

Termésnövelő anyagok szerepe az aszály okozta stresszhatások kivédésében ipari mák kultúrában

MÁJER PÉTER^{1,2}, SOTKÓ GYULA², ZÁMBORINÉ NÉMETH ÉVA¹

¹Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet,
Gyógy- és Aromanövények Tanszék

²Sotiva Seed Gyártó és Kereskedelmi Korlátolt Felelősségű Társaság

E-mail: majer.peter@phd.uni-mate.hu

Összefoglalás

Hazánkat erősen sújtják a klímaváltozás negatív hatásai, melyek a jövőben várhatóan fokozódnak majd, így a stressztényezők elleni védekezés tekintetében új kutatások indokoltak. Napjainkban az újhullámos termésnövelő anyagok, úgynevezett biostimulátorok széles választékban állnak rendelkezésre, de a mákban való felhasználásukról eddig nem született megbízható kutatási eredmény. Célul tűztük ki, hogy egy komplex kísérlet sorozat keretein belül feltárjuk ezen anyagoknak a mák produkciójára és alkaloidtartalmára gyakorolt hatását. Jelen cikk a kísérlet sorozat első évében végzett szabadföldi vizsgálatának eredményeit mutatja be. Vizsgálatainkat a szélsőségesen száraz 2022-es évben végeztük 'Meara' ipari mákfajtával, kezeletlen kontroll mellett 10 féle anyag (huminsavak, algakészítmények, növényi kivonatok és hormonok, felületfertőtlenítő szer, kertészeti lombtrágya) alkalmazásával. A vegetációs időben két alkalommal kijuttatott lombpermetezések hatására a növény magasságban 16%-ot (fulvosav, *Abies sibirica* kivonat), a tok+ mag produkcióban 72-117%-ot (fulvosav, hidrogén-peroxid+ kálium-hipoklorit, metil-jazmonát), az alkaloid felhalmozódásban pedig 11-14%-ot (hidrogén-peroxid+ kálium-hipoklorit, szalicilsav) elérő növekedést tapasztaltunk a kontrollhoz képest. A kezelések befolyásolták a növények fejlődési ütemét is. Eredményeink azt tükrözik, hogy a vizsgálatokat más évjáratokban, további fajták bevonásával mindenképpen folytatni érdemes, a kezelések időzítésének optimalizálásával.

Kulcsszavak: alkaloid, aszály, biostimulátor, elicitor, *Papaver somniferum*

Bevezetés és irodalmi áttekintés

A magyar máktermesztés jelentősége és kihívásai

A mák (*Papaver somniferum* L.) az emberiség fontos gyógynövénye, melyet már az ókorban is széles körben termesztettek (Salavert 2010). Fő alkaloidjai a morfin, kodein, tebain, noszkapin, valamint a papaverin (Chaturvedi et al. 2014), melyeket a gyógyszeripar hatóanyagként, illetve félszintetikus opioidok kiindulási anyagaként használ fel. Az emberiség korábban elsősorban alkaloidjai miatt termelte a mákot (Mándy 1971). Napjainkban a mák magját széles körben használják fel élelmiszerként is, benne értékes zsírosolajok, fehérjék és ásványi anyagok találhatóak. Hazánkban elkülönítetten termelnek alacsony alkaloidtartalmú (<0,7%) mákfajtákat étkezési, mag vagy olaj célra, illetve magas alkaloidtartalmú (>0,7%) mákfajtákat, melyek tokját (ezt a termesztési gyakorlatban gyakran szalmának /straw/ is nevezik) a gyógyszeripar, magját pedig az élelmiszeripar hasznosítja (Karácsony et al. 2011).

A növényeket helyhez kötöttségükből kifolyólag szinte biztosan éri valamilyen stresszhatás az életciklusuk során, mely kisebb-nagyobb mértékben befolyásolhatja produkciójukat. A növényi stressz többféleképpen értelmezhető, a legáltalánosabb nézet szerint a stressz a növény valamilyen szempontból megerőltető állapotát jelenti, mely megközelíti vagy átlépi a növény tűrőképességének határait, valamint érdemben csökkenti a produkcióját (Szigeti 2018). A szervezet állapotát nagymértékben károsító tényezőket stressztényezőknak, stresszoroknak nevezzük, melyek lehetnek biotikusak (például gyomkompetíció, paraziták okozta kártétel), illetve abiotikusak (pl. szélsőséges hőmérséklet és víz- vagy tápelemellátottság, a nem megfelelő fényellátás, a talajban lévő nehézfémek, sók negatív hatása, valamint a különböző kemikáliák). Világszerte a hozamok csökkenésének legnagyobb felelőse a kultúrnövényeket érő abiotikus stresszhatások (Gull et al. 2019).

Magyarországon az ipari célra termesztett, magas alkaloidtartalmú mákfajták döntő része kevésbé fagyűrő, ezért rendszerint tavaszi vetésben termesztjük ezeket. Az üzemi tapasztalatok szerint hazánkban az ipari mákot legnagyobb mértékben a vegetációs ciklusban fellépő aszály károsítja. Az aszályos időszakok a klímaváltozás következtében egyre hosszabbak, számuk pedig egyre nő (Gaál et al. 2021). A késő tavaszi és nyári aszályban összeadódnak a hőség és a szárazság okozta stresszhatások (Maleki et al. 2013). Stressz körülmények között megnő a szabad gyökök termelődése a növényben, oxidatív környezetet hozva létre a sejtekben. Ennek következtében a növényi sejtmembrán stabilitása romlik, a keményítő felhalmozása és a fehérjeszintézis lelassul, a zöld növényi részekben csökken a fotoszintetikus aktivitás és a klorofilltartalom, a természetes öregedési folyamatok felgyorsulnak (Hassan et al. 2020). A növények ezen stresszhelyzetekhez adaptív válaszok széles spektrumával képesek alkalmazkodni, melyek azonban morfológiai, fiziológiai és biokémiai változásokat hordoznak magukban. A vízhiány következtében a növények ozmoprotektív molekulák felhalmozásával igyekeznek fenntartani a sejt turgorát, valamint növelni a vízfelvevő képességet és csökkenteni a sejtek ozmotikus potenciálját (Sanders és Arndt 2012).

Előrejelzések szerint a klímaváltozás negatív hatásai Európában többek közt Magyarországot fogja leginkább sújtani (Olesen et al. 2011), ami már ma is érzékelhető. A termelők alkalmazkodásának egyik módja a vetésszerkezet megváltoztatása, mely hosszútávon kiszoríthatja a köztermesztésből az olyan stresszérzékeny növénykultúrákat, mint az ipari mák. A mák termesztése Magyarországon nagy hagyományokkal bír, fennmaradásához ezért a termesztési technológia átalakítására van szükség, a stressztényezők elleni védekezési lehetőségek tekintetében új kutatások indokoltak.

Termésnövelő anyagok a stressz elleni védekezésben

A növénytermesztési gyakorlatban az aszály okozta negatív hatások ellensúlyozására több lehetőség ismert, de ezek alkalmazására a mák kultúrában nincsenek megbízható adataink. Súlyos aszály esetén például a levélen keresztül kijuttatott tápanyagok stresszoldó hatásúak lehetnek (Lv et al. 2021). A lombtrágyázás gyakorlatán kívül azonban egyéb termésnövelő anyagok, ún. biostimulátorok is alkalmazhatók, melyeknek a lombtrágyákkal ellentétben nem a tápanyagszolgáltatás a fő funkciójuk (du Jardin 2015). Biostimulátornak azok az anyagok nevezhetők, melyek kis mennyiségben is elősegítik a növény növekedését és fejlődését, ezáltal fokozzák annak teljesítményét. A biostimulátorok Kaufmann és tsai (2007) szerint általában huminanyagok, hormontartalmú termékek vagy aminosavakat tartalmazó termékek. A hormontartalmú termékek, - például algakivonatok - azonosítható mennyiségben tartalmaznak aktív növényi növekedést szabályozó anyagokat, például citokinineket, auxinokat vagy származékaikat. Du Jardin (2015) szerint a biostimulátor (biostimuláns) elnevezés magába foglal „minden olyan anyagot vagy mikroorganizmust, melyeket növényeken alkalmaznak abból a célból, hogy növeljék táplálkozási hatékonyságukat, az abiotikus stressztűrést, és/vagy a termés minőségbeli tulajdonságait, függetlenül a tápanyagtartalomtól”, valamint „tágabb értelemben a növényi biostimulánsok az ilyen anyagok és/vagy mikroorganizmusok keverékeit tartalmazó kereskedelmi termékeket is jelölhetnek”. Bár a szakirodalom általában külön kezeli a biostimulátorokat és az elicitor anyagokat, utóbbi megfogalmazás szerint egyes esetekben – az elicitor anyagok biostimulátorként működhetnek. Az elicitorok a növény természetes immunválaszaként indukálják a másodlagos metabolitok kiválasztását (Gulzar et al. 2020).

Az alábbiakban röviden jellemezzük azokat a biostimulátor és elicitor anyagokat, melyek jelen munkánkban szerepelnek.

A humusz kis heterogén molekulák önállóan összeállított szupramolekuláris társulása, összetartásukért főleg gyenge hidrofób kapcsolatok felelősek (Piccolo 2002). A huminsavak egykor élő szervezetek anyagainak biológiai átalakulásával, illetve mikrobiális anyagcseréből keletkeznek. Egyszerűen fogalmazva a **huminsavak** olyan humuszanyagok, melyek vizes lúgos oldatokban jól oldódnak, de erősen savas kémhatás esetén kicsapódnak (pH 1-2) (Hayes 2006). A növények megfelelő tápelemfelvétele mellett pozitívan hatnak a biomassza-termelésre. A huminsavakkal történő tápoldatozás elsősorban a gyökérhossz növelésével és a másodlagos gyökérbővítés, sőt a hajtásnövekedés stimulálásával fejti ki hatását. A huminsavak lombkezeléses kijuttatása során a növény képes felvenni a huminanyagok kisebb molekulatömegű komponenseinek egy részét. Ezek az anyagok növelik a sejtmembrán permeabilitását, hormonszerű biológiai aktivitásuk következtében a növényt fokozott tápelemfelvételre, valamint a talaj tápelemei által biztosított növekedés meghaladására ösztönzik (Chen és Aviad 1990, Canellas et al. 2015). A **fulvosav** a talaj huminsavainak egyike, melyet önmagában is alkalmaznak biostimulátorként. Különbség az egyéb huminsavakhoz képest, hogy a fulvosav stabilitását savas kémhatás esetén is megőrzi (Piccolo 2002). Molekulatömege kicsi, nagy mennyiségű fenolos vegyülettel és karbonsavcsoporttal rendelkezik, vízdoldhatósága jó, kationcserélő kapacitása pedig nagy (Canellas et al. 2015). Használatával fokozható a légzés, a klorofilltartalom, ezáltal pedig a fotoszintézis hatékonysága, serkenthető az ATP-termelés. A növények a fulvosav hatására erősebb gyökér-levél és hajtásnövekedést képesek produkálni (Calvo et al. 2014).

A növényi kivonatok a növénytermesztésben egyes esetekben szintén potenciális biostimulátorok lehetnek. Đurić és tsai (2019) többek között a csalán (*Urtica dioica* L.) és a cickafark (*Achillea*

millefolium L.) kivonatának hatását vizsgálták, és azok magas **flavonoidtartalma** miatt kiváló biostimulátornak ígérkeztek. A flavonoidok polifenolos szerkezetük és változatos kémiai jellegüknek fogva többféle hatásmechanizmuson keresztül járulhatnak hozzá az abiotikus stresszhatás csökkentéséhez, valamint fontos szerepet játszanak a jelátviteli folyamatokban (Shah és Smith 2020). A szibériai jegenyefenyő (*Abies sibirica* Ledeb.) olyan pektikus poliszacharidokat tartalmaz, melyek biológiai aktivitását régóta vizsgálják (Makarova et al. 2013). A növény **poliszacharidjai** között kiemelt jelentőségű a galakturonán, mely egyes vizsgálatok során képes volt javítani gabonanövények csíráképeségét és növekedését (Shakhmatov et al. 2014). A biostimulátorok között kiemelkedő jelentőségűek a különböző **algakivonatok** is. A várható hatás nagyban függ a kivonat alapjául szolgáló fajtól, az alapanyag származási helyétől, a kivonatkészítés módjától (Goñi et al. 2016). Számos algafaj kivonát használnak a mezőgazdaságban, melyek közül a leggyakrabban alkalmazott az *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. (Craigie 2011) vagy pl. az *Ecklonia maxima* (Osb.) Papenf. Santaniello és tsai (2017) kísérletükben képesek voltak az *Arabidopsis* tesztnövény károsodását csökkenteni *A. nodosum* kivonatával aszályos körülmények között. A kezelés részleges sztómazáródást indukált, valamint megváltoztatta az abszcizinsav-reszponzív és az antioxidáns rendszer útvonaláiban részt vevő enzimek génexpressziós szintjét. Ennek következtében az *A. nodosum* kivonata segített a növény fotoszintetikus képességének fenntartásában, valamint megakadályozta a fotoszintetikus rendszer visszafordíthatatlan károsodását. A hatás kifejtésért a kivonat biológiailag aktív vegyületei együttesen felelnek. Stasio és tsai (2018) szerint az *Ecklonia maxima* (Osb.) Papenf. betaint és betainszerű vegyületeket tartalmaz, melyek ozmoprotektánsként viselkednek. Az *E. maxima* kivonat növelte az antioxidáns-aktivitást és a tápanyagfelvételt, valamint a hozamot *Brassica rapa* L. subsp. *sylvestris* tesztnövényen.

A **metil-jazmonát** a jázmonsav metil-észtere, a növényi jelátvitelben részt vevő hormon, mely képes enyhíteni a növényi stressz számos formáját, köztük az aszály okozta stresszhatásokat is. A növényben a metil-jazmonát védekező vegyületek szintézisét váltja ki, aktiválja az antioxidáns rendszert. Elindítja a rezisztenciában részt vevő, patogenezishez kapcsolódó gének expresszióját. Növekedést javító hatása mellett egyes esetekben a hatóanyagok felhalmozódását is javítja a növényekben (Kandoudi és Zámoriné-Németh 2022; Yu et al. 2019). Esfahani és tsai (2021) *Papaver bracteatum* Lindl. gyökérzetében fokozott tebain-felhalmozódást észleltek metil-jazmonátos kezelés hatására. A **szalicilsav** stresszoldó hatása hasonló mechanizmus alapján működik. Ez az elicitor anyag szintén képes elindítani a patogenezissel kapcsolatos génexpressziót, a lokális és a szerzett szisztémikus rezisztenciában részt vevő vegyületek szintézisét, melynek következtében széles körben alkalmazható a növényeket érő stresszhatások kivédésére (Wani et al. 2016). Az alacsony szalicilsav-tartalmú növények előzetes szalicilsavas kezelése akklimatizáció-szerű folyamatokat indíthat el a növényben, az antioxidáns kapacitás növelésével javítja annak toleranciáját.

A **hidrogén-peroxid** Hung és tsai (2005) szerint kettős szerepet tölt be a növényi szervezetben. Amellett, hogy az oxidatív stresszfolyamatok során a hidrogén-peroxid erősen károsítja a sejteket, jelzőmolekulaként is szolgál, mely aktiválja a növényi védekezőrendszert a redox homeosztázis helyreállítására a sejtekben.

Bár a bemutatott termésnövelő anyagok növényekre gyakorolt hatását számos kutatás vizsgálta, a más esetében átfogó és megbízható adatok nincsenek. Munkánk során ezért azt vizsgáltuk, hogy a különböző biostimulátorok hogyan hatnak a mák stressztűrésére és termés minőségére. Jelen cikkünkben e vizsgálat sorozat első eredményeit mutatjuk be.

Anyag és módszer

A kísérletünket 2022-ben, a *Papaver somniferum* L. 'Meara' fajtáján végeztük. A fajta jellemzője a korai érésidő, 110-120 cm magasságú főszár, gömb alakú toktermés. Fehér virágú (lila sziromfolttal), kékmagvú fajta, szalmájának alkaloidtartalma 1,5-2%, melynek döntő hányada morfin, ezen kívül pedig csekély mértékben kodeint és tebaint tartalmazhat. Szabadföldi kispácellás kísérletünket Tiszavasváriban állítottuk be félüzemi körülmények között. A parcellák 5m² nagyságúak voltak, kialakításuk az Olasz és Tőkés (1997) által szerkesztett módszertani ajánlások figyelembevételével történt. A parcellákat véletlen blokk elrendezésben helyeztük el, az egyes kezeléseket 4 ismétlésben vizsgáltuk. Az agrotechnikai műveleteket (1. táblázat) az üzemi gyakorlatnak megfelelően, az ott használt és engedélyezett készítményekkel végeztük, a tőszámbeállítás kézzel történt. A vizsgált anyagokat vízben oldva, kézi permetezőgéppel juttattuk ki, 300 l/ha lémenyiséggel. A máknövény morfológiai sajátosságai miatt a második kezelés esetén a permetléhez pinolén hatóanyagú tapadásfokozó adalékanyagot (Eco-Film: 0,2 l/ha, gyártó: Miller Chemical & Fertilizer Corp.) adagoltunk.

1. táblázat. A tenyészidőszak alatt elvégzett agrotechnikai műveletek és a kísérleti kezelések

| Munkaművelet | Időpont | Fenológiai állapot | Felhasznált anyag(ok) | | Megjegyzés |
|---------------------------|---------|---------------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|
| | | | Megnevezés | Menny. | |
| alaptrágyázás | 02.27. | | NPK 8-16-24 | 3 q/ha | +4,7 S |
| vetőágykészítés | 03.08. | | | | |
| vetés | 03.11. | vetőmag | Meara vetőmag | 4 kg/ha | 24 cm sortáv |
| fungicidés kezelés | 04.04. | 2 lomblevelés | Amistar | 1 l/ha | peronoszpóra ellen |
| herbicidés kezelés | 05.15. | 8 lomblevelés | Laudis | 2 l/ha | |
| fejtrágyázás | | | MAS | 2 q/ha | |
| inszekticidés kezelés | 05.20. | 8 lomblevelés | Karate Zeon 5 CS | 0,15 l/ha | levéltetvek ellen |
| termésnövelők kijuttatása | 05.27. | szárba-indulás | 2. táblázat szerint | | első kezelés |
| termésnövelők kijuttatása | 06.22. | zöldtokos állapot (korai) | 2. táblázat szerint | | második kezelés |
| inszekticidés kezelés | 06.28. | zöldtokos állapot | Karate Zeon 5 CS | 0,15 l/ha | máktokormányos ellen |
| betakarítás | 07.14. | teljesérés | Mospilan 20 SG | 200 g/ha | kézi törés: gallér alatt |

Table 1. Agrotechnical processes and experimental treatments during the vegetation period

A vizsgált anyagokat a 2. táblázat részletezi. Megtalálhatóak közöttük huminanyagok (HUMU, FULV), algakészítmények (ANOD, EMAX), növényi kivonatok (ASIB, FLAV), elicitor anyagok (MEJA, SALI), egy felületfertőtlenítő hatású termésmnövelő (HIPE) és egy általános kertészeti lombtrágya (LOMB) is. A kísérlet során az egyes termésmnövelő anyagok kereskedelmi forgalomban kapható változatát teszteltük. Kivételt képez ez alól a két elicitor.

2. táblázat. A kezelésekhez használt anyagok forrása, összetétele és dózisa

| Kód | Alapanyag | Készítmény (gyártó) | Dózis (parcella / alkalom) |
|------|--|--|----------------------------|
| KONT | kezeletlen kontroll | | |
| LOMB | tápelemek (NPK 20-20-20 + mikroelemek) | Kinglife 20-20-20 + micro (GREEN HAS ITALIA S.p.A.) | 1,25 g |
| HUMU | tőzeg- és gilisztahumusz kivonat, tápelemek, aminosavak | Kondisol B+S (Huminisz Kft.) | 2,5 ml |
| FULV | fulvosav (34%), tápelemek (NK 2,5-3,5) | Fulvic Nature (Alder Agro SL) | 2 ml |
| ANOD | <i>Ascophyllum nodosum</i> alga vizes kivonata | Asco Alga (Danuba Kft.) | 1,5 ml |
| EMAX | <i>Ecklonia maxima</i> alga vizes kivonata | Kelpak (KELP PRODUCTS (PTY) Ltd.) | 1,5 ml |
| MEJA | metil-jazmonát | Methyl-jasmonate (Sigma-Aldrich Kft.) | 0,625 mmol* |
| SALI | szalicilsav | Szalicilsav (Kévés Béla Kft.) | 0,625 mmol* |
| HIPE | kálium-hipoklorit, hidrogén-peroxid, víz | SteriClean Plant (PANNON-TRADE Kft.) | 10 ml |
| ASIB | <i>Abies sibirica</i> tűlevél és hancs kivonat vizes emulziója növényi kivonat | Novosil (Biochimzaschita Co.) | 0,5 ml** |
| FLAV | (fahéj, rozmaryng, csalán, citromfű, cickafark) vizes oldata | Flavo Plant (Permex Vet Kft.) | 1 ml |

* aktív hatóanyag (laboratóriumi anyagok esetén); ** kereskedelmi formában kapható köztes munkaoldat dózisa

Table 2. Sources, active ingredients and doses of the materials used in the treatments

A 3. táblázatban a vizsgált időszakban, a vizsgálat helyszínén lehullott csapadék mennyiségét, illetve az átlagos középhőmérsékletet mutatja be a Nyírségre jellemző 50 éves átlaghoz viszonyítva, havi bontásban. A vizsgált év adatai Tiszavasvárra vonatkoznak, az OMSZ adatbázisából származnak. Az 50 éves átlag az OMSZ Nyíregyházán, 1958-2008 között mért adatait tartalmazza (Szabó

2009 nyomán). Nyíregyháza a Nyírségen belüli központi elhelyezkedése, valamint Tiszavasvárihoz való közelsége miatt megfelelő viszonyítási alapnak tekinthető. Míg március hónapban a csapadékmennyiség és a napi átlagos léghőmérséklet is megfelelt az átlagnak, a következő hónapokban egyre súlyosabb aszály jelentkezett. A mák vegetációs ideje alatt az átlagostól csaknem 140 mm-el hullott kevesebb csapadék. Ezzel együtt a napi átlagos léghőmérséklet a teljes periódusban 0,8 °C-al a nyári, csapadékszegény hónapokban pedig ennél többel, (június: +2,6 °C, július +2,3 °C) tért el a sokéves átlagtól.

3. táblázat. A vizsgált időszak meteorológiai adatai az 50 éves átlaghoz viszonyítva

| | 2022 | | 50 éves átlag | |
|----------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| | Tiszavasvári | | Nyírség | |
| | csapadék (mm) | léghőm. (°C) | csapadék (mm) | léghőm. (°C) |
| március | 28,7 | 4,7 | 29 | 4,7 |
| április | 36,7 | 9,1 | 42,4 | 10,8 |
| május | 8,8 | 16,8 | 55 | 16 |
| június | 12,6 | 21,6 | 66,9 | 19 |
| július | 4,2* | 22,9 | 33,4* | 20,6 |
| Összesen (mm) | 91 | | 226,7 | |
| Átlagosan (°C) | | 15 | | 14,2 |

* a mák betakarításáig, július 15-ig lehullott csapadék összege, a hosszútávú adatok esetén pedig a havi átlagos csapadékmennyiség fele

Table 3. Meteorological data of the experimental period in comparison with the 50-year mean

A tenyészdíszak során az állományt heti rendszerességgel szemrevételeztük, a kiemelt fontosságú időszakokban, például a kezelések kijuttatása után, valamint virágzáskor pedig 2-3 naponta. A növények magasságát a termésérés fázisában mértük, parcellánként 10 növényt véletlenszerűen kiválasztva. A termésmennyiség meghatározásának alapjául a parcellák teljes tokos máktermésének betakarítása szolgált. A toktermést felnyitva, a mag és tok szétválasztása után került meghatározásra a két frakció saját tömege, majd a parcella toktermésének teljes mennyiségét porrá (0,2 mm szemcseméret) őrölve készültek el a végleges minták. Homogenizálást követően ezekből a mérésekhez 400 mg őrleményt vettünk, melyet 50 ml extrahálószerrel (500 ml metanol, 448 ml víz, 52 ml tömény hangyasav) rázattunk 150-160/perc fordulaton, 2 órán át. A minta 0,2 mikrométeres szűrőn való átszűrése után 5 mikroliter került injektálásra. A minták alkaloidtartalmának meghatározása HPLC-vel történt, Shimadzu Prominence készülékkel (kolonna: Thermo Hypercarb 100x4,6 mm, 5mikrométer; eluens A: acetonitril /0,1% hangyasav/, eluens B: víz /0,1% hangyasav/; detektor: diódasor; detektálás: 280 nm; injektálási térfogat: 5 mikroliter).

Az adatok statisztikai elemzését SPSS 25.0 programban, változónként ANOVA módszerrel végeztük el. Az ábrákat MS Excel programban készítettük.

Eredmények és megvitatásuk

Növekedés és fejlődés

A szemlék során azt tapasztaltuk, hogy a rendkívül súlyos aszály miatt a növények fejlődése kezdetben vontatott, majd a szárbaindulás után a fajtára jellemzőhöz képest jóval gyorsabb volt, melyben valószínűleg a máknövény összetett foto- és termoregulációs érzékenysége játszik szerepet (Bernáth 2001). Az egyedek közötti fejlettségbeli különbség miatt az állomány virágzása elhúzódó volt annak ellenére, hogy a máknövények nem hoztak oldalelágazásokat, hanem egyetlen tokot neveltek. A kezelések a virágzás idejét nem befolyásolták, de tapasztalataink szerint a termésnövelőkkel kezelt növények mintegy 3-5 nappal tovább zöldek maradtak. Kivételt képez ez alól a szalicilsavas kezelés, amelynek parcelláin a második, korai zöldtokos állapotban végzett permetezés erősen visszavetette a mák fejlődését: a növények szára a kontrollhoz képest vékonyabb és alacsonyabb volt, a tokok és a benne lévő magvak aprók, közülük sok léha.

A kezelések hatása a növénymagasságra

A növénymagasság jó indikátora lehet annak, hogy az adott körülmények között az abiotikus stresszorok mennyire gátolják a növény fejlődését. A kontrollparcellák növényeinek átlagos magassága 41,5 cm, mely mintegy harmada a fajtára jellemző értéknek. A kontroll magasságához képest csak egy esetben mértünk alacsonyabb értéket, a szalicilsavas (SALI) kezelés hatására (1.ábra). Az átlagos növénymagasság itt 36,9 cm volt, mely 11,1-23,3%-al alacsonyabb a kontrollhoz és a többi kezelt állományhoz viszonyítva. Ezen kívül a növények átlagmagassága minden kezelés esetén nagyobb volt, mint a kontroll növények parcelláin, az eltérések azonban nem szignifikánsak ($p=0,178$). A legnagyobb átlagmagasságot a fulvosavval (FULV, 48 cm), a metil-jazmonáttal (MEJA, 47,1 cm) és az *Abies sibirica* kivonattal (ASIB, 48,1 cm) kezelt növények esetén mértük, melyek 15,6, 13,5 illetve 15,9%-al haladják meg a kontrollt.

1. ábra. A növények átlagos magassága az egyes kezelések hatására (cm; Tiszavasvári, 2022)

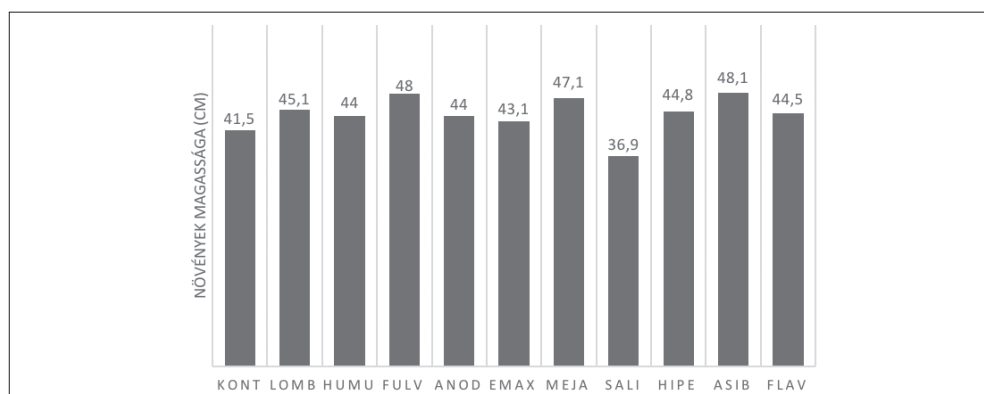


Figure 1. The average height of the treated plants (cm; Tiszavasvári, 2022)

A kezelések hatása a produkcióra

A kezeletlen parcellák (KONT) átlagos tokos máktermése 11,7 g/m² volt. A lombtrágyával (LOMB) kezelt növények terméshozam szempontjából gyakorlatilag nem különböznek a kontrolltól (11,4 g/m²), míg a szintén tápelemeket tartalmazó, de humuszalapú készítmény (HUMU) már jelentős (45%-os) hozamnövekedést tudott elérni, a toktermés 17 g volt négyzetméterenként. A fulvosavas kezelés érte el a legnagyobb hozamot, átlagosan 25,4 g-ot egy négyzetméteren, mely 117%-os hozamnövekedést jelent a vizsgált aszályos körülmények között. A HIPE kezelés is kiemelkedő hozamot biztosított (21,1 g/m²), 80%-al haladta meg a kontroll átlagát. Az elicitor anyagok terméshozamra gyakorolt hatása merőben eltérő volt a kísérletünkben. Míg a MEJA sikeresen növelte meg a terméshozamot (20,1 g/m², 72%-os növekedés), addig a SALI jelentősen, 24%-al csökkentette azt (8,9 g/m²). Az algakivonatos kezelések hatása nem jelentős, egymáshoz és a kontrollhoz hasonló produkciót adtak: az ANOD kezelés hatására 13,2 g, míg az EMAX kezelés hatására 13,9 g termett átlagosan egy négyzetméteren. A növényi kivonatok csak kevéssel mutattak jobb eredményt, bár a kontroll átlagát 34%-al (ASIB, 15,7 g/m²) illetve 22%-al (FLAV, 14,3 g/m²) meghaladják. Az adatok közötti elérések statisztikailag nem szignifikánsak (p=0,690). A hozamadatokat a [2. ábra](#) foglalja össze. A [3. ábra](#) a máktermés tok-mag arányát mutatja be az egyes kezelések hatására. Ez az arány nagyban függ attól, mennyire volt sikeres a növény termékenyülése, illetve milyen körülmények között zajlott a szemtelítődés és a zsírsolajok felhalmozása a magban. A 'Meara' fajtától kézi betakarítással 45-55% körüli tok-mag arány várható, melynek leginkább a HUMU, FULV és EMAX kezelések feleltek meg. Ez némiképp ellentmond a korábban tapasztaltaknak, mivel az algás kezelések nem javították számottevően a többi paramétert, jelen összehasonlításban viszont az EMAX kezelésben részesített máknövények optimális tok-mag arányt mutattak. A LOMB, SALI és FLAV kezelések hatására közel fele-fele tok-mag arány alakult, a többi kezelés eredménye pedig ezen értékek között helyezkedett el. Meg kell említeni, hogy a tok-mag arány esetében az eltérések kifejezetten csekélyek, de további vizsgálatokra adnak okot.

2. ábra. A mákparcellák hozama az egyes kezelések hatására (tok + mag, g/m²; Tiszavasvári, 2022)

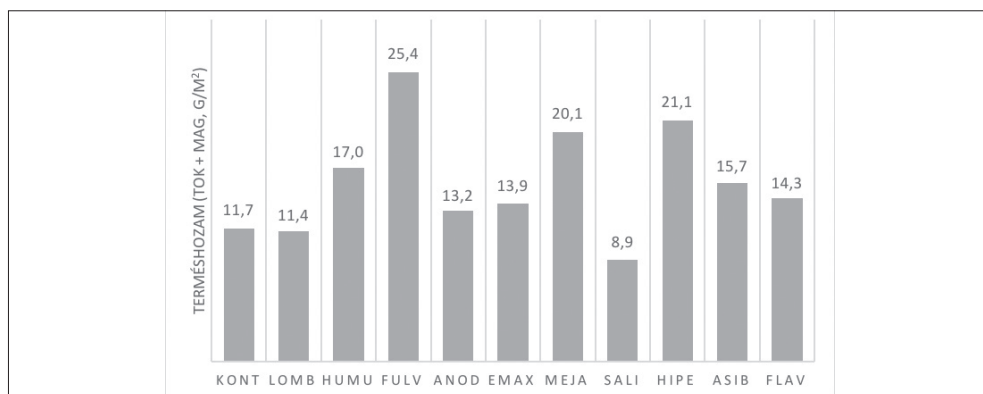


Figure 2. Yield of poppy parcels as a result of the treatments (capsule + seed, g/m²; Tiszavasvári, 2022)

3. ábra. A tok-mag arány alakulása a kezelések hatására (%; Tiszavasvári, 2022)

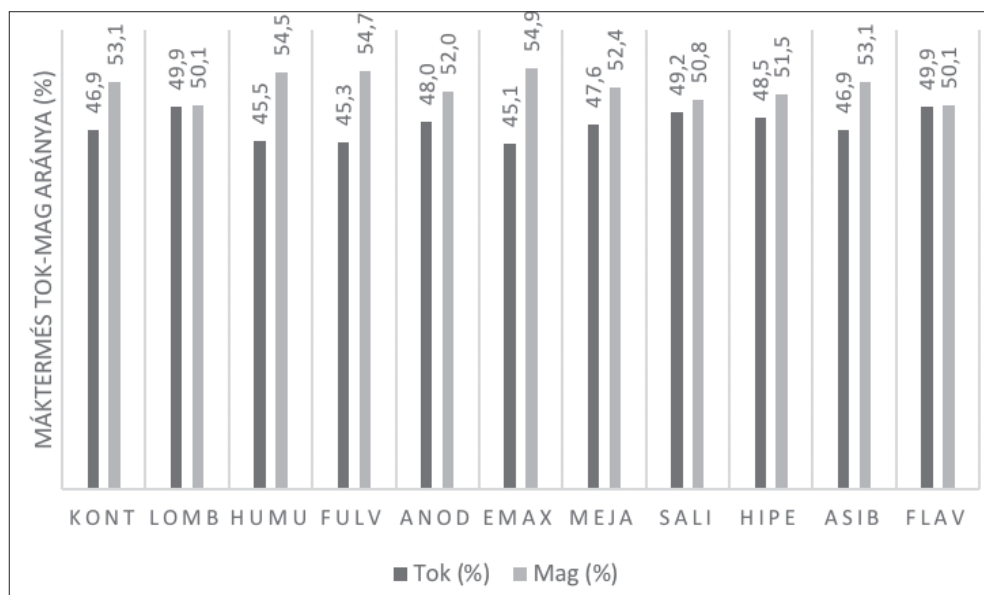


Figure 3. Change in capsule-seed ratio as a result of the treatments (%; Tiszavasvári, 2022)

A kezelések hatása a máktok alkaloidtartalmára

A kontrollnövények átlagosan 2,05% összes alkaloidtartalmat (morfin, kodein és tebain) mérünk, mely érték a fajtára jellemző (4. ábra). A MEJA, SALI és HIPE kezelések 11,2%, 12,7% és 13,7%-al voltak képesek növelni a mák alkaloidtartalmát, bár nem szignifikánsan ($p=0,908$; $0,752$ és $0,678$ a morfin, kodein, tebain esetében), a többi kezelés érdemben nem befolyásolta azt. Tapasztalataink a metil-jazmonátos és a szalicilsavas kezelés esetén megegyeznek a szakirodalom (Esfahani et al. 2021; Kandoudi és Zámoriné-Németh 2022) által közöltekkel, miszerint ezen elicitor anyagok használatával némileg növelhető a másodlagos anyagcsere termékek felhalmozódása. A kezelés idejét, dózisát azonban a továbbiakban optimalizálni szükséges. A HIPE kezelés minőségjavító hatása nem várt eredmény. Feltételezzük, hogy a növényi szervezetbe bejutva aktiválta annak védekező mechanizmusát (az elicitor anyagokhoz hasonlóan), ezért volt képes megnövelni az alkaloidtartalmat a tokban. Azon kezelésekben, ahol az összes alkaloidtartalom emelkedett, a mellékalkaloidok (kodein, tebain) aránya is nőtt. Feltételezhető tehát, hogy a kezelések a bioszintézis valamely elsődleges fázisában idéztek elő aktiválódást, és a kedvezőtlenül lerövidült vegetációs ciklusban a morfinig zajló bioszintézis szakasz már gátolt volt, mely megfelel a Bernáth (2001) által leírtaknak.

4. ábra. A kezelések hatása a tok alkaloidainak felhalmozódására (morfin, kodein, tebain, m/m %; Tiszavasvári, 2022)

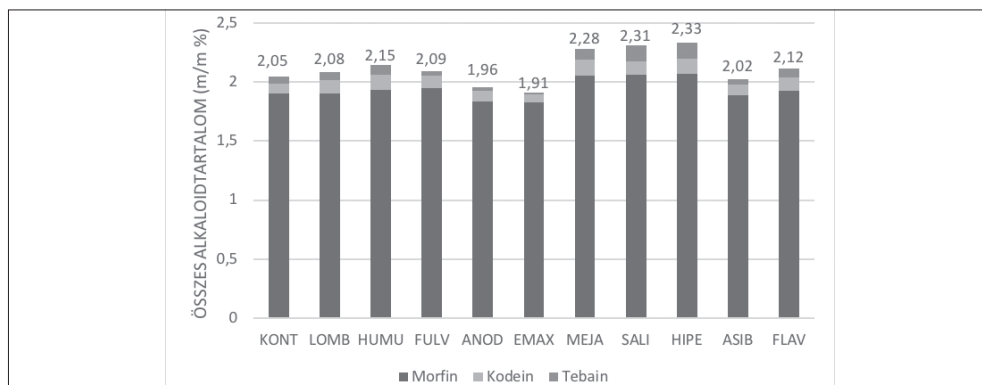


Figure 4. The effect of treatments on the accumulation of alkaloids of the capsule (morphine, codeine, thebaine, m/m %; Tiszavasvári, 2022)

A 4. táblázat összefoglalja a magasságra, hozamra és összes alkaloidtartalomra vonatkozó átlagokat, valamint a kezeléseken belüli szórásokat és az ezekből számított variációs koefficiens (CV) értékét. A statisztikai vizsgálatokban kimutatott szignifikancia hiánya véleményünk szerint a parcellákon belüli és a parcellák közötti jelentős szórásokra vezethető vissza, aminek a szakszerű művelés ellenére a kedvezőtlen időjárás, hirtelen jött hőség és aszály lehet az oka. Eredményeink mindazonáltal azt tükrözik, hogy a vizsgálatokat más évjáratokban, további fajták bevonásával mindenképpen folytatni érdemes, a kezelések időzítésének optimalizálásával.

4. táblázat. A vizsgált paraméterek átlaga, szórása és variációs koefficiense (CV) a kezelések hatására

| Kezelés | Magasság (cm) | | | Terméshozam (tok+mag, g/m ²) | | | Össz. alkaloidtartalom (m/m %) | | |
|---------|---------------|--------|--------|--|--------|--------|--------------------------------|--------|--------|
| | Átlag | Szórás | CV (%) | Átlag | Szórás | CV (%) | Átlag | Szórás | CV (%) |
| KONT | 41,5 | 4,1 | 9,9 | 11,7 | 6,9 | 59,0 | 2,05 | 0,48 | 23,4 |
| LOMB | 45,1 | 6,2 | 13,7 | 11,4 | 5,8 | 50,1 | 2,08 | 0,52 | 25,0 |
| HUMU | 44,0 | 6,4 | 14,5 | 17,0 | 14,2 | 83,5 | 2,15 | 0,48 | 22,3 |
| FULV | 48,0 | 6,4 | 13,3 | 25,4 | 20,2 | 79,5 | 2,09 | 0,26 | 12,4 |
| ANOD | 44,0 | 2,6 | 5,9 | 13,2 | 6,3 | 47,7 | 1,96 | 0,35 | 17,9 |
| EMAX | 43,1 | 6,2 | 14,4 | 13,9 | 10,5 | 75,5 | 1,91 | 0,11 | 5,8 |
| MEJA | 47,2 | 2,7 | 5,7 | 20,1 | 10,8 | 53,7 | 2,28 | 0,37 | 16,2 |
| SALI | 36,9 | 4,8 | 13,0 | 8,9 | 5,5 | 61,8 | 2,31 | 0,42 | 18,2 |
| HIPE | 44,8 | 5,9 | 13,2 | 21,1 | 16,5 | 78,2 | 2,33 | 0,43 | 18,5 |
| ASIB | 48,1 | 5,0 | 10,4 | 15,7 | 7,0 | 44,6 | 2,02 | 0,16 | 7,9 |
| FLAV | 44,5 | 4,6 | 10,3 | 14,3 | 10,8 | 75,5 | 2,12 | 0,46 | 21,7 |

Table 4. Mean, standard deviation and coefficient of variation (CV) of the studied parameters as a result of treatments

Köszönetnyilvánítás

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium KDP-2021 kódszámú Kooperatív Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Köszönet érte!



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

Felhasznált irodalom

- Bernáth J. 2001. A mák ökofiziológiája és környezeti igénye. In: Sárkány S., Bernáth J., Tétényi P. (szerk.) A mák – *Papaver somniferum* L. Magyarország kultúrflórája. V. kötet, 22. füzet. Akadémiai Kiadó, Budapest. 157-176.
- Calvo, P., Nelson, L. and Kloepper, J. W. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil*, 383(1-2): 3-41.
- Canellas, L.P., Olivares, F.L., Aguiar, N.O., Jones, D.L., Nebbioso, A., Mazzei, P. and Piccolo, A. 2015. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196: 15-27.
- Chaturvedi, N., Singh, M., Shukla, A.K., Shasany, A.K., Shanker, K., Lal, R.K. and Khanuja, S.P.S. 2014. Comparative analysis of *Papaver somniferum* genotypes having contrasting latex and alkaloid profiles. *Protoplasma*, 251: 857–867.
- Chen, Y. and Aviad, T. 1990. Effect of humic substances on plant growth. In: Maccarthy, P. (szerk.) Humic substances in soil and crop sciences: selected readings. American Society of Agronomy and Soil Sciences, Madison. 161-186.
- Craigie, J.S. 2011. Seaweed Extract Stimuli in Plant Science and Agriculture. *Journal of Applied Phycology*, 23: 371-393.
- Du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196: 3-14.
- Đurić, M., Mladenović, J., Bošković-Rakočević, L., Šekularac, G., Brković, D. and Pavlović, N. 2019. Use of different types of extracts as biostimulators in organic agriculture. *Acta Agriculturae Serbica*, 47: 27-39.
- Esfahani, S.T., Karimzadeh, G., Naghavi, M.R. and Vrieling, K. 2021. Altered gene expression and root thebaine production in polyploidized and methyl jasmonate-elicited *Papaver bracteatum* Lindl. *Plant Physiology and Biochemistry*, 158: 334-341.
- Gaál M., Becsákné Tornay E. és Molnár P. 2021. A 2018–2019-es magyarországi aszályhelyzet értékelése. *Gazdálkodás*, 65(3): 224–236.
- Goñi, O., Fort, A., Quille, P., McKeown, P., Spillane, C. and O’Connell, S. 2016. Comparative transcriptome analysis of two *Ascophyllum nodosum* extract biostimulants: Same seaweed but different. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(14): 2980-2989.

12. Gull, A., Lone, A.A. and Wani, N.U.I. 2019. Biotic and abiotic stresses in plants. In: De Oliveira, A.O. (szerk.) Abiotic and biotic stress in plants, IntechOpen, London. DOI 10.5772/intechopen.85832.
13. Gulzar, B., Mujib, A., Malik, M.Q., Mamgain, J., Syeed, R. and Zafar, N. 2020. Chapter two - Plant tissue culture: agriculture and industrial applications. In: Kiran, U., Abdin, M.Z., Kamaluddin (szerk.) Transgenic Technology Based Value Addition in Plant Biotechnology. Academic Press. 25-49.
14. Hayes, M.H.B. 2006. Solvent systems for the isolation of organic components from soils. Soil Science Society of America Journal, 70(3): 986-994.
15. Hassan, M., Chattha, M., Khan, I., Chattha, M., Barbenti, L., Aamer, M., Iqbal, M., Nawaz, M., Mahmood, A., Ali, A. and Aslam, M.T. 2020. Heat stress in cultivated plants: nature, impact, mechanisms, and mitigation strategies – A review. Plant Biosystems, 155(7): 1-56.
16. Hung, S., Yu, C. and Lin, C.H. 2005. Hydrogen peroxide functions as a stress signal in plants. Botanical Bulletin of Academia Sinica. 46: 1-10.
17. Kandoudi, W. and Zámoriné-Németh, É. 2022. Stimulating secondary compound accumulation by elicitation – is it a realistic tool in medicinal plants *in vivo*? Phytochemistry Reviews. DOI 10.1007/s11101-022-09822-3
18. Karácsony P., Tóth K., Pinke G. és Pál R. 2011. A magyarországi máktermelésről. Gazdálkodás, 55(5): 529-533.
19. Kaufmann, G.L., Kneivel, D.P. and 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 Science, 47(1): 261-267.
20. Lv, X., Ding, Y., Long, M., Liang, W., Gu, X., Liu, Y. and Wen, X. 2021. Effect of foliar application of various nitrogen forms on starch accumulation and grain filling of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress. Frontiers in Plant Science, 12. Article: 645379.
21. Makarova, E.N., Patova, O.A., Shakhmatov, E.G., Kuznetsov, S.P. and Ovodov, Y.S. 2013. Structural studies of the pectic polysaccharide from Siberian fir (*Abies sibirica* Ledeb.). Carbohydrate Polymers, 92(2): 1817-1826.
22. Maleki, A., Naderi, A., Naseri, R., Fathi, A., Bahamin, S. and Maleki, R. 2013. Physiological performance of soybean cultivars under drought stress. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences, 2(6): 38-44.
23. Mándy 1971. Hogyan jöttek létre kultúrnövényeink? Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 167-169.
24. Olasz Zs. és Tökés G. (szerk.) 1997. Hatósági regulátor és tápanyag vizsgálati módszertan. FM Növényvédelmi és Agrárkörnyezet-gazdálkodási Főosztálya, Budapest.
25. Olesen, J.E., Trnka, M., Kersebaum, K.C., Skjelvåg, A.O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rossi, F., Kozyra, J. and Micale, F. 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. European Journal of Agronomy, 34(2): 96-112.
26. Piccolo, A. 2002. The supramolecular structure of humic substances: A novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. Advances in Agronomy, 75: 57-134.
27. Salavert, A. 2010. Le pavot (*Papaver somniferum*) à la fin du 6e millénaire av. J.-C. en Europe occidentale. In: Delhon, C., Théry-Parisot, I., Thiébault, S. (szerk.) « Des hommes et des plantes. Exploitation et gestion des ressources végétales de la Préhistoire à nos jours ». Session Usages et symboliques des plantes XXX^e Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes. 22-24 octobre 2009, Antibes. Anthropobotanica 01.
28. Sanders, G.J. and Arndt, S.K. 2012. Osmotic adjustment under drought conditions. In: Aroca, R. (szerk.): Plant responses to drought stress. Springer, Berlin, Heidelberg. 199-229.
29. Santaniello, A., Scartazza, A., Gresta, F., Loreti, E., Biastone, A. and Perata, P. 2017. *Ascophyllum nodosum* seaweed extract alleviates drought stress in *Arabidopsis* by affecting photosynthetic performance and related gene expression. Frontiers in Plant Science, 8. Article: 1326.
30. Shah, A. and Smith, D.L. 2020. Flavonoids in agriculture: Chemistry and roles in biotic and abiotic stress responses, and microbial associations. Agronomy, 10(8): 1209.

31. Shakhmatov, E.G., Toukach, P.V., Michailowa, C.C.A. and Makarova, E.N. 2014. Structural studies of arabinan-rich pectic polysaccharides from *Abies sibirica* L. Biological activity of pectins of *A. sibirica*. Carbohydrate Polymers, 113: 515-524.
32. Stasio, E., Rouphael, Y., Colla, G., Raimondi, G., Giordano, M., Pannico, A., El-Nakhel, C. and De Pascale, S. 2018. The influence of *Ecklonia maxima* seaweed extract on growth, photosynthetic activity and mineral composition of *Brassica rapa* L. subsp. *sylvestris* under nutrient stress conditions. European Journal of Horticultural Science, 82(6): 286-293.
33. Szabó B. 2009. Az agrotechnikai és az ökológiai tényezők hatása a napraforgómoly (*Homoeosoma nebulellum* Den. et Schiff.) kártételére és rajzásdinamikájára. Doktori értekezés. Szent István Egyetem, Gödöllő.
34. Szigeti Z. 2018. A növényi stresszel kapcsolatos felfogásunk változásai. Botanikai Közlemények, 105(2): 165-178.
35. Wani, A.B., Chadar, H., Wani, A.H., Singh, A. and Upadhyay, N. 2016. Salicylic acid to decrease plant stress. Environmental Chemistry Letters. 15: 101-123.
36. Yu, X., Zhang, W., Zhang, Y., Zhang, X., Leng, D., Zhang, X. 2019. The roles of methyl jasmonate to stress in plants. Functional Plant Biology, 46(3): 197-212.

The role of yield-enhancing substances in preventing the stress effects caused by drought in industrial poppy culture

MÁJER, P.^{1,2}, SOTKÓ, GY.², ZÁMBORINÉ NÉMETH, É.¹

¹Department of Medicinal and Aromatic Plants, Institute of Horticultural Sciences,
Hungarian University of Agriculture and Life Sciences (MATE)

²Sotiva Seed Ltd.

E-mail: majer.peter@phd.uni-mate.hu

Summary

The negative effects of climate change impact the Hungarian agriculture, and it is expected to become even more severe. Therefore, defense against these stress factors require new research directions. Today, the so called biostimulants, yield promoting products are available on the market in great number. However, no reliable scientific studies on their effects are known so far in poppy production. In frame of a complex experimental project, our goal is to reveal the effect of these materials on the production and alkaloid content of poppy. The present article discusses the first results of this project.

The study was carried out in 2022, in an extremely arid year with the industrial cultivar 'Meara'. As treatment we applied leaf spraying with 10 different stimulants (humic acids, algae preparations, plant extracts and hormones, surface sterilizer, leaf fertilizer) with an untreated control. The increases due to the treatments reached 16% in plant height (fulvic acid, *Abies sibirica* extract),

72-117% in the capsule+seed yield (fulvic acid, hydrogen-peroxide+ potassium hypochlorite, methyl-jasmonate) and 11-14% in the total alkaloid accumulation (hydrogene-peroxide+ potassium hypochlorite, methyl-jasmonate, salicylic acid) compared to the control. The results indicate a continuation of the trials in further years, with including other varieties and optimizing the timing of the treatments.

Keywords: alkaloid, drought, biostimulator, elicitor, *Papaver somniferum*

Szerzők

Májér Péter (kapcsolattartó szerző) – PhD hallgató, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, Gyógy- és Aromanövények Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.; agronómus, Sotiva Seed Gyártó és Kereskedelmi Korlátolt Felelősségű Társaság, Tiszavasvári, Petőfi S. u. 63/A.

Sotkó Gyula – ügyvezető, Sotiva Seed Gyártó és Kereskedelmi Korlátolt Felelősségű Társaság, Tiszavasvári, Petőfi S. u. 63/A.

Zámboriné Németh Éva – DSc, egyetemi tanár, tanszékvezető, oktatási intézetigazgató-helyettes, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, Gyógy- és Aromanövények Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.