kumar, P. - Colla, G.* (2015): The effect of a biostimulant of plant origin on metabolic profiling and crop performance of lettuce grown in salty conditions. *Horticultural science.* 182, 124–133.
- Lyszkowska, M. - Gajc-Wolska, J. – Kubi, K.* (2008): The effect of biostimulators on the yield and quality of leaf and iceberg lettuce grown in field conditions. In: *Dbrowski ZT* (ed.). *Biostimulators in modern agriculture*. Wie Jutra Press, Warszawa, 28-34.
- Malcolm, R.L.* (1990): The uniqueness of humic substances in each of the soil, stream and marine environment. *Chim. Acta* 232, 19–30.
- Mancuso, S. – Azzarello, E. – Mugnai, S. – Briand, X.* (2006): Marine bioactive substances (IPA extract) improve foliar ion uptake and water stress tolerance in potted *Vitis vinifera* plants. *Adv Hortical St.* 20:156–161

- Mattner, SW. – Wite, D. – Riches, DA. – Porter, IJ. – Arioli, T.* (2013): The effect of kelp extract on the colonization of broccoli seedlings on contrasting soil types in southern Victoria, Australia. *Biol Agric Hortic* 29:258–270
- Milton, RF* (1952): Development of, or related to, horticultural and agricultural fertilizers. The London Patent Office, no. 663,989, 2 pages
- Milton, RF* (1964): As a fertilizer for liquid seaweed. *Proc Int Seaweed Symps* 4:428–431
- Nardi, S. – Arnoldi, G. – Dell’Agnola, G.* (1988): Release of hormone-like activities from *Allolobophora rosea* (Sav.) and *Allolobophora caliginosa* (Sav.) feces. *Can J Soil Sci* 68:563–567
- Nardi, S. – Pizzeghello, D. – Reniero, F. – Rascio, N.* (2000): Chemical and biochemical properties of humic substances isolated from forest and plant growth. *Soil Soc Am J* 64:639–645
- Nardi, S. – Pizzeghello, D. – Muscolo, A. – Vianello, A.* (2002): Physiological effects of humic substances on higher plants *Soil Biology and Biochemistry* 34:1527–1536
- Nicolas, C. – Hermosa, R. – Rubio, B. – Mukherjee, P.K. – Monte, E.* (2014): Trichoderma genes in plants for stress tolerance and prospects *Plant Sci.*, 228. 71–78.
- Norrie, J. – Keathley, JP.* (2006): The advantages of using *Ascophyllum nodosum* marine plant extract in the cultivation of grapes "Thompson seedless". *Croatian-File* 727:243–247
- Olk, D.C. – Bloom, P.R. – Perdue, E.M. – McKnight, D.M. – Chen, Y. – Farenhorst, A. – Senesi, N. – Chin, Y.-P. – Schmitt-Kopplin, P. – Hertkorn, N. et al.* (2019): Environmental and agricultural significance of humic fractions extracted by alkalis from soil and natural waters. *J. Environment. Qual.* 48, 217–232.
- Ördög V.* (2014): Mikroalgák biotechnológiai alkalmazása a növénytermesztésben és növényvédelemben, Doktori értekezés
- Pandia, O. – Sărăcin, I. – Chiriac, A. – Bozga, I. – Oancea, M. – Ticu, C.* (2012): Determination of NPK in some local populations of pepper in order to obtain adequate food compliant with the EU food safety rules. *Scientific Papers. Series A. Agronomy* 55:369-372.
- Pandia, O. – Sărăcin, I. – Sărăcin, AI.* (2018): Management of agricultural culture establishment works. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development* 18(2):315-318

