

TUDOMÁNYOS KUTATÁSOK A KÖRNYEZETBARÁT NÖVÉNYVÉDELEMÉRT

a HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézetében



Tudományos kutatások
a környezetbarát növényvédelemért
a HUN-REN ATK
Növényvédelmi Intézetében

**Tudományos kutatások
a környezetbarát növényvédelemért
a HUN-REN ATK
Növényvédelmi Intézetében**

A kötetet összeállította:

KONTSCHÁN JENŐ

BUDAPEST

2023

HUN-REN
Agrártudományi Kutatóközpont
Növényvédelmi Intézet

Azon képek, amelyeknél nincs a forrás megjelölve, azok a szerzők eredeti képei.

Kiadó:
INFORM Kiadó

Felelős vezető:
Bolyki Etelka

ISBN 978-615-5666-63-6



INFORM
Kiadó & Nyomda

1149 Budapest, Angol u. 34.
www.informkiado.hu

Budapest, 2023/38

TARTALOM

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Kontschán Jenő: Bevezetés | 7 |
| Mikó Zsanett, Bókony Veronika, Ujszegi János és Hettyey Attila: Egy glifozátalapú gyomirtó ökotoxikológiai hatásai vízi szervezetekre | 8 |
| Bókony Veronika, Ujhegyi Nikolett és Mikó Zsanett: A kémiai növényvédelem egy meglepő kockázata: fiúkból lányok, lányokból fiúk? | 12 |
| Kárpáti Zsolt és Tóth Zoltán: Kémiai kommunikáció és növényvédő szerek szubletális hatásainak vizsgálata földi poszméheken (<i>Bombus terrestris</i>) | 17 |
| Szőcs Gábor, Teski Anna, Bozsik Gábor és Molnár Béla Péter: Menetközben az ázsiai méhatka elleni biológiai védekezés kifejlesztéséért folyó kutatásokkal | 21 |
| Koczor Sándor, Szentkirályi Ferenc és Tóth Miklós: Hasznos, ragadozó rovarok csalogatása: zöldfátyolkák kémiai ökológiájával kapcsolatos eredmények | 26 |
| Kóbor Péter: Hasznos poloskafajok az agrárökoszisztémákban | 30 |
| Kontschán Jenő: Ragadozó atkákkal a növényi kártevők ellen | 36 |
| Turóci Ágnes és Páll-Gergely Barna: Meztelencsigák a kertben: mit tehetünk ellenük? | 42 |
| Szőcs Gábor: Egy ismeretlen ismerős: a darázsszitkár hernyói elleni agrotechnikai védekezés a szeder tövek feltöltögetésével | 47 |
| Kontschán Jenő, Magyar Donát és Kiss Balázs: Az inváziós ürömlevelű parlagfű elleni kutatások: a parlagfű olajosbogár hatásának vizsgálata | 52 |
| Móricz M. Ágnes: Növényi eredetű hatóanyagok a növényvédelemben | 56 |
| Krüzselyi Dániel: A bazídiumos nagygombák növényvédelmi célú felhasználásának lehetőségei | 61 |
| Németh Z. Márk és Teruo Nonomura: <i>Ampelomyces</i> mikoparaziták, a lisztharmatgombák természetes ellenségeinek felhasználása a környezetbarát növényvédelemben | 67 |
| Almási Asztéria, Pinczés Dóra, Sáray Réka és Salánki Katalin: Virologiai vizsgálatok a fenntartható paradicsom termesztés támogatására | 72 |
| Schwarczinger Ildikó, Király Lóránt, Künstler András és Kolozsváriné Nagy Judit: Fágterápia a növényvédelemben | 78 |
| Bozsó Zoltán és Szatmári Ágnes: A növénykórokozó baktériumok elleni növényi védekezési reakciók a génkifejeződések tükrében | 88 |
| Mergenthaler Emese, Kiss Emese és Viczián Orsolya: Megelőzhető-e „oltással” a fitoplazmás növénybetegségek? | 97 |
| Künstler András, Kolozsváriné Nagy Judit, Schwarczinger Ildikó, Fodor József és Király Lóránt: Növénytermesztés kedvezőtlen körülmények között: Kórokozókkel szembeni harc magas hőmérsékleten | 105 |
| Kötetünk szerzői | 111 |

BEVEZETÉS

Az elmúlt időszakban a növényvédelmet számos új kihívás éri, talán a legfontosabb a globalizáció és a klímaváltozás hatására megjelenő inváziós károsítók nagy száma mellett, hogy egy jelentős nyomás érkezik a mezőgazdaságra a lakosság irányából, ez pedig az egészséges környezet és egészséges élelmiszer iránti fokozott érdeklődés és igény, amely nagyon sokszor a tradicionális (kémiai) növényvédelem ellen foglal állást. Ezt a hatást erősíti az a jelenség is, hogy az Európai Unió országaiban egyre több, korábban széles körben használt hagyományos növényvédő szer mára már egyre nagyobb számba kivonásra vagy tiltólistára került. Ettől függetlenül a növényvédelmi problémák fenn állnak és ezekre valamilyen más, szelídebb módszert kell kidolgozni, hogy a gazdaságilag és minőségileg is megfelelő élelmiszer előállításban ne lépjenek fel komoly problémák, de a környezetünk védelmére történő odafigyelés is megjelenjen.

A környezetbarát, ökológiai jellegű növényvédelem évtizedek óta ismert és alkalmazott része a mezőgazdaságnak, bár néha a tudományos megalapozottságtól távol eső, mitológikus gondolkodású növényvédelmi praktikákba is átcsúszott, de a komoly tudományos kutatásokra alapuló környezetbarát, az egészséges környezetet és az egészséges élelmiszert eredményező fejlesztések és módszerek ma

már komoly piaci részesedéssel bírnak. Bár gazdasági jelentőségük nem éri el a kémiai növényvédelem eredményeit, a jövőben ez feltehetően növekedni fog és nagyobb részt fognak elfoglalni a növényvédő szerek piacából.

A HUN-REN Agrártudományi Kutatóközpont Növényvédelmi Intézetében több évtizedekre menően jelen van az ökológiai, környezetbarát megközelítése a növények védelmének. Ennek olyan jelentős személyiségei voltak az előfutárai, mint Nagy Barnabás (1921–2020) vagy Jermy Tibor (1917–2014). Így természetes, hogy az intézeti kutatások egy jelentős része ebbe az irányba fordult, ezen a területen is ért el eredményeket. Jelen kötetünkben ezekből a környezetbarát növényvédelemért végzett kutatásainkból szeretnénk egy csokorral bemutatni, amelyek olvasmányos stílusban mutatják be a kutatások jelentős eredményeit, felhívva arra a figyelmet, hogy a HUN-REN Agrártudományi Kutatóközpont Növényvédelmi Intézetében zajló kutatások számos olyan innovációt alapozhatnak meg, amelyek a jövőben piaci megjelenéssel is kecsegtethetnek, valamint emelhetik a növényvédelmi kutatások társadalmi és gazdasági hatását, és segíthetik hazánk innovációs potenciáljának emelkedését.

Kontschán Jenő

EGY GLIFOZÁTALAPÚ GYOMIRTÓ ÖKOTOXIKOLÓGIAI HATÁSAI VÍZI SZERVEZETEKRE

Mikó Zsanett, Bókony Veronika, Ujszegi János és Hettyey Attila

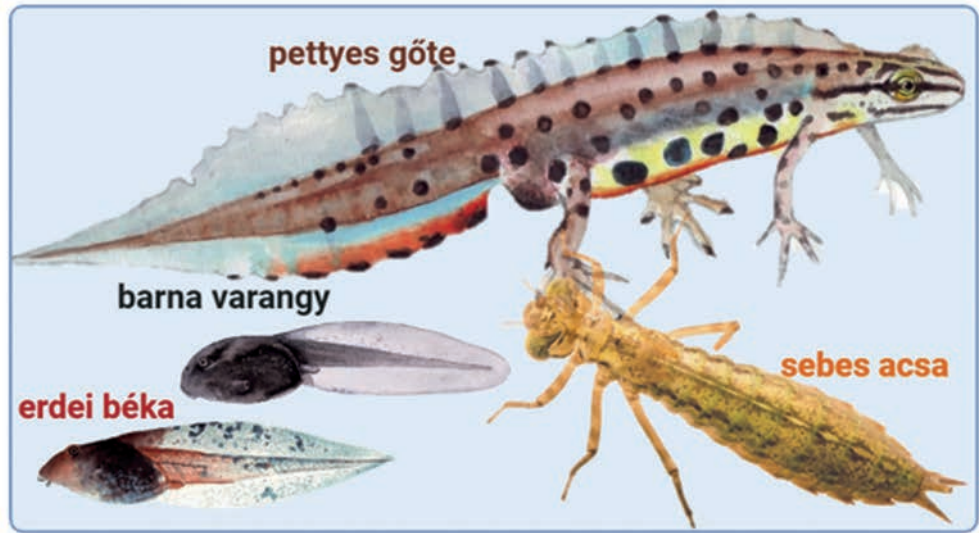
Évente több millió tonna mezőgazdasági növényvédőszer kerül kijuttatásra világszerte, amelyből jelentős mennyiség kerülhet ki az agrárterületekről az eső, a szél vagy a nem megfelelő alkalmazás miatt, veszélyeztetve a mezőgazdasági területek környezetében élő élőlényeket is. A különféle peszticidek és bomlás-termékeik ugyanis a legtöbb esetben nemcsak az irtani kívánt kártevő fajok, hanem a nem-célszervezetek esetében is károsíthatják az egyedeket és ezáltal a természetes populációkat. Ezek a nem kívánatos mellékhatások megnyilvánulhatnak többek között hormonális, ideg- vagy immunrendszeri károsodásban, fejlődési rendellenességekben, melyek csökkenthetik a szaporodási sikert és a túlélési esélyt. Ezeket a hatásokat egyrészt felerősíthetik a környezetet érő egyéb terhelések (például klímaváltozás), másrészt a táplálékláncan keresztül halmozódhatnak az ökoszisztémákban, így a kémiai növényvédelemnek komoly ökológiai következményei lehetnek. Az ökotoxikológiai kutatások fontos feladata ezeknek a mellékhatásoknak a feltárása, ezáltal elősegítve a biztonságosabb peszticid készítmények fejlesztését.

A glifozát hatóanyagú gyomirtó szerek a legnagyobb mennyiségben alkalmazott herbicidek közé tartoznak világszerte, emiatt a glifozát egyike a három leggyakrabban kimutatott emberi eredetű kémikáliának az édesvízi ökoszisztémákban. A glifozátot tartalmazó készítmények széles hatásspektrumú gyomirtók, melyek általában két fő komponensből állnak: a glifozátból, mint hatóanyagból, és valamilyen felületaktív adalékanyagból, amely segíti a hatóanyag bekerülését a növénybe. Az egyik leggyakrabban alkalmazott felületaktív anyag a polietoxilált faggyúamin, melyet a szakirodalom az angol elnevezésből rövidítve POEA-nak nevez. Bár a glifozátot potenciálisan rákkeltőnek minősítette az Egészség-

ügyi Világszervezet (WHO), az Európai Vegyianyag-ügynökség (ECHA) 2022-ben végzett felülvizsgálata szerint nem indokolt a glifozát betiltása. Ugyanakkor arra is felhívta a figyelmet, hogy a rendelkezésre álló adatok alapján nem lehet egyértelmű következtetéseket levonni a glifozát biológiai sokféleségre gyakorolt hatásairól. Ebben a fejezetben azokat a vizsgálatokat mutatjuk be, amelyeket kutatócsoportunk ezen a hiányosan feltárt tudományterületen végzett el az elmúlt évtized során.

Kísérleteinkben egy POEA-tartalmú glifozátalapú gyomirtó, a Glyphogan Classic hatásait vizsgáltuk vízi szervezeteken. A vizes élőhelyek és azok életközösségei különösen veszélyeztetettek, mivel egyrészt számos úton (köztük eső- és talajvízzel) szennyeződhetnek peszticidekkel, másrészt a klímaváltozás révén a kémiai terhelés hatásai jelentősen felerősödhetnek a vizek melegevé vagy kiszáradása által. Fő kutatási alanyaink a kétéltűek, amely jelenleg a kihalással leginkább fenyegetett csoport a gerinces állatokon belül, azonban hosszú ideig alulreprezentáltak maradtak a szennyező anyagokkal kapcsolatos ökotoxikológiai vizsgálatok terén. A kétéltűek fontos „építőelemei” az ökoszisztémáknak, mivel mind a jellemzően vízi életmódot folytató lárvák, mind a főleg szárazföldön élő átalakult egyedek számos más faj számára jelentenek zsákmányt vagy ragadozót. Ökotoxikológiai vizsgálatainkban két hazai békafaj, az erdei béka (*Rana dalmatina*) és a barna varangy (*Bufo bufo*) ebihalait, valamint azok két jellegzetes ragadozóját, a sebes acsa (*Aeshna cyanea*) lárváit és a pettyes gőte (*Lissotriton vulgaris*) kifejlett egyedeit tanulmányoztuk (1. ábra).

A kísérletekhez természetes élőhelyekről gyűjtöttük be a ragadozókat, valamint frissen lerakott petéket, melyekből laboratóriumban vagy mezo-



1. ábra: A fejezetben bemutatott kísérletekben vizsgált fajok és tartási körülményeik. A grafikát a BioRender.com és Bombay Bálint festményeinek felhasználásával Ujhegyi Nikolett készítette.

kozmoszokban neveltünk fel ebihalakat (1. ábra). A laboratóriumi tartás pontosan szabályozott körülményeket biztosít, beleértve az alkalmazott peszticid koncentrációkat, az állatok által tapasztalt hőmérsékletet, és bármilyen egyéb olyan tényezőt, amely befolyásolhatja a kísérlet eredményét. Azonban a laboratóriumi körülmények jelentősen különböznek a természetes környezettől, ezért az így kapott eredményeknek korlátozott az ökológiai relevanciája. Az ún. mezokozmosz vizsgálatok kevésbé szigorúan szabályozott, de természetesebb körülményeket biztosítanak a laboratóriumi tartáshoz képest, mivel ilyenkor mesterségesen hozunk létre kültéri, önfenntartó, kis életközösségeket. Az általunk végzett mezokozmosz kísérletekben például olyan, vízzel feltöltött kádakat használtunk, melyekbe szárított bükkleveleket és mikroorganizmusokat, fitoplankton és zooplankton tartalmazó természetes tóvizet adagoltunk. A perifiton (algabevonat) növekedését mocsárcsigák (*Lymnaea stagnalis*) vagy a kísérleti ebihalak tartották kordában. Kísérleteink egy részét mindkét féle tartási módszerrel elvégeztük. Vizsgáltuk mind az akut (24–96 óráig tartó), mind a krónikus (hosszabb ideig tartó) kitettség hatásait, olyan koncentrációkat alkalmazva, amelyek a természetes vizekben világszerte előfordulnak (0,009–8 mg glifozát literenként).

Eredményeink szerint az ebihalak ragadozói messzemenően ellenállónak bizonyultak a vizsgált gyomirtó készítménnyel szemben. Annak ellenére, hogy a természetben mért glifozát koncentrációk egyik legmagasabb értékét használtuk (6,5 mg/l), sem a sebes acsa lárvánál, sem a felnőtt pettyes gőtéknél nem találtunk jelentős hatásokat sem a túlélés, sem a testtömeg, sem pedig a zsákmányolási viselkedés tekintetében. Ez összhangban áll korábbi vizsgálatok eredményeivel, és arra enged következtetni, hogy az általunk vizsgált két ragadozó a gyomirtóval szennyezett vízben is képes betölteni ökológiai szerepét.

Ezzel szemben az erdei béka és barna varangy ebihalak esetében már alacsonyabb (≥ 2 mg/l) glifozát koncentrációk mellett is tapasztaltunk meg-növekedett mortalitást számos kísérletben. Ered-

ményeink azt mutatják, hogy a gyomirtó két vizsgált komponense közül a felületaktív adalék, a POEA az, amelyik elsősorban felelős a készítmény káros hatásaiért. Önmagában a glifozát hatóanyag még viszonylag magas (4 mg/l) koncentrációban sem csökkentette az ebihalak túlélését és növekedését, míg a teljes gyomirtó készítmény már feleekkora glifozát koncentrációval is növelte a mortalitást és csökkentette a testtömeget, és ehhez hasonló volt önmagában a POEA hatása is. Ugyan 2016 végén a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (NÉBIH) visszavonta a POEA-t tartalmazó glifozát készítmények engedélyét, a gyakorlati növényvédelemben továbbra is érdemes lenne előnyben részesíteni az olyan gyomirtó készítményeket, melyek nem ehhez a felületaktív anyaghoz hasonló szerkezetű összetevőt tartalmaznak.

Azt is kimutattuk, hogy a gyomirtó hatása korfüggő: a fiatalabb barna varangy ebihalak érzékenyebbek voltak a vizsgált gyomirtóra, mint idősebb társaik, mind a túlélés, mind a növekedés tekintetében. Továbbá azok az ebihalak, amelyek a lárvális fejlődésük nagy részében ki voltak téve a gyomirtónak, lassabban növekedtek, mint azok, amelyek csak a fejlődés korai szakaszában lettek kezelve. Ezek az eredmények egyrészt arra hívják fel a figyelmet, hogy az ökotoxikológiai kísérletekben használt állatok korának figyelembevétele elengedhetetlen, hiszen nagymértékben befolyásolhatja az eredményeket. Másrészt a gyakorlati növényvédelem számára fontos üzenet, hogy a kételtűek védelme szempontjából kedvező lenne, ha a gyomirtók kijuttatása az ebihalfejlődés kezdeti stádiumai után történne, hiszen úgy az ebihalak nemcsak rövidebb ideig lennének kitéve a szer káros hatásainak, de a kezdeti érzékeny időszakban sem találkoznának a peszticiddel.

Több eredményünk utal arra is, hogy a glifozát-tartalmú gyomirtó befolyásolja az ebihalak védekezését a ragadozókkal szemben. Erdei béka ebihalaknál ennek a védekezésnek két fontos eleme a viselkedés (aktivitás, rejtőzködés) és a testalak módosulása (nagyobb farokvitorla a testhosszhoz képest). Ezekre a tulajdonságokra a vizsgált készítmény mind laboratóriumi, mind mezokozmosz körü-

mények között hatással volt, és a hatások egy része hasonlított ahhoz, amelyet a ragadozók jelenléte vált ki. A barna varangyok a ragadozókat elriasztó mérgeanyagokat termelnek már lárvakorban is, és kísérleteinkben azt tapasztaltuk, hogy a mérge-termelés fokozódik a glifozáttartalmú gyomirtó hatására. Ezek a változások akár előnyösek is lehetnek az ebihalak számára a ragadozók elkerülésében, azonban az ezekkel együtt járó élettani költségek miatt nemigen ellensúlyozhatják a lelassult fejlődés és megnövekedett mortalitás állománycsökkentő hatásait.

Ebihalakkal végzett vizsgálatsorozatunk arra is rávilágított, hogy az ökotoxikológiai kísérletek eltérő eredményeket adhatnak attól függően, hogy melyik faj a vizsgálat alanya, és milyen módszert (kísérleti elrendezést, vizsgálati környezetet) használunk. A laboratóriumi és a mezokozmosz körülmények között számos esetben kaptuk eltérő eredményeket, például a gyomirtó ellentétes irányú hatást fejtett ki az ebihalak testtömegére, fejlődési sebességére és testalakjára a kétféle vizsgálati környezetben, továbbá a kültéri mezokozmoszokban a gyomirtó jóval kevésbé növelte a mortalitást, mint a laboratóriumban. Ráadásul egy adott vizsgálati környezeten belül is variálhatnak az eredmények. Így például az LC_{50} érték (az a koncentráció, amelyen a kísérleti populáció 50%-a elpusztul) meghatározását célzó, kétszer elvégzett vizsgálataink egymástól jelentő-

sen különböző eredményeket adtak erdei békánál annak ellenére, hogy a kísérleti körülmények szinte azonosak voltak, míg barna varangy esetében a kapott LC_{50} értékek egymáshoz hasonlóak voltak a kísérleti körülmények jelentős különbsége ellenére is. Tehát a szigorú standardizálás nem mindig vezet pontosabb eredményekhez, ezért fontos lenne az ökotoxikológiai vizsgálatok változatos kísérleti körülmények között történő megisméltése. Ahhoz, hogy általánosítható módon ismerhessük meg a peszticidhasználat környezeti kockázatait, minél több (nem-célszervezet) faj minél többféle, ökológiailag releváns feltételek melletti vizsgálatára van szükség.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők munkáját a Magyar Tudományos Akadémia Lendület Programja (LP2012-24/2012) és Bolyai János Kutatási Ösztöndíja, valamint a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (K-135016, K-124375, PD-134241, PD-142654) és az Innovációs és Technológiai Minisztérium Új Nemzeti Kiválóság Programja (ÚNKP-22-4 és ÚNKP-22-5) támogatta. A fejezetben bemutatott kutatások az ATK NÖVI Evolúciós Ökológiai Osztály (korábban Lendület Evolúciós Ökológiai Kutatócsoport) munkatársainak és hallgatóinak segítségével valósultak meg.

IRODALOM

- Bókony, V., Mikó, Z., Móricz, Á. M., Krüzselyi, D. & Hettyey, A. (2017): Chronic exposure to a glyphosate-based herbicide makes toad larvae more toxic. *Proceedings of the Royal Society B – Biological Sciences*, 284: 20170493.
- Mikó, Z. (2019): Egy glifozátalapú gyomirtó ökotoxikológiai hatásai kétél-tűlárvaakra és ragadozóikra. Doktori értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest.
- Mikó, Z. & Hettyey, A. (2023): Toxicity of POEA-containing glyphosate-based herbicides to amphibians is mainly due to the surfactant, not to the active ingredient. *Ecotoxicology*, 32: 150–159.

A KÉMIAI NÖVÉNYVÉDELEM EGY MEGLEPŐ KOCKÁZATA: FIÚKBÓL LÁNYOK, LÁNYOKBÓL FIÚK?

Bókony Veronika, Ujhegyi Nikolett és Mikó Zsanett

A biztonságos és fenntartható mezőgazdaság egyik alappillére a növényvédő szerek használatával kapcsolatos kockázatok csökkentése. Ennek érdekében az ökotoxikológiai kutatások hangsúlyos irányvonalát képezik azok a vizsgálatok, amelyekben a növényvédő szerek környezeti kockázatait tanulmányozzuk vadon élő állatokra gyakorolt hatásaik elemzésével. A növényvédelem korszerűsödésével a peszticidek használatához köthető, tömeges elhullásokat okozó környezetszennyezési események megritkultak, azonban a mezőgazdasági kemikáliák és bomlástermékeik alacsony koncentrációban továbbra is jelen vannak a természetben. Ennek oka részben az, hogy a korábban nagyobb mennyiségben használt és mára akár már be is tiltott peszticidek rendkívül hosszú ideig is képesek megmaradni a környezetben, másrészt az, hogy a rendszeres kémiai védekezés a leggondosabb kivitelezés mellett is juttat peszticid maradványokat a mezőgazdasági területeken kívülre is. Ezek az alacsony koncentrációk számos olyan, ún. szubletális elváltozást okozhatnak, amelyek közvetlenül nem növelik a mortalitást, azonban közvetett hatásaik révén, például az immunrendszer legyengítésével vagy a táplálékszerzési képesség csökkentése által ronthatják az egyedek túlélési esélyét. Az olyan vegyületeket, amelyek a hormonrendszer működésének befolyásolásán keresztül fejlődési rendellenességeket, élettani vagy szaporodási zavarokat idéznek elő, endokrin diszruptor kemikáliáknak nevezik. A mezőgazdasági növényvédő szerek között számos olyan anyag található, amelyek bizonyítottan vagy gyaníthatóan endokrin diszruptor hatásúak – hírhedt példája ennek a DDT, melyet hazánkban tiltottak be a világon először. Az endokrin diszruptor hatások akár a populációk jelentős megfigyeltetéséhez is vezethetnek, mint ahogyan a DDT

a tojánhéj elvékonyodása révén csökkentette számos ragadozómadár állományainak méretét.

Az endokrin diszruptor hatások egyik különleges esete, amikor az egyedfejlődés kezdetén az ivarszervek kialakulása szenved zavart. Míg az emlősök és madarak embrióit az anyaméh vagy a szülők által melegen tartott, meszes héjú tojás védi, a változó testhőmérsékletű állatfajok (például kétéltűek és halak) utódai általában a környezeti körülményeknek közvetlenül kitéve fejlődnek. Az ilyen fajknál a környezeti stresszhatások, köztük a szennyező vegyszerek is, könnyebben indíthatnak el olyan folyamatokat az embriók vagy lárvák hormonháztartásában, amelyek „eltérítik” az ivari fejlődést. Kialakulhatnak ún. interszex egyedek, amelyekben mind női, mind hímivarú szövetek egyszerre vannak jelen, de akár ivarváltás is történhet. Ivarváltás esetén az egyed fenotípusos ivara (tehát hogy herékkel vagy petefészkekkel, és azoknak megfelelő másodlagos nemi bélyegekkkel rendelkezik-e) eltér a genotípusa által előírt ivarától. Az erdei békákra (*Rana dalmatina*) például az emberhez hasonlóan XX/XY kromoszóma rendszer jellemző: XX genotípus esetén nőtény, XY esetén hím fejlődik ki. Ha azonban környezeti behatásokra ivarváltáson esik át az egyed, akkor XX hímek (maszkulinizáció) vagy XY nőtények (feminizáció) jöhetnek létre. Az ivart váltott állatok szaporodási sikerességéről, felnőttkori túléléséről még nagyon keveset tudunk, az azonban bizonyos, hogy az ivarváltás miatt a természetes populációk ivararánya kiegyensúlyozatlanná válhat, ami hosszabb távon az adott populáció kihalását is okozhatja. Ezért a peszticid-ökotoxikológiai kutatásokban is fontos vizsgálni az ivararány változásait és az ivarváltást, mint lehetséges szubletális hatásokat. A korábbi vizsgálatokban szinte kizárólag az

ivararányok méréséből próbálták az ivarváltásra következtetni, mert az ivarváltás detektálásának jelentős nehézsége, hogy a genetikai ivar megállapításához minden fajra vagy fajcsoportra specifikus molekuláris módszereket kell kidolgozni. Mivel azonban az ivararány eltolódhat nemcsak ivarváltás, hanem az egyik ivar nagyobb mértékű mortalitása miatt is, ezért a környezeti kockázatok és azok mechanizmusainak megértéséhez szükség lenne minél több faj esetében vizsgálni a növényvédő szerek ivarváltásra gyakorolt hatásait is.

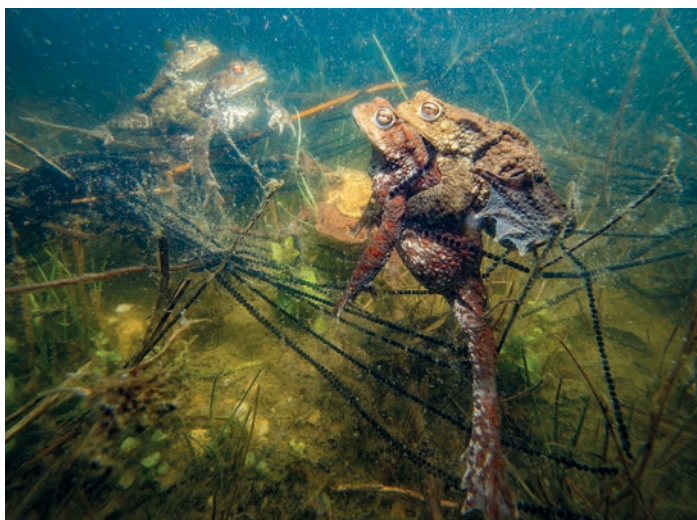
Kutatócsoportunk ennek a fontos, de rendkívül alulkutatott kérdéskörnek a vizsgálatához két hazai kétéltűfajra is kifejlesztett egyszerűen és megbízhatóan alkalmazható, DNS-alapú ivarmeghatározási módszert (genetikai markerkészletet). A kétéltűek áteresztő bőriük, valamint vízi és szárazföldi életszakaszt egyaránt tartalmazó életciklusuk miatt kiváló indikátor szervezetek az ökotoxikológiai vizsgálatokhoz. Ráadásul állományaik világszerte fogatkoznak, így védelmük érdekében is fontos vizsgálni érzékenységüket a kémiai környezet-szennyezésre, beleértve azt is, hogy milyen hatások veszélyeztetik őket ivarváltással. Két olyan békafajt (1–2. ábra) választottunk, amelyek védettek ugyan, de hazánkban még gyakoriak: az erdei békát és a barna varangyot (*Bufo bufo*). Utóbbi fajban a genetikai ivarmeghatározási rendszer ZZ/ZW típusú, tehát a nőstények rendelkeznek két különböző (Z és W) ivari kromoszómával, míg a hímek ZZ genotípusúak.

Saját fejlesztésű markereinkkel mindkét fajban tanulmányoztuk az ivarváltás előfordulását



1. ábra: Erdei békapár a víz alatt (Ujvári Zsolt felvétele)

gyakoriságát Budapest, Pest és Komárom-Esztergom megye vizes élőhelyein, a kétéltűek által kedvelt kisméretű állóvizekben. Az erdei békáknál azt találtuk, hogy a megvizsgált 162 felnőtt állat közül a fenotípusos hímek 20%-a genetikailag nőstény volt, és minél nagyobb területen zajlott mezőgazdálkodás a vizsgált víztest körül, annál nagyobb gyakorisággal fordultak elő maszkulinizált egyedek. Ugyanakkor a barna varangyoknál 349 megvizsgált felnőtt közül mindössze egyetlen egyed volt ivarváltott: egy mező-



2. ábra: Barna varangy párok peterakás közben (Ujvári Zsolt felvétele)

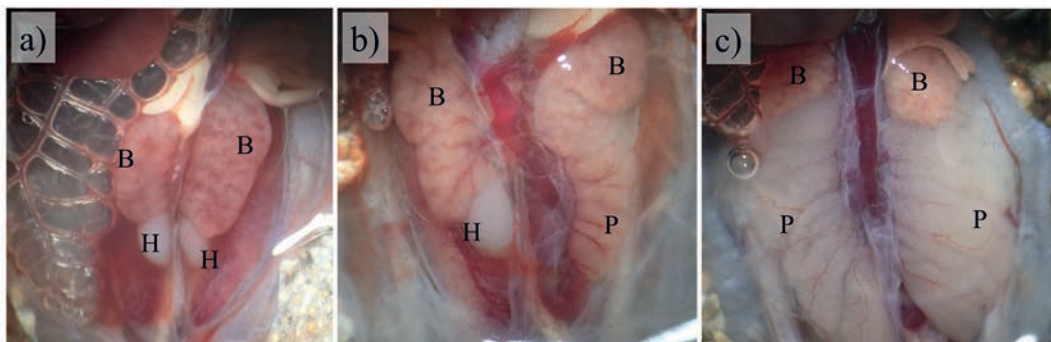
gazdasági területen gyűjtött fenotípusos hím genetikailag nősténynek bizonyult. Feminizált egyedeket egyik faj esetében sem találtunk. A két faj különbözősége meglepő, mivel populációikat nagyrészt ugyanazokon az élőhelyeken vizsgáltuk, és időben is átfed a szaporodási időszakuk: ebihalaik kora tavasztól kora nyárig fejlődnek a vizekben, így a fenotípusos ivaruk is ekkor dől el. Ebben az időszakban a felszíni vizek számos forrásból, köztük mezőgazdasági peszticidhasználatból és kémiai szünyoggyérítésből is szennyeződhetnek endokrin diszruptor kemikáliákkal. A vizsgálatunkba bevont vizes élőhelyeken víz- és üledékmintákat is gyűjtöttünk, melyek kémiai elemzéséből kiderült, hogy ezek a vizek viszonylag kevés peszticidet és peszticidszármazékot, azonban nagy számú egyéb szennyező vegyületet tartalmaznak. Az engedélyezett peszticid hatóanyagok közül a terbutilazint egy tóban mutattuk ki, míg a glifozát mindegyik tóban jelen volt. Ugyanakkor a korábban már betiltott, lassan lebomló hatóanyagok közül többet is észleltünk mind a tavak vizeiben, mind azok üledékében: a terbutrint, a dikofolt, a dieldrint, az aldrint, valamint a DDT bomlástermékeit. Leginkább azokban a tavakban fordultak elő peszticid maradványok, amelyek mezőgazdasági területekhez közel találhatóak, átlagosan $6,9 \mu\text{g/l}$ (víz) – $15,5 \mu\text{g/kg}$ (üledék) koncentrációban.