- Paradjiković, N. - Vinković, T. - Vinković Vrček, I. - Žuntar, I. - Bojić, M. - Medić-Šarić, M.* (2011): Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: an example of sweet yellow pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. *J. Sci. Food Agric.* 91, 2146–2152.
- Petrozza, A. - Santaniello, A. - Summerer, S. - Di Tommaso, G. - Di Tommaso, D. - Paparelli, E. et al.* (2014): Fiziológiai válaszok a paradicsomnövények megafol kezelésére aszályos stressz alatt: fenomikus és molekuláris megközelítés. *Scientia Horticulturae.* 174, 185–192.
- Piccolo, A.* (1996): A. Humus and soil protection. In *Humic Materials in Terrestrial Ecosystems*, 1st ed.; Piccolo, A., ed.; Elsevier Science: Amsterdam, The Netherlands, 225–264.
- Piccolo, A. – Conte, P. – Trivellone, E. - Van Lagen, B. – Buurman, P.* (2002): Reduced heterogeneity of a lignite humic acid by preparative HPSEC following interaction with an organic acid. Characterization of size-separates by Pyr-GC-MS and H-NMR spectroscopy. *Environ Sci Technol* 36:76–84
- Piccolo, A. – Spiteller, M.* (2003): Electrospray ionization mass spectrometry of terrestrial humic substances and their size fractions. *Anal Bioanal Chem* 377:1047–1059
- Piccolo, A – Conte, P. – Spaccini, R. – Chiarella, M.* (2003): Effects of some dicarboxylic acids on the association of dissolved humic substances. *Biol Fertil Soils* 37:255–259
- Pilon-Smits, E.A.H. – Quinn, C.F. – Tapken, W. – Malagoli, M. – Schiavon, M.* (2009): Physiological functions of useful elements *Current Opinion in Plant Biology Science Direct* 12. 267–274.
- Plenchette, C. - Clermont-Dauphin, C. - Meynard, J.M. - Fortin, J.A.* (2005): Treatment of arbuscular mycorrhizal fungi in crop production systems *Canadian Journal of Plant Science* 5, 1, 31-40.
- Potters, G. – Pasternak, T. P. – Guisez, Y. – Palme, K. J. – Jansen, M. A. K.* (2007): Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? *Trends in Plant Science* 12: 98–105.
- Povero, G. – Loreti, E. – Pucciariello, C. – Santaniello, A. - Di Tommaso, D. - Di Tommaso, G. – Kapetis, D. – Zolezzi, F. – Piaggese, A. – Perata, P.* (2011): Transcription profiling of *Arabidopsis* seedlings treated with chitosan *J. Plant Res.* 124 619–629.
- Povero, G. – Mejia, JF. - Di Tommaso, D. – Piaggese, A. – Warrior, P.* (2016): A systematic approach to the discovery and characterization of natural plant biostimulants. *Plant Sci.* 7:435.

- Radhakrishnan, R. - Hashem, A. - Abd_Allah, E.F.* (2017): Bacillus: a biological tool for improving yields through biomolecular changes in adverse environments. *Physiol.* 8:667.
- Rahmani, V. - Movahhedi, M. - Hamidreza, D. - Alireza Yadavi, B. - Hamidian, M.* (2022): Silicon Can Improve Nutrient Uptake and Performance of Black Cumin Under Drought and Salinity Stresses *Soil Science and Plant Analysis* 53. 297-310.
- Ricci, M. - Tilbury, L. - Daridon, B. - Sukalac, K.* (2019): General principles for verifying claims on plant biostimulants. *Plant Sci.* 10:494.
- Rouphael, Y. - Carillo, P. - Cristofano, F. - Cardarelli, M. - Colla, G.* (2021): The effect of protein hydrolyzate of plant and animal origin on the morpho-physiological and metabolic properties of sweet basil. *Horticultural science.* 284, 110123.
- Rose, M. T. - Patti, A. F. - Little, K. R. - Brown, A. L. - Jackson, W. R. - Cavagnaro, T. R.* (2014): Meta-analysis and overview of the plant growth response to humic substances: practical implications for agriculture. *Agron adv.* 124, 37–89.
- Ruzzi, M. - Aroca, R.* (2015): Plant growth-stimulating rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. *Sci. Hortic.* 196, 124–134.
- Saa, S. - Olivos-Del Rio, A. - Castro, S. - Brown, P. H.* (2015): Foliar application of microbial and plant based biostimulants increases growth and potassium uptake in almond (*Prunus dulcis* [Mill.] D.A. Webb). *Front. Plant Sci.* 6:87.
- Samfira, I. – Butnariu, M. – Rodino, S. – Butu, M.* (2013): Structural investigation of mistletoe plants from various hosts exhibiting diverse lignin phenotypes. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures* 8(4):1679-1686.
- Scaglia, B. - Pognani, M. - Adani, F.* (2017): The ability of the anaerobic digestion process to produce a biostimulant: a case study of dissolved organic matter (DOM) and auxin-like property. *Sci. Full environment.* 589, 36–45.
- Seiber, J.N. – Coats, J. – Duke, S.O. – Gross, A.D.* (2014): Biopesticides: state of the art and futureprospects *J. Agric. Food Chem.*, 62 (2014), 11613-11619.
- Selye, J.* (1936): Károsító tényezőkkel előidézett szindróma *Nature*
- Selye, H.* (1964): From dream to discovery – on being a scientist. *Mc-Graw-Hill Book Comp.*, New York, 407 pp.
- Sharma, H. S. - Fleming, C. - Selby, C. - Rao, J. R. - Martin, T.* (2014): Plant biostimulants: an overview of macroalgae processing and the use of extracts in crop management techniques to reduce abiotic and biotic stress. *J. Appl. Phycol.* 26, 465–490.

- Siddiqui, Z.A. - Akthar, M.S. - Futai, K. (2008): Mycorrhizae: Sustainable agriculture and forestry Springer*
- Simpson, A. - Kingery, W. - Hayes, M. - Spraul, M. - Humpfer, E. - Dvortsaki, P. - Kerssebaum, R. - Godejohann, M. - Hofmann, M. (2002): Molecular structures and associations of humic substances in the terrestrial environment Naturwissenschaften 89:84–88*
- Steinberg, CEW. – Meinel, T. – Timofeyev, MA. – Bittner, M. – Menzel, R. (2008): The behavior of chemicals in water and their interaction with organisms. Environ Sci Pollut Res 15:128–135*
- Stevenson, F.J. (1994): Humuszkémia: genesis, összetétel, reakciók. Wiley, New York*
- Szigeti Z. (1999): Növények es a stressz. In: Lang F. (szerk.) Növényélettan. Anyagcsere-élettan, Eötvös Kiadó, Budapest, pp. 915–984.*
- Szigeti, Z (2018): A növényi stresszel kapcsolatos felfogásunk változásai Botanikai Közlemények 105(2): 165–178.*
- Szparaga, A. – Kubo, M. – Kocira, S. – Czerwinska, E. – Pawłowska, A. – Hara, P. – Kwasniewski, D. (2019): Towards sustainable agriculture-agronomic and economic effects of biostimulant use in common bean cultivation. Sustainability 11:4575.*
- Zhang, Q. – Zhang, J. – Shen, J. – Silva, A. – Dennis, DA. (2006): A simple 96-hole microplate method for estimating the total polyphenol content of seaweeds. J Appl Phycol 18:445–450*
- Zhang, X. – Wang, K. – Ervin, EH. (2010): Optimization of seaweed extract-based cytokinins and zeatin bioside doses to improve the heat tolerance of creeping benthgrass. Crop Science 50:316–320*
- Zhuang, X. – Chen, J. – Shim, H. – Bai, Z. (2007): New advances in plant growth-promoting rhizobacteria for bioremediation. Environ Int 33:406–413.*
- Zimmerli, L. – Hou, B-H. – Tsai, C-H. (2008): Xenobiotic beta-aminobutyric acid enhances thermotolerance to Arabidopsis. The Plant J. 53:144–156*
- Ziosi, V. – Zandoli, R. - Di Nardo, A. – Biondi, S. – Antognoni, F. – Calandriello, F. (2012): The biological activity of various botanical extracts evaluated by a series of in vitro and in vivo bioassays Acta Hort., 1009 61-66.*
- Taiz, L. – Zeiger, E. (2006): Plant physiology. 4th edn., Sinauer Associates Inc., Sunderland, Massachusetts, USA, 764 pp.*

Taiz, L. - Zeiger, E. (2010): Plant physiology. 5th edn., Sinauer Associates Inc., Sunderland, Massachusetts, USA, 782 pp.

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. *Scientia Horticulturae* 239:26-34.

Tischler (1984): Stresszfiziológia növények és a stressz ppt

Trevisan, S. - Manoli, A. - Quaggiotti, S. (2019): A new biostimulant for protein hydrolysates relieves abiotic stress effects on maize seedlings grown in hydroponics. *Agronomy* 9:28

Trovato, M. - Mattioli, R. - Costantino, P. (2018): From A. rhizogenes RoID to P5CS plant: exploitation of proline to control plant development. *Plants* 7:108.

Van Oosten, M. J. - Pepe, O. - De Pascale, S. - Silletti, S. - Maggio, A. (2017): The role of biostimulants and bioeffectors as relievers of abiotic stress in vegetable crops. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 4:5.

Varanini, Z. – Pinton, R. (2001): Direct and indirect effects of humic substances in the soil on plant growth and nutrition. In: Pinton R, Varanini Z, Nannipieri P (eds) *The rhizosphere*. Marcel Dekker, Basel, pp. 141–158

Vernieri, P. - Borghesi, E. - Tognoni, F. - Serra, G. - Ferrante, A. - Piaggese, A. (2006): Use of biostimulants for reducing nutrient solution concentration in floating system. *Acta Hort ISHS* 718, 477–484.

Visser, S. A. (1985): The physiological effect of humic substances on microbial cells. *Soil biol. Biochem.* 17, 452–462.

Whitman, D. W. – Agrawal, A. A. (2009): What is phenotypical plasticity and why is it important? In: Whitman D. W., Ananthakrishnan T. N. (eds) *Phenotypic plasticity of insects: mechanisms and consequences*. Science Publishers, Enfield, USA, pp. 1–63

Yakhin, O. I. - Lubyantsev, A. A. - Yakhin, I. A. - Brown, P. H. (2017): Biostimulants in plant science: a global perspective. *Plant Sci*

URL¹ <http://www.biostimulants.eu/> [letöltve 2022. 11. 27.].

A szerzők levélcíme – Address of authors:

Kubina Lajos

Széchenyi István Egyetem Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Vízgazdálkodási és Természeti Ökoszisztémák Tanszék

9200 Mosonmagyaróvár, Lucsony u. 15-17.

E-mail cím: lajoskubina@yahoo.com

Kalocsai Renátó

¹Széchenyi István Egyetem Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Vízgazdálkodási és Természeti Ökoszisztémák Tanszék

9200 Mosonmagyaróvár, Lucsony u. 15-17.

E-mail cím: kalocsai.renato@sze.hu

Molnár Zoltán

Széchenyi István Egyetem Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Növénytudományi Tanszék

9200 Mosonmagyaróvár, Lucsony u. 15-17.

E-mail cím: molnar.zoltan@sze.hu

Vona Viktória

Széchenyi István Egyetem Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Vízgazdálkodási és Természeti Ökoszisztémák Tanszék

9200 Mosonmagyaróvár, Lucsony u. 15-17.

E-mail cím: vona.viktoria.margit@sze.hu

Giczi Zsolt

Széchenyi István Egyetem Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Vízgazdálkodási és Természeti Ökoszisztémák Tanszék

9200 Mosonmagyaróvár, Lucsony u. 15-17.

E-mail cím: giczi.zsolt@sze.hu

Nagy Viktor

Syngenta Kft

1117 Budapest, Alíz u.2.

E-mail cím: viktor.nagy@syngenta.com