Annak kiderítésére, hogy a fenti eredményekért milyen mértékben lehetnek felelősek a kémiai szennyezések, ökotoxikológiai kísérleteket végeztünk. Frissen lerakott petéket gyűjtöttünk be szabadföldről, és ebihalakat neveltünk belőlük az előző fejezetben bemutatott módszerekkel laboratóriumban vagy kültéri mezokozmoszokban. Az ebihalak tartóvizét a lárvális fejlődés teljes időtartama alatt a következő peszticidek egyikével kezeltük: glifozát hatóanyagú gyomirtó készítmény (Glyphogan Classic), terbutilazin (gyomirtó hatóanyag), klórpifosz, deltametrin és etofenprox (rovarölő hatóanyagok). Minden esetben ökológiailag releváns koncentrációk hatásait vizsgáltuk, tehát az adott vegyületek hasonló mennyiségben voltak jelen a tartóvízben, mint a természetes felszíni vizekben. Általában két kezelést alkalmaztunk vegyületenként: az egyik a természetes

vizekben mért koncentrációk átlagához vagy mediánjához esett közel, a másik a természetes vizekben mért legmagasabb koncentrációk tartományában volt. Az állatok átalakulása után néhány hónappal az addigra kialakult ivarmirigyek (herék vagy petefészkek) alapján meghatároztuk a fenotípusos ivarukat, és a kísérletek egy részében a genetikai ivarukat is megállapítottuk DNS markereink segítségével.

A terbutilazin és a klórpifosz egyik fajban sem okozott érdemi eltolódást a fenotípusos ivararányban, és az erdei békáknál ivarváltást sem (a barna varangyok esetében a genetikai ivarmeghatározást nem végeztük el). Ez az eredmény váratlan volt amatt, hogy mind a klórpifoszról, mind a terbutilazinnal rokon atrazinról több korábbi vizsgálat azt mutatta, hogy nőstény-túlsúlyos ivararányt, illetve interszex egyedek (petesejteket is tartalmazó herék) kialakulását okozza – azonban ezek a korábbi vizsgálatok jellemzően nem ökológiailag releváns koncentrációkat használtak. Hasonló feminizáló hatásra utal a szakirodalom a glifozát esetében, amit részben alá is támasztottak a barna varangyokkal végzett kísérletünk eredményei. A magasabb glifozát koncentrációjú (3 mg/l) Glyphogan Classic kezelést túlélő 11 állatból majdnem kétszer annyi egyednek volt petefészke, mint ahánynak heréi, ami utalhat ivarváltásra, vagy a hímek nagyobb arányú mortalitására. Az alacsonyabb koncentrációval ($3 \mu\text{g/l}$) kezelt állatok ivararánya nem tolódott el érdemben az 1:1-től, ugyanakkor 3 állatnál találtunk interszex ivarszerveket (3. ábra). Halakon végzett ökotoxikológiai kísérletek eredménye alapján a piretroid hatóanyagok esetében is potenciálisan feminizáló hatás várható, azonban erdei békáknál sem a deltametrin, sem az etofenprox kezeléseink nem befolyásolták jelentős mértékben a fenotípusos ivararányt.

Mindezek alapján elmondható, hogy mind az erdei békák, mind a barna varangyok ivari fejlődése meglehetősen ellenálló számos növényvédő szer endokrin diszruptor hatásaival szemben, amennyiben azok a természetes vizekben előforduló koncentrációk tartományában vannak jelen a lárvakori környezetben. Ezért az erdei béka szabadföldi populációiban megfigyelt ivarváltások más stresszhatásoknak



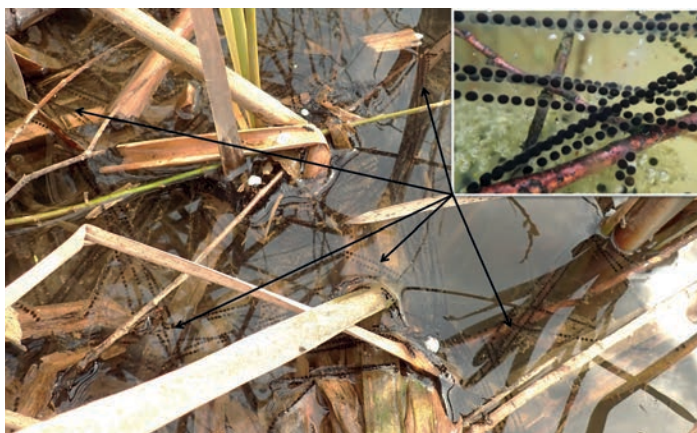
3. ábra: *Fiatal barna varangyok ivarmirigyei: herék (H) és petefészkek (P), valamint az ismeretlen funkciójú Bidder-szervek (B). A hímek (a) és nőstények (c) mellett előfordulnak interszex egyedek is (b)*

tudhatók be, például az ember által átalakított területeken gyakoribb hőhullámoknak, mivel ennek a fajnak viszonylag alacsony a hőtűrése, és kísérletes eredményeink alátámasztják, hogy hőség hatására maszkulinizációra hajlamos. A két faj látványosan különböző ivarváltási gyakorisága a szabadföldi populációkban arra utal, hogy eltérő érzékenységgel reagálnak az endokrin diszruptor hatásokra – ennek oka talán az ivari kromoszóma rendszer különbségében keresendő, azonban ennek megállapítása további vizsgálatokat igényel.

Kutatási eredményeink egyik legfontosabb üzenete, hogy bár a növényvédők szereknek vannak potenciálisan káros szubletális hatásai a vadon élő állatokra, ezek nem jellemzőek a természetes vizekben gyakran előforduló koncentrációk mellett, és inkább csak a legrosszabb esetekben, ritkán előforduló legmagasabb koncentrációk hatására jelentkeznek. Ezért különösen fontos, hogy ezeket a toxikus mértékű szennyezéseket elkerüljük, így az al-



4. ábra: Az erdei béka a vízfelszínhez közeli növényi részekhez rögzíti petecsomóját. A peterakás február végétől április közepéig tart, az ebihalak jellemzően május végéig vagy június közepéig fejlődnek a vízben



5. ábra: A barna varangyok gyakran nagy tömegekben, többnyire március végén vagy április első felében rakják a vízbe petezsinórjaikat, a vízfelszínhez közeli növényi részekhez rögzítve

kalmazási és biztonsági előírások betartásával, csak a szükséges növényvédő szer adag használatával a vízi élővilág megóvható lehet a peszticidek káros hatásaitól. Kisebbségi léptékű alkalmazás esetén érdemes figyelni arra, hogy a kezelendő területeken vannak-e kételtűeknek otthont adó víztestek, és azokban éppen fejlődő peték vagy fokozottan érzékeny, fiatal ebihalak, melyek könnyen felismerhetőek (4–6. ábra). Védelmükkel az ökoszisztémák fontos láncszemeit óvjuk, amelyek szárazföldi életfázisukban hatékony „biológiai rovarirtóként” is hasznunkra lehetnek.



6. ábra: A barna varangy ebihalak gyakran nagy egyedszámú rajokban tömörülve, fekete „felhőként” láthatóak a vízben, jellemzően április végétől június végéig (Tóth Zsófia és Ujhegyi Nikolett felvételei)

Köszönetnyilvánítás

A szerzők munkáját a Magyar Tudományos Akadémia Lendület Programja (LP2012-24/2012) és Bolyai János Kutatási Ösztöndíja, valamint a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal

(K-115402, K-135016, K-124375, PD-134241) és az Innovációs és Technológiai Minisztérium Új Nemzeti Kiválóság Programja (ÚNKP-20-5, ÚNKP-2021-5, ÚNKP-22-5) támogatta. A fejezetben bemutatott kutatások az egykori Lendület Evolúciós Ökológiai Kutatócsoport munkatársainak és hallgatóinak segítségével valósultak meg.

IRODALOM

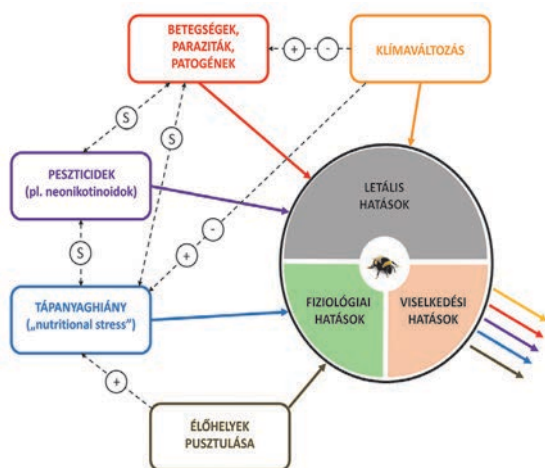
- Bókony, V., Verebélyi, V., Ujhegyi, N., Mikó, Zs., Nemesházi, E., Szederkényi, M., Orf, S., Vitányi, E. & Móricz, Á.M. (2020): Effects of two little-studied environmental pollutants on early development in anurans. *Environmental Pollution*, 260: 114078.
- Nemesházi, E., Gál, Z., Ujhegyi, N., Verebélyi, V., Mikó, Zs., Üveges, B., Lefler, K.K., Jeffries, D.L., Hoffmann, O.I. & Bókony, V. (2020): Novel genetic sex markers reveal high frequency of sex reversal in wild populations of the agile frog (*Rana dalmatina*) associated with anthropogenic land use. *Molecular Ecology*, 29: 3607–3621.
- Nemesházi, E., Sramkó, G., Laczkó, L., Balogh, E., Szatmári, L., Vili, N., Ujhegyi, N., Üveges, B. & Bókony, V. (2022): Novel genetic sex markers reveal unexpected lack of, and similar susceptibility to, sex reversal in free-living common toads in both natural and anthropogenic habitats. *Molecular Ecology* 31: 2032-2043.

KÉMIAI KOMMUNIKÁCIÓ ÉS NÖVÉNYVÉDŐ SZEREK SZUBLETÁLIS HATÁSAINAK VIZSGÁLATA FÖLDI POSZMÉHEKEN (*BOMBUS TERRESTRIS*)

Kárpáti Zsolt és Tóth Zoltán

A beporzók létfontosságú ökoszisztéma-szolgáltatásokat nyújtanak azáltal, hogy fenntartják a növények sokféleségét a természetes élőhelyeken és hozzájárulnak a mezőgazdasági termeléshez. Az *Apoidea* öregcsaládba tartozó méhfajok, melyek közül a háziméh (*Apis mellifera*) és a poszméhek (a *Bombus* nem tagjai) a legismertebbek, gazdaságilag a legfontosabb és legdominánsabb beporzó rovarok szinte minden földrajzi régióban, és a világ 107 vezető terménytípusának több mint 90%-át látogatják. Az elmúlt évtizedekben a beporzók populációinak egyedszáma azonban világszerte csökken olyan antropogén eredetű tényezők hatására, amelyek külön-külön vagy együttesen, egymást felerősítve a beporzók pusztulását és lokális kihalásokat okoznak (1. ábra).

A poszméhek a mérsékelt és sarkvidéki éghajlati övezetekben a vadvirágok, zöldségek és gyümölcsök fontos beporzói, és különösen érzékenyek a különböző stresszorok által kifejtett szubletális hatásokra. Sok fajra jellemző az éves életciklus és a kisméretű kolóniák, így a táplálkozási hatékonyságuk bármilyen okból bekövetkező csökkenése közvetlenül befolyásolja a kolóniák növekedését, illetve közvetve csökkentheti az áttelelő királynők számát és kondícióját. Ez utóbbi káros következmények pedig akadályozhatják a kolóniák sikeres alapítását tavasszal, a kevesebb kolónia miatt pedig csökkenhet a poszméhek által nyújtott beporzási szolgáltatás is. Mivel a természetes poszméhpopulációk változásának jelenlegi tendenciái számos agroökoszisztémában veszélyeztetik a beporzás fenntarthatóságát, elengedhetetlen azoknak a folyamatoknak a feltárása, amelyeken keresztül a különböző stresszorok negatívan befolyásolhatják a poszméhek egyedfejlődésének, illetve a kolóniák működésének különböző aspektusait.



1. ábra: A poszméhpopulációk csökkenésében szerepet játszó fő környezeti tényezők kölcsönhatásai. Valamennyi potenciális stresszor halálos és szubletális (azaz fiziológiai vagy viselkedési) hatást fejthet ki az egyes egyedekre, amellyel hozzájárulhat a kolóniák szaporodási sikerének csökkenéséhez. Az egyes tényezők hatásai összeadódhatnak (+), illetve gyengíthetik (-) vagy felerősíthetik egymást (S)

Kémiai kommunikáció

A poszméhek kémiai jelekkel történő kommunikációjának fontos szerepe van mind a fajtársak, mind a különböző fajok közti kommunikációban. Az elmúlt 30 évben a kémiai ökológiában alkalmazott új és érzékenyebb módszereknek köszönhetően jelentősen bővült az ismeretünk a poszméhek szaporodását és táplálkozását szabályozó kémiai

jelekről. A poszméhek esetében számos tanulmány a kolóniákon belüli kommunikációra összpontosított, ideértve azokat a mechanizmusokat, amelyek szabályozzák és elindítják az új hímek és királynők generációjának kialakulását.

A poszméheken belül a földi poszméh (*Bombus terrestris*) a kémiai kommunikáció szempontjából a leginkább tanulmányozott faj. A faj több, mint 500 különböző vegyületet termel, ideértve a szénhidrogéneket, észtereket, alkoholokat, ketonokat és zsírsavakat, melyek mind szerepet játszhatnak a kémiai kommunikációban. Igazolták, hogy a dolgozók olyan szénhidrogéneket termelnek melyeket útvonaljelölő feromonként használnak a fészek és az élelemforrás megtalálásához. Ezen felül sikerült olyan, a hímek által termelt jelölő feromonokat azonosítani, melyekkel az egyes tereptárgyakat megjelölve vonzzák a fajtárs, szűz királynőket. A hímek ajakmirigyéből számos terpént, alkoholt és észtert azonosítottak, melyek szintén szerepet játszhatnak a faj kémiai kommunikációjában. Ezek közül néhány vegyületre a királynő csápja fiziológiai aktivitást mutatott, azonban az egyes összetevők vagy keverékek viselkedésbeli hatását még nem sikerült bebizonyítani.

Az irodalmi adatok alapján a szűz királynők is termelhetnek egy ún. szexferomont, amely valószínűleg a királynő mandibuláris mirigyében termelődik és eloszlik a kutikulán. Azonban más epidermális mirigyek is termelhetnek olyan összetevőket, amelyek a szexferomon keverék összetételéhez hozzájárulnak. Csak egy tanulmány bizonyította, hogy a királynő kutikulájáról vagy fejéből származó kivonatban lévő komponensek a hímek csápján aktivitást mutatnak. Azonban ezeknek a komponenseknek a szintetikus elegye nem váltott ki viselkedési hatást a fajtárs hímek esetében. Ezen a tanulmányon kívül kevés információ áll rendelkezésre a földi poszméh fajon belüli kémiai kommunikációjával kapcsolatban.

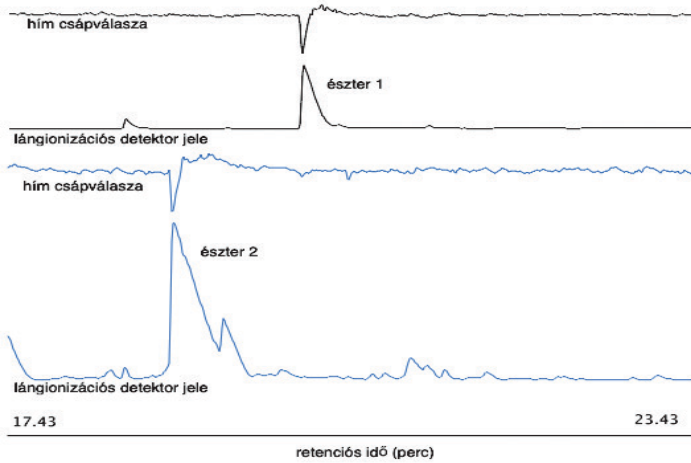
A feromonokon kívül, de a kémiai kommunikációnál maradva, kalciumképalkotás segítségével kimutatták, hogy a földi poszméh agyában lévő, a szaglőlebenyben elhelyezkedő glomerulusok virágokból származó illatanyagokra válaszolnak. Ezen kívül sikerült a földi poszméh csápján különböző

típusú érzékszőrőket azonosítani, melyek összefüggésben lehetnek a feromonok felfogásával, de fiziológiai méréseket ezzel kapcsolatban nem végeztek. A nemzetközi irodalmi háttér alapján még mindig sok részlet hiányzik a földi poszméh kémiai kommunikációjának feltárásával kapcsolatban, ideértve a perifériás és központi fiziológiát, neuroanatómiát és a viselkedési vizsgálatokat.

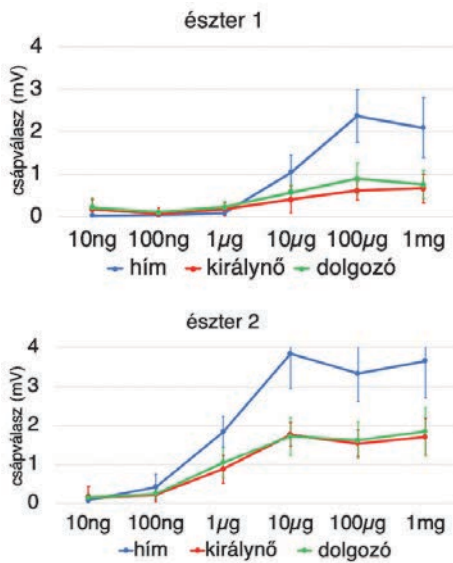
Saját eredmények

Előzetes munkánk során szűz királynők kutikuláris kivonatában lévő poláris és apoláris frakciókat szilárd fázisú extrakciós technika segítségével szétválasztottuk. Gázkromatográffal kapcsolt csápdetektor segítségével sikerült a poláris frakcióból két olyan komponens kiválasztani, amelyek erősebb választ váltottak ki a hím csápján, összehasonlítva a királynők és dolgozók válaszával. Ezzel igazolva, hogy ezeket a komponenseket a hím csája érzékeli, illetve ezek lehetnek azok a kulcsvegyületek, amelyek szerepet játszhatnak a hímek és a királynő fajon belüli, feromonok által közvetített kommunikációjában. A két vegyület kémiai szerkezetazonosítását gázkromatográffal kacsolt tömegspektrométer segítségével végeztük minek eredményeként két észtert azonosítottunk. A szerkezetazonosítás megerősítéséhez a két szintetikus vegyületet gázkromatográffal kapcsolt csápdetektor segítségével visszaellenőriztük. Az eredmények azt mutatják, hogy a hím csápja válaszolt erre a két szintetikus komponensre (2. ábra). Korábban az egyik észtert már mások is azonosították, amely elektrofiziológiai választ váltott ki a hím csápon, ugyanakkor a másik, csápaktív észtert elsőként csak mi tudtuk kimutatni.

További vizsgálatok során csápdetektor segítségével megmértük a két szintetikus észterre adott fiziológiai választ 6 különböző koncentrációban hím, dolgozó és királynő csápján. Megállapítottuk, hogy a hímek csápja érzékenyebben reagál mindkét észterre, összehasonlítva a királynők és a dolgozók csápjával (3. ábra). Ez a megállapítás szintén alátámasztja, hogy ez a két észter szerepet játszhat a fajon belüli feromonkommunikációban.



2. ábra: Hím földi poszméh csápválasza két, királynők kutikulájából azonosított szintetikus észterre gázkromatográfjal kapcsolts csápdetektoros mérés során



3. ábra: Csápdetektoros mérések a két azonosított észterrel 6 különböző koncentrációban hímek, királynők és dolgozók csápján

A párosodott és nem párosodott királynők esetében összehasonlítottuk a két észter termelését. A mérések során azt tapasztaltuk, hogy a párosított királynők nem termelik ezt a két, lehetséges szexferomon komponenst, amiből arra következtetünk, hogy ezt a két vegyületet a királynők csak akkor termelik, amikor a hímeket szeretnék vonzani és párosodni szeretnének.

Következő lépésként szabadföldi és laboratóriumi viselkedési vizsgálatokat fogunk végezni a két lehetséges feromonkomponenssel annak érdekében, hogy bebizonyítsuk ezek vonzó hatását, ugyanakkor nem zárjuk ki annak a lehetőségét sem, hogy a korábban azonosított vegyületek is szerepet játszhatnak a hímek és királynők közötti kémiai kommunikációban.

Acetamidrid

A neonicotinoidok olyan rovarölő hatású neurotoxinok, amelyek sokrétűen felhasználhatók és minden korábban ismert rovarölő szernél hatékonyabbak, így a neonicotinoid hatóanyag tartalmú peszticideket kereskedelmi forgalomba hozataluk után nagy mennyiségben kezdték alkalmazni a mezőgazdasági kártevők széles köre ellen. Az utóbbi két évtizedben azonban egyre több bizonyíték utalt arra, hogy ezek a hatóanyagok csökkentik a háziméhek és poszméhek túlélését és szaporodási teljesítményét, illetve a közvetlen toxikus hatások mellett megváltoztathatják a beporzó rovarok táplálékszerzési viselkedését és kognitív képességeit is. A beporzókra gyakorolt negatív hatásai miatt aggodalom következtében az Európai Bizottság 2013-tól kezdve többször módosította a neonicotinoidok használatának szabályozását, és ennek eredményeképp 2021-től az acetamidrid, egy *N*-cianoamidin neonicotinoid maradt az egyetlen olyan hatóanyag, amely korlátozás nélkül és szabadföldi természetben is használható az Európai Unióban. Jelenlegi tudásunk alapján az acetamidridnek alacsony akut toxicitási szintje van terepi körülmények között, és a hatóanyag gyors metabolizációja miatt gyakorlatilag nem jelent közvetlen veszélyt a beporzókra (bár egy közelmúltbeli jelentős fontos ismeretbeli hiányosságokra mutatott rá a nem-*Apis* fajok e hatóanyagra való érzékenységevel kapcsolatban, illetve tebukonazol tartalmú gombaölő szerrel együtt tankkeverékként alkalmazva kizárólag méhkímélő technológiával juttatható ki). A beporzókra viszonylag ártalmatlan rovarölő hatóanyagként való megítélése

és más neonikotinoid-tartalmú peszticidekhez képest alacsony piaci részesedése ellenére azonban az acetamiprid-tartalmú növényvédő szerek poszméhekre gyakorolt szubletális hatásainak vizsgálata kiemelten fontos. Ennek oka, hogy az elkövetkező években várhatóan tovább emelkedik az acetamiprid-tartalmú növényvédő szerek használata az Európai Unió országaiban, ugyanakkor kérdéses, hogy a hosszú távú kitettség eme hatóanyag növekvő koncentrációinak befolyásolhatják-e a poszméhek táplálkozási viselkedését és beporzási aktivitását, illetve ezek a változások veszélyeztethetik-e a kolóniák fejlődését és a poszméh populációk fennmaradását.

Saját eredmények

Összefoglaló tanulmányunk alapján jelenleg rendkívül korlátozott mennyiségű adat áll rendelkezésünkre az akut és krónikus acetamiprid expozíció poszméhekre gyakorolt letális és szubletális hatásairól: 2021-ig mindössze 9 publikáció született ebben a témában (összehasonlítóképpen háziméheken ugyanezen időszak alatt 43 publikált vizsgálatot végeztek). További probléma, hogy a vizsgálatok nagymértékben eltérnek egymástól a vizsgálat időtartamában, az acetamiprid alkalmazott formájában, illetve a vizsgált faj tekintetében, amely megnehezíti az eredmények közvetlen összehasonlítását és az általános következtetések levonását. Mindazonáltal az eddigi eredmények megerősítették azt a feltevélezt, miszerint az acetamiprid csekély akut és krónikus toxikus hatással van a poszméhekre, függetlenül az alkalmazás (orális vagy kontakt) formájától. Ugyanakkor a kijuttatás után 4–6 nappal a virágokban található szermaradék-koncentrációnak megfelelő dózisoknak való kitettség a vizsgálatok alapján csökkentheti kikelő hímek számát, a kolónia

tagjai által elfogyasztott táplálék mennyiségét, illetve neuromuszkuláris zavarokat is okozhat.

A fenti összefoglaló tanulmány elkészítése után egy előzetes vizsgálat során teszteltük, hogy az acetamiprid alacsony (5 ppb) és magas (2500 ppb) koncentrációjának való, 14 napig tartó kitettsége hogyan befolyásolja a poszméhek táplálkozási viselkedésének különböző aspektusait egy szermentes (kontroll) és egy acetamiprid-tartalmú (kezelt) táplálékfoltnál. Az alacsony koncentrációérték azon a tartományon belül van, amelyben az acetamiprid és maradékai hosszú távon kimutathatók a kezelt növények nektárjában és pollenjében, míg a magas koncentrációérték az acetamiprid-tartalmú peszticidek kijuttatása után 4–6 nappal a virágokban mért szermaradék-koncentrációnak felel meg. Vizsgálatunk során azt találtuk, hogy az állatok nem tettek különbséget a kezelt és kontroll táplálékfoltok között, de a krónikus acetamiprid kitettség hatására a másodikként kiaknázott táplálékfoltnál az első táplálkozásig eltelt idő hosszabb és a táplálkozások száma kevesebb volt az egyéni testtömegtől függően. Ugyanakkor a megfigyelt különbségek az acetamipridnek kitett egyedeknél nem eredményeztek redukált szírupfogyasztást az egy órás táplálkozási teszt során a kontroll állatokhoz képest. A következő lépésben azt vizsgáljuk majd, hogy a megfigyelt kismértékű viselkedésbeli változások összeadódhatnak-e és idővel vezethetnek-e csökkent sikerességhez a poszméh kolóniákban, mint ahogy azt más neonikotinoidok esetében korábbi vizsgálatokkal igazolták.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani a projektben való részvételért Csöppü Gabriellának, Elena Geiger-nek, Jaloveczki Boglárkának, Kovács Zsófiának, Thomas Schmitt-nek és Varga-Szilay Zsófiának.

IRODALOM

- Jaloveczki, B. & Tóth, Z. (2020): Antropogén eredetű környezeti változások hatása a beporzókra, különös tekintettel a neonikotinoid növényvédő szerekre. *Növényvédelem*, 81(5): 214–221.
- Varga-Szilay, Zs. & Tóth, Z. (2022): Is acetamiprid really not that harmful to bumblebees (Apidae: *Bombus* spp.)? *Apidologie*, 53: 2.

MENETKÖZBEN AZ ÁZSIAI MÉHATKA ELLENI BIOLÓGIAI VÉDEKEZÉS KIFEJLESZTÉSÉÉRT FOLYÓ KUTATÁSOKKAL

Szócs Gábor, Teski Anna, Bozsik Gábor és Molnár Béla Péter

Amikor a médiában egy-egy szenzációs, új tudományos felfedezésről tudósítanak, kiváltképpen, ha az eredményt már hasznosítani is lehet a mindennapokban, sikertörténeteket tárnak elénk. Könnyed eleganciával peregnek előttünk a kutatás részletei, és ha itt-ott szó is kerül a buktatókról, a kutatások olykor hosszú és tekervényes menetéről, ezeken gyorsan átsiklik a tudósítás és a már elért eredmények kerülnek reflektorfénybe. Ez persze rendjén is van mindaddig, amíg nem keltik azt a hamis illúziót, hogy a kutatómunka olyan, hogy megkeverem, összerázom, lemérem, és hipp-hopp, már itt is a világraszóló eredmény.

Ebben az írásban egy olyan kutatást mutatunk be röviden, amely Intézetünkben jelenleg is folyamatban van. De, nemcsak intézetünkben. Akkora a téma jelentősége, hogy a világ több országában a méhészeti kutatóintézetekben egész kutatócsoportok próbálnak megoldást találni a problémára. Az ázsiai méhatka (*Varroa destructor*) elleni hatékony és vegyszermentes védekezési módszerek kifejlesztéséről van szó. Az ázsiai méhatka, vagy, ahogy gyakran nevezik, a *Varroa* atka szerte a nagyvilágban, szinte mindenütt, ahol intenzíven méhészkednek jelen van és pusztít. Az atka a méhek fiasításában fejlődik. A méhsejteket csak a kifejlett nőstény egyedek (1. kép) hagyják el, a hímek rövid életük során mindvégig ugyanabban a sejtben maradnak, ahol a petéből kikeltek. Fejlődésük során elpusztítják az álcát, a méhek lárváját, megtizedelve így a fiasítást. A kifejlett nőstények kilovagolnak a méhekre csimpaszkodva, miközben szívogatják a testnedveiket és zsírtesteiket. Arról a méhecskéről, amelyen kivítették magukat a kaptárból, olykor egy virágon le is mászhatnak, hogy aztán egy odavetődött, másik méhcsaládba tartozó méhre másszanak

rá és vitessék be magukat annak a méhcsaládnak a fészkébe. Így terjednek méhcsaládról méhcsaládra. Természetesen kihasználják a méhcsaládok vándoroltatását és ily módon rövid idő alatt nagy távolságra is eljuthatnak. Nem csoda, hogy mára már szinte az egész világon elterjedtek. Hazánkban 1977-ben Pocsajon észlelték először. Nem kellett hozzá sok idő, hogy nálunk is elterjedjen.



1. kép: Ázsiai méhatka nősténye szemből

Atkáról lévén szó, atkaölő szerekkel, ún. akaricidekkel védekezhetünk ellene. Viszont ezen a téren sem egyszerű a helyzet. Gondoljunk csak bele, hogy egy élő, nyüzsgő méhcsalád szongja körül a fiasítást a kaptár belsejében. Ráadásul, egy fiókkal feljebb a kaptárban ott van a méz is az ún. méztérben. Sem a méheket nem veszélyeztethetjük, sem a mézet. Jelenleg csak néhány szintetikus hatóanyag használható az atka ellen. A fluvalinát, flumetrin, kumafosz, és az amitráz. Az első hárommal szemben már régen kialakult a rezisztencia, csak a hatóanyagok váltakozó felhasználása esetén hatásosak. Az amitráz volt hosszú ideig az egyetlen, mely többszöri használat ellenére is hatékony volt, de az utóbbi években erre

is egyre inkább mutatkozik az atka rezisztenciája. Mégpedig nemcsak külföldön, hanem már sajnos itt-ott hazánkban is.

A fentiek alapján érthető, hogy a figyelem a biológiai módszerek felé terelődött. Ilyenek például természetes ellenségek, így az atkák kutikuláján élő, ún. ektoparazita, rájuk nézve patogén gombák, továbbá egyes álskorpó fajok vagy ragadozó atkák kutatása. Ide sorolhatjuk a különféle illóolajok vizsgálatát is, annak kutatását, hogy melyik repellens a *Varroa* atkára nézve. Mindegyik irányvonal ígéretes, ugyanakkor különböző okok miatt még sehol sem sikerült igazi áttörést elérni. Egy német kutatócsoportnak sikerült a *Varroa* atkák szexferomonját azonosítani. Kártevő rovarok esetében széles körben használják a növényvédelemben a feromonokat előrejelzésre, sőt bizonyos kártevők ellen közvetlen védekezésre is, de a hím *Varroa* atka a méhsejt belsejében a saját nővéreivel párosodik, a szexferomonjának hatósugara a sejten belül marad, ezért ez a felfedezés aligha lesz hasznosítható a méhészetekben. A biológiai védekezéshez sorolhatjuk továbbá a szerves savak (oxálsav, hangyasav) használatát is.

Kínálkozik azonban a feromonok – kairomonok területéről egy további lehetőség. A nőstény *Varroa* atkák, miután eleget szívogattak a méhek „hátán”, amikor úgy érzik, hogy eljött az ideje, lemásznak arról a dolgozó méhről, amelyen eddig szívogattak, mégpedig éppen akkor, amikor a méh a kaptár belsejében a fiasításnál tüsténkedik. A fiasításon mászkálva aztán kinéznek maguknak egy megfelelő sejtet, és belerakják a petéjüket. Vajon melyik sejtet találják erre megfelelőnek a sok sejt közül? Azt, amelyik éppen lefedésre vár. A méhálca a lárvaszakaszának első hat napjában ugyanis nyitott sejtben fejlődik, hiszen a dajkaméhek élelemmel, azaz méhpempővel, majd virággörrel és mézzel, továbbá vízzel látják el. Hat napos korában aztán a dajkaméhek lezárják a sejtet. Ezért aztán az ún. fedett fiasításba a *Varroa* atka nőstények már nem tudnak belepetézni, nem férnek hozzá az utolsó fejlődési stádiumának végső szakaszában lévő álcához, majd a bábokhoz. Ha viszont a fedés előtt több nappal petéznének bele a sejtbe, a dajkaméhek valószínűleg észlelnék, hogy a

fejlődő méhálccával végzetes baj történt, és kitakarítanák a sejtet, méhálcastól, a *Varroa* petékkal, nimfákkal együtt. Tehát a *Varroa* atka számára a fedés előtti órák a kritikus időszak, hogy belepetézzenek a sejtbe. Egyben tehát ez a kritikus időszak számunkra is, hogy megpróbáljuk a petézni vágyó atkákat elterelni a fiasítástól. Meg kellene fejtenünk azt a titkos jelet, amellyel a hatnapos méhálccák jeleznek a dajkaméheknek, hogy fedjék le a sejtet, amelyben vannak, mert ezt a jelet „hallgatják le” a *Varroa* atkák is, és minden bizonnyal erre reagálva keresik fel a sejtet és tojják bele petéiket, még mielőtt a dajkaméhek lefednék azt.

Erre a jelenségre hívta fel a figyelmünket néhány évvel ezelőtt Horváth Gábor vezető szaktanácsadó (Országos Magyar Méhészeti Egyesület, OMME), javasolva, hogy indítsunk be egy kutatási projektet ennek feltárására. Mindjárt átértéztük a feladat jelentőségét, és azt, hogy izgalmas tudományos kihívást jelent. A lelkesedés fontos mozgatórugó, ám pusztán lelkesedésből a kísérletekhez méhcsaládokat, műszereket, nagy tisztaságú, speciális vegyszereket venni még nem lehet. Ez utóbbihoz viszont kitérő lehetőség kínálkozott, mégpedig a Magyar Méhészeti Nemzeti Program (MMNP) keretében a Magyar Közönlönyben meghirdetett „Alkalmazott méhészeti kutatások” révén. Pályázatunkat befogadták. Így indulhattak el a kutatások Intézetünk Julianna-majori Kísérleti Telepén.

A rovarok, ezen belül elsősorban lepkék, bogarak és gubacsszúnyogok szexferomonjainak kivonásában, azonosításában és a szintetikusan előállított feromon-komponensek vonzókéességének vizsgálatában sok mezőgazdasági kártevő faj esetében értünk már el sikereket, és így nemzetközi szinten mérve is jelentős tapasztalatokkal rendelkezünk a méhészeti kutatások megkezdésekor. Ennek megfelelően feromonok, és rovarokra ható tápnövény illatanyagok izolálásához és elemzéséhez speciális eszköz- és műszerparkkal is rendelkezünk. A *Varroa* atka kutatása azonban merőben más kihívások elé állított minket. Nagy lendülettel vetettük bele magunkat az új projektbe. Először is kísérleti méhest kellett alapítanunk. Szerencsére erre kiváló környe-

zeti adottságokkal rendelkező Intézetünk Julianna-majori telephelye. Először is a családok fogadására és a kaptárakban *in-situ* végzett illatanyag gyűjtésekhez, kísérletekhez kellett kialakítanunk a megfelelő helyszínt.

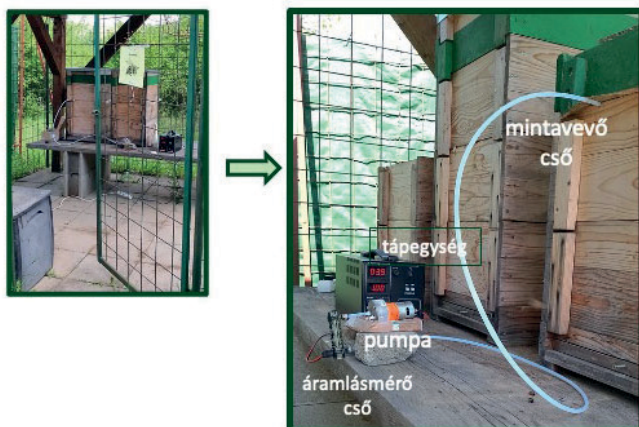
Messze az épületektől kerítettünk el erre a célra egy területet, táblákkal, jelzőszalaggal figyelmeztetve a méhesre. A terület gépkocsival földúton megközelíthető volt, hogy a kaptárakat könnyen oda lehessen szállítani.

Áramfelvételi lehetőséget biztosítottunk, hiszen a mintavevő pumpák árammal működnek. Az évek során egy ideiglenes féltetőt is erősítettünk a terület egyik szeglete fölé, hogy egy hirtelen érkező vihar a drága mintavevő eszközökben kárt ne tehessen. Szerződést kötöttünk egy méhészeti szaktanácsadóval, aki beszerezte a családokat, ideszállította és a teljes időszakban elvégezte a méhészeti teendőket. Ezt a feladatot először †Lendvai Pál, később Halász Gábor, majd pedig Brunner Sándor méhészeti szaktanácsadók látták el.

Megkezdődhetett az érdemi kutatómunka. Ahhoz, hogy közvetlenül a herefiasítás felületéről tudjunk illatmintát venni, miközben a méhcsalád éli a mindennapi életét, meg kellett bontanunk a kaptárt, méghozzá úgy, hogy a lehetőség szerinti legkisebb mértékben zavarjuk csak a méheket (2. kép). Sokat tanultunk a velünk együttműködő méhészeti szaktanácsadóktól. Az évek során az is világossá vált, hogy a fedés előtti 1–2 nap túlságosan is tág időintervallum, lehetőleg a fedés előtti 12 órán belülré kell időzítenünk a mintavételt. Ebben az utóbbi években rendkívül nagy segítségünkre volt Brunner Sándor méhészeti szaktanácsadó, aki a kritikus időszakban akár napi szinten is ott volt velünk a kaptáraknál, és segített kiválasztani a legalkalmasabb állapotban lévő, azaz a lefedéshez legközelebb álló herefias keretet.

Idő- és munkaigényes folyamat volt az illatminták gyűjtéséhez leginkább megfelelő, speciális szűrők,

Herefiasítási illatminta gyűjtés méhkaptárból



2. kép: Illatminta vétel a kaptár belsejéből

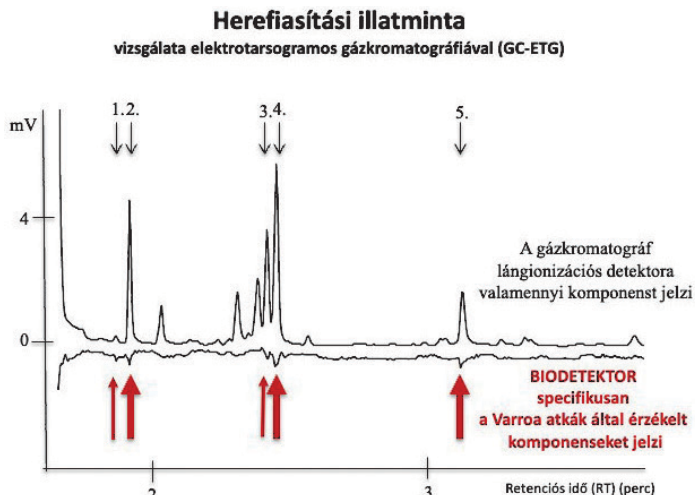
valamint a szűrőről az illatanyagok oldatba viteléhez/leoldásához használt leginkább megfelelő szerves oldószer kiválasztása is. Ezek a munkák már laboratóriumunkban történtek (3. kép). Azt, hogy hány komponenst és milyen arányban tartalmaztak az oldatminták, gázkromatográffal ellenőriztük. Így tudtunk visszakövetkeztetni arra, hogy milyen típusú szűrőt és milyen oldószereket használjunk. Hasonlóképpen, a mintavétel fizikai paramétereit, az áramlási sebességet és a mintavételi (expozíciós) időtartamot is így tudtuk optimalizálni.



3. kép: Illatminta leoldásra a szűrőről, elszívófülkében

Akármilyen gondosan járunk is el azonban az illatgyűjtés során, mégis sok-sok egyéb, a mi szempontunkból szennyező anyagot is begyűjtünk a kaptár légteréből. Ráadásul ezek jelentős részét meglehetősen nagy mennyiségben, míg a lefedés előtti sejtekből származó, meghatározni kívánt jelanyagokat az előbbiekhöz képes nagyságrendekkel kisebb mennyiségben gyűjtjük össze. Hogyan kísérjük meg tehát kiszűrni a keresett komponenseket a nemkívánatos egyéb vegyületek erdejéből? Hasonló problémával már többször találkoztunk rovar-feromonok azonosítása során. Erre a célra szolgál a csápdetektoros gázkromatográf. Igencsak jó szolgálatot tett már jónéhány kártevő rovarfaj szexferomonjának az azonosításánál. A lényege, hogy a gázkromatográfias elválasztás során nemcsak a műszer gyári, beépített lángionizációs detektorával mutatjuk ki az egyes komponenseket, hanem egy utólag beépített „Y” elágazás révén a mintát egy ún. elektroantennográfiás-, azaz csápdetektorral is elemezzük, amely specifikusan a feromon komponenseit mutatja ki. Ilyen készüléket csak részenként lehet beszerezni, majd egyedi tervek szerint magunknak kell összeépíteni. Nem csoda tehát, hogy hazánkban csak a mi intézetünkben működik ilyen nagyműszer-komplex, sőt tudomásunk szerint a szűkebb Közép-Európai régióban sincs párja. Igen ám, de más egy legalább fél centiméteres molylepke, és megint más egy alig 2,5 mm-es *Varroa* atka. Ráadásul az atkának az ún. előlábán (foreleg), pontosabban az előláb egyik ízén, a lábfején (tarsus) helyezkednek el a kémiai érzékszőrök. Teljesen új preparálási technikát kellett kifejlesztenünk, hogy a mikroelektrodokat (mikroszkóp és mikromanipulátor segítségével) a *Varroa* atka előlábához tudjuk illeszteni. Csapatunkból Bozsik Gábornak sikerült adaptálni ezt a technikát, amelyet a világon csak egy-két vezető feromon-laboratóriumban alkalmaztak eddig

(elektrotarsogram – ETG). Ennek segítségével sikerült több olyan komponens jelenlétét kimutatnunk a herefias illatmintákból, amelyeket az atka érzékel, tehát ezek, vagy ezek között lehet a keresett jel (1. ábra).



1. ábra: Illatminta elemzése elektrotarsogramos gázkromatográfiával (GC-ETG)

Időközben az illatminták összetételét gázkromatográfhoz kapcsolt tömegspektrométerrel (GC-MS) is elemeztük, és sikerült a retenciók alapján az atka által érzékelt komponenseket beazonosítani, majd pedig kémiai szerkezetüket, legalábbis részben, meghatározni.

A következő lépés a fentiek alapján feltárt szintetikus komponensek hatásának vizsgálata. Ezt először laboratóriumban, Petri-csészés kísérletekben tervezzük elvégezni. Ez is sok előkészületet igényel, hiszen a kaptárból begyűjtött atka rendszerint csak egy-két óráig van megfelelő állapotban ahhoz, hogy „rendesen” válaszoljon az illat-ingerre, azaz az illatforrás irányába másszon. A teszt alatt pedig folyamatosan állandó 31–33 °C-os hőmérsékletet kell biztosítani, ami a kaptár belső hőmérsékletének felel meg, máskülönben az atka nem hajlandó együttműködni velünk.

Lépésről-lépésre haladunk tehát a cél felé. Vizsgálataink is van arról, hogy az eddigi lépések részeredményei biztatóak, előremutatóak, hiszen az OMME többlépcsős bírálati rendszerében testületileg

évente véleményezi a kutatási jelentéseinket. Továbbá számos alkalommal a Méhészüjságban szakcikk formájában is beszámoltunk a projekt előrehaladásáról, így a hazai méhésztársadalom széles körben is megismerhette munkánkat.

Tervezzük, alig várjuk, hogy nekiállhassunk ezeknek a szintetikus illatmintáknak a vizsgálatához, hogy megnézhesük, hogy hogyan is reagálnak rájuk az atkák. Fontos lépés ez ahhoz, hogy eljussunk a megfelelő összetételű hatóanyag-kombinációhoz, amely a kaptárban alkalmazható a *Varroa* atkák elterelésére. Villámcsapásként ért ebben a helyzetben, hogy az új, 2022-ben elfogadott Uniói Közös Agrár Politika (KAP) idevágó fejezete már nem tartalmazza az alkalmazott méhészeti kutatások támogatását, nem irányoz elő erre a tevékenységre támogatást. Ebből adódóan a Magyar Méhészeti Nemzeti Program (MMNP) keretében sem hirdettek pályázatot erre. Forrás nélkül maradtunk. Nincs miből fedezni a további kutatásokat, hiszen a kísérletekhez szükséges méhcsaládokat továbbra sem lehet ingyen beszerezni, a fenntartásukról, meg a kísérletekhez szükséges nagyműszerek üzemeltetéséről és a nélkülözhetetlen laboratóriumi fogyóeszközökről, nagy tisztaságú oldószerekről stb., stb. nem is beszélve. Persze nehéz idők járnak az agrárszektorra, így a méhészeti ágazatra is, node a méhészeti kutatások eddig is elkülönített alapról történtek, nem csorbí-

tották a magára a méhészetre (pl. gyógyszer-cukor-támogatásra, kaptárak, eszközök vásárlására elkülönített támogatás) fordítható keretet. Márpedig ez a támogatási forma volt a méhészeti kutatások sajátosságaira szabva, egyéb kutatás-fejlesztési támogatási rendszerek prioritásai ettől olyannyira eltérőek, hogy azokba ez a téma egyszerűen nem fér bele. Márpedig egy kutatóintézet saját kutatásra fordítható forrással nem rendelkezik, minden egyes projektünk pályázat útján valósul meg.

Mit veszélyeztetünk a méhészeti kutatásokra szánt keret berekesztésével? Kalkuláljunk egy kicsit! Hazai tapasztalatok alapján a téli veszteség átlagosan kb. 15-20 %-ra tehető. Ennek nagyjából a 80%-ért a *Varroa* atkák miatti pusztulás felelős. Becslésünk szerint országosan évente a *Varroa* atka okozta kár és a védekezés együttes költsége kb. 8 milliárd forintra tehető nagyságrendileg. Ennek természetesen elenyésző töredéke volt az a keret, amelyből az összes méhészeti (tehát nem csak a *Varroa* atkák elleni) kutatást finanszírozták. Azt persze nem lehet előre látni, hogy mikor „jön be” egy kutatás, mikorra ér abba a szakaszba, hogy hasznosíthatóak lesznek az eredmények. Amikor viszont bejön, attól kezdve folyamatosan hasznosítható. Tessék kalkulálni, mi éri meg jobban, időtlen időig soha véget nem érő harcot folytatni az atka ellen, vagy új lehetőségek után is nézni! Mi kutatók készen állunk a folytatásra!

IRODALOM

- Teski, A., Brunner, S. & Szócs, G. (2022): Az ázsiai méhatka (*Varroa destructor*) elleni biológiai védekezés lehetőségei. *Növényvédelem*, 83(3): 103–114.
- Teski, A., Brunner, S. & Szócs, G. (2022): Electrophysiological response of *Varroa* mite to honey bee drone brood volatiles. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 57(2): 220–228.

HASZNOS, RAGADOZÓ ROVAROK CSALOGATÁSA: ZÖLDFÁTYOLKÁK KÉMIAI ÖKOLÓGIÁJÁVAL KAPCSOLATOS EREDMÉNYEK

Koczor Sándor, Szentkirályi Ferenc és Tóth Miklós

A kémiai ökológia egy interdiszciplináris tudományterület a biológia és a kémia határterületén, amely az élőlények közötti, kémiai úton végbemenő kölcsönhatásokkal foglalkozik. A vegyületeket, amelyek ezekben a kölcsönhatásokban résztvesznek, szemiokemikáliáknak nevezzük. Az egy adott fajon belüli kölcsönhatásokban részt vevő vegyületeket feromonoknak, a különböző fajok közötti kölcsönhatásokban szerepet játszó vegyületeket allelokemikáliáknak nevezzük. A feromonokat tovább csoportosíthatjuk a betöltött funkciójuk szerint (pl.: szexferomon, riasztó feromon, aggregációs feromon), az allelokemikáliákat pedig tovább oszthatjuk aszerint, hogy a vegyületet kibocsátó, illetve az azt érzékelő egyedre vonatkozóan jár-e előnnyel a vegyület érzékelése, eszerint megkülönböztethetünk kairomonokat, allomonokat és szünomonokat.

A zöldfátyolkák (*Chrysopidae*) a recésszárnyú rovarok (*Neuroptera*) rendjébe tartoznak. Világszerte eddig valamivel több, mint 1400 fajuk ismert. Lárvaik ragadozók, számos rovar-, illetve atkafajt fogyasztanak, kedvelt zsákmányaik a növényi tetvek (*Sternorrhyncha*), köztük elsősorban a levéltetvek (*Aphidina*) és a pajzstetvek (*Coccina*). Mivel agrár-élőhelyeken is előfordulnak, ezért fontos szerepet játszhatnak a biológiai védekezés során. A zöldfátyolka fajok közül a *Chrysoperla* genusz fajait kiemelten fontosnak tartják a biológiai védekezésben, amely zöldfátyolkák különböző fejlődési alakjai kereskedelmi forgalomban is kaphatók. Azonban mivel ez utóbbiak egyedei jellemzően nemzetközi forrásból származnak, magukban hordozzák idegenhonos fajok behurcolásának veszélyét. Ugyanis a korábban egységesen „*Chrysoperla carnea*” néven kezelt taxonról kiderült, hogy valójában több, mint 20 különálló fajból áll. A kereskedelmi forgalomban

lévő egyedeket általában egységesen „*Chrysoperla carnea*” néven forgalmazzák, ami viszont jó eséllyel nem fedti pontosan a faj rendszertani besorolását.

A fentiek miatt célszerűbb megoldásnak tűnik az őshonos zöldfátyolka fajok felhasználása a biológiai védekezés során. Ennek az alapjait természetesen a minél tudatosabb, célzott, környezetkímélő növényvédelem jelenti, amely minél kíméletesebb a nem célszervezet, hasznos élőlények számára, de emellett számos egyéb megközelítés is létezik az őshonos zöldfátyolka populációk kíméletére, támogatására. Mivel a *Chrysoperla* fajok imágói pollen-, illetve nektárfogyasztók ezért virágzó növényekkel próbálnak kedvező feltételeket teremteni számukra. Ezen kívül, mivel imágó állapotban, csoportosan telelnek védett helyeken, a téli mortalitás csökkentésének érdekében teletető-dobozokat is kihelyeznek számukra.

A fentiekén kívül szintén fontos, ígéretes megközelítés a zöldfátyolkák adott helyre csalogatása illatanyagokkal, szemiokemikáliákkal. A továbbiakban az ATK Növényvédelmi Intézetében ezzel kapcsolatban végzett kutatásokról nyújtunk egy rövid áttekintést.

Chrysoperla fajok csalogatása

A közönséges zöldfátyolkák (*Chrysoperla carnea* fajkomplex) imágói (1. ábra) viráglátogatók, pollenel, nektárral és mézharmattal táplálkoznak. Táplálkozás módjukkal összefüggésben a szakirodalomban fellelhető eredmények virágillatanyagok csalogató hatásáról. Az egyik csalogató hatású vegyület, a fenilacetaldehid például egy gyakori, számos virágzó növény által termelt illatanyag. A vegyület szabadföldi kísérletekben csalogatta a közönséges zöldfátyolkák mind hím, mind nőtény egyedeit. A csalogató ha-

tást azonban későbbi kutatások során sikerült tovább fokozni egy három összetevőjű csalétekkel, amely metil-szalicilátot és ecetsavat is tartalmazott. Ami különösen érdekes megfigyelés volt ezzel kapcsolatban, hogy a nőtények a csalétek közelébe tojásokat is raktak. Ennek gyakorlati szempontból is komoly jelentősége van, ugyanis a tojásokból kikelő lárvák a közelben fognak zsákmány után keresni (2. és 3. ábrák). Szakirodalmi adatok alap-

ján egyetlen közönséges zöldfátyolka lárvája fejlődése során több száz levéltetvet is elfogyaszthat. Svédországban és Norvégiában végzett szabadföldi kísérletekben kimutatták a kihelyezett csalétek hatását a levéltetű-populációkra: a csalétek közelében több zöldfátyolka tojás és lárvája volt, a levéltetvek száma azonban jelentős mértékben alacsonyabb volt, mint a csalétek nélküli, kontroll területeken.

A korábbi megfigyelések alapján a zöldfátyolkák nőtényei előszeretettel rakják tojásaikat a növények kiemelkedő hegyes részeire, például tövisre, szőrök csúcscsaira. A megfigyelések alapján végzett szabadföldi kísérleteink igazolták a felület struktúrájának szerepét a zöldfátyolkák tojásrakóhely választásában, a csalétek közelébe több tojást raktak a fátyolkák, ha a felület számukra megfelelő, tüskés volt. A kutatás eredményeként így sikerült olyan tojásgyűjtőlapokat kifejleszteni (4. ábra), amelyeknél a csalétek és a megfelelő felület együttese azt eredményezi, hogy a nőtények a lapra rakják tojásaikat. Ez azért is kedvező a gyakorlati felhasználás szempontjából, mert a lerakott tojások a lapok segítségével sérülésmentesen mozgathatók, áthelyezhetőek, ezáltal például üvegházba áttéve a lapokat a kikelő lárvák már ott fognak zsákmány után keresni. További előnye a lapoknak, hogy segítségükkel a közönséges zöldfátyolkák populációdinamikája, tojásrakási aktivitása is nyomon követhető, ezzel akár növényvédelmi célú kezelések hatása is mérhető ezen hasznos rovarokra vonatkozóan.



1. ábra: Közönséges zöldfátyolka (*Chrysoperla carnea* fajcsoport) imágó (Fotó: Koczor Sándor)



2. ábra: Közönséges zöldfátyolka (*Chrysoperla carnea* fajcsoport) lárvája. (Fotó: Koczor Sándor)



3. ábra: Közönséges zöldfátyolka (*Chrysoperla carnea* fajcsoport) lárvája levéltetvet zsákmányol (Fotó: Koczor Sándor)



4. ábra: Tojásgyűjtő lap a lerakott zöldfátyolka tojásokkal
(Fotó: Koczor Sándor)



5. ábra: *Chrysopa formosa* imágó
(Fotó: Koczor Sándor)

Chrysopa fajok csalogatása

A *Chrysoperla* fajok mellett egyes, a *Chrysopa* genuszba tartozó fajok is jelentősek lehetnek agrár-élőhelyeken. A közönséges zöldfátyolkákkal szemben a *Chrysopa* fajok esetében az imágók is ragadozók, ezért gyakorlati szempontból is előnyös lenne a csalogatásuk. Korábbi kutatások beszámoltak levéltetű szexferomonok *Chrysopa* fajokat csalogató hatásáról. Meglepő módon azonban a beszámolóokban csak hím egyedek csalogatását említették. A Rothamsted Research (Egyesült Királyság) kutatóintézettel közös kutatásaink során szabadföldi kísérletekben teszteltük levéltetű szexferomon vegyületek hatását zöldfátyolkákra és azt tapasztaltuk, hogy a vegyületek csalogatták a *Chrysopa formosa* Brauer, 1850 (5. ábra) és a *Chrysopa pallens* Rambur, 1833 fajok hím egyedeit. Ugyanakkor a vegyületek nem csalogatták a közönséges zöldfátyolkák egyedeit, noha ezek jelentős számban jelen voltak a területen, amit a virágillatanyag-alapú csalétekkel csalétkezett csapdák egyértelműen igazoltak.

Észak-amerikai vizsgálatok beszámoltak arról, hogy a szkvalén csalogatja a nearktikus *Chrysopa nigricornis* Burmeister, 1839 egyedeit. A vegyületet szabadföldi kísérletekben tesztelve azt tapasztaltuk, hogy csalogatta a *C. formosa* faj hím egyedeit.

Érdekeség, hogy nőtény *Chrysopa* egyedek csalogatása az illatforráshoz a mai napig nem megoldott kérdés.

Chrysoperla és Chrysopa fajok együttes csalogatása

A *Chrysoperla* fajok lárvái jelentős szerepet tölthetnek be a biológiai védekezés során, így nagy előnyt jelent, hogy befolyásolni tudjuk a nőtények tojásrakóhely választását a csalétek és megfelelő felület kombinációjával. Ugyanakkor, mivel ezen fajok imágói nem ragadozók, gyakorlati szempontból előnyös lenne olyan csalétek-kombináció, amely a közönséges zöldfátyolkák mellett a ragadozó imágójú fajokat is képes csalogatni.

Szabadföldi kísérletek során teszteltük a *Chrysoperla* fajokat csalogató virágillatanyag-csalétek és a *C. formosa* és *C. pallens* fajok hímjeit csalogató levéltetű szexferomonok kombinációját. A kombináció nem befolyásolta kimutatható mértékben a *Chrysopa* fajok csalogatását a levéltetű-szexferomonokhoz képest, azonban meglepő módon jóval kevesebb *Chrysoperla* egyedét csalogatott, mint a virágillatanyag csalétek magában. További kísérletekben igazoltuk, hogy csakugyan a levéltetű szexferomon vegyületek hatására erőteljesen lecsök-

kent az odacsalogatott közönséges zöldfátyolkák egyedszáma, sőt, a negatív hatás a lerakott tojások számában is nagyon markánsan megmutatkozott. Ez a tudományos szempontból érdekes felfedezés rámutatott a különböző stimulusok interakciójának fontosságára a zöldfátyolkák kémiai ökológiájának vonatkozásában, ami jelentősen megnehezítheti a *Chrysopa* és *Chrysoperla* fajokat együttesen csalogató csalétek-kombináció kifejlesztését.

A kitűzött cél érdekében további szabadföldi kísérleteket végeztünk, amelyekben a virágillatanyag-csalétek és a szkvalén kombinációját teszteltük. A szkvalén kísérletünkben kizárólag a *C. formosa* hímeket csalogatta, a *Chrysoperla* fajok pedig a virágillatanyag csalétekre repültek. A két

különböző stimulust együtt tesztelve azonban megmutatkozott, hogy a kombináció együttesen csalogatja a közönséges zöldfátyolkák egyedeit és a *C. formosa* hímeket, anélkül, hogy számottevő negatív hatást gyakorolna bármelyik zöldfátyolka taxon csalogatására. Ez a felfedezés a későbbiekben ígéretes lehetőségeket nyújthat a jövőbeni gyakorlati alkalmazásra.

Köszönetnyilvánítás

Az ismertetett kutatások részben a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési Innovációs Hivatal (NKFIH) FK 134744 számú pályázatának támogatásával készültek.

IRODALOM

- Koczor, S., Szentkirályi, F., Fekete, Z. & Tóth, M. (2017): Smells good, feels good: oviposition of *Chrysoperla carnea*-complex lacewings can be concentrated locally in the field with a combination of appropriate olfactory and tactile stimuli. *Journal of Pest Science*, 90(1): 311–317.
- Koczor, S., Szentkirályi, F. & Tóth, M. (2019): New perspectives for simultaneous attraction of *Chrysoperla* and *Chrysopa* lacewing species for enhanced biological control (Neuroptera: Chrysopidae). *Scientific Reports*, 9: 10303.
- Tóth, M., Szentkirályi, F., Vuts, J., Letardi, A., Tabilio, M.R., Jaastad, G. & Knudsen, G.K. (2009): Optimization of a phenylacetaldehyde-based attractant for common green lacewings (*Chrysoperla carnea* s.l.). *Journal of Chemical Ecology*, 35: 449–458.

HASZNOS POLOSKAJOK AZ AGRÁRÖKOSZISZTÉMÁKBAN

Kóbor Péter

A károsító ízeltlábúakat fogyasztó ragadozó fajok általi populációszabályozás, mint rovarok által nyújtott ökoszisztéma-szolgáltatás a természetes ellenségekre is alapozó integrált növényvédelmi egyik fontos eszköze lehet. Ez zárt termesztőrendszerekben viszonylag könnyen megoldható egyes fajok tenyésztésének kijuttatásával (augmentatív növényvédelem). Ennek oka, hogy ezeket a rendszereket egyszerű trofikus kapcsolatok jellemzik, tulajdonképpen egy kéttagú, növény-kártevő „táplálékhálózatról” beszélhetünk esetükben és az egyedüli „külső környezeti hatásként” csupán az ember alkalmazta kezelések jelentkeznek. Ennél jóval összetettebb a helyzet a szántóföldi és kertészeti kultúrák esetében, ahol egy teljes ökoszisztémáról beszélhetünk bonyolult trofikus kapcsolatokkal és az élőhelyet érintő változatos környezeti hatásokkal. Ilyen viszonyok között a predátorok, mint természetes ellenségek növényvédelmi alkalmazásának módja a ragadozó rovarfajok populációinak megőrzése, számukra kedvező körülmények biztosítása, azaz konzervációs növényvédelmi stratégia folytatása. Ez megvalósulhat magában a célzott agrár-ökoszisztémában, például gyümölcsültetvények esetében, ahol a sorközökben fenntartott, lágyszárúakban gazdag gyepek kellően változatos élőhelyi struktúrát biztosíthatnak a hasznos ízeltlábúfajok populációinak. Azon monokultúrák esetében (például gabonák, kapásnövények), ahol ilyesfajta diverzifikálás nem megvalósítható, az adott kultúrához kapcsolódó természetes és természetközeli élőhelyek kedvező állapotának fenntartása lehet megoldás. Ezen élőhelyek fontos szerepet játszanak környezetük biológiai sokféleségének megőrzésében és az ökoszisztéma szolgáltatások fenntartásában.

E stratégia hatékony alkalmazásának elsődleges feltétele, hogy a fenntartani kívánt rendszerben élő

célszervezeteket – jelen esetben a ragadozó ízeltlábúfajokat –, azok biológiáját pontosan ismerjük. Ilyen fontos ismeretek például egy-egy faj fejlődési ciklusa, táplálékspektruma, élőhely-használata. Számos olyan ragadozó ízeltlábú taxon melyek esetében ezek jól dokumentáltak, azonban számos olyan eset is van, ahol pontos ismereteink hiányosak, de a szűkebb vagy tágabb rokonsággal kapcsolatban rendelkezésre állnak olyan adatok, melyek alapján a hasznos szerep vélelmezhető.

Ez gyakran tetten érhető a poloskák rendjének képviselői esetében is. Bár ezeket a rovarokat jobbra, mint kártevőket ismerjük, előfordulnak köztük olyan fajok, melyek gazdag szakirodalommal rendelkeznek, mint kártékony ízeltlábúak populációinak szabályozásában alkalmazható, hasznos szervezetek. Továbbá, ezen fajok rokonságában megtalálhatók kevésbé ismert, de potenciális „szövetségesek” is.

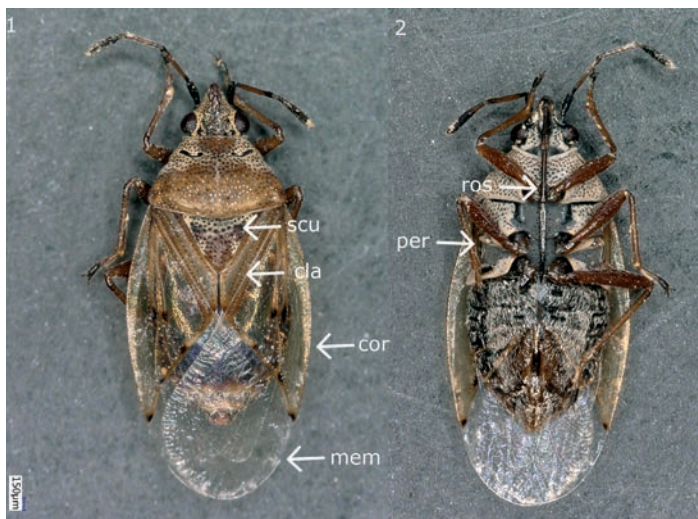
A poloskák rendszertanának, sokféleségének és jelentőségének rövid áttekintése

A poloskák rendje jelenleg ismert körülbelül 44000 ismert fajával, melyet hét alrend 77 családjába sorolnak, a hemimetabol (nem teljes átalakulással fejlődő) rovarok legfajgazdagabb és legváltozatosabb csoportja. Az poloskák rendjének képviselői könnyen felismerhetők a fej csúcsán eredő (prognath állású), leggyakrabban négy-ízű, szűrő-szívó szájszervükről; jól fejlett pajzsocskájukról; alapszabásban háromosztatú (pászta-fedő-hártya), többé-kevésbé szklerotizált első pár szárnyukról, melyet félfedőnek (hemelytron) neveznek; valamint

lárvakorban a potroh hátoldalán, majd kifejlett állapotban a harmadik torszelvény oldalsó részén található bűzmirigynyílásairól.

E közös ismérveken (szünapomorfiák) túl azonban a poloskák rendkívüli alaktani és funkcionális változatosságot mutatnak: a kétéltűpoloska-alkatúak alrendjébe (Gerromorpha) tartozó tökéletesen alkalmazkodtak a vízfelszíni életmódhoz; a kéregpoloskák (Aradidae család) lapos testükkel és rendkívüli mértékben megnyúlt szívósertéjükkel a fák kérge alatti szűk terekben való életmódhoz adaptálódtak; több családban (pl. Alydidae – tövispoloska-félék, Miridae – mezeipoloska-félék) pedig megfigyelhető a hangyautánczás (mirmekomorfia) jelensége. A poloskák alrendje táplálkozási szokásokat tekintve is diverz képet mutat: bár legismertebbek herbivór fajaik, melyek különböző növényi részeket (levéllemez, szár, termés) szívogatnak, jelentős számban találunk köztük ragadozókat, sőt egyes csoportoknál előfordul madarak vagy emlősök vérének fogyasztása, azaz hematofágia is. Ez utóbbira olyan példák említhetők, mint világszerte sok problémát okozó ágyi poloska (*Cimex lectularius*) vagy a Chagas-kór kórokozójának vektoraként ismert Triatominae alcsaládba tartozó rablópoloska fajok. A ragadozó életmód elterjedtsége a poloskák körében nem meglepő, hiszen újabb leszármazástani kutatások igazolták, hogy a rend képviselőinek ősei elsődlegesen állati táplálékot fogyasztottak és a herbivória megjelenése a virágos kétszikűek elterjedésével esik egybe.

Változatosságuk tette lehetővé, hogy a poloskák szinte az összes mérsékelt és meleg égövi biomban elterjedtek. Ennek egyik legszélsebésebb példája, hogy a *Halobates* genusba tartozó molnárpoloska-fajok – egyedüli rovarcsoportként – még a nyílt óceánokat is meghódították.



1–2. ábra: A poloskák főbb morfológiai ismérvei a *Kleidocerys resedae* bodobácsfajon szemléltetve – 1: hátdali nézet, 2: hasoldali nézet [rövidítések: cla – pászta (clavus); cor – fedő (corium); mem – hártya (membran); per – az utótori bűzmirigynyílás peritrémája; ros – szipóka (rostrum); scu – pajzocska (scutellum)]

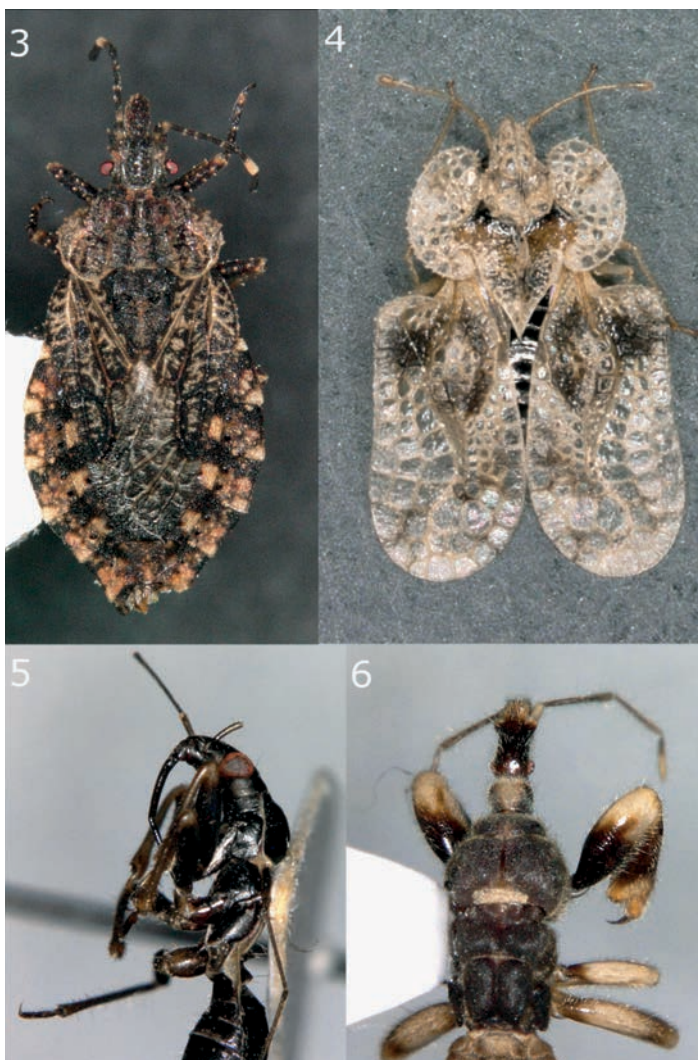
Hazánkban jelenleg közel 870 poloskafaj ismert és a furcsapoloska-alkatúakon (Enicocephalomorpha) kívül minden alrend képviselői jelen vannak. A vízipoloska- és kétéltűpoloska-alkatúakhoz (Nepomorpha és Gerromorpha alrendek) tartozó 56 faj kivételével mind szárazföldi életmódú. A hazánkban ismert fajok száma azonban valószínűleg emelkedni fog a jövőben. Ennek okai a mediterrán fajok klímaváltozás indukálta északi terjeszkedése, a kereskedelmi szállítmányokkal behurcolt, újabb idegenhonos fajok megjelenése, valamint egyes, kevésbé feltárt csoportokból is várható új fajok kimutatása. Ez utóbbira jó példa a mezeipoloska-félék (Miridae) családja melynek fajszáma csaknem a hazai fauna egyharmadát adja, ám a csoportot érintő átfogó kutatások idáig nem történtek, a családdal kapcsolatos ismeretek „másodlagos” forrásból, ökológiai-konzervációbiológiai felmérések, egyes területek vagy növénykultúrák poloskaközösségeinek vizsgálatából származnak.

A poloskák mezőgazdasági jelentősége

A poloskák rendjének képviselői a mezőgazdaság számára leginkább, mint kártevők ismertek. A

hazánkban őshonos poloskafajok közül említést érdemelnek a gabonafélék kártevőjeként ismert *Eurygaster* fajok, például a mórpoloska (*E. maura*) és az osztrákpolsoka (*E. austriaca*), vagy a csőrös szipolypoloska (*Aelia rostrata*); a gyümölcsültetvényekben (alma, cseresznye, körte és meggy) vegyszeres kezelés hiányában tömegesen felszaporodó körte csipkéspoloska (*Stephanitis pyri*); vagy a lucerna, mint takarmánynövény kártevője, a molyhos mezeipoloska (*Lygus rugulipennis*). Ezen fajok ellen rendelkezésre állnak olyan védekezési módok melyekkel a kártételük megakadályozható vagy a gazdasági jelentőség küszöbértéke alatt tartható.

Az említett őshonos, kártevőként számontartott fajoknál jelentősen nagyobb kihívást jelentenek az idegenhonos inváziós kártevők, melyek száma a kontinensek közötti intenzív áruforgalommal az elmúlt évtizedekben rohamosan növekszik mind Európában, mind pedig Magyarországon. Ezek a fajok főként Észak-Amerikából és Kelet-Ázsiából érkeznek. Az észak-amerikai fajok közül leginkább említésre méltó a tölgy csipkéspoloska (*Corythucha arcuata*), amely jelenleg is intenzíven terjed Európa nagy részén és lombos erdők legjelentősebb szipókás kártevőjévé vált az utóbbi években. Kelet-Ázsiából került behurcolásra Európába például az ázsiai márványospoloska (*Halyomorpha halys*). Ez a címerospoloska faj amellest, hogy rokonához a szintén inváziós zöld vándorpoloskához (*Nezara viridula*) hasonló szélőségesen polifág (mindkét fajnak több, mint 300



3–6. ábra: A szövegben szereplő egyes poloska taxonok képviselőinek habitusképe: 3: kéregpoloska (*Aradidae* család); 4: tölgy-csipkéspoloska (*Corythucha arcuata*); 5: egy hangyautánzó mezeipoloska-faj (*Myrmecoris gracilis*); 6: furcsapoloska (*Enicocephalomorpha alrend*)

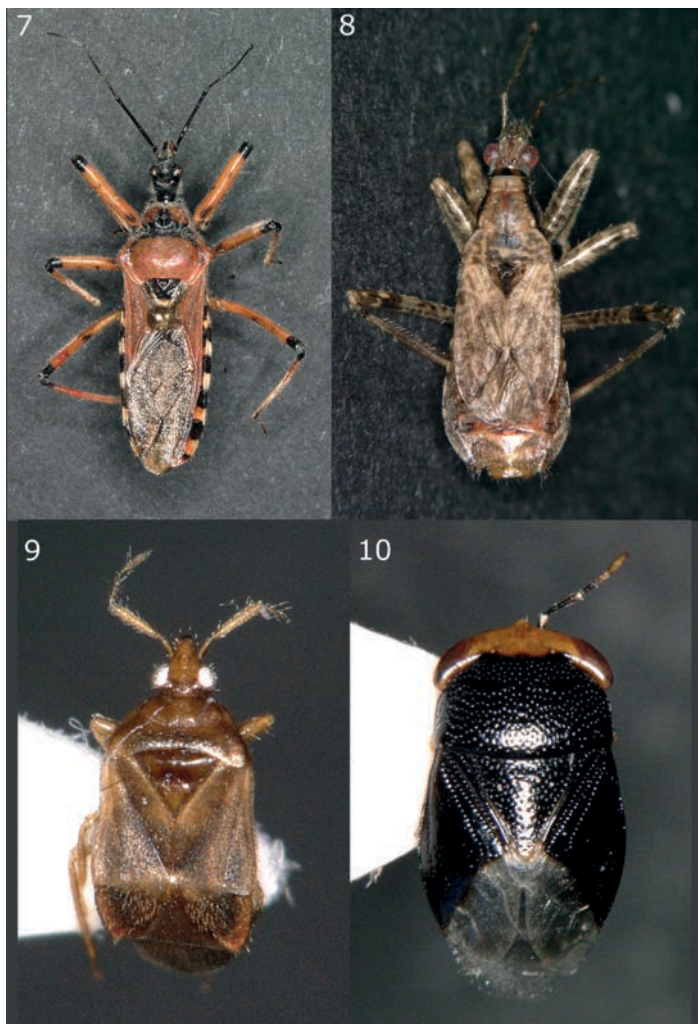
tápnövénye ismert, melyből több jelentős természetű növény), csoportos telelőhely kereső viselkedése miatt lakossági zavaróként is ismert. Továbbá ismertek olyan idegenhonos fajok melyek kisebb jelentőségűek. Ilyenek az egy- vagy kevéstápnövényű (mono- és oligofág) fajok, amelyek szívogatásukkal dísznövényeken okoznak esztétikai károkat, például a babérhanga-csipkéspoloska (*Stephanitis takeyai*). Ezek a specialista fajok kevésbé képesek

széleskörben elterjedni, mint a polifág poloskafajok, ugyanakkor előfordulhat, hogy a faj eredeti tápnövénye mellett más, adott esetben fontosabb természetű növényen is megjelenik, táplálkozni kezd, mint azt megfigyelték a krizantém-csipkésposloska esetében is.

A poloskák, mint a növényvédelem szövetségesei

Az előzőekben tárgyalt jólismert kártevőfajok mellett azonban a növényvédelmi kutatások látómezőjében vannak évtizedek óta olyan ragadozó vagy vegyes táplálkozású (zoofitofág) poloskafajok melyek táplálékspektrumát részben vagy egészben természetű kultúrák kártevői jelentik. E fajok elsősorban a vérszívópoloska-alkatúak (Cimicomorpha) alrendjébe tartozó rablópoloska- (Reduviidae), tolvajpolsoka- (Nabidae), virágpoloska-félék (Anthocoridae) családjaiból kerülnek ki, de megtalálhatók közöttük mezeipoloskák, címerpolsokák (Pentatomidae), valamint a bodobácsszerűek (Lygaeoidea) egy jellegzetes, erősen specializált morfológiájú családja, a nagy szemű bodobács-félék (Geocoridae) egyes fajairól is állnak rendelkezésre kutatási eredmények, melyek szerint ízeltlábú kártevők széles skálájának populációit képesek hatékonyan szabályozni.

A fent felsoroltak közül talán legnagyobb irodalmi adatbázissal a virágpolsokák (Anthocoridae) egyes fajai rendelkeznek. Ezeknek a világszerte elterjedt, kisméretű ragadozó poloskáknak minden kontinensen vannak olyan fajai melyek növényvédelmi kuta-



7–10. ábra: A szövegben szereplő ragadozó poloska taxonok képviselőinek habitusképe: 7: gyilkospoloska (*Rhynocoris iracundus*); 8: csalán-tolvajpoloska (*Himacerus myrmecoides*); 9: virágpoloska (*Amphiareus obscuriceps*); 10: vörösfejű bodobács (*Geocoris erythrocephalus*)

tások tárgyát képezték és hatékony ragadozóinak bizonyultak olyan jelentős kártevők populációinak, mint például az inváziós nyugati virágr tripsz (*Frankliniella occidentalis*). Hatékonyságukat jól mutatja, hogy növényvédelmi készítményként kereskedelmi forgalomban vannak egyes fajok tenyészteti – például Európában az *Orius laevigatus* – melyeket zárt természetű rendszerekben alkalmaznak. Továbbá ismeretesekek adatok szabadföldi hatékonyságukat illetően is.

Hazánkban kevésbé ismert, de nemzetközi szinten – elsősorban Ázsiában és az Egyesült Államokban – viszonylag jól kutatottak egyes nagyszemű bodobácsfajok (*Geocoris* sp.), továbbá a rokonsági kör más fajai esetében (*Germalus* sp.) közvetett bizonyíték van arra vonatkozóan, hogy a ragadozó életmód valószínűleg a család fajainak többségére jellemző. A nagy szemű bodobácsokkal kapcsolatos növényvédelmi célú kutatásokat nagyban nehezíti a család rendszertanának és rokonsági viszonyainak viszonylag feltáratlan volta. Ezen ismeretek nélkül ugyanis nem lehetséges a vizsgált élőlény pontos azonosítása, amely a felfedező és alkalmazott ökológiai kutatások alapfeltétele. A nagyszemű bodobács-félék családjának hazánkban nyolc faja él és bár nem tartoznak a leggyakoribb ragadozó poloskafajok közé, két fajuk – *Geocoris* (*Geocoris*) *ater* és *Geocoris* (*Piocoris*) *erythrocephalus* – egyes területeken kifejezetten gyakori előfordulású.

Előfordulnak olyan esetek, amikor egy idegenhonos faj jelenléte válhat kifejezetten kívánatossá egy adott ember alkotta ökoszisztémában, mivel olyan betöltetlen ökológiai fülkét foglal el vagy kevésbé kihasznált forrást hasznosít, amely számunkra előnyös. Ilyen lehet a szicíliai mezeipoloska (*Deraeocoris flavilinea*) esete. Ennek a Mediterráneumból szét hurcolt poloskafajt eredeti elterjedési területén kívül csak városi parkokból van adata például Németországból, Csehországból és hazánkban. A faj táplálkozásökológiáját tekintve – a *Deraeocorinae* alcsalád más, őshonos fajaihoz (például a *Deraeocoris ruber* vagy a *D. lutescens*) hasonlóan – egy levéltetveket és levélbolhákat is fogyasztó zoofitófág faj, így olyan, predátor szervezetekben viszonylag szegény, kártevők felszaporodására ideális környezetben, mint a városi parkok hatékony lehet a károsítók populációjának szabályozásában. Azonban érdemes megjegyezni, hogy a szicíliai mezeipoloska ökológiája más inváziós fajokhoz képest kevésbé feltárt ezért szerepének eldöntése további vizsgálatok tárgyát kell, hogy képezze, beleértve táplálékspektumának és az életközösségekre gyakorolt hatásának vizsgálatát. Ennek szükségességét a harlekinkatica (*Harmonia axyridis*) példájával lehet legjobban szemléltetni,

amely az ígéretes biokontroll ágensből vált aktuális ökológiai problémát jelentő inváziós rovarfajjává.

A ragadozó taxonokon kívül érdemes még röviden említést tenni egy még kevésbé feltárt növényvédelmi szerepről a poloskákkal kapcsolatban. Főként a bodobácsok és a mezeipoloskák között fordulnak elő olyan fajok, melyek táplálékspektrumában megtalálhatók egyes természetett kultúrákban nem kívánatos gyomként ismert lágyszárú növények és ezek hajtásainak vagy magjainak szívogatásával e poloskafajok hozzájárulnak a gyompopulációk szabályozásához.

A fentebb tárgyaltakon túl számos fajt, nemzetiséget fel lehet még sorolni melyek hasonló jelentőségűek lehetnek, ám pontos szerepük egyelőre nem ismert. A fajokkal kapcsolatos alkalmazott kutatásokat gyakran nehezítik az alapvető ismeretek (ld. a bevezetésben) hiánya. Ezek feltárása egyrészt újabb, a növényvédelem számára hasznos fajok megismerését jelenti, valamint hozzájárul az adott csoport ökológiájával kapcsolatos ismeretekhez és az adott életközösségen belüli kapcsolatok pontosabb megértéséhez. Ebben a munkában alkalmazhatók egyfelől terepi és kísérletes vizsgálatok, másrészt fontos szerepe lehet a természetrajzi gyűjtemények anyagainak.

E gyűjtemények azon túl, hogy alapjai az egyes fajok, csoportok rendszertani és identifikációs kutatásának, ismeretekkel szolgálhatnak az adott rovaraxon biológiáját illetően. A rendszertani munkák gerincét is jelentő morfológiai vizsgálatok által például bizonyos élőhelyi sajátosságokhoz vagy táplálkozási módokhoz történő adaptációk tárhatók fel. A poloskák esetében ilyen például a szűrőserte morfológiája, amelyben gyakran eltérés mutatkozik ragadozó, különböző növényevő (például magokat vagy szállítóanyagokat szívogató) és zoofitófág fajok között. A példányokhoz tartozó gyűjtési adatok további ismereteket szolgáltatnak: gyűjtések időpontjai alapján körvonalazható a faj fejlődési ciklusa, a gyűjtés földrajzi adatainak térinformatikai elemzésével pedig a faj elterjedése, élőhelyi és bioklimatikus preferenciái becsülhetők. Ezen ismeretek felhasználhatóak további kutatások kiindulópontjaként, de önmagukban

is értelmezhetőek és hozzájárulnak a faj ökoszisztémákban betöltött szerepének értékeléséhez.

Összefoglalás

Bár a poloskákkal kapcsolatban az emberek többsége azonnal a kártékony, kellemetlenséget okozó fajokra asszociál, a fenti példák viszont jól szemléltetik, hogy egy félreértett rovarrendről van szó, ahol az emberi szempontból hasznos fajok száma meghaladja a károkozókét. Számos faj szerepe

azonban még tisztázás tárgyát képezi és kutatások tárgya kell, hogy legyen a pontos megítélés érdekében. E kutatásokhoz remek kiindulási alapot jelenthetnek a természetrajzi gyűjtemények anyagainak vizsgálata. A gyűjteményekben megőrzött példányok azon túl, hogy a rendszertani kutatások alapját jelentik melyek az egyes fajok identifikációjához nélkülözhetetlenek – ami pedig az ökológiai kutatások alapfeltétele –, a megfelelő módszerek alkalmazásával további fontos adatokat szolgáltathatnak a fajok és csoportok bionómiáját illetően.

IRODALOM

- Kóbor, P. (2020): A review on biology and agricultural significance of big-eyed bugs (Heteroptera: Lygaeoidea: Geocoridae). *Hungarian Agricultural Research*, 29 (2): 4–10.
- Kóbor, P. (2021): A review of the plant bug genus *Macrotylus* distributed in Hungary (Heteroptera: Miridae). *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 56(2): 187–200.
- Kóbor, P. és Kondorosy, E. (2022): Szicíliai mezeipoloska [*Deraeocoris flavilinea* (Costa, 1862)]. In: Haraszthy, L. (Ed.): *Özönállatfajok Magyarországon. ROSALIA Kézikönyvek 5, Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság – Külgazdasági és Külügyminisztérium, Budapest, Magyarország, pp. 155–156*

RAGADOZÓ ATKÁKKAL A NÖVÉNYI KÁRTEVŐK ELLEN

Kontschán Jenő

Jelenleg több, mint 56 000 atkafaj ismerünk a világ minden tájáról. A legóvatosabb becslések még egyszer ennyi fel nem fedezett és el nem nevezett fajt feltételeznek, míg a bátrabb becslések szerint akár egy millió atkafaj is élhet a bolygónkon. A jelenleg ismert atkafajok két jól elkülönülő csoportba sorolhatóak, a 42 000 fajt tartalmazó Acariformes (Actinotrichida) és az 14 000 fajt számláló Parasitiformes öregrendekbe.

Az atkák jellegzetes morfológiájú ízeltlábúak, kistermetűek (150 µm–2 cm testhosszúságú), kifejlett korukban négy pár lábbal rendelkeznek és csáprágót viselnek. Testükön két fő testrészt tudunk elkülöníteni, a szájnylás körüli régiót (gnathosoma) és a testet (idiosoma), amely másodlagosan osztott lehet. Életmódjuk tekintetében nagyon változatosak, a növényeken táplálkozótól, a lebontókon át a ragadozóig, a rovarok és gerincesek parazitáiig mindenféle táplálkozási típus előfordul, ahogy mindenféle élőhelyen lehet velük találkozni. Ott vannak a növények levelein, szárain, a gerinces és gerinctelen állatokon, sőt néha az állatok testében is, de legnagyobb számban a talajban és a talaj közeli élőhelyeken találkozhatunk velük. Méret és alak szerint is nagyon változatosak, ismertek a néhány 100 mikronos fajoktól a majdnem egy centiméteres atkáig, szinte minden méretben.

Jelen dolgozatunkban az atkáknak, mint kártevő populáció szabályzó szervezetekkel vagy biológiai védekezési ágenssel való kapcsolatos kutatásainkat mutatjuk be.

Levéltetvek és atkák

A levéltetvek (Insecta: Aphidoidea) a szántóföldi és kertészeti kultúrák legfontosabb és legszembetűnőbb kártevői közé tartoznak. Világviszonylatban

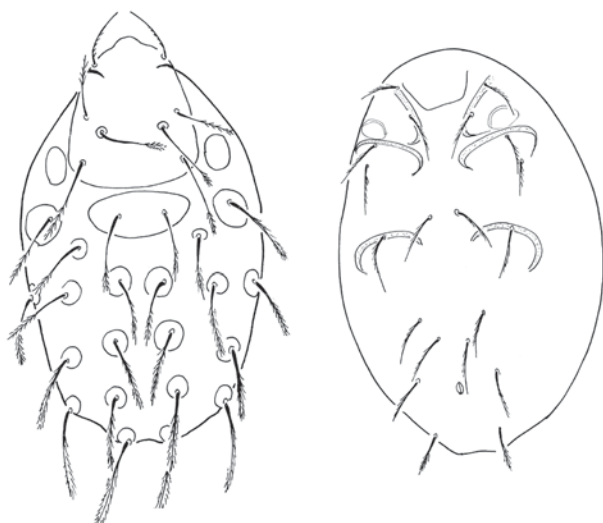
mindegy 4500 fajuk ismeretes, de hazánk területéről is megközelítőleg 600 fajt mutattak eddig ki. A levéltetveknek számos természetes ellensége ismert, melyek között különböző atka taxonok is megtalálhatóak, így a ragadozó életmódjuk miatt a bársonyatkáknak, az Anystidae család tagjainak, valamint a ragadozó bársonyatkákat parazita életmódú lárváinak lehet jelenős szerepe a levéltetű populációk szabályozásában. Hazai viszonylatban a bársonyatkákat (Acari: Trombididae) az egyik legkevésbé ismert család, eddig csupán néhány dolgozata jelent meg erről a csoportról. A kutatások során a fekete törpeberkenyén szivogató levéltetű egyeden apró, narancssárga színű atkákra figyeltek fel, melyek a pontos azonosítás után az *Allothrombium pulvinum* Ewing, 1917 faj lárváinak bizonyultak.



1. ábra: *Allothrombium pulvinum* Ewing, 1917 egy levéltetűn

Az *A. pulvinum* atkafaj nem nevezhető levéltetű specialista atkának: míg a lárvák elsődlegesen levéltetvek parazitái, addig a kifejlett egyedek több kártevő csoport ragadozói is lehetnek. Ismertek, mint egyes takácsatkafajok (pl. *Tetranychus roseus* Gutierrez,

1969 és *Tetranychus urticae* Koch, 1836) vagy poloskák (*Hegesidemus habrus* Drake, 1966) aktív mozgású ragadozói, de ismeretek vannak arról is, hogy szerbiában a káposzta bagolylepke [*Mamestra brassicae* (Linnaeus, 1758)] lepkefaj tojásainak pusztításában jelentős szerepe, míg Olaszországban több kabócafajok tojásait gyérítette. Feltehetően több növényi kártevő rovarfaj természetes ellensége is lehet, így szerepe az egyes kártevő fajok populációinak szabályozásában egy izgalmas kérdése az akarológiának.



2. ábra: *Allothrombium pulvinum* Ewing, 1917 háti és hasi nézete

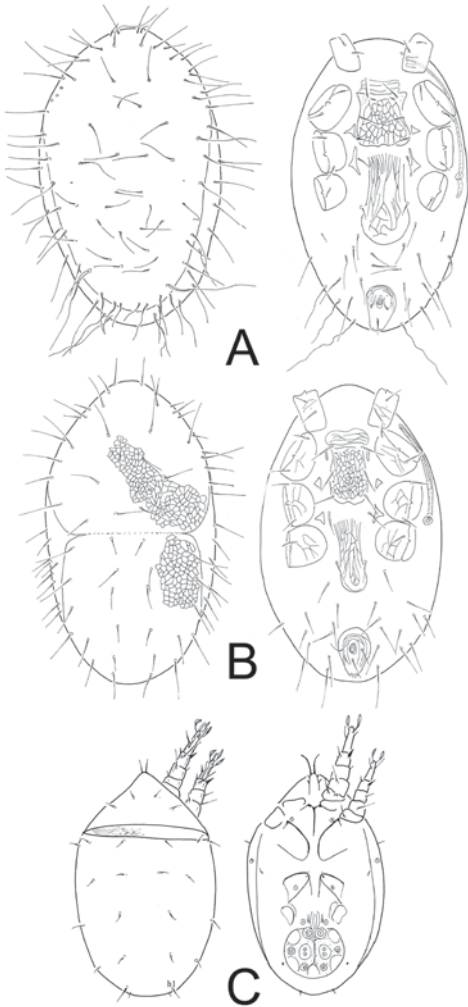
Kártevő bogarak atkái

A cserebogarak (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae) jól ismert kártevői a hazai agrár- és természetes ökoszisztémáknak. A fajok egy része a növények gyökerein és a levelein is jelentős kárt okoz (pl. *Melolontha melolontha* Linnaeus, 1758 vagy a *Melolontha hippocastani* Fabricius, 1801), míg más fajok (*Anoxia orientalis* Krynicki, 1832 és *Polyphylla fullo* Linnaeus, 1758) elsődlegesen a gyökerek kártételével okoznak gazdasági problémákat. A család másik jól ismert alcsaládja a virágbogarak (Centoniinae) életmód tekintetében eltér a cserebogarakétól. A lárvá nem károsít, mert el-

sődlegesen korhadó növényi részekkel táplálkozik, ezzel szemben a kifejlett bogarak érzékeny károkat okoznak a virágzó (pl. gyümölcs) fákon a virág egyes részeinek a megrágásával. A vizsgálatok során több a Scarabeidae családba tartozó bogárfajt is megvizsgáltunk, hogy milyen atkafajok élhetnek rajtuk, és hogy ezeknek lehet-e szerepe a kártevők populációinak a szabályozásában. Ilyen volt a nagytermetű és nyáron rajzó keleti- (*Anoxia orientalis* Krynicki, 1832) és csapó cserebogár (*Polyphylla fullo* Linnaeus, 1758), amelyek egyedei elsődlegesen a homokos területeken gyakoriak, ahol gyökerek rágásával okoznak kárt. De megvizsgáltuk szélesebb elterjedésű és több helyen károsító áprilisi cserebogár [*Holochelus aequinoctialis* (Herbst, 1790)], május cserebogár [*Melolontha melolontha* (Linnaeus, 1758)]; erdei cserebogár (*Melolontha hippocastani* Fabricius, 1801) valamint bundásbogár (*Tropinota hirta* Poda, 1761) atkáit is.

Hazánkban csapó cserebogárról (*Polyphylla fullo*) került elő egy hazánkból még nem jelzett atkafaj, a *Hypoaspis krameri* Canestrini, 1881, míg a keleti cserebogárról először sikerült kimutatnia a *Coleolaelaps inopinatus* Grandi, 1925 fajokat.

Ezeknek a cserebogarakon élő atkák táplálkozási és szaporodási szokásairól nagyon keveset tudunk. A *C. inopinatus* fajt a gazdabogarak tojásain és lárváin is megfigyelhető, a tojásokat azonban a megfigyelések alapján nem fogyasztották. A megfigyelések szerint a lárvák közelségében az atkák nagy egyedszámban találhatóak meg és feltételezhetően a kifejlett egyedeket használják arra, hogy az új petéző helyre juthassanak, azonban a vizsgálatok azt is feltételezik, hogy az atkák a bogarak és a lárváik által a kutikulájukon kiválasztott váladékkal táplálkoznak. A megtalált atka fajok a bogarak parazitái, a kutikula által kiválasztott váladékkal táplálkoznak mind a lárvákon, mind a kifejlett bogarakon. Az a hazánkban gyűjtött bogaraknál az atka nélküli bogáregyedek



3. ábra: Bogarakon élő atkák háti és hasi nézete.
(A: *Hypoaspis krameri*, B: *Coleolaelaps inopinatus*,
C: *Sancassania chelone*)

A többi négy cserebogár faj esetében a *Sancassania chelone* Oudemans, 1916 atkafaj nimfái kerültek elő. Az áprilisi cserebogár esetében a *S. chelone* fertőzöttséget 80%-os volt, erdei cserebogár egyedinek 55%-a volt fertőzött, május cserebogár egyedek 28%, míg a bundásbogarak 13%-a volt fertőzött. A cserebogarak esetében potroh és a szárnyak is fertőzöttek voltak, addig a bundásbogarak esetében csak a potrohon voltak atkák. Ennek oka, az eltérő fedőszárny típus lehet. A korábbi fajokkal szemben a két fedőszárny összenőtt a bundásbo-

garak (és a Centoniinae alcsalád fajainak) esetében, így nehezebb a szárnyak megközelítése és azokon történő megtelepedés. Bár a *S. chelone* faj nimfái nem tesznek kárt a bogarakban, azonban nagy tömegük esetében a bogár a repülési képességet, a párzási sikert csökkenthetik, így mégis szerepük lehet a bogár egyedek fitnesszének a csökkentésében, és így a populációik szabályozásában is.

De nem csak hazánk területén lehet szerepe az atkáknak a kártevő bogarak populációsabályozásában. Afrika szubzaharai régiójában él az afrikai pálmaormányos (*Rhynchophorus phoenicis* Fabricius, 1801), amely egy nagytermetű, sötét (a vörösesbarnától a feketéig) színben megfigyelhető, egész trópusi Afrikában előforduló kártevő bogárfaj. Ez a bogár jelentős gazdasági károkat okoz trópusi pálmafajokon. A lárva rágásának következtében a pálmalevelek elhalása után az egész pálma növény elpusztul, és közvetlen károsítása mellett számos növényi parazita fonálféreg vektora is. Kamerun területén egy olyan atka fajt gyűjtöttek az afrikai pálmaormányos testén és kokonján, amely vizsgálata során kiderült, hogy egy eddig a tudomány számára még ismeretlen faj, amely később leírásra is került *Uroobovella phoenicicola* Kontschán, Tanyi-Tambe & Riolo, 2012 néven. A kifejlett egyedek az afrikai pálmaormányos kokonján éltek, míg a másodlagos nimfák a bogár testén. A nimfák vagy anélkül rögzültek a bogár testéhez vagy szabadon mozogtak a szárnyfedő alatt. Sok információ nincs ennek az új fajnak a biológiájáról, feltételezhetően vagy pálmaormányos tojásait és fiatal lárváit fogyasztja vagy a kokonban lévő más gerinctelenekkel (apró lárvák, férgek) vagy gombákkal táplálkozik, és csak szállítatja magát a bogárral a kokonhoz.

A rokon vörös pálmaormányos [*Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790)] egyike a legfontosabb pálmakártevő fajoknak a mediterrán és a szubtrópusi régiókban. Feltételezhetően ennek a fajnak az eredeti élőhelye Délkelet Ázsia és Melanézia, ahol fontos kártevője volt a kókuszpálmáknak, de mára már szélesan elterjedt Észak-Afrikában, Dél-Európában, a Közel-Keleten és Dél- illetve Délkelet Ázsiában, sőt Európában is egyre nagyobb károkat okoz és pár éve

hazánkban is megjelent. A vizsgálatok során Olaszország területéről két faj került elő a vörös palmaormányosról, egy bizonytalan taxonómiaú faj (*Centrouropoda almerodai* Hiramatsu & Hirschmann, 1992), amely helyzetét tisztázni kellett, hogy a pontos biológiáját fel lehessen tární és egy tudományra új faj, a *Nenteria extremica* Kontschán, Mazza, Nanelli & Roversi, 2014.

C. almerodai atka faj kifejlett egyedei és a lárvái a bogár által készített kokonról kerültek elő, míg a másodlagos nimfák a bogár testéről is, a szárnyfedő és a szárnyak alól. Az elsődleges nimfákat és a lárvákat viszont a bábón éltek. Feltételezhető, hogy ez az atkafaj a bogár fiatal lárváit is fogyasztja, de az is lehet, hogy csak szállítatja magát a bogárral a kokon közelébe, ahol a kokonon vagy a kokonban élő gombákkal, más gerinctelenekkel vagy szerves anyaggal táplálkozik. Erre egyelőre nincs biztos válasz, azonban hasonlóan a korábban említett cserebogarakon és virágbogarakon élő atkákkal, ezen atkáknak is szerepe lehet a bogarak fitnessének csökkenésében és lehetséges, hogy populáció szabályzó szervezetekként felhasználhatóak a pálmák kártevő ormányosbogarak ellen.

Egy széles elterjedésű biokontroll szervezet hazai felfedezése

A biológiai védekezésben a leggyakrabban alkalmazott atkák a Phytoseiidae család tagjai közül kerülnek ki. Bár számos más atkacsalád tagjai is ismertek, mint a kártevők okozta problémák természet közeli megoldásának lehetőségei, azonban ezekről azonban lényegesen kevesebb ismerettel rendelkezünk. De például a Laelapidae (korábban Hypoaspidae) család néhány faja [pl. *Stratiolaelaps miles* (Berlese, 1892) vagy *Geolaelaps aculeifer* (Canestrini, 1883)] biológiai védekezés szempontból intenzívebben tanulmányozott.



4. ábra: *Stratiolaelaps scimitus* háti és hasi nézete

Az ATK Növényvédelmi Intézetében egy cserépben nevelt borostyánon levő borostán-takácsatka (*Bryobia kissophila* Eynhoven, 1955) tenyésztetben egy nagyszámú, jellegzetes morfológiájú Mesostigmata atka jelent meg. A faj azonosítása során kiderült, hogy az üvegházi környezetben kihelyezhető és a biológiai védekezésben szerepet játszó *Stratiolaelaps scimitus* (Womersley, 1956) faj került elő. Ez az atka faj biológiai védekezésben betöltött szerepe régóta ismert, számos ragadozó és parazitoid szervezetet növényvédelmi célú felhasználásra forgalmazó cég kínálatában (elsődlegesen Észak-Amerikában) is megtalálható. Sokszor azonban más néven említik, gyakran, mint *Hypoaspis miles*. A két faj közötti fő különbség a háti lemez hátulsó szegélyének alakja, amely kerek a *Hypoaspis miles* esetében, míg háromszögletes a *Stratiolaelaps scimitus* fajnál. A vizsgálatok során az is kiderült, hogy a hazánkban *Hypoaspis miles* fajként forgalomba hozott atkák, a *Stratiolaelaps scimitus* fajhoz tartoznak.

A *Stratiolaelaps scimitus* fajt elsősorban fonálféreg és tripsz fogyasztóként ismerjük a természetes ökoszisztémákból, ezért elsődlegesen ezen csoportokkal szembeni védekezésben lehet szerepük, de a gyakori, parazita vérszívó atkafaj (*Dermanyssus*

gallinae De Geer, 1778) elleni egyik lehetséges biológiai védekezésben szerepet játszó fajként is említik.

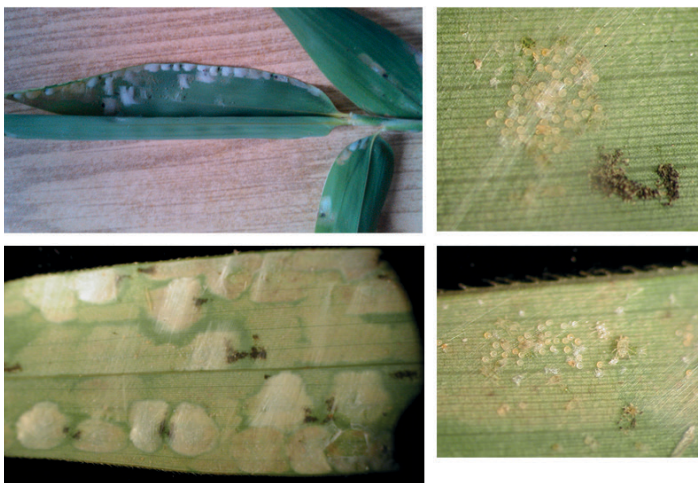
Az általunk most megtalált egyedek egy *Bryobia kissophila* tenyészetből kerültek elő, a *Bryobia* egyedek betelepítése előtt nem voltak megfigyelhetőek, de feltételezéseink szerint már a talajban tartózkodhatott néhány egyede. Nagy egyedszámban a *Bryobia* egyedek felszaporodása után lettek megfigyelhetőek, ami arra utalhat, hogy takácsatkák ezen speciális tápnövényhez kötött faja megfelelő táplálékforrás lehet a *Stratiolaelaps scimitus* fajnak, így a növényeken élő takácsatkák ellen is megfelelő biológiai védekezési eszköz lehet.

Atkákkal a bambuszokon élő idegenhonos takácsatkák ellen

A bambuszok (vagy más néven botnádak) gyorsan növekedő dísznövények hazánkban, amelyek felhasználása eredeti élőhelyeiken sokkal sokrétűbb, a díszítés mellett ételmezési és ipari célokra (pl. építőiparban, vagy más bambuszból készült termékek készítésre) használják őket elsődlegesen Kelet és Dél-Kelet Ázsiában. Eredeti élőhelyükön számos kártevőjük ismert, és hazánkba is több kártevőjüket (pl. atkák, levéltetvek) behurcolták. Az elmúlt egy évtizedben két kelet-ázsiai eredetű takácsatka fajt mutattak ki, a *Schizotetranychus bambusae* Reck, 1941 és a *Stigmaeopsis nanjingensis* Ma & Yuan, 1980 Kelet-Ázsiából származó fajokat. Ezek a takácsatkák által okozott kár elsődlegesen a növény díszítő értékét csökkenti, és dísznövényeknél ez az egyik legfontosabb kártétel, a mivel az esztétikai kár az adott dísznövényt eladhatatlanná teszi.

A két behurcolt atkafaj életmódjában jelentős különbség figyelhető meg, bár mindkettő a bambuszokon károsít és hálót képez, azonban a *S. bambusae* egyedei laza szövedéket ké-

peznek, ami eléggé különbözik az *S. nanjingensis* feszesebb hálójától. A *S. nanjingensis* erős, lapos, az atkákat a ragadozók által elérhetetlené teszi, és eredeti élőhelyén is csupán egy természetes ellensége ismert, a *Typhlodromus bambusae* Ehara, 1964 ragadozó atka, amely képes a háló alá bemászni és természetes élőhelyén a populációk szabályozásában és a biológiai védekezésben nagy szerepet játszik. Ez az atkafaj is a jól ismert, Phytoseiidae családba tartozó ragadozó atkák közé tartozik, amelyek a fitofág atkák legjelentősebb természetes ellenségei és a biológiai védekezésben leggyakrabban használt atka fajok. A vizsgálatokban két fajt használtunk a takácsatka specialista Phytoseiidae atkát, a *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot, 1957 fajt és a korábban említett a Laelapidae családba tartozó *Stratiolaelaps scimitus* Womersley, 1956 fajt. Mindkét faj biológiai védekezésben régóta ismert, számos növényvédelmi célú felhasználásra forgalmazó cég kínálatában szerepel. A vizsgálatokban a két idegenhonos takácsatkát (*Schizotetranychus bambusae* és *Stigmaeopsis nanjingensis*) ellen a korábban említett két kereskedelmi forgalomban kapható ragadozó atkafajt alkalmaztuk. Azonban *Stratiolaelaps scimitus* esetén kiderült, hogy bár a dobozán *Hypoaspis miles* név szerepelt, de mikroszkópos vizsgálat során jól látszódott, hogy a *Stratiolaelaps scimitus* nevű



5. ábra: A *Stigmaeopsis nanjingensis* hálója (alatt az atkákkal és a tojásaikkal) a bambusz levelein különböző nagyításban

ragadozó atkát rejti a doboz. A vizsgálat során kiderült, hogy mindkét ragadozó atkafaj jelentős pusztításra képes mindkét takácsatka faj esetében, ha a hálót letávolítottuk, de ha a takács atkák a hálók alatt helyezkedtek el, akkor csak a *P. persimilis* tudta

pusztítani a *S. bambusae* egyedeit, a *S. nanjingensis* esetében sikertelen volt ez az atka, de a *S. scimitus* ragadozó atka faj egyik faj hálón sem tudott áthatolni, azért, hogy a háló alatt lévő takácsatkákat fogyasztani tudja.

IRODALOM

- Kiss, E., Szénási, Á., Neményi, A., & Kontschán, J. (2017): Can we use the predatory mites against the invasive bamboo pest spider mites? *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 52(1): 91–96.
- Kontschán, J., Mazza, G., Nannelli, R. & Roversi, P.F. (2014): *Nenteria extremica* n. sp., a new Uropodina mite (Acari: Mesostigmata) collected on *Rhynchophorus ferrugineus* in Italy, with notes on other Uropodina mites associated with red palm weevil. *Redia*, 47: 63–69.
- Kontschán, J., Mazza, G., Nannelli, R. & Roversi, P.F. (2014): The true identity of the red palm weevil associated Uropodina mite, *Centrouropoda almerodai* Hiramatsu & Hirschmann, 1992. *Redia*, 47: 83–88.

MEZTELENCSIGÁK A KERTBEN: MIT TEHETÜNK ELLENÜK?

Turóci Ágnes és Páll-Gergely Barna

Magyarországon kb. 30 meztelencsigafaj él, ezek közül 5–10 potenciális vagy aktuális kártevő. A legtöbbjük erdei vagy egyéb természetközeli élőhelyet kedvelő, kevésbé szünantróp életmódjuk miatt legtöbbször rejtve maradnak az avatatlan szemek előtt. A kártevő meztelencsigafajok számára vonatkozó becslés azonban fenntartással kezelendő: a régebbi hazai szakirodalom sok esetben nem tudományos sztenderdek szerinti, anekdotikus adatokon alapul. Ennek egyik oka, hogy nehéz a meztelencsigákat fajsztinten azonosítani. Számos génuszon belül több olyan faj is található a magyar faunában, amely a magas fajon belüli változatoság miatt külső morfológiai bélyegek segítségével nem vagy nehezen határozható. Ezért a fajok egy részét boncolni szükséges: az ivarszervük pontos anatómiai felépítése ad választ a fajok kilétére. A másik oka a megbízható források hiányának, hogy rejtett, éjszakai életmódot folytató állatok révén nehéz a megfigyelésük. Remek példa a kiskertekben gyakorta előforduló nagy meztelencsiga (*Limax maximus* Linnaeus, 1758), amely szinte minden vízóraaknában megtalálható, azonban az éjszakai tevékenységét senki nem követi, így pusztán a kertben való jelenléte is „gyanúba keveri”.

A problémás fajok

Bár a meztelencsigák között számos inváziós faj található, és jelentékeny hányaduk mezőgazdasági és kertészeti kártevőnek számít, hazánkban a spanyol meztelencsiga (*Arion vulgaris*

Moquin–Tandon, 1855) jelenti az egyik legnagyobb problémát.

A spanyol meztelencsiga (1. ábra) nagy elterjedési területtel rendelkező, gyorsan terjedő inváziós faj, mely komoly károkat okoz a kerttulajdonosoknak. A faj sikeres terjedésének okaira nehéz egyértelmű választ adni, de számos megfigyelés alátámasztja az emberi terjesztés szerepét a faj újabb és újabb területeken való megjelenésében. Kertészeti és egyéb mezőgazdasági szállítmányokkal hosszú utakat is túlélnek, számukra kedvező területeken pedig stabil populációkat alapíthatnak.

A spanyol meztelencsigan kívül a hálós meztelencsiga (*Deroceras reticulatum* (O. F. Müller, 1774)), a sárgaszalagos meztelencsiga (*Arion fasciatus* (Nilsson, 1823)), a budapesti meztelencsiga (*Tandonia budapestensis* (Hazay, 1880)), a pincelakó meztelencsiga (*Limacus flavus* (Linnaeus, 1758)) és potenciálisan a feketefejű meztelencsiga (*Krynickyllus melanocephalus* Kaleniczenko, 1851) okozhat leggyakrabban károkat a kertekben (2. ábra).



1. ábra: A spanyol meztelencsiga külső morfológiája



2. ábra: A leggyakoribb kerti kártevő meztelencsigafajok. A: budapesti meztelencsiga, B: hálós meztelencsiga, C: sárgaszalagos meztelencsiga, D: spanyol meztelencsiga, E: pincelakó meztelencsiga, F: feketefejű meztelencsiga. A skálák mindenhol 1 cm-t jelölnek

Felmérésük lehetőségei

Az inváziós fajok felmérése során a „citizen science” (közösségi tudomány) módszerek egyre nagyobb teret kapnak. A laikusok leginkább a tudományos kutatások első lépésében, az adatgyűjtésben segíthetik a kutatók munkáját. A beérkező adatokat a kutatók validálják és kiértékelik, valamint felhasználják további kutatások megvalósítására. A „citizen science” módszerek sikerének egyik alapköve, hogy körültekintően kell megválasztani a felmérni kívánt élőlénycsoportot. Kellően nagyok, könnyen észrevehetőnek, és viszonylag kevés karakter figyelembe

vételével nagy pontossággal jól azonosíthatónak kell lennie. A közösségi média eszközök (pl. Facebook) különösen hatékonyak lehetnek a rövid idő alatt történő sok adat begyűjtésében.

Mivel a spanyol meztelencsiga megfelel ezeknek a kritériumoknak (pl. nagy testméret, jellegzetes barna vagy vörös szín, ember által bolygatott területeken gyakori előfordulás), ezért a kutatók 2018-ban egy online kérdőív segítségével országos felmérés keretében próbálták utánajárni, hogy a spanyol meztelencsiga mennyire elterjedt az országban, okoz-e károkat a kerttulajdonosoknak, és milyen módszerekkel védekeznek ellene.

A spanyol meztelencsiga elterjedése és károkozása

2018. augusztus 22-én a kutatók közzétettek egy online kérdőívet a <https://www.agroinform.hu> weboldalon, melyet adatgyűjtési szempontból szeptember 24-én zártak le.

A kérdőívben a legfontosabb kérdések, hogy hol, mikor és milyen jellegű területen látta a spanyol meztelencsigát, valamint ha rendelkezik kiskerttel, okozott-e károkat és ha igen, milyen módszerekkel tud ellene védekezni.

Összesen 822 kérdőív adatai alapján a legtöbb kérdőív a Dunántúlról, az Északi-középhegységből és Budapest környékéről érkezett be, de az Alföld néhány települése is képviseltette magát.

A spanyol meztelencsiga abundanciájára vonatkozó kérdésre adott válaszok alapján a válaszadók közel kétharmada „rengeteg” vagy „sok” meztelencsigát észlelt. Beszámolók szerint, sok helyütt lépni sem lehetett tőlük eső után, akkora tömegben voltak jelen. A terület jellegére vonatkozóan a konyhakertben és a virágoskertben való megjelenés dominált, de sokan észlelték kerékpárúton, szántóföldön, falusi utcákon, és erdőben is.

Az elemzésbe vett 822 kérdőívből 665-ben írtak valamit a károkozás részhez (81%). A 665-ből 574-en jelezték, hogy okozott nekik károkat a faj (86%), míg 91 kérdőív kitöltő nem észlelt károkozást (14%).

A kérdőívekben a károk említése során sokféle zöldséges- és virágoskerti növény pusztítása előkerült. Azok a növények is a spanyol meztelencsiga étlapjára kerülhetnek, amelyek erős szövetekkel és aromás illatanyagokkal rendelkeznek (pl. bársonyvirág, muskátli). A leggyakrabban említett konyhakerti növények azonban a következők voltak: salátafélék, paradicsom, zöldborsó, bab, szamóca, káposztafélék, tökfélék termése, és dísznövények.

A kutatás nem terjedt ki a mezőgazdasági károkozásra, de a kerttulajdonosok személyes tapasztalataiból következtethetünk a mezőgazdaságban is számottevő károkozás lehetőségére.

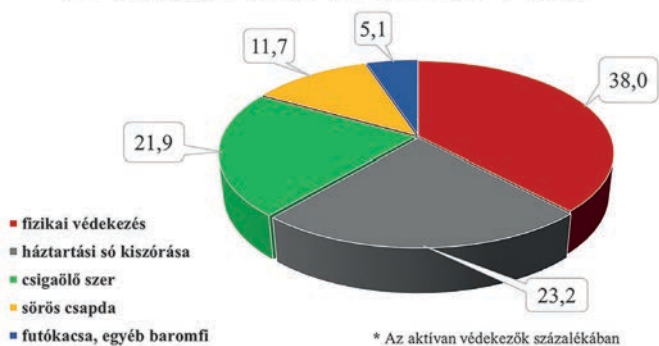
A KSH szerint közel 1,1 millió háztartásban folytattak mezőgazdasági tevékenységet. Ezek felében, kb. fél millió kertben valószínűleg természetek zöldséget, dísznövényt, amiket támadhat a spanyol meztelencsiga. Ha feltételezzük, hogy minden kertben volt károkozás, és csak kertenként 2000 Ft-tal számolunk, ez már akkor is 1 milliárd forint kárt jelentene. A károkozás becslésénél itt meg is állunk, mert a becsült összeg nagyban függ az okozott kár nagyságától, a kert méretéről, és földrajzi elterjedéséről, amelyekről jelenleg nem rendelkezünk megbízható adatokkal.

Védekezési módszerek

A kérdőívet kitöltők közül az aktívan védekezők sokféle megoldással próbáltak fellépni a károkozás ellen, a leggyakrabban öt módszer került említésre (3. ábra).

Az egyik legelterjedtebb a fizikai módszer: a legtöbbben összeszedik, eltáposzák vagy valamilyen szerszámmal (pl. kapá) kettévágják őket. A fizikai megsemmisítés talán a leghatékonyabb és legolcsóbb megoldás, azonban intenzív érintkezést igényel az állatokkal, ezért sokan vonakodnak tőle.

Az öt leggyakoribb védekezési módszer *



3. ábra: A spanyol meztelencsiga kártétele ellen használt leggyakoribb védekezési módszerek

Sokan használtak valamilyen higroszkópos anyagot az irtáshoz, melyek a vízelvonó hatásuk miatt kiszáritással ölik meg az állatokat. Ezek közül a legelterjedtebbek az állatra kiszórt háztartási só, mézspór, gipsz, hamu és szódobikarbóna voltak. Előfordult az ecet és az ammónium-nitrát alkalmazása is. A vegyszeres megoldások között akadnak környezetre káros módszerek (pl. sózás), amelyek szükségtelen szenvedést is okoznak az állatoknak.

Sok kerttulajdonos említette a hagyományos sörös csapdák kihelyezését is, melynek illóanyagai odavonzzák az állatokat, a csapdába beleesve pedig elpusztulnak az 5% körüli alkoholban. Hátránya, hogy a sörcsapda a szomszédból is odavonzza az állatokat, és rendszeres ürítést, valamint a sör pótlását igényli.

Metaldehid tartalmú csigaölő granulátum kihelyezése is történt számos esetben. A csigaölő granulátum nagy hatékonysággal pusztítja a meztelencsigákat, viszont akinek kisgyermeke vagy kutyája van, az nem meri kitenni a kertbe. További hátránya, hogy nem szelektív módszer: a granulátum egyéb (akár védett) csigafajok elpusztítását is eredményezheti, és a madarak is könnyen összeszedhetik. A metaldehid használatának jogi szabályozása is módosult a kérdőíves felmérés óta: 2021-től csak növényvédelmi szakemberek vásárolhatják a gazdaboltokban.

Biológiai védekezésként az indiai futókacsa került említésre, melynek kedvenc eledele a meztelencsiga, de egyéb baromfi tartása is hatásos lehet az irtásban. Az indiai futókacsa hosszútávú megoldást jelent a folyamatos csigautánpótlás felszámolására. Hátránya, hogy befektetést, infrastrukturális beruházást (elég hely, menedék), valamint gondozást igényel. Az ezt a módszert alkalmazók azonban a legjobban bevált védekezési módszerként említették az indiai futókacsa tartását.

A biológiai védekezés egyéb lehetőségei

Bár a kutatás ezekre nem terjedt ki, más biológiai védekezési módszerekre is van lehetőségük a kerttulajdonosoknak. Azokat a gyomfajokat, amelyek vonzóbbak lehetnek a spanyol meztelencsiga számára,

mint a termesztett növények, a gazdaságilag fontos ültetvények széleire ültethetjük, ezáltal csökkentve a termesztett növények fogyasztását. Ilyenek lehetnek a gyermekláncfű, a pásztortáska, vagy a perzsa veronika. Ennek ellenkezője, a meztelencsigák számára taszító hatású alkaloidokkal rendelkező növények alkalmazása is szóba jöhet, amelyeket kiültetve a gabonátlábkra, elriaszthatják a meztelencsigákat. A kőményben lévő bizonyos terpenoidok ilyen hatással bírhatnak.

Biológiai védekezési módszerek közül a legnagyobb irodalommal a parazita fonálféreg, a *Phasmarhabditis hermaphrodita* (A. Schneider, 1859) rendelkezik. Meztelencsiga biológiai kontrolljára először 1994-ben alkalmazták ezt a fajt (Nemaslug® MicroBio Ltd), ezután széles körben elterjedt a piacon. Nagy előnye, hogy szelektív szer: specifikusan a megfertőzött meztelencsigákat öli, ezért nem jelent veszélyt más, hasznos organizmusokra (pl. földigiliszták).

Ugyancsak biológiai kontrollként bizonyos ragadozó futóbogárfajok is bevetethők (pl. *Abax parallelepipedus*, *Carabus nemoralis*, *Pterostichus* spp), melyek előszeretettel fogyasztják a meztelencsigákat. A futóbogárral „kezelt” területeken akár a molluskicid vegyszerkezeléssel megegyező hatékonysággal is csökkenhet a meztelencsiga kártétel.

Idegenhonos meztelencsigafajok

Az utóbbi évek intenzív kutatásának köszönhetően folyamatosan növekszik a hazai meztelencsigafajok száma a faunára új fajok felfedezése által. Az elmúlt öt évben a kutatók összesen hét meztelencsigafajt jeleztek elsőként vagy erősítették meg korábbi, bizonytalan adatukat. Ezek a fajok a malaccsiga (*Tandonia kusceri* (H. Wagner, 1931)), a feketefejú meztelencsiga (*Krynickillus melanocephalus* Kaleniczenko, 1851), a foltos meztelencsiga (*Limacus maculatus* (Kaleniczenko, 1851)), a hódító meztelencsiga (*Deroceras invadens* Reise, Hutchinson, Schunack & Schlitt, 2011), a kétsávú meztelencsiga (*Ambigolimax valentianus* (A. Férussac, 1821)), a kispöckű meztelencsiga (*Ambigolimax parvipenis* Hutchinson,

Reise & Schlitt, 2022) és a tarajos meztelencsiga (*Milax nigricans* (Philippi, 1836)) (4. ábra).

Általános tapasztalat, hogy a behurcolt meztelencsigafajok a Mediterráneum területeiről, a Balkán egyes régióiból, valamint a Kaukázusból és a Fekete-tenger partvidékéről származnak. A most felfedezett fajok hazai kártételéről keveset tudunk, a nemzetközi szakirodalom azonban többet is – például a kétsávos meztelencsigát, a hódíó meztelencsigát – súlyos kártevőként, esetenként inváziós fajként jelöl.

Terjeszkedésükben elsősorban a megnövekedett kereskedelem által történő behurcolás játszhatja a legfontosabb szerepet, aminek biztos indikátora, hogy a felfedezett fajok többsége budapesti kertészetekből és a Fűvészkertből került elő. Feltételezhetjük, hogy az újonnan azonosított fajokat dísznövényekkel már országszerte sok magánkertbe is széthurcolták. Jövőbeli kutatások adhatnak választ arra, hogy ezek a fajok megtelepednek-e Magyarországon, és okozhatnak-e gazdasági kárt.



4. ábra: Új idegenhonos meztelencsigafajok a magyar faunában. Fentről lefelé: kispöckű meztelencsiga, kétsávos meztelencsiga, hódíó meztelencsiga, feketefejű meztelencsiga, foltos meztelencsiga, tarajos meztelencsiga és malaccsiga. A skálák mindenhol 1 cm-t jelölnek.

IRODALOM

- Turóci, Á., Fehér, Z., Varga, A., Zsigó, Gy. & Páll-Gergely, B. (2020): A spanyol meztelencsiga (*Arion vulgaris* Moquin-Tandon, 1855) gazdasági károkozása és a védekezés lehetőségei. *Növényvédelem*, 81(8): 361–369.
- Turóci, Á., Hutchinson, J. M. C., Schlitt, B., Reise, H., Rapala, M. & Páll-Gergely, B. (2023): Five new introduced terrestrial slugs in Hungary. *Bioinvasions Records*, 12(3): 711–729.

EGY ISMERETLEN ISMERŐS: A DARÁZSSZITKÁR HERNYÓI ELLENI AGROTECHNIKAI VÉDEKEZÉS A SZEDER TÖVEK FELTÖLTÖGETÉSÉVEL

Szócs Gábor

Környezetünk, a növény- és állatvilág állandó változásban van. Az özönnövények és az inváziós kártevők általában hamar felhívták magukra a figyelmet, hiszen gyorsan felszaporodnak, alakítják a tájat, sokszor nem kevés bosszúságot okozva ezzel nekünk embereknek. A lakásokba ősszel behúzódó márványospoloskák vagy a vadgesztenyefák lombzatát elcsúfító, megbarnító levélaknázómolyok nem sokáig maradnak észrevétlenek. Nem így az egyes rejtve fejlődő, alattomosan károsító rovarok. Közéjük tartozik a darázsszitkár (*Synanthedon vespiformis*). Ennek a fajnak a kifejlett alakja, a lepke akár szépnek is tűnhet bársonyosan fekete potrohával, amelyen élénksárga gyűrűk díszelnek. Szárnyainak széle szintén fekete kontúrú, ám ettől eltekintve áttetsző. Megcsillan rajta a napsugár, és az összhatást csak fokozza az elülső szárnyak szegélyével párhuzamos lefutású, élénk piros csík. Igazán tetszetős, noha nem is annyira lepkére, mint inkább egy kisebb méretű darázsra emlékeztet. Erről kapta a magyar nevét is, darázsszitkár. Megjelenése, röpte is darazsat utánoz (mimikri). Mindez a riasztást szolgálja, amivel támadóit megtéveszti. Hernyója lombos fák kérge alatt fejlődik. Elsősorban a tölgyet és a bükköt kedveli, de egyéb fákon, így olykor a szelídgesztenyén, nyárfán, ritkán a mandulára oltott őszibarackon is kifejlődik. A hazai fauna jól ismert tagja, őshonos faj. Gyakorinak azonban egyáltalán nem mondható, olyanra nem, hogy kárt korábban még szinte sohasem okozott. Sőt, éppen ellenkezőleg. A lepkegyűjtőknek igazán szerencséseknek kellett lennie ahhoz, hogy megtalálják. *De hát, akkor mi vele a baj?* – kérdezhetnénk.

Váltsunk most helyszínt! Tüskétlen szeder-ültetvények, Nógrád megyében. Nem kis beruházást igényel egy ilyen ültetvény telepítése és fenntartása,

hiszen a szeder támrendszert igényel, meg csepegtető öntözést. Továbbá, egy ilyen ültetvényt nem árt bekeríteni. Szóval, nem olcsó, de hát a gyümölcs sem az. És egyszer csak mi történt a 2003–2007-ös évek táján, tavaszi időszakokban? Lombfakadást követően egész tövek száradtak el hirtelen, látszólag minden ok nélkül. Egyes ültetvényekben akár 30%-os is volt a tópusztulás. Vizsgálták az okait, de mindhiába. Elemezték a talaj összetételét, kutattak kórokozók után. Azonosítottak is egy sereg szaprofita gombát, de ezek békésen éltek a növényen, nem ezek okozták a bajt. Az igazi tettesre csak nem akadtak. Mígnem az egyik növénykórtani laborban, a bezacskózott szedertő-mintából kirepült egy furcsa szerzet. A jószágot Dr. Szeőke Kálmán rovartanos kollegának továbbították, aki rögvést azonosította is: darázsszitkár. Így derült fény a tettes kilétére, és arra a ritka jelenségre, hogy ez az őshonos faj rákapott a szederre. Bővült tehát fajnak a tápnövény köre, mégpedig meglehetősen meglepő módon. Merthogy az valóban nagyon szokatlan, hogy az „ugrás” ennyire más tápnövényre történjék.

A kártevő ismeretében ezt követően már könnyűszerrel megtalálták a xilofág, azaz a fás részekben járatokat furkáló hernyót is. Kiderült az is, hogy a hernyók a szeder tövekben élnek, sem a gyökerekbe, sem pedig a vesszőkbe nem fúrnak bele. A tövekben pedig hamar elrágják a szállító szöveteket. Mégpedig elsősorban tavasszal, mivel a hernyók a tövekben telelnek át, és tavasszal, gyorsan növekedvén sok tápanyagra van szükségük, így hamar elpusztítják belülről a töveket. Ezért száradnak el olyan gyorsan a szederbokrok. A hernyó a tövekben, közvetlenül a bőrszövet alatt bábozódik. A lepke a bábból történő kibúvása során felrepszti a vékony bőrszövetet, a bábinget pedig a járatból kitüremkedve hátrahagyja

a tövön. Mindez közvetlenül a talaj felszínének magasságában történik, sőt nemritkán egy-két centiméterrel a talajszint alatt. Ezért még a hátrahagyott üres bábinget sem könnyű észrevenni.

Ismerjük tehát a kártevőt és ismerjük azt is, hogy hogyan károsítja a szeder töveket. Node, mit lehetünk ellene?

Először is fel kellene mérnünk, hogy mennyire elterjedt ez a rejtett kártevő a szederültetvényekben. Ez azonban nem is volt olyan könnyű feladat, hiszen nem kezdhetjük el metszőollóval szétbontani a szeder töveket, hogy megtudjuk, van-e bennük hernyó. Közismert, hogy a kártevő lepkék előrejelzésére rendkívül hatékony eszköz a feromoncsapda. Ezeknek a csapdáknak a hatóanyaga egy illatanyag, az adott kártevő faj nőtényei által termelt szexferomon, ami a hímeket odacsalogatja. Ezek a csapdák fajspecifikusak, tehát csak annak a lepkefajnak a hímjeit csalogatják, amely faj nőtényeinek a szexferomonját tartalmazzák. Igen ám, csak hogy a darázsszitzkár szexferomonjának a kémiai szerkezetét még nem tárta fel senki sem, vagyis nem ismert a feromonja, így feromoncsapda sem állt rendelkezésre erre a fajra sehol a világon. Egy lepkefaj szexferomonjának meghatározása pedig korántsem egyszerű feladat (az okokat itt most nem részletezzük), akár éveket is igénybe vehet. Szerencsére korábbi kutatómunkánk részeredményei sokat lendítettek a csapda kifejlesztésében. A szitzkárók (Sesiidae) családjában ugyanis jó néhány faj szexferomonja már ismert volt, és ezek a feromonok, bár különböző vegyületek, mégis kémiai szempontból nagyfokú hasonlóságot mutatnak. Ezért a vegyületek oldaláról megközelítve a kérdést, mód nyílt arra, hogy a vegyészek további hasonló kémiai szerkezetű vegyületeket szintetizáljanak. Ezeket a vegyületeket és keverékeiket aztán szabadföldi csapdázás kísérletekben, sorozatvizsgálatokban teszteltük. Szerencsénk volt, mert így sikerült „kiszúrunk” egy olyan vegyületet, ill. kombinációt, „ami néhány darázsszitzkár hímot vonzott a csapdáknak. Ezen a nyomon haladva,

akkor, amikor a szitzkár-probléma váratlanul felvetődött, egy év alatt sikerült kifejlesztenünk egy nagyon hatásos feromoncsapdát a darázsszitzkár rajzásának nyomonkövetésére. A későbbiekben a darázsszitzkár nőtényei által kibocsátott szexferomon kémiai elemzésével beigazolódott, hogy az általunk kifejlesztett szexattraktáns valóban megegyező kémiai összetételű a faj „igazi” szexferomonjával. 2007-ben már az általunk kifejlesztett ragacsos feromoncsapdával követtük nyomon a darázsszitzkár rajzását egy szederültetvényben, Berkenye község határában. Erről 2008 januárjában be is számoltunk a Keszthelyi Növényvédelmi Fórumon. Ezek a szabadföldi kísérletek, és a továbbiak is szoros együttműködésben folytak Szántóné Veszélka Máriával és Torzsa Saroltával (Nógrád Megyei Kormányhivatal Növény- és Talajvédelmi Igazgatóság). †Dr. Kakukk Attila, a Berkenye és Nógrád községek határában fekvő szeder- és málnaültetvény tulajdonosa, valamint Kucsera János (Nézsza) szeder- és málnaültetvény tulajdonos folyamatosan együttműködött velünk, támogatta a kísérleteket. A kutató-fejlesztő munka eredményeképpen a következő évtől az Intézetünk által működtetett szaktanácsadó projekt révén, mint a Csalomon® feromoncsapda-család legújabb tagja, bárki meg is rendelhette a darázsszitzkár rajzásának nyomonkövetéséhez ragacsos (RAG) feromoncsapdákat.

A kísérletek azonban nem álltak meg. A következő szezonban igazoltuk, hogy a szexferomon nem csak ragacsos, hanem nagy fogó-kapacitású varsás (VARL+) csapdáknak is kiválóan működik, így már tömegesen lehet befogni a hímeket. Ezt követően a feromoncsapdák segítségével felmértük a környék szeder ültetvényeiben a kártevő rajzását. Megállapítottunk, hogy darázsszitzkár (amelyet időközben a Csalomon® feromoncsapdák honlapon találóan a szeder-darázsszitzkár néven szerepeltettek) mindenütt tömegesen előfordul, sőt azt is kimutattuk, hogy a málna ültetvényekben is tömegesen rajzik (1–3. fotó). A málna fertőzöttségét tő-vizsgálatokkal is igazoltuk. A továbbiakban megállapítottuk, hogy a ‘Loch Ness’ és a ‘Thornfree’ szeder ültetvényekben (hazánkban ez a két szederfajta közkedvelt) egyaránt nagyon je-

lentős mértékű a kártevő aktivitása. Tehát ebben az esetben sajnos a fajtaválasztás sem segít. A rajzás megfigyelését viszont sikerült megoldanunk.



1. fotó: Varsás feromoncsapda málna ültetvényben (Teski Anna felvétele)



2. fotó: Hím darázsszitkár repül az általunk kifejlesztett varsás feromoncsapdába (Teski Anna felvétele)

A kártevő gyérítése azonban továbbra is megoldandó feladat maradt. Annál is inkább, mivel abban az időben már csupán egyetlen engedélyezett növényvédő szer maradt, amelyet elvileg szeder ültetvényben is alkalmazni lehetett. Elvileg, mivel 42 napos volt az ételmezés-egészségügyi várakozási ideje. A darázsszitkár rajzása május közepétől



3. fotó: Hím darázsszitkár lepkék a varsás feromoncsapda fogóedényének alján

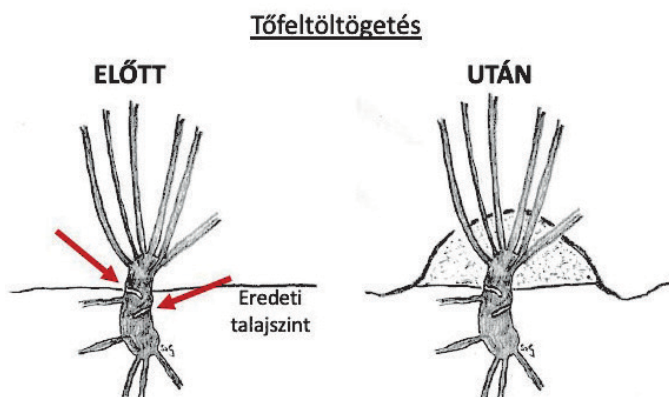
végétől kezdődik. A rajzás csúcs pedig közvetlenül a szeder virágzása előtti időszakban kezdődik és a tömeges rajzás több hétig is eltart. Virágzaskor pedig a méhek rendszeresen látogatják az ültetvényt. Ezért ebben az időszakban egy hosszú várakozási idejű szert aligha lehetett alkalmazni. Ígéretesnek tűnhet, hogy a varsás feromoncsapdákkal végzett kísérleteink eredményei azt mutatták, hogy sok csapda alkalmazásával (tömeges csapdázással) gyéríteni lehet a darázsszitkár hímjeit, és ezáltal már ugyanannak a vegetációs időszaknak a közepére csökkenhet a töfertzózság mértéke. A bökkenő csak az volt, hogy ehhez sok csapdát kellett alkalmaznunk és ezért a módszer munkaigényes (a csapdák kihelyezése bizony idő- és munkaigényes feladat). A másik korántsem lebecsülendő hátrány, hogy sok csapda sokba kerül, tehát jogosan merül fel, hogy megéri-e mindez. Véleményünk szerint ideális lenne a feromonnal történő ún. légtértelítési módszer is. Ebben az esetben azonban a technológia már vegyszeres növényvédelemnek számít, és ennek megfelelően a légtértelítéshez használt készítményt hatóságilag engedélyeztetnie kell a gyártónak/forgalmazónak. A kérelem benyújtása a gyártó-, ill. a forgalmazó cégek hatáskörébe tartozik. Mivel az eljárás költséges, a cégek azt is mérlegelik, hogy az adott kultúra mekkora felvevő piacot jelent a szernek. Bogyósok esetében pedig kétszer is meggondolják az érintettek, hogy belevágjanak-e. Ezért aztán más módszer után kellett nézni. Olyan módszert kellett találni, fel-

fedezni, ami egyszerű, olcsó és gyorsan, helyben megvalósítható.

Ebben a helyzetben merült fel bennünk a szeder tövek mechanikai védelmének ötlete. A darázsszitkár lárvái ugyanis a tövek gyökérnyaki részében készítik járataikat, sem a gyökérbe nem fúrnak be lefelé, sem a vesszőkbe nem hatolnak felfelé. Feltételeztük, hogy a ennek megfelelően a nőtény lepkék a gyökérnyaki részhez (közvetlenül a talaj felszíne felett) rakják le petéiket. Az ötletünk egyszerű volt: a gyökérnyaki részt kell megvédenünk, hogy a nőtények ne férjenek hozzá, ne tudják oda helyezni a petéiket. Úgy gondoltuk, hogy ez legegyszerűbben a szeder tövek feltöltögetésével, a környező talajjal történő felkupacolásával érhető el

(1. ábra). A kétéves kísérletekre Berkenye község határában egy 1,5 ha-os, 12 éve telepített 'Loch Ness' szeder-ültetvényben került sor 2012–2013-ban. Az ültetvényben tőfeltöltögetésre kijelöltünk egy 0,16 ha-os parcellát, valamint közvetlenül mellette egy szintén 0,16 ha-os kezeletlen kontroll parcellát. A tőfeltöltögetést áprilisban, a kártevő rajzásának kezdetét megelőzően végeztettük el, mely során a töveket kb. 30 cm magaságig takartattuk be az ültetvény talajával. Ezt a műveletet a szezon derekán megismételttük, mivel a talaj időközben megsüppedt. A rákövetkező évben szintén két alkalommal került sor a feltöltögetésre, hasonló időzítéssel. A két év során a parcellák helyzetét nem változtattuk, hiszen a kártevő hernyója fejlődése során akár kétszer is áttelelhet a gyökérnyakban. A már meglévő (kezdeti) károsítás mértékét először a tőfeltöltögetést megelőzően mértük fel mindkét parcellában. Ezt követően a vegetációs időszak közepén és a végén is elvégeztük a felvételezést. A következő évben a vegetációs időszak közepén és a végén mértük fel a károsítást. A parcellákban a fertőzött tövek számát, majd pedig véletlenszerűen kiválasztott szeder töveken a károsított vesszők arányát (az összes, a tövön lévő vesszőhöz képest) mértük fel. A parcellákban semmiféle peszticides kezelést nem alkalmaztak a kísérlet két éve során. A kiindulási állapotkor végzett felmérések azt mutatták, hogy a kezelés megkezdése előtti nem volt jelentős különbség a feltöltögetésre kijelölt (tőfertőzöttség: 26%) és a kontroll parcella között (24%). A három hónappal később, az augusztus elején végzett felvételezéskor viszont már 54%-os volt a tőfertőzöttség a kontroll parcellában, míg a tőfeltöltögetéses parcellában nem emelkedett a fertőzés mértéke a kiindulási állapothoz képest. A vegetációs időszak végére az új módszerrel kezelt parcellában a töveknek csupán 30%-a volt fertőzött, vagyis alig emelkedett a fertőzöttség a kiindulási állapothoz

szóhoz képest) mértük fel. A parcellákban semmiféle peszticides kezelést nem alkalmaztak a kísérlet két éve során. A kiindulási állapotkor végzett felmérések azt mutatták, hogy a kezelés megkezdése előtti nem volt jelentős különbség a feltöltögetésre kijelölt (tőfertőzöttség: 26%) és a kontroll parcella között (24%). A három hónappal később, az augusztus elején végzett felvételezéskor viszont már 54%-os volt a tőfertőzöttség a kontroll parcellában, míg a tőfeltöltögetéses parcellában nem emelkedett a fertőzés mértéke a kiindulási állapothoz képest. A vegetációs időszak végére az új módszerrel kezelt parcellában a töveknek csupán 30%-a volt fertőzött, vagyis alig emelkedett a fertőzöttség a kiindulási állapothoz

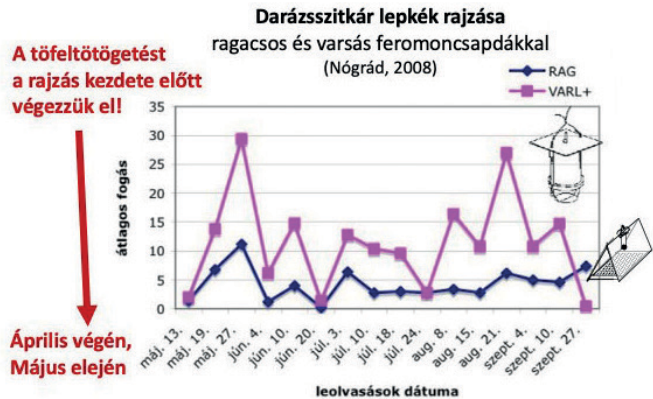


1. ábra: A tőfeltöltögetés vázlatos ábrája. A nyilak a darázsszitkár hernyóinak járatait mutatják a gyökérnyak belsejében

képest, míg a kezeletlen kontrollban a fertőzöttség mértéke majdnem megháromszorozódott, 72% lett. A következő év végére ez a különbség hasonlóképpen alakult. A vessző-fertőzöttségben a különbség mértéke még ennél is nagyobb volt. Természetesen azok a hernyók, amelyek már a felkupacolás előtt benne voltak a tövekben, továbbra is furakálni fognak. Ezért a kiindulási fertőzés mértékét csökkenteni abban a szezonban már nem lehet, viszont meg tudjuk akadályozni, hogy a szezon folyamán újabb hernyók furakodjanak a töbe. Első évben tehát teljes siker nem várható, hiszen a darázsszitkár különböző fejlődési stádiumban lévő hernyói a tövekben telelnek át. Viszont rendszeresen, minden évben megismételve a feltöltögetést már jelentős sikert érhetünk el

a szitkárrel szemben. Lényeges, hogy a feltöltögetést tavasszal, a lepkék rajzása előtt végezzük el. Bár a rajzási időszak kezdete időjárástól függően évről évre egy kicsit változhat, sok éves tapasztaltunk szerint Nógrád vármegyében április végén – május elején tanácsos elvégezni a feltöltögetést. A tömeges rajzás május második felére szokott esni, és néhány hétig eltart. Ezt követően, ha megcsappant számban is, de folyamatosan találkozhatunk újonnan kikelt lepkékkel. Augusztus vége felé egy újabb, rendszerint kisebb rajzáscsúcs várható. Meleg őszi időszakban még tovább rajzik a kártevő, egészen a hidegebb napok beköszöntéig (2. ábra). A második rajzáscsúcsra való tekintettel a feltöltögetést a szezon derekán célszerű megismételni, hiszen időközben a kupac megsüppedhet, és így a tövek szabad prédájává válhatnak a kártevőknek. A feltöltögetést kiskertben, néhány tő esetében kézi kapával is elvégezhetjük (4. fotó). Nagyobb méretű ültetvényben ezt a műveletet természetesen géppel végezzük.

„Többet ésszel, mint erővel!” – tartja a mondás. Napjainkban is van, sőt most, a környezetkárosítás korában nagyon is van létjogosultsága az új agrotechnikai védekezési módszereknek. Ezek sorába tartozik a szeder tövek feltöltögetése is. Alkalmaz-



2. ábra: A darázsszitkár rajzásának nyomon követése ragacos- és varsás feromoncsapdákkal



4. fotó: A tövek ismételt feltöltögetése a szezon folyamán. (Teski Anna felvétele)

ható kiskertekben és nagyméretű ültetvényekben egyaránt. Különösen ajánljuk a biogazdálkodók figyelmébe. Szinte semmibe sem kerül, nem kell hozzá semmi más, csak egy kapa. No, meg egy kis szaktudás.

IRODALOM

- Szócs Gábor (2020): Újabb inváziós növénykártevők a magyar mezőgazdaságban. Növényvédelem, 81: 105–114.
- Szócs Gábor, Torzsa Sarolta és Szántóné Veszélka Mária (2013): Mit tehetünk a szeder-darázsszitkár ellen? Kertészet és Szőlészet, 62(18): 15–16.
- Szócs Gábor, Torzsa Sarolta és Szántóné Veszélka Mária (2014): Mennyivel csökkenthető a darázs-szitkár kártétele a szeder tövek takarásával és tömeges csapdázással? Növényvédelem, 50: 263–269.

AZ INVÁZIÓS ÜRÖMLEVELŰ PARLAGFŰ ELLENI KUTATÁSOK: A PARLAGFŰ OLAJOSBOGÁR HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA

Kontschán Jenő, Magyar Donát és Kiss Balázs

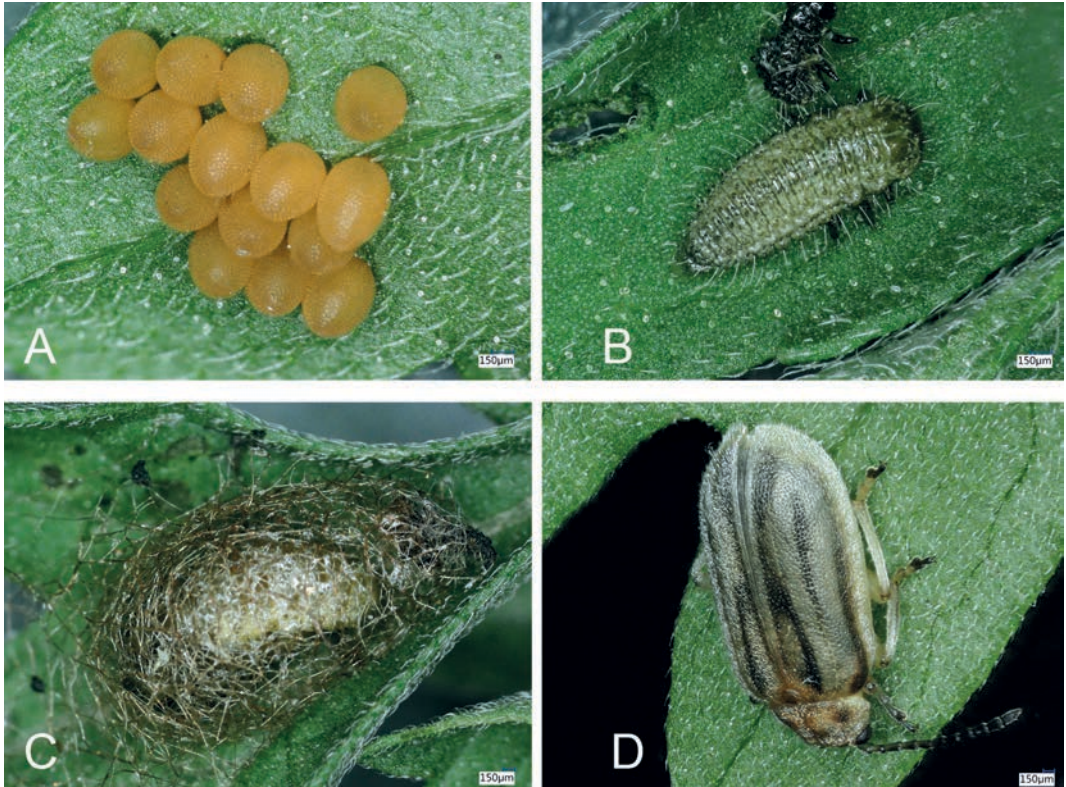
A hazánk szántóföldjein és bolygatott területein évről évre hatalmas számban megjelenő, a mezőgazdaság számára jelentős többletköltségekkel járó feladatokat és a lakosság egy jelentős részének pedig súlyos allergiás tüneteket okozó ürömlévelű parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia*) a fészkesek (Asteraceae) családjába tartozó idegenhonos, inváziós gyomfajunk.

A növény nagyon változatos morfológiájú, akár 2 méteres magasságot is elérhet, de általában ennél kisebb, a környezeti adottságok függvényében 20–150 cm magasra nő. Sok és jól fejlett oldalága miatt terebélyes növény, egyik legszembetűnőbb gyomfajunk. Kedvezőtlen környezeti feltételek között, nagy egyedsűrűségben, vagy esetleges kaszálás után akár már a 10-20 cm-es növények is nagy mennyiségű pollent és magot képesek érlelni. Levelei változatosak, általában erősen szeldeltek, kétoldalt sűrűn szőrözöttek, a színük sötétzöld, fonákjuk szürkésebb árnyalatú. Virágpóra allergén, a legfelső hajtásokon levő porzós fészkek virágaiból szabadulnak ki igen nagy, gyakran szemmel látható mennyiségben. A termős virágok a porzós virágokhoz legközelebb eső levél hónaljában bújnak meg. Termése szív alakú szürkés kaszat termé. Tavasszal magról kelő, egy-nyári gyomnövény. Csírázásához fényhatást igényel, ezért csak a talaj felszínére jutó, illetve a felszínhez közel található magvak csíráznak ki, de az ennél mélyebben elfekvő magok sokáig, akár évtizedekig is megőrzik csírázóképeségüket. A csírázáshoz viszonylag magas talajhőmérsékletet igénylő magok általában április-május hónapokban csíráznak, majd gyors növekedésnek indulnak. A növények virágzása és pollenszórása július hónapban kezdődik. Szélporozta növény, a légkörbe juttatott nagy mennyiségű pollen a légmozgással nagy távolságokra is

eljut. Ősszel a növény pollentermelése a csökkenő nappalhosszúság és az alacsonyabb hőmérséklet következtében fokozatosan lecsökken, de virágzása csökkenő mértékben akár az első fagyokig eltarthat. A növény a fagyhatásra elpusztul, és csak a magjai teelnek át.

Az ürömlévelű parlagfű eredetileg Észak-Amerika déli területeiről származik, Európába a múlt század elején hurcolták be. Sokáig csak botanikus kertekben lehetett látni, és valószínűleg az állomány egy része onnan vadult ki, míg sok helyre vetőmaggal és egyéb növényszállítmányokkal került el. Könnyen meg tudott telepedni, mert a talaj szempontjából nem válogatós, de azért a homokos talajokat jobban kedveli. A csírázás fényigénye miatt elsősorban bolygatott területeken, állandó növényborítással nem rendelkező helyeken fordul elő. Hazánkban a XX. század második évtizedében jelent meg Somogy vármegyében, majd a szállítási útvonalak mentén gyorsan szétterjedt az egész országban. Bár a hűvösebb klímájú északi területek kevésbé kedvezőek számára, ennek ellenére hazánk egész területén megtalálható. Néhány hazai soktápnövényű (polifág) rovar a parlagfűn is képes táplálkozni, ezek azonban a növényállományokra elhanyagolható hatással vannak. Kifejezetten a parlagfűre specializálódott növénykárosítóról sokáig hazánkban nem tudtunk. Számos jel utal arra, hogy a parlagfű európai sikerességének egyik oka, más inváziós fajokhoz hasonlóan, hogy eredeti élőhelyein megtalálható természetes ellenségeinek jelentős része az új élőhelyeken nincsen jelen.

A parlagfű első specialista növényevő természetes ellenségének, a parlagfű bagolylepkének (*Acontia candelacta*), a megjelenésére 2012-ig kellett várni. Ez a lepkefaj mára általánosan elterjedté



1. ábra: Parlafű-olajosbogár: A. tojások, B. lárva, C. báb a szövédékekében, D. kifejlett rovar

vált Magyarországon. Az eredendően Észak-Amerikában élő fajt biológiai védekezési céllal telepítették be az egykori Szovjetunió Krasznodar és Sztavropol régiójában az 1960-as években. Innen egy ideig nem terjedt tovább, azonban az ezredforduló környékén villámgyors terjedésbe kezdett. Bár sokan nagy reményeket fűztek hazai megjelenéséhez, azonban a hazai parlafű állományokban nem okozott jelentős kárt, így észlelhető légköri pollenszám-csökkenést sem. Közel tíz év elteltével a parlafűnek egy újabb észak-amerikai specialista kártevője, a parlafű-olajosbogár (*Ophraella communa*) jelent meg Magyarországon.

A parlafű-olajosbogár

A parlafű-olajosbogarat viszonylag későn, 1986-ban fedezték fel a tudomány számára Észak-Amerikában, ahol az USA, Kanada és Mexikó terü-

letén is megtalálható. Európából 2013-ból ismerjük, vagyis a faj a felfedezését követő 30 éven belül jelent meg egy másik kontinensen. A szakirodalomban elsődlegesen oligofág fajként említik, amely kizárólag az Asteraceae növénycsalád leveleit és virágát fogyasztja, azonban a megfigyelések szerint fő tápnövényein a jól ismert allergén, idegenhonos, inváziós ürömlevelű parlafűn és az óriás parlafűn (*A. artemisiifolia*, *A. trifida*) kívül más rokon növényeken csak legvégső esetben táplálkozik. Noha táplálkozását megfigyelték néhány egyéb fészkesvirágzatú növényen is, kijelenthető, hogy a fajnak szinte kizárólagos tápnövénye a parlafű.

A bogár csoportosan rakja le narancssárga tojásait a parlafű fiatal leveleire. Egy-egy tojás csoportban jellemzően 25–27 tojás található, a növény levelén a tojás csoportok könnyen észrevehetők. A tojások felszínét apró piramis alakú képződmények borítják. A tojás maradványai a kikelés után megsöté-

tednek. A tojásból kikelő szürkés színezetű lárvákon hosszú szőrök találhatók. Néhány hét után a lárvá a parlafű levelén bebábozódik, a báb köré egy jellegzetes, erős, szinte dróthálószerű szövetéket készít. A bábból kibújó imágó 3–4 mm testhosszúságú állat. Mintázata jellegzetes, a fej és az előtor barnás, míg világosbarnás-szürkésbarnás színezetű szárnyfedőn jellegzetes fekete sávzás figyelhető meg. A csápok vége feketés, míg a lábak világos színezetűek. Mint oly sok levélbogárnál a nemek elkülönítése nem egyszerű, ehhez az ivarszerv mikroszkópos vizsgálata mellett a méret és a testalkat nyújthat némi fogódzót.

A parlafű-olajosbogár jelenlétére parlafűn lévő a jellegzetes rágásnyomok alapján is következtethetünk. Bár nem kizárólag a levelet fogyasztja, azonban intenzív kártétele a növényen itt figyelhető meg a legjobban.

A parlafű-olajosbogár megjelenése és elterjedése hazánkban

A bogár megjelenése várható volt hazánkban, mivel a szomszédos déli országokban, Szerbiában, Horvátországban és Szlovéniában már korábban megtalálták, a legközelebbi előfordulásait a határtól mintegy 100 km jelezték. Ugyanakkor a faj meglepetésre nem a déli határ közeléből, hanem Budapest XXIII. kerületéből, Soroksárról került elő először 2020-ban. Mivel a terület közel van több fontos közlekedési csomóponthoz, feltételezhető, hogy véletlen behurcolás eredménye lehet a soroksári jelenlét. Első észlelését követően kérdéses volt, hogy a nálunk melegebb európai régiókban elterjedt faj képes-e hazánkban áttelelni és állandó állományokat létrehozni. Az újabb kutatások erre a kérdésre választ adtak, mivel a faj a következő években is nagy számban volt megtalálható Soroksáron július közepétől, illetve Budapest több pontján is megjelent. Ugyanakkor írásunk elkészültéig (2023-ig) Budapesten kívül csak Pest vármegyéből (Fótól, Vecsésről, illetve Pilisvörösvárról, Szigetszentmiklósról és Törökbálintról) került elő. Budapesten és környékén tehát megtelepedettnek tekinthető a faj, ugyanakkor jelenleg még kérdés, hogy a fővárostól távolabb is

előfordul-e a bogár, illetve mennyi idő alatt terjed el az ország egyéb területein.

Mennyiségi adatok

A soroksári területen mennyiségi mintavételezést végeztünk 2021 augusztus 18-a és szeptember 18 között, ezután a parlafű állományt lekaszálták. A parlafűállományban hetente 3*10 fűháló csapással vett mintákban számoltuk le a bogarakat, és meghatároztuk a faj egyedszámának változását. Bár ez az előzetes vizsgálatunk csupán rövid időtartamra koncentrált, az megállapítható volt, hogy a maximális egyedszámot az állomány augusztus közepére érte el, utána csökkenő tendenciát mutatott az imágók száma. Ugyanakkor fontos hangsúlyozni, hogy a jövőben több éves, többféle élőhelyre kiterjedő vizsgálatokra lesz szükség a faj hazai populációdinamikájának pontosabb felmérése érdekében.

Táplálékválasztás

Bár a parlafű-olajosbogár elsődlegesen parlafűn él, de mégis inkább oligofág fajként tartják számon. Néhány esetben megfigyelték a fészkekhez tartozó más gyomfajokon és haszonnövényeken is, ezért laboratóriumi vizsgálatban három gyomnövény (fekete üröm – *Artemisia vulgaris*, betyárkórón – *Conyza canadensis*, szőrös disznóparéj – *Amaranthus retroflexus*) és a napraforgó levelén megvizsgáltuk a táplálkozását.

A vizsgálatunk során a parlafű-olajosbogárnak jól megfigyelhető kártétele volt laboratóriumi körülmények között a parlafűn, míg a vele együtt felkínált egyéb növényeket nem fogyasztotta. Az egyéb növényfajokon a bogár még parlafű hiányában sem táplálkozott. Hasonló eredményeket kaptunk gazdaságilag legjelentősebb fészkes növényfajunkkal, a napraforgóval is, amelynek levelét akkor sem fogyasztotta, ha az volt az egyetlen elérhető táplálékforrás.

Mint azt említettük, a parlafű-olajosbogár számottevő elterjedéséről Budapest esetében beszélhetünk. A fővárosi utak szegélyén, parkok virágágyásaiban gyakran figyelhetünk meg a parlafű-



2. ábra: Parlagfű és rajta a parlagfű-olajosbogár rágásnyoma Budapest belterületén

olajosbogár által károsított parlagfűveket. Nem ritka az sem, hogy ezeknek az állományoknak a szomszédságában nagyobb mennyiségben találhatóak a parlagfű közeli rokonságába tartozó dísznövények, leginkább büdöske (*Tagetes pumila*, pl. IX. kerület, Üllői út). Mindezidáig azonban nem figyeltünk meg egyetlen dísznövényt sem, amelyen parlagfű-levélbogár, vagy annak kártétele vagy akár petéi előfordultak volna. Egy belvárosi virágágyásban (VI. kerület, Liszt Ferenc tér) a parlagfű szoros tőszomszédságában hat rokon növényfajt figyeltünk meg (borzas kúpvirág – *Rudbeckia hirta*, lándzsalevelű

menyecskeszem – *Coreopsis lanceolata*, kokárdavirág – *Gaillardia*, tűzvirág – *Tithonia rotundifolia*, kék búzavirág – *Centaurea cyanus*, büdöske-*Tagetes pumila*). Jóllehet e dísznövények levelei összeérték a parlagfű leveleivel, a rajtuk táplálkozó *Ophraella* egyedek nem károsították őket.

Zárógondolat

Az ürömlevelű parlagfű valamennyi újabb természetes ellenségének megjelenése hozzájárul az inváziós allergén gymnóvény állományának korlátozásához. Ugyanakkor ezek a hatások önmagukban gyakran elhanyagolhatóan csekély mértékűek a gymnóvény sikerességét biztosító egyéb ökológiai feltételek mellett. A parlagfű bagolylepke elterjedése sajnos nem csökkentette érdemben a parlagfű hazai mennyiségét, illetve a légköri parlagfű pollenkoncentrációt. A parlagfű olajosbogár tekintetében bizakodásra ad okot, hogy olaszországi vizsgálatok 30%-os pollenszám-csökkenést mértek azokon a területeken, ahol a bogár nagy számban telepedett meg. Ugyanakkor szem előtt kell tartanunk, hogy egy idegenhonos fajról van szó, amelyről nem tudjuk milyen hatással lehet a hazai természetes és agrárökoszisztémákra, ezért nyomon kell követnünk alkalmazkodását a hazai körülményekhez. Egyrésztől, mivel tápnövényei az Asteraceae családból kerülnek ki, ahová egyik fő természetű növényünk a napraforgó is tartozik, érdemes figyelemmel követni a faj hazai tápnövénykörének alakulását, hazai haszon és természetes növényeken történő esetleges táplálkozását. Másrésztől nyomon kell követnünk a faj várható megtelepedését és sikerességét hazánk különböző éghajlati adottságú területein.

IRODALOM

- Kontschán, J., Kerezi, V., Bozsik, G., & Kiss, B. (2021): New occurrences of the ragweed leaf beetle (*Ophraella communa* LeSage, 1986) (Coleoptera, Chrysomelidae) in Hungary. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 56(2): 181–185.
- Kontschán, J. & Kiss, B. (2021): A parlagfű-olajosbogár Magyarországon – segítség a parlagfű elleni harcban. *Inform Kiadó*, Budapest, 40 pp.

NÖVÉNYI EREDETŰ HATÓANYAGOK A NÖVÉNYVÉDELEMBEN

Móricz M. Ágnes

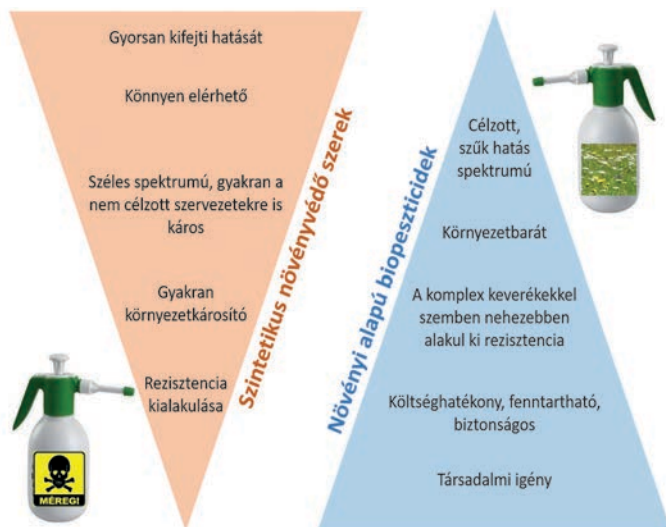
Az utóbbi évtizedben egyre nagyobb figyelem irányul a biológiailag aktív természetes vegyületekre. Itt nem csak a humán és állat egészségügyet érintő betegségek gyógyítására kell gondolni, hanem a növényi betegségek elleni hatékonyabb és kevésbé környezetterhelő védekezés iránti igényre is. Az egyre nagyobb társadalmi és fogyasztói igénynek eleget tevő biogazdálkodásoknak valamint a fenntartható, környezetbarát mezőgazdasági művelést folytató termelőknek is nagy szükségük van az új, természetes hatóanyagokra. Az egészséges mezőgazdasági növények biztosíthatják a megfelelő terméshozamot és alapját képezhetik az egészséges takarmánynak és élelmiszernek. Új hatóanyagokra több oknál fogva is igény van. Egyrészt egyes korábban alkalmazott peszticidek hatékonysága mára lecsökkent a változatos genetikai törzsekkel rendelkező mikroorganizmusokban kialakult ellenállóság miatt (peszticid rezisztencia). Körülbelül 200 éve alkalmazunk különféle gombaölő szereket, a korai időkben elsősorban kontakt szereket, mint amilyenek a réztartalmú vegyületek és a kén. Felszívódó fungicideket, amik specifikusan és kis dózisban is hosszan és hatékonyan védenek, csak az utóbbi 50-60 évben használunk. Azonban ezzel a forradalmi változással a fungicid rezisztencia is elterjedt, aminek az az oka, hogy a felszívódó fungicidekkel szemben gyakrabban tapasztalható rezisztencia kialakulása, mint a kontakt növényvédő szerekkel szemben. Így a hatóanyagcsaládok (hasonló kémiai szerkezettel és hatásmóddal rendelkező vegyületek csoportja) elvesztették/elvesztik hatékonyságukat, amivel elkezdődött az időbeli verseny az új növényvédő szerek piacra kerülése és a kórokozók rezisztenciájának kialakulása között.

Mindeközben a tapasztalatok és a kutatási eredmények felszínre hozták több szintetikusan előállított

kémiai szer káros mellékhatását, azaz nem célszervezetekre gyakorolt pl. toxicitását, illetve tartós jelenlétét a mezőgazdasági művelésre használt földekben vagy élő szervezetekben. Ezért ezek a hatóanyagok, a környezetvédelmi előírások és szabályozások szigorításával tiltólistára kerülnek. A tartós (perzisztens, lassan lebomló), környezetszennyező vegyületek, mint pl. a halogéntartalmú rovarirtó szer diklór-difenil-triklóretán (DDT) alkalmazását is betiltották. A DDT forgalmazását zsírszövetben való felhalmozódása és rákkeltő hatása miatt először Magyarországon tiltották be 1968-ban. Hasonlóan, a 2005-től forgalomban lévő neonikotinoid hatóanyagú szerek használatát is felfüggesztette az Európai Unió (EU) 2013-ban; nem alkalmazhatók sem csávázószerként, sem talajfertőtlenítésre, sem a virágzást megelőző permetezésre a méhek számára vonzó növénykultúrákban, mivel a beporzást végző rovarok idegrendszerére károsan hatnak. Helyettük a rovarkártevők ellen piretroid és foszforsav-észter típusú anyagokkal lehet védekezni. A folyamatos hatóanyag kivonások szűkítik az EU-ban alkalmazható növényvédő szerek listáját (jelenleg kb. 500 hatóanyag), ezzel komoly kihívások elé állítva az agrár ágazatot, megnehezítve a növényi betegségekkel szembeni védelmet. Csak az utóbbi négy évben közel 60 hatóanyag engedélyét vonta vissza az EU, amelynek eredményeként körülbelül 350 terméket vontak ki a hazai piacról. Ezenkívül a betiltott vegyületek mellett többet felülvizsgálati listára tettek. Így ez is hajtja az új hatóanyagok felfedezése utáni vágyat, különösképpen, hogy az EU-ban az utóbbi években több hatóanyagot tiltottak be, mint amennyit engedélyeztek. Ráadásul egy szintetikus alapú új vegyület növényvédő szerként való engedélyeztetése nagy költséggel jár (több millió dollár) és akár 10 évig is eltarthat. A hosszadalmas és költ-

séges engedélyeztetést kiküszöbölendő, gyakran természetes hatóanyag tartalmú szereket is inkább növénykondicionáló, vagy nem engedélyköteles növényvédelmi hatású készítményként vezetnek be a piacra.

Az idegen invazív növények, kórokozók és kártevők az őshonos növényekkel, kórokozókkal és kártevőkkel találkozva új gazdanövény-betegség kapcsolatokat alakíthatnak ki. Így a globalizációval egyre jobban nő a nyomás a kutatói szférára, egyre nagyobb az igény az új hatásmóddal rendelkező hatóanyagok kutatására, felfedezésére. Ezek közül is a természetes hatóanyagok iránt nagyobb az igény, amelyeknek általában jobb a biohasznosulása, könnyebben lebomlanak és kisebb mellékhatással bírnak (kevésbé toxikusak emberre és más nem célzott, élő szervezetekre). Összehasonlítva a szintetikus kémiai szerekekkel, a természetes alapú növényvédő szerek (biopeszticidok) kisebb környezetterhelést is jelentenek, azaz kisebb az ökológiai lábnyomuk, ami lehetővé teszi a fenntartható mezőgazdaságot (1. ábra). A biopeszticidok térhódítását tűzte ki célul az EU is a 2027-ig terjedő ciklusban, növelve a fenntartható mezőgazdasági termelést folytató bio- és öko-gazdaságok számát és arányát.



1. ábra: A szintetikus és a növényi alapú növényvédő szerek előnyei és hátrányai

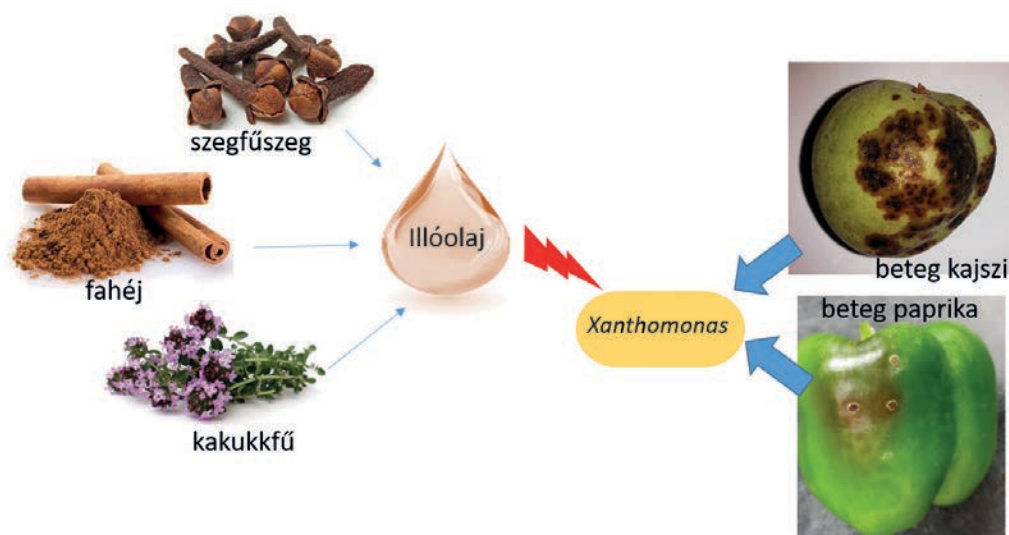
Biológiai kontrollra különféle szerek, szervezetek használhatók, mint pl. mikrobák, természetes anyagok, rovarok, atkák, fonálférgék és feromonok. A klasszikus biológiai védekezésben nagy múlttal rendelkező CABI létrehozta a BioProtection Portált, ami a biológiai növényvédő szerek legnagyobb nyílt hozzáférésű globális adatbázisa, ahol megtalálhatjuk az adott országban regisztrált, a megjelölt kártevő ellen alkalmazható szereket. A természetes, biológiailag aktív anyagok egyik kimeríthetetlen forrása a növények országa, amely több mint háromezernyi fajt foglal magában. A föld flórájának fajai a legkülönbözőbb másodlagos metabolitot termelnek, mivel immunrendszernek nevezhető szervezett védekezési mechanizmusuk nincs, hanem minden sejtjüknek egyedileg kell védekezni a környezetükből származó kórokozók, kártevők ellen. A bioaktív szekunder metabolitok, pl. terpenoidok, fenolos vegyületek, alkaloidok, poliacetilének, glükoszínolátok, a természetben könnyen lebomló vegyületek. Általában különféle hatással bírnak, például étvágytalanságot okoznak, csalogatnak, elriasztanak (repellensek), rovarölők, fungicidok, antibakteriálisak, allelopatikusak, ami által alkalmasak lehetnek biopeszticidoknak. Hatásos, nem fitotoxikus (a gazdanövényre nem káros) növényi kivonatok már kerültek kereskedelmi forgalomba, elsősorban Amerikában és Ausztráliában. Tudomásom szerint az illóolajok (a növény vízgőzdesztillációjával nyert olaj) közül az EU-ban eddig csak narancsolaj tartalmú növényvédő szereket regisztráltak mint atkaölő, gombaölő, rovarölő illetve növekedés szabályozó szerek. De Amerikában elérhetőek különféle illóolajokat és/vagy illóolaj komponenseket (elsősorban terpenoidok) tartalmazó biofungicidok. Ilyen a geránium, a szegfűszeg és a kakukkfű illóolaj fő komponenseit (geraniolt, eugenolt és timolt) tartalmazó Mevalone® a szőlőt betegítő *Botrytis cinerea* ellen, a penészgombák ellen

lomba, elsősorban Amerikában és Ausztráliában. Tudomásom szerint az illóolajok (a növény vízgőzdesztillációjával nyert olaj) közül az EU-ban eddig csak narancsolaj tartalmú növényvédő szereket regisztráltak mint atkaölő, gombaölő, rovarölő illetve növekedés szabályozó szerek. De Amerikában elérhetőek különféle illóolajokat és/vagy illóolaj komponenseket (elsősorban terpenoidok) tartalmazó biofungicidok. Ilyen a geránium, a szegfűszeg és a kakukkfű illóolaj fő komponenseit (geraniolt, eugenolt és timolt) tartalmazó Mevalone® a szőlőt betegítő *Botrytis cinerea* ellen, a penészgombák ellen

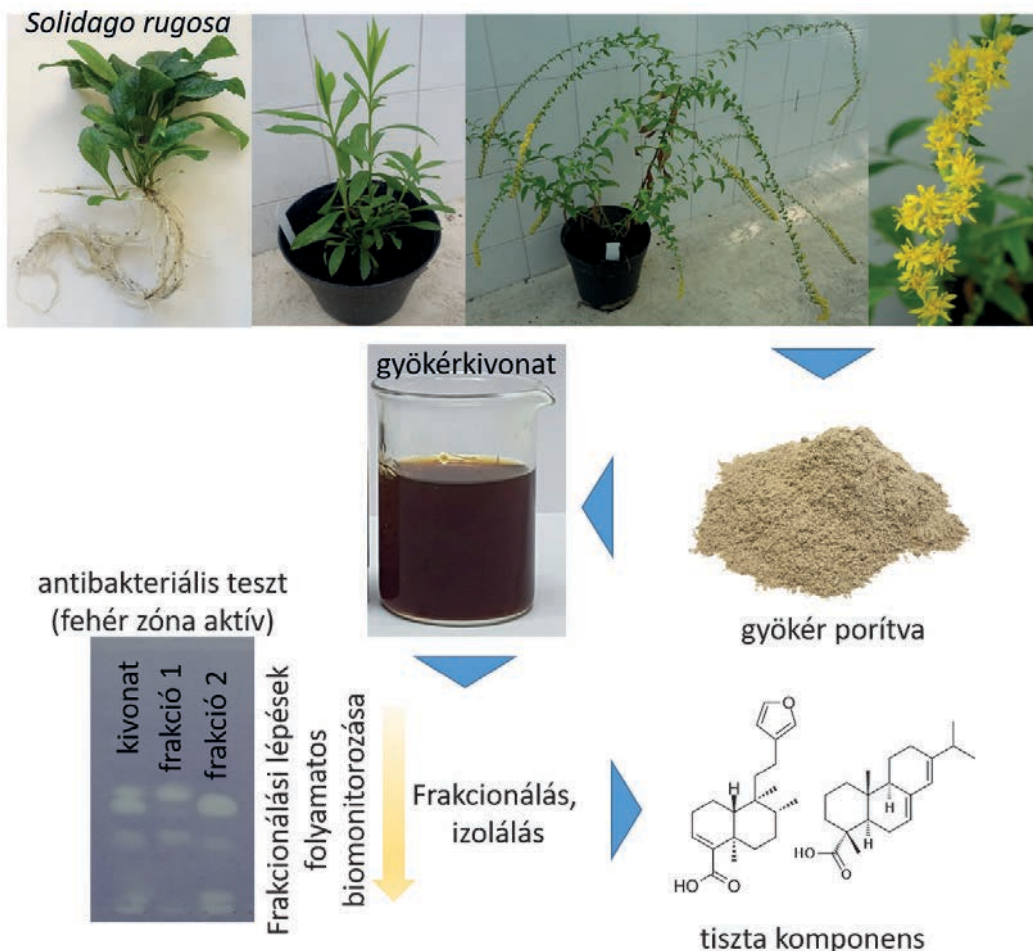
(termésrothadás ellen) ható szegfűszegolaj alapú Bioxeda[®], amely lehetővé teszi az alma, a barack és a körte hosszabb eltarthatóságát, a kakukkfűolaj alapú Guarda[®] különféle baktériumos és gombás megbetegedésre, illetve a narancsolajat tartalmazó PREV-AM[®] a paradicsomot és a cukkinit támadó liszteske ellen. A különféle illóolajok antimikrobiális hatását *in vitro* laboratóriumi körülmények között már régóta bizonyították a kutatások, de a növényvédelemben való alkalmazásuk sokáig váratott magára. Az áttörést a megfelelő formulálási technológiák (pl. emulzió készítés vagy szilárd anyagra adszorbeálás) megszületése hozta, ami megakadályozta az illóolajok illékonyasága, instabilitása és vízben való rossz oldhatósága miatti hatásvesztését szántóföldi kísérletekben. A megfelelő formulálás nem csak megvédi a hatékonyságvesztéstől, de megsokszorozhatja az antimikrobiális hatást, azaz lehetővé teszi kisebb hatóanyag koncentráció alkalmazását. A szegfűszeg, a fahéj és a kakukkfű illóolaj, illetve azok fő komponense laboratóriumunkban (*in vitro*) is nagy hatást mutatott *Xanthomonas* növénykórokozó baktérium törzsekkel szemben, amelyek a paprika és a csonthéjas gyümölcsfák foltosságát okozzák (2 ábra). Ezek az eredmények megalapozhatják ezen anyagok növényvédő szerként való bevezetését.

Más növényi kivonatokból álló szerekből csak kevés van forgalomban, és elsősorban csak kiskertekben és ökolgazdaságokban használják rovarok ellen (a forgalomban lévő növényi eredetű rovarirtók általában piretrin terpénésztereket, rotenon izoflavont, Neem fa kivonatot (azadirachtin), riania alkaloidot, vagy szabadilla alkaloidokat tartalmaznak), aminek több oka is van. A legfőbb akadályokat a következők jelentik: a nagy mennyiségben való előállítás kihívása, a nyersanyag elérhetősége, rövid eltarthatóság, a termék optimalizálása és standardizálása. További gondot okozhat a nyersanyag minőségének változottsága, mivel a növények kémiai profilját a genetikai állománya mellett a környezeti hatások is befolyásolják (pl. hőmérséklet, csapadék, páratartalom, nap-sütéses órák száma, tengerszint feletti magasság, talaj összetétele, flóra és fauna összetétele). Ez mind nehezíti a standardizálást, ami szükséges ahhoz, hogy a termék megfeleljen a növényvédő szerekre vonatkozó hatósági szabályozásoknak.

Mindazonáltal vannak olyan élelmiszernek vagy gyógyhatású szernek minősülő anyagok, melyek felhasználhatók a növényvédelemben. Az EU-s értékelés alapján ezeknek a hatékony, de nem engedélyköteles „egyszerű anyagok”-nak a száma immáron 24-re bővült. A listán szerepel többek közt a mezei



2. ábra: Illóolajok alkalmazhatósága *Xanthomonas* baktériumos megbetegedések esetén



3. ábra: Hatás irányította izolálási eljárás bioaktív növényi komponensek tisztítására

zsruló, a mustármag, a fűzfakéreg és a hagyma kivonata mint gombaölő, a csalán kivonata mint rovarölő, gombaölő és atkaölő, vagy a lizsthermat ellen határos napraforgó olaj, amelyek mind használhatók ökológiai gazdálkodásban is. Az EU-ban kereskedelmi forgalomban található néhány növényi kivonat (pl. Neem, mezei zsruló) alapú biopeszticid és növényápoló is, amelyeket gombás és baktériumos növényi betegségek kezelésére, illetve rovarok ellen alkalmaznak.

A növényi kivonatok standardizálásával kapcsolatos kihívások miatt a növényi alapú biopeszticid forgalomba hozásának stratégiája az lehet, ha hatékonyabbá és reprodukálhatóvá tesszük előállításukat. Ehhez nyújthat segítséget a növényi nyers-

anyagok feldolgozása során alkalmazható preparatív bioaktivitás irányította frakcionálás. Ez az eljárás lehetővé teszi a kivonat hatásért felelős komponens legrövidebb úton történő koncentrációját, tisztítását, izolálását. Az izolált fő hatóanyag meghatározása fontos a későbbi termék standardizálásához, vagy akár a szintetikus úton való előállításához, hatásának optimalizálásához. Ezzel egy hatékonyabb és biztonságosabb terméket tudunk ismételtően előállítani. Azonban fontos megjegyezni, hogy sokszor egy frakció hatékonyabb lehet az izolátumnál, ha a mellette lévő minor komponensek szinergista hatást mutatnak.

A preparatív szintű frakcionálás és tisztítás biomonitorozására, azaz a kivonatok és azok frakcióinak

baktériumokat és gombákat ölő/gátló komponenseinek kimutatására nagy mintaáteresztő képességű módszert dolgoztunk ki. A módszer lényege, hogy a vékonyréteg-kromatográfiával elválasztott komponensek antimikrobiális hatását *in situ* a rétegen tesz-
teljük a réteg baktérium, gomba spóra vagy gomba micélium szuszpenzióba való merítésével. A gátló zónában lévő vegyületek karakterizálására különféle spektroszkópiai és spektrometriai technikákat használunk. Az összegyűjtött információk (kromatográfiás viselkedés, vegyületcsoport, moláris tömeg, UV spektrum) segítik az izolálási folyamat során alkalmazott elválasztási módszerek kidolgozását. A tiszta anyagok szerkezetének meghatározása után értékeljük azok antimikrobiális hatását, összehasonlítva hatékonyságát ismert antibiotikummal/fungiciddel (a legkisebb gátló koncentráció, a legkisebb baktericid/fungicid koncentráció, illetve az 50%-os hatást adó koncentráció meghatározása).

A célzott, hatás irányította izolálási eljárást sikeresen alkalmaztuk aranyvessző növények (közönséges, magas, kanadai, fűlevelű, mutatós és rancoslevelű aranyvesszők) gyökerében és levelében található, növényi kórokozókkal szemben antibakteriális és/vagy gombagátló hatást mutató vegyületek kinyerésére, azonosítására. Így a számos diterpén (klerodán, abietán és labdán vázas) mellett poliacetiléneket és egy benzil-benzoát származékot azonosítottunk mint a hatásért felelős fő komponenseket.

Eredményeink is azt bizonyítják, hogy a növényalapú szerek megfelelő standardizálás után alternatívát jelenthetnek a növényvédelemben, mivel a szintetikus szerekkel szemben gazdaságosabbak, specifikusak, és kevésbé veszélyesek emberre, növényre és környezetre, így fenntartható, környezetbarát mezőgazdaságot tesznek lehetővé, ami szükséges az élelmiszerkrízis csökkentéséhez.

IRODALOM

- Baglyas, M., Ott, P. G., Garádi, Zs., Glavnik, V., Béni, Sz., Vovk, I. & Móricz, Á. M. (2022): High-performance thin-layer chromatography – antibacterial assay first reveals bioactive clerodane diterpenes in giant goldenrod (*Solidago gigantea* Ait.). *Journal of Chromatography A*, 1677: 463308.
- Baglyas, M., Ott, P. G., Schwarczinger, I., Kolozsváriné Nagy, J., Darcsi, A., Bakonyi, J. & Móricz, Á. M. (2023): Antimicrobial Diterpenes from Rough Goldenrod (*Solidago rugosa* Mill.). *Molecules*, 28(9): 3790.
- Kolozsváriné Nagy, J., Móricz, Á. M., Böszörményi, A., Ambrus, Á. & Schwarczinger, I. (2023): Antibacterial effect of essential oils and their components against *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* revealed by microdilution and direct bioautographic assays. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 13: 1204027.

A BAZÍDIUMOS NAGYGOMBÁK NÖVÉNYVÉDELMI CÉLÚ FELHASZNÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

Krúzselyi Dániel

Ebben a fejezetben a peszticidek fontosságára és a különböző növényvédelmet is érintő globális problémák bemutatására törekszem. Emellett a biopeszticidek a mezőgazdaságban betöltött egyre komolyabb szerepére és a jelenleg már felhasznált nagygombákból származó biopeszticidekről is szó esik. A fejezet végén pedig a saját kutatásom irányait, lehetőségeit és korlátait is bemutatom.

A növényvédelem egyik feladata az élelmiszerbiztonság fenntartása, melynek révén megfelelő minőségű és mennyiségű élelmiszer termelhető meg. A növényvédelmi rendszerek jelentős fejlődésen mentek keresztül, melyek ma már szem előtt tartják nem csak a humán-egészségügyi, hanem a környezetvédelmi szempontokat is. A jövőbeli növénytermesztés kiszámíthatóságát növelhetik azok az intézkedések, melyek a növényvédő szerek mellett a növényvédelmi célokat szolgáló eszközök, eljárások új generációjának fejlesztését is motiválják.

A mai növényvédelemnek számos olyan kihívással kell megküzdenie, melyek 1960-as évektől kezdve jelentek meg, ezek közé soroljuk a globális felmelegedést, mely az invazív kártevők és gyomok elterjedési területének bővülése mellett a vízhiányos időszakok és az extrém középhőmérsékletű napok számának drasztikus növekedésével is együtt jár. A folyamatos és nagy mennyiségben kijutatott, növényvédelmi célokra alkalmazott vegyi anyagok ellen kialakuló rezisztencia (mind a kórokozók, mind pedig a kártevő rovarok esetében) is egyre égetőbb problémát jelent. A helyzetet tovább nehezíti az Európai Unióban tervezett növényvédő szer piaci szabályozás is, melynek értelmében a forgalomban lévő és felhasználható növényvédő szer hatóanyagok köre közel felére zsugorodhat. A szabályozás következtében a különböző bakteriális és gombás fertőzések

megelőzésére és/vagy kezelésére eddig hagyományosan alkalmazott réz- és kénvegyületek el fognak tűnni a piacról.

A hatóanyag kivonások következtében a kórokozók által okozott kár mértéke megnövekedhet, illetve a még engedélyezett hatóanyagok használata nagyobb környezeti terheléssel járhat, mivel többszöri kezelések vagy nagyobb dózisos kijuttatása válhat szükségessé. A különböző mezőgazdasági irányzatok – integrált, ökológiai, precíziós – is használnak ilyen vegyületeket. Kiemelendő, hogy az említett kén- és rézvegyületek szabadon felhasználhatóak ezekben a gazdálkodási formákban. Az EU által tervezett lépések tehát hosszabb távon jelentős és komplex problémákat eredményezhetnek, így ennek a jelenségnek a feloldásához új módszerekre és a környezetvédelmi szempontból is alkalmazható, de hatásos vegyületekre van szükség. Az utóbbi célnak megfelelhetnek a bazídiumos nagygombákból kivont hatóanyagok, mint különböző hatásmechanizmussal rendelkező biológiai eredetű peszticidek.

A növényvédelem és helyzete

A világ agroökoszisztémái jelentős átalakuláson mentek keresztül az utóbbi 100 évben, melynek során a növényvédő szerek egyre intenzívebb felhasználása mellett a termőterületek nagysága is bővült. Ezen tényezők miatt azonban a biodiverzitás fokozatosan csökkeni kezdett és az ún. ökoszisztéma szolgáltatások is jelentős mértékű csökkenést mutattak. A növénytermesztés volumenének további növelése az agrárszakemberek számára is kihívást jelent, mivel az erőforrások (talaj, víz, tápanyagutánpótlás stb.) és a lehetőségek is korlátozottak.

Ezen erőforrások hatékonyabb kihasználást teszi lehetővé az ún. integrált növényvédelem, melynek lényegét úgy foglalhatjuk össze, hogy a különböző (biológiai, kémiai vagy mechanikai) módszerek megfelelő időben és térben végrehajtott sorozata, mely révén az egyes kártevők és kórokozók által okozott terménykiesés egy bizonyos gazdasági kár szint alatt tartható. E rendszer alapját a folyamatos monitorozás (csapdázás, helyszíni szemrevételezés stb.) adja, mely kiegészül különböző kezelések variációival, így a peszticid mennyiség minimális felhasználása mellett az elérhető legmagasabb hozamot is biztosítja.

A legmodernebb mezőgazdasági irányzatnak az ún. precíziós mezőgazdaságot tartjuk, mely a talaj és vízgazdálkodás szempontjából igen környezetbarát, emellett a peszticid felhasználás mértéke és a kijuttatás minősége is igen hatékony. Ennek az irányzatnak az alapját az informatikai megoldások adják, mint a szenzoros és vizuális érzékelés, a távirányítás és az automatizált technológiák alkalmazása, melyek révén elvégezhetőek, olyan valós idejű elemzések, amelyek nagyban hozzájárulnak a növénytermesztés hatékonyságának növeléséhez. A peszticidok használatára ez esetben is szükség van, mivel a különböző kártevők/kórokozók elleni preventív kezeléseket nem képzeltethetők el nélkülük.

Az 1960-as években megjelenő növényvédő szerek a mezőgazdaság új forradalmát hozták el, azonban ez a helyzet nagyot változott a 2010-es években, mivel az Európai Unióban folyamatosan vizsgálják a felhasználható növényvédő szereket. A méhekre kifejezetten veszélyes neonikotinoidok közül számos hatóanyagot tiltottak be, azonban egyes vegyületek még kereskedelmi forgalomban elérhetőek. Számos korábban nagy hatékonyságot mutató herbicidet, csávázószert voltak kénytelenek tiltólistára rakni, mivel azok a természetben feldúsulhatnak, ezáltal pedig a táplálékláncba is bekerülhetnek.

Az végrehajtott hatóanyag visszavonásokból arra következtethetünk, hogy nagy környezeti és humánegészségügyi kockázattal jár egyes hatóanyagok felhasználása a mezőgazdaságban. Ezen kockázatok mérséklése kiemelt célja az EU élelmiszerbiztonsággal foglalkozó szervezeteinek, melyek a fenntartható

élelmiszer ellátási láncokra való átállást szorgalmazza, emellett pedig az ökológiai gazdaságok (olyan gazdálkodási rendszer, mely korlátozza vagy tiltja az egyes növényvédő szerek, műtrágyák, illetve állatgyógyászati termékek használatát a természet/termelés során) fenntartását és bővítését is támogatja.

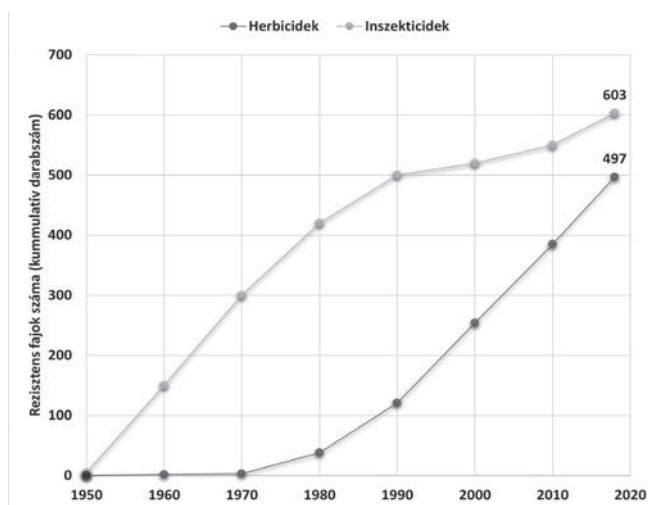
Az Európai Bizottság ígéretet tett, hogy 2030-ig bezárólag, közel felére fogja csökkenteni a magas környezeti kockázatú növényvédő szerek használatát, mindemellett pedig ösztönözni kívánja az olyan növényvédelmi módszerek alkalmazását, melyek alternatívát nyújtanak hatékonyságban a jelenleg alkalmazottakkal. Ezen célok eléréséhez jelenleg is állnak rendelkezésre eszközök, módszerek és vegyületek, többek között az úgynevezett biopeszticidok is.

A biopeszticidok és felhasználásuk

Minden olyan biológiai eredetű, tehát élő szervezet által termelt anyag vagy maga az élő szervezet, mely alkalmas a különböző növényi kórokozók, kártevők és a gyomfajok visszaszorítására vagy elpusztítására az ökoszisztéma károsítása nélkül, biopeszticidnek nevezhető. A biopeszticidok széles körű elterjedését és felhasználását azonban néhány paraméter jelentős mértékben nehezíti, ezek többek között a nagyfokú specifikusság (többnyire egy-egy rovar vagy kórokozó ellen hatásosak igazán), a hatósság időbeli elhúzódnása, illetve a gyors lebomlás a különböző időjárási hatásokra (napfény, eső). Ezzel szemben, a kémiai növényvédő szerek jelentős mennyiségben képesek feldúsulni a talajban és a talajvízben, melynek közvetett hatásaként a növénykórokozók körében nagyobb valószínűséggel és gyorsabb ütemben alakulhat ki rezisztencia (1. ábra).

A biopeszticidok használata nem a XX. század fejlesztéseinek köszönhető, mivel már a XVII. században használtak növényi kivonatokat a kártevők elleni védekezés részeként a különböző növénykultúrákban. A legelső írásos bizonyítékok alapján, a mezőgazdaságban elsőként alkalmazott ilyen anyag a nikotin volt, melyet szilvafa ormányosbogarak (*Conotrachelus nenuphar*) ellen alkalmazták. A XIX. században, ahogy a kémiai módszerek egyre jobban

fejlődtek, egyre több vegyületet fedeztek fel, ezek között pedig számos alkalmasnak bizonyult a növényvédelmi felhasználásra. A természetes forrásokból származó anyagokat követően az élő szervezetek bevonása volt a következő lépés, melynek révén megszületett a „biokontroll” fogalma és gyakorlata. Az első ilyen alkalmazott élő szervezet a *Bacillus thuringiensis* baktériumtörzs volt, melyet 1910-ben fedeztek fel, azonban csak 28 évvel később vált kereskedelmi forgalmú növényvédő szerré.



1. ábra: Az inszekticidek és a herbicidek elleni rezisztenciával rendelkező kártevő és gyomfajok száma 1950 és 2020 között



2. ábra: Számos gombafaj tartalmaz olyan vegyületeket, melyek biopeszticidként alkalmazhatóak

A biopeszticid termékek igen szűk szegmenst képeznek, mivel csupán 60-féle termék érhető el az EU területén (az USA-ban ez 200 terméket jelent, a különbség oka a GMO elfogadottságában keresendő). Az ilyen vegyületek és élő szervezetek felhasználását már 2009-ben is szorgalmazta az Európa Tanács, melynek részeként olyan irányelveket fogadtak el, melyek elősegítik a biopeszticidok használatát a konvencionális agrárrendszerekben és az integrált növényvédelmi formákat helyezik előtérbe. A biopeszticidok világpiaci kereslete eleinte folyamatos, de mérsékelt növekedést mutatott, azonban az elmúlt években jelentősen megugrott: a FAO statisztikái alapján 2020-ban nagyjából a 2,6 milliárd tonna kijutott peszticid mennyiség közel 5%-a esett már ebbe a kategóriába.

A gombák mezőgazdasági felhasználása

A gombák (Fungi) az élővilág jelentős és nagyfajszámmal rendelkező csoportja, melyek között szabad szemmel látható és mikroszkopikus fajok és törzsek is megtalálhatóak. A nagygombák tápértéke jelentős, mivel számos ásványi anyagot és vitamint (főként D-vitamint) tartalmaznak, fehérjetartalmuk vetekszik a zöldségek jó részével, illetve kiváló rostforrásként is tekinthetünk rájuk. A gombák egyik fontos sajátossága, hogy számos – az élővilágban csak a gombák körében előforduló – szekunder metabolit (anyagcseretermék) állítanak elő, melyek valamilyen bioaktivitással (biológiai hatás, mely lehet pozitív, úgymint antioxidáns, antimikrobiális, gyulladáscsökkentő stb. vagy negatív – toxikus) rendelkeznek. A bazídiumos gombák kivonatai és a kivonatokból izolált vegyületek közül egyeseket már ma is hasznosít a gyógyszeripar (pl.: pleuromutilin) vagy a mezőgazdaság (2. ábra).

Az első és valószínűleg a legismertebb fungicid hatású másodlagos anyagcseretermékeket

(strobilurin A és B) a keserű tobozfülőkéből (*Strobilurus tenacellus*) izolálták, még az 1960-as években (3. ábra). Ezen molekulákra azonban a szerkezetükből adódóan fotometabolikus instabilitás jellemző, vagyis fény hatására jelentős mértékben elbomlanak. A több évtizednyi fejlesztőmunka során azonban sikerült növelni e kémiai szerkezetek stabilitását és megszületett az első széles spektrumú, strobilurinból szintetizált vegyület, az azoxistrobin. Számos új molekulát állítottak elő a folytatódó fejlesztés révén, úgymint a dimoxistrobin és a pikoxistrobin. Ezeket a hatóanyagokat széles körben használja a növényvédelem különböző roszdagomba, lisztharmatgomba és peronoszpórák fertőzések esetében. Sajnálatos módon ezen vegyületek esetében is írtak már le rezisztens törzseket, de a módosított és továbbfejlesztett strobilurinokra a jövőben is nagy szükség lehet.



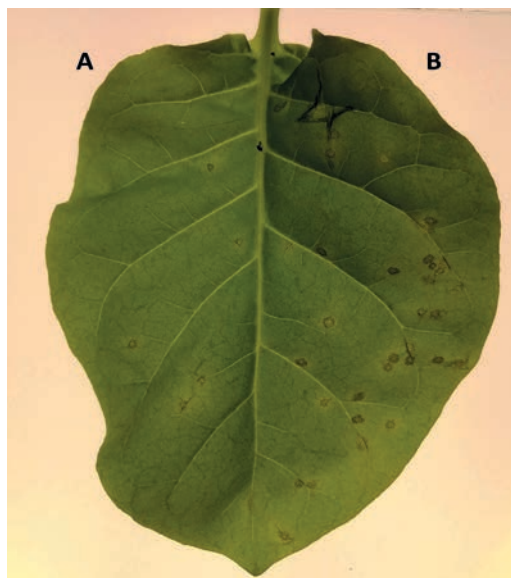
3. ábra: Keserű tobozfülőke (*Strobilurus tenacellus*), amely hatóanyagából (Strobilurin-A) készült az első forgalomba került ilyen típusú gombaölő szer

A gombák ilyen irányú vizsgálatai komoly hatást gyakorolhatnak a mezőgazdaságra, mivel közel 140 000 fajt számlál ez a csoport, miközben a kutatások többsége nagyjából 10–15 gombafajra fókuszál. A vadontermő gombafajok iránt csupán az elmúlt években látható kiemeltebb figyelem. A nagygombákból származó vegyületek közül a fehérjék (ganodermin – peccsétviaszgomba [*Ganoderma lucidum*]; pleurosztrin – késői laskagomba [*Pleurotus ostreatus*]; grifolin – *Albatrellus dispansus*) és a fahéjsav származékok azok a jellemző vegyületek, melyeket ez idáig leírtak és teszteltek különböző növénypatogének ellen.

A szeszkviterpéneknek is jelentős gombaölő hatással rendelkeznek, ebbe az anyagcsoportba tartozik a rufuszlakton is, melyet csak a rőt tejelőgombában (*Lactarius rufus*) írtak le. A gombák peszticidként való használhatósága, nem minden esetben képezi a vizsgálatok tárgyát, annak ellenére, hogy kifejezett gátló hatással rendelkeznek, így a biopeszticidként való tesztelésük szükségszerű lehet.

A különböző gombafajok kivonatai és felhasználási lehetőségei

Kutatásaink során a bazídiumos (Basidiomycota) makrogombafajok bioaktív anyagait ismerjük meg. Jelenleg a különböző tinórufélék (*Boletaceae*) és laskagombafélék (*Pleurotaceae*) családjaiba tartozó fajok vizsgálatával foglalkozunk. Az általunk vizsgált gombafajok változó arányban tartalmaznak bioaktív anyagokat, melyek között vírus, baktérium és mikroszkópikus gombaellenes, illetve antioxidáns hatással rendelkező molekulákat is találtunk. A vizsgálataink rámutattak arra, hogy számos olyan vegyület, mely már leírásra került, mely az adott növényfaj kezelését követően, a növényen is képes gátolni bizonyos növénybetegségeket okozó mikroorganizmusok szaporodását (4. ábra). Ez főként a különböző laskagomba törzsek esetében volt szembetűnő, emellett a nyárfa érdestinorú (*Leccinum duriusculum*) mutatott gátló hatást a különböző baktériumtörzsekkel szemben. Módszertanilag a vizsgálatok két jól elkülöníthető szakaszra oszthatók, első lépésben ún. aktivitás irányította kimutatást végzünk vékonyréteg kromatográfiás rétegeken, ezt követően különböző növénypatogénekkel szemben teszteljük a kivonatokat/frakciókat/izolált aktív anyagokat *in planta* körülmények között (5. ábra). A különböző tesztek során vizsgáljuk a növény és kórokozó állapotát is, vagyis azt, hogy az adott vegyület(ek) megölik (baktericid vagy fungicid hatás) vagy csak a szaporodását gátolják (sztatikus hatás) a kórokozónak, illetve azt, hogy az adott kivonat/frakciónak vagy izolált vegyületnek van-e a növényre gyakorolt negatív hatása például, sejtölő hatása. Ezek az információk meghatározóak egy-egy adott vegyület jövőbeli felhasználhatóságára nézve.



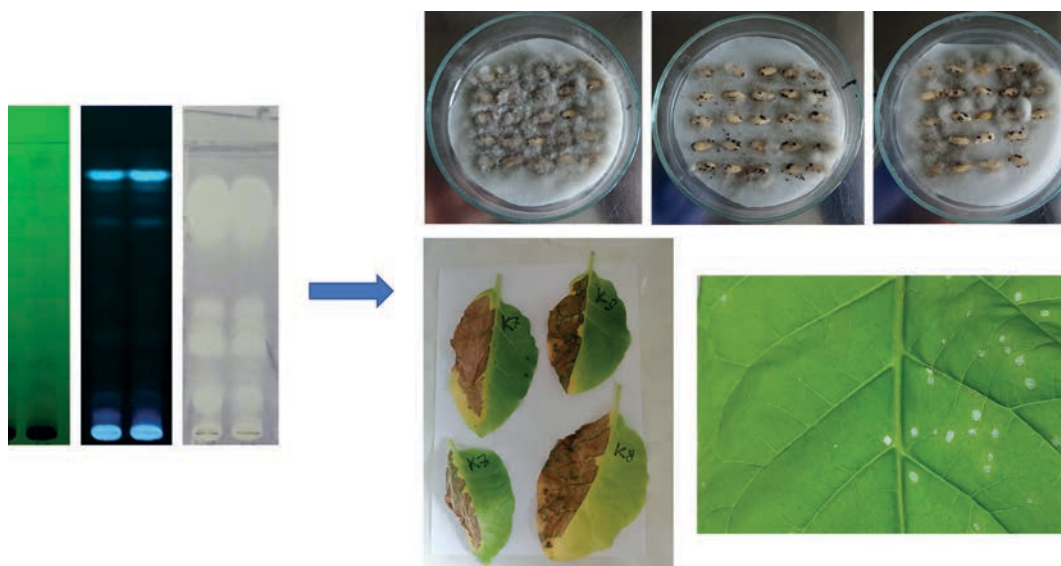
4. ábra: A különböző laskagombák (*Pleurotus* spp.) antivirális hatóanyagokat is tartalmaznak (dohánylevél dohánymozaik vírussal fertőzve, A – kezelt, B – kezeletlen)

A fizikokémiai tulajdonságai az adott molekulának, úgymint oldhatóság, pH, bomlékonyság különböző hőmérséklet és megvilágítás esetén, szintén

fontos tényezők, a felhasználhatóságot illetően. A vegyületek izolálását követően a kémiai tulajdonságok mellett a szerkezeti paraméterek meghatározása következik, ahol különböző spektroszkópiás és spektrométeres eljárások segítségével igazoljuk a vegyület pontos tömegét és szerkezetét.

Összefoglalás

A bazídiumos nagygombák unikális molekulák sokaságát tartalmazzák, melyek jelentős inszekticid, nematocid és fitopatogén mikroorganizmusokat gátló tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezért az orvosi-biológiai és a biológiai kutatásokban egyre inkább kiemelt szerepet kapnak pl. a globális antibiotikum rezisztencia elleni küzdelemben. Egyes gombafajok termesztése már megoldott, így költséghatékonyan biztosítanak megfelelő alapanyagot akár a hatóanyagok kivonására is. Az új molekulák felfedezése és alkalmazása jelentős előrelépést jelentene a környezetbarát növényvédelmi rendszerek kialakításához, figyelembe véve, hogy a hagyományos módszerek és eljárások egyre inkább háttérbe szorulnak, mind társadalmi, mind pedig szakmai támogatottság híján. A jövőbeli mezőgazdaság alapvetően érdekelt



5. ábra: A vékonyrétegen elválasztott és igazoltan aktív nyárfa érdestinóruból származó anyagok kimutatása *Bacillus subtilis* direkt bioautográfás rendszerben és példák különböző in planta kísérletekből

a szermaradvány-mentes és biztonságos élelmiszerek előállításában, még pedig úgy, hogy az a legkisebb környezeti terhelés mellett valósuljon meg.

Véleményem szerint a bazídiumos nagygombák biopeszticidként való felhasználásának komoly korlátozó tényezője, hogy a kutatások fókuszja jellemzően a humánegészségügyi vonatkozással rendelkező vegyületeken van, míg az agráriumban potenciálisan felhasználható vegyületek részletes vizsgálatai – mely a felhasználhatóság kritériumait is értékeli – igen szerény mértékűek. Reményeim szerint a jövőben egyre több vegyületet fogunk nem csak

bioaktivitás, hanem a mezőgazdasági felhasználhatóság szempontjából is értékelni, ezáltal pedig a mezőgazdaság számára olyan vegyületek állhatnak rendelkezésre, melyek hosszútávon is alkalmasak lehetnek, mint potenciális biopeszticidok.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás anyagi háttérét biztosította a Nemzeti Kutatási, Fejlesztés és Innovációs Hivatal OTKA PD 134467 számú kutatási témapályázata biztosította.

IRODALOM

- Vámosi, B. & Krüzselyi, D. (2022): Biopeszticidok az agráriumban – Újgenerációs növényvédő szerek. *Élet és Tudomány*, 35: 1126–1130.
- Krüzselyi, D., Móricz, M. Á. & Vetter, J. (2020): Comparison of different morphological mushroom parts based on the antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*, 127: 109436.
- Krüzselyi, D., Vetter, J., Ott, G. P. & Móricz, M. Á. (2016): Investigation of antibacterial components of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by direct bioautography and HPLC–DAD–MS. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 39(5–6): 298–302.

AMPELOMYCES MIKOPARAZITÁK, A LISZTHARMATGOMBÁK TERMÉSZETES ELLENSÉGEINEK FELHASZNÁLÁSA A KÖRNYEZETBARÁT NÖVÉNYVÉDELEMBEN

Németh Z. Márk és Teruo Nonomura

A növénykórokozó gombák állandó kihívások elé állítják a növénytermesztést, mivel kártételükkel jelentős termésvesztéseget okozhatnak. Különböző agrotechnikai eljárásokat alkalmaznak ellenük, új fajtaikat nemesítenek, azonban a gombaölő szerekkel (fungicidekkel) való kémiai védekezés alkalmazása legtöbbször szinte elkerülhetetlen. A gyakori alkalmazás következtében a kórokozók populációiban rezisztencia terjedhet el, ezért a gombaölő szerek egyre kevésbé használhatók, illetve egyre nagyobb dózisban szükséges azokat kijuttatni. Probléma továbbá, hogy a fungicidek negatív hatással lehetnek a nem-cél organizmusokra, mely a biodiverzitás csökkenéséhez vezethet. A kémiai védekezés kétségkívül környezeti terhelést is jelent. Mindezek miatt napjainkban társadalmi és környezetvédelmi elvárás a felhasznált fungicidek mennyiségének csökkentése, melyben kiemelt szerepe lehet a biokontroll szervezeteknek és a környezetkímélő gazdálkodásmódnak. Bár a hagyományos, fungicideket alkalmazó módszereket hatékonyan felváltani teljes egészében általában nem képesek, de azokat jól kiegészíthetik, illetve részben helyettesíthetik az integrált növényvédelmi megközelítésben.

A lisztharmat az egyik leginkább közismert növénybetegség, okozói, a lisztharmatgombák az egyik leggyakrabban előforduló növénykórokozók. A lisztharmatgombák az Erysiphaceae családba (a Helotiales rendbe) tartozó tömlősgombák. Obligát biotróf kórokozók, tehát csak élő növényi sejtekből képesek tápanyagokhoz jutni, a gazdanövényük nélkül nem képesek növekedni és szaporodni, az életciklusukat befejezni. Körülbelül 900 fajuk ismert világszerte. Több, mint tízezer, köztük számos gazda-

ságilag fontos növényt károsítanak, pl. a szőlőt, gabonaféléket, gyümölcsfákat és zöldségféléket. E kórokozó gombák elvonják a növényekből a tápanyagot, gyengítve, vagy akár el is pusztítva a növényeket. A fertőzés a termés mennyiségének és minőségének romlásához vezethet.

Egyes, úgynevezett mikoparazita, tehát más gombákat parazitáló gombák képesek a lisztharmatgombákat megtámadni. Ilyenek a Pleosporales rend *Ampelomyces* nemzetségébe tartozó gombák is, amelyek a lisztharmatgombák természetes ellenségei, mikoparazitái. Mivel kórokozó gombákon élőködnek, az *Ampelomyces*-ek egyúttal hiperparaziták is. Az *Ampelomyces* mikoparaziták és a lisztharmatgombák közötti kapcsolat az egyik legszembetűnőbb és leggyakoribb olyan interakció a természetben, melyben mindkét résztvevő partner gomba. Az *Ampelomyces* gombák intracelluláris (sejten belüli) hifái és piknídiumai (ivartalan termőtestjei) gyakran megfigyelhetők különböző lisztharmatgomba struktúrákban (hifákban, konídiumokban, konídiumtartókban, termőtestekben). A mikoparazitizmus következtében csökkenthetik a lisztharmatgombák növényekre kifejtett káros hatásait, és ennek következtében e gombák a lisztharmatok elleni biológiai védekezésre is használhatók.

A biológiai növényvédelem keretében fontos kihívás a lehetséges biokontroll szervezetek vizsgálata. Az *Ampelomyces* nemzetségbe tartozó antagonista szervezetek biológiájának megértése elengedhetetlen a hatékony alkalmazásuk szempontjából. Az ATK Növényvédelmi Intézetben évtizedek óta folyik ezen gombák vizsgálata, és itt található a világ legnagyobb (sok száz törzsből álló) *Ampelomyces* törzsgyűjteménye is.

Elnevezés

Az *Ampelomyces* gombák legismertebb faja kétségkívül az *A. quisqualis*. Ez volt a legelső ismert *Ampelomyces*-faj, már a 19. század közepe óta ismert. A szőlőlisztharmatot okozó *Erysiphe necator* lisztharmatgombából írták le, ezért utal a szőlőre a nemzetség latin elnevezése. Ezen a fajon kívül később morfológiai alapon, és gazdagombákra való feltételezett specializáció alapján, vagy az *Ampelomyces*-szel fertőzött lisztharmat gazdanövényén alapulva, vagy a gazda lisztharmatgombafajon alapulva számos különböző *Ampelomyces*-fajt különítettek el. Összesen több, mint 40 formálisan érvényes *Ampelomyces*-faj leírása található meg a szakirodalomban. Azonban e fajok túlnyomó többségének taxonómiai elkülönítését nem támogatják a modern, molekuláris biológiai úton kapott eredmények. Ma már ismert, hogy az *Ampelomyces*-nemzetségbe sorolt gombák egy része valójában nem is ebbe a nemzetségbe tartozik, és rengeteg név minden bizonnyal redundáns, hiszen genetikai vizsgálatokkal 5–10 leszármazási vonal különíthető el, tehát biztosan nincsen szükség 40 fajnévre. Ez az oka annak, hogy bár az *A. quisqualis* fajnévvel gyakran lehet találkozni, azonban a tudományos munkákban egyre kevésbé használják. Az utóbbi időben jellemzően inkább az *Ampelomyces* spp. megnevezést alkalmazzák, mindaddig, amíg a nemzetség leszármazási és taxonómiai viszonyai rendeződnek.

Az *Ampelomyces* gombák életciklusa és hatásmódja

A természetben a lisztharmat-képletek belsejében, intracellulárisan kialakuló *Ampelomyces*-piknidiumok egyszétű ivartalan szaporítóképleteket, konídiumokat termelnek. Ezek megfelelő körülmények között, magas páratartalom mellett kicsíráznak. A kialakuló, növekedésben lévő hifák képesek a lisztharmatgombák konídiumaiba és hifáiba belenőni. A még nem parazitált lisztharmat-képletekbe való

penetráció során enzimatikus és mechanikus folyamatok is szerepet játszanak. A parazitált lisztharmat-telepek továbbra is képesek a növekedésre, de sporulációjuk mértéke csökken, vagy teljesen leáll.

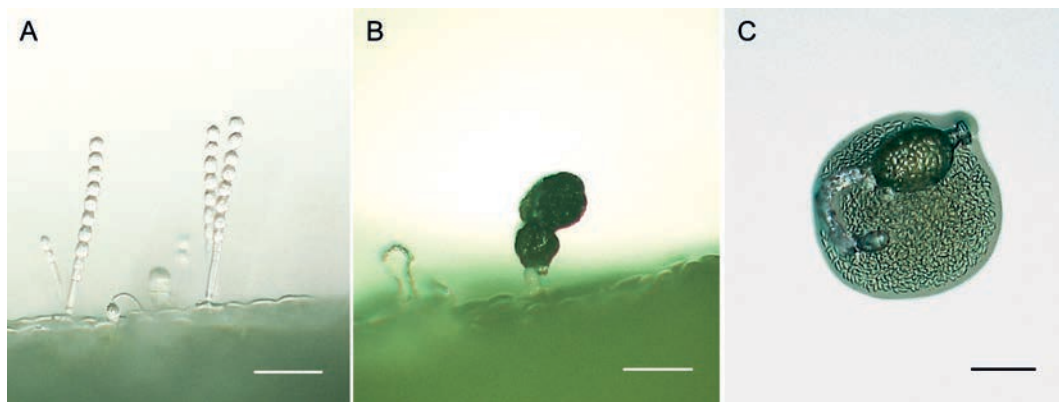
A parazitált telepeken újonnan fejlődő lisztharmatgomba konídiumok tartalmazhatják a mikoparazita hifáit. E konídiumok képesek kicsírázni és új lisztharmattelepet kialakítani, de mivel tartalmazzák a mikoparazitát, a telepek már kialakulásuk kezdetétől fogva parazitáltak lesznek. Ez a jelenség arra utal, hogy az *Ampelomyces*–lisztharmat interakció a kezdeti szakaszban biotróf, mivel a lisztharmatgomba ebben a fázisban még nem pusztul el, hiszen a megfertőzött lisztharmatgomba konídium képes új telepet létrehozni.

Öt-tíz nap múlva a mikoparazita lebontja a gazda citoplazmáját, tehát az interakció a későbbi szakaszban nekrotróffá válik, és a gazdagomba elpusztul. A folyamat során több különböző enzim (kitobiázok, proteázok, β -glükozidáz, β -N-acetil-glükózaminidáz, savas foszfatáz, ribonukleáz, β -1,3-glükánáz és α -1,4-glükánáz) hidrolitikus aktivitását bizonyították, ezen kívül más mechanizmusok is szerepet játszhatnak a mikoparazitizmusban. Feltételezik, hogy a mikoparazita elsősorban a gazdaszervezet energiaháztartását, fehérje- és sejtfalszintézisét teszi tönkre.

A fertőzött lisztharmattelepekben új *Ampelomyces* piknidiumok alakulnak ki, amelyek új konídiumokat termelnek (1. ábra).

Az *Ampelomyces* spp. elterjedése és specificitása

Már több mint, 65 lisztharmatgombafajban (nyolc nemzetségben) találtak *Ampelomyces*-törzseket a világ minden táján, és kizárólag lisztharmatokból izolálták őket. Ezt egyrészt azt jelenti, hogy a nemzetség széles körben elterjedt, másrészt pedig azt, hogy e gombákat különleges specificitás jellemzi. Feltételezhetően csak a lisztharmatgombákat fertőzik, más gazdaorganizmusokat nem, azonban képesek sok különféle, egymással csak távoli rokonságban lévő lisztharmatgombát fertőzni.



1. ábra: A kabakosok lisztharmatát okozó *Podosphaera xanthii*, és interakciója egy *Ampelomyces*-törzssel. A) Fiatal *P. xanthii* konídiumtartók dinnye levélen. B) *Ampelomyces* pikídiumok (barna ivartalan termőtestek) egy parazitált *P. xanthii* konídiumtartóban. C) *P. xanthii* konídiumtartó, a konídiumtartó alsó sejtjében (lábsejtben) fejlődött *Ampelomyces* piknídiummal. A képletek körül *Ampelomyces*-konídiumok láthatók, amelyek a piknídiumban termelődtek. Mércék: 50 μm (A és B); 100 μm (C)

Az *Ampelomyces* spp. biokontroll szerként való felhasználása

Különböző *Ampelomyces*-törzsek biofungicid-készítmények részeként Európában, Ázsiában és az Egyesült Államokban kereskedelmi forgalomba kerültek, és felhasználhatók például a szőlő-, paprika-, paradicsom-, szamóca-, cukkini- és uborkalisztharmat elleni növényvédelemben. Az *Ampelomyces*-törzsek mikoparazita képességükön túl még két olyan jellemzővel bírnak, ami elősegíti a biológiai növényvédelemben való alkalmazásukat. Egyrészt, bár nem számítanak túl jó szaprotróf képességű gombáknak, táptalajon fenntarthatók. Ezt azt mutatja, hogy nem obligát szimbionták, ami megkönnyíti e gombák gyakorlati felhasználását is: lehetséges volt egyes törzsek nagy mennyiségben, fermentációs technikával való előállításuk és jól használható készítményekké való fejlesztése is. Másrészt, a gazdagombákra való szűk specificitásuk hiánya miatt lehetséges, hogy adott törzsek sok lisztharmatgomba-faj ellen felhasználhatóak.

Az *Ampelomyces*-alapú biofungicid-termékből (vagy laboratóriumban, táptalajon növekvő tenyészetből) szuszpenziót lehet készíteni és a lisztharmattal fertőzött növényekre permetezni. Ekkor a lisztharmattelle-

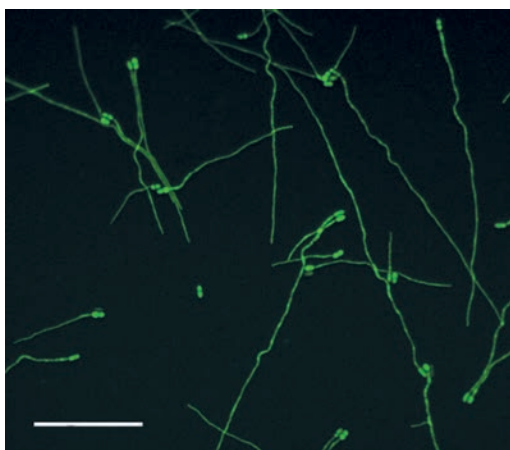
pek parazitálása hamarosan elkezdődhet. Azonban az *Ampelomyces*-tartalmú biokontroll szerek felhasználása nem csak kuratív, hanem preventív módon is történhet. Ez azért lehetséges, mert a mikoparazita egy ideig túlélhet a leveleken anélkül, hogy azonnali kapcsolatba kerülne a célzott lisztharmatgombával. Később, amikor a levelek lisztharmattal fertőződnek, az *Ampelomyces*-ek képesek a gazdagomba képleteibe hatolni és parazitálni azokat.

Általános vélekedés, hogy az *Ampelomyces*-alapú biokontroll-termékek humánegészségügyi kockázatok nélkül használhatók. Az kapott eredmények szerint e termékeknek nincsenek káros nem-célzott, tehát a lisztharmatgombákon kívül más organizmusokra kifejtett hatásai sem.

Új kutatási eredmények a HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézetben

Az *Ampelomyces* lisztharmat kapcsolat jobb megértése, és a biológiai védekezés lehetőségének alaposabb megismerése érdekében fontos, hogy az *Ampelomyces*-gombák különböző képleteit jobban láthatóvá tegyük. Erre a célra zöld fluoreszcens fehérjét (GFP-t) kifejező *Ampelomyces*-transzformánsokat állítottunk elő *Agrobacterium*-közvetítette transz-

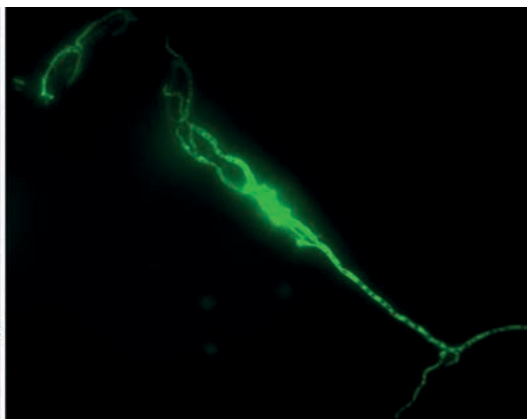
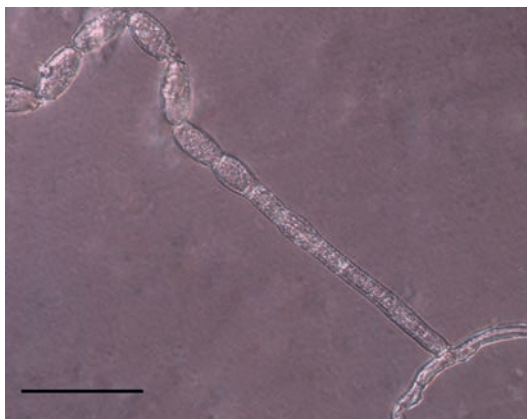
formációival (2. ábra). A létrejött transzformánsok az általuk kibocsátott zöld fluoreszcens fénynek köszönhetően fluoreszcens mikroszkópban hatékonyan vizsgálhatók (3. ábra). A transzformánsok felhasználásával megállapítottuk, hogy ezek a gombák akár 21 napig is képesek életben maradni a növényi leveleken a lisztharmatgombák jelenléte nélkül. Kimutattuk továbbá, hogy a talajban az *Ampelomyces* gombák növekedése igen korlátozott, ezért biológiai növényvédő szerként biztonságosan használhatók, hiszen nem jelentenek veszélyt a talajban megtalálható egyéb organizmusokra.



2. ábra: Zöld fluoreszcens fehérjét expresszáló *Ampelomyces*-transzformáns csirázó konídiumai. Mércé: 100 μ m

A mikoparazitizmusban részt vevő gének megismerése elősegítheti az *Ampelomyces*-törzsek biológiai növényvédelemben való hasznosíthatóságát. A kutatás (mely az első funkcionális genetikai vizsgálat volt e gombák körében) célja az volt, hogy egy molekuláris genetikai eszköztárat hozzunk létre az *Ampelomyces*-törzsek funkcionális genetikai vizsgálatához, és megvizsgáljuk a nitrát-reduktáz gén mikoparazitizmusban betöltött szerepét. Vizsgálatainkban homológ rekombináción alapuló géniütéssel távolítottuk el a gént egy törzsből, majd a keletkezett transzformánsokkal növekedési teszteket és inokulációs kísérleteket végeztünk. A sikeres géniütést DNS-alapú vizsgálat, és a növekedési tesztekben látható megváltozott fenotípus is igazolta. Az inokulációs kísérletekben a transzformánsok által kifejtett parazitizmus mértéke nem tért el a vad típusétól. Ez azt mutatja, hogy a kiütött génnek nincs szerepe a mikoparazitizmusban. Megállapítottuk, hogy a kidolgozott molekuláris genetikai eszköztár alkalmas e mikoparazita gombák funkcionális genetikai vizsgálatára.

Egy teljesen más, alapvetően digitális mikroszkópián alapuló kísérletsorozatban, nemzetközi együttműködésben vizsgáltuk az *Ampelomyces*-törzsek és a lisztharmatgombák közti kapcsolat időbeli lezajlását. A cél az volt, hogy a kapcsolat leírásával segítsük e mikoparazita gombák biológiai növényvédelemben



3. ábra: Zöld fluoreszcens fehérjét expresszáló *Ampelomyces*-transzformáns *P. xanthii* konídiumtartójában; hagyományos, illetve fluoreszcens mikroszkópban látható képek. A fluoreszcenciának köszönhetően jól láthatóvá válnak a mikoparazita intracelluláris hifái. Mércé: 50 μ m

való hatékony felhasználását, hozzájárulva ezzel a kijuttatott kémiai növényvédő szerek mennyiségének csökkentéséhez. Az *Ampelomyces* gombákkal végzett kísérletek eredményeinek és szakirodalmi adatok alapján összeállítottunk egy kritériumrendszert, amely a leghatékonyabb védelmet biztosíthatja.

Hogyan lehet az *Ampelomyces*-tartalmú biokontroll-szereket hatékonyan használni?

(1) Ismert, hogy az egyes törzsek mikoparazitizmusának mértéke között különbségek vannak. Érdemes olyan törzseket szelektálni, illetve felhasználni, amelyek kivételesen erős mikoparazita képességgel bírnak. (2) Növeli a hatékonyságot, ha egy felületaktív anyagot adnak a szuszpenzióhoz nedvesítőszerként. (3) A magas relatív páratartalom segíti a mikoparazita hatékonyabb fejlődését, tehát lehetőség szerint ilyen körülmények közt érdemes a kijuttatást végezni, például kora reggel vagy késő délután. Ha az *Ampelomyces* kijuttatások között vizes permetezést végeznek, az is emelheti a hatékonyságot. (4) A hatékony védekezés érdekében a fiatal telepeket érdemes célozni, azaz lehetőség szerint azonnal kijuttatni, amint a kórokozó, illetve az

első lisztharmattünetek megfigyelhetők a leveleken. (5) A kórokozó életciklusától, illetve fajtól függően egyes lisztharmatgomba-fajok esetében az éretlen termőtestek ellen hatékonyabban használhatóak fel a mikoparaziták, mint a konídiumot termelő, ivartalan alak ellen. (6) Természetesen a végső hatásfok tovább növelhető ismételt alkalmazásokkal.

Az optimális felhasználás esetén, megfelelő körülmények biztosítása mellett egyes rendszerekben az *Ampelomyces*-szel való permetezés ugyanolyan hatásos lehet, mint a hagyományos gombaölő szerek alkalmazása. Gyakorlatban azonban talán jobban megvalósítható, és célravezetőbb az integrált növényvédelmi programokba való beillesztése. Bármely felhasználási módot választjuk is, az *Ampelomyces*-szel való védekezés a kémiai növényvédő szerek által okozott környezeti terhelést csökkentheti, és hatékonyan járulhat hozzá a környezetbarát növényvédelemhez.

Köszönetnyilvánítás

A munka a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj (BO/00221/21/4), és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával (FK142735) készült.

IRODALOM

- Németh, M. Z., Mizuno, Y., Kobayashi, H., Seress, D., Shishido, N., Kimura, Y., Takamatsu, S., Suzuki, T., Takikawa, Y., Kakutani, K., Matsuda, Y., Kiss, L. & Nonomura, T. (2021): *Ampelomyces* strains isolated from diverse powdery mildew hosts in Japan: Their phylogeny and mycoparasitic activity, including timing and quantifying mycoparasitism of *Pseudoidium neolycopersici* on tomato. *PLoS One*, 16(5): e0251444
- Németh, M. Z., Li, G., Seress, D., Pintye, A., Molnár, O., Kovács, G. M., Kiss, L., & Gorfer, M. (2021): What is the role of the nitrate reductase (*euknr*) gene in fungi that live in nitrate-free environments? A targeted gene knock-out study in *Ampelomyces* mycoparasites. *Fungal Biology*, 125(11): 905–913.
- Kimura, Y., Németh, M. Z., Numano, K., Mitao, A., Shirakawa, T., Seress, D., Takikawa, Y., Kakutani, K., Matsuda, Y., Kiss, L., & Nonomura, T. (2023): Hyperparasitic fungi against melon powdery mildew pathogens: quantitative analysis of conidia released from single colonies of *Podosphaera xanthii* parasitised by *Ampelomyces*. *Agronomy*, 13(5): 1204.
- Németh, M. Z., Seress, D., & Nonomura, T. (2023): Fungi parasitizing powdery mildew fungi: *Ampelomyces* strains as bio-control agents against powdery mildews. *Agronomy*, 13(8): 1991.

VIROLÓGIAI VIZSGÁLATOK A FENNTARTHATÓ PARADICSOM TERMESZTÉS TÁMOGATÁSÁRA

Almási Asztéria, Pinczés Dóra, Sáray Réka és Salánki Katalin

A paradicsom gazdaságilag fontos termesztett növényünk mind üvegházban, szabadföldön és magánkertekben is. Számos betegsége van, gombák, baktériumok és vírusok is komoly termésvesztést okozhatnak. Míg a gombák és baktériumok ellen hatékonyan védekezhetünk, addig a vírusfertőzött növényeket nem tudjuk meggyógyítani. Éppen ezért a vírusfertőzések megelőzése elsődleges fontosságú, valamint a növénynemesítők sikeres munkájának köszönhetően az utóbbi évtizedben előtérbe került a rezisztencianemesítés, mint a vírusok elleni védekezés leghatékonyabb eszköze. Ahhoz, hogy a paradicsom nemesítéshez megfelelő támogatást tudjunk biztosítani, és a termesztéshez megfelelő fajtákat válasszunk, elsődleges fontosságú a paradicsomon előforduló vírusok ismerete és pontos jellemzése, valamint a megjelenő víruspopulációk változatosságának nyomon követése.

A vírusfertőzések során változatos tünetek alakulhatnak ki a paradicsom növényeken, amelyek közül a leggyakrabban a levelek mozaik mintázatát és torzulását, a növények növekedésének gátlását (ún. törpülést), vagy a termés deformációját, elszíneződését és akár elhalt (nekrotikus) foltok kialakulását is megfigyelhetjük. Gyakran különböző vírus fajok igen hasonló tüneteket okoznak, kevert fertőzés esetén pedig, amikor egyszerre több vírus is jelen van egyetlen növényben, még változatosabb tünetek jelenhetnek meg. Éppen ezért a vírus tünetek alapján a fertőző vírusokat még a legjobb szakemberek sem tudják azonosítani. A fertőző vírusok megbízható azonosítására a molekuláris biológiai módszerek a legalkalmasabbak.

Napjainkig számos paradicsomot fertőző vírust azonosítottak Magyarországon. Ezek közül a legelterjedtebbek és a legnagyobb gazdasági jelentő-

séggel rendelkező vírusok: az uborka mozaik vírus (cucumber mosaic virus, CMV), a dohány mozaik vírus (tobacco mosaic virus, TMV), a paradicsom mozaik vírus (tomato mosaic virus, ToMV), a paradicsom bronzfoltosság vírus (tomato spotted wilt virus, TSWV), a pepino mozaik vírus (pepino mosaic virus, PepMV) és a burgonya Y vírus (potato virus Y, PVY). Ezek a vírusok éppen úgy, mint a többi növényi vírus, önállóan nem képesek terjedni, azonban mechanikai úton (pl. a termesztés során alkalmazott technológiai eljárásokkal, oltással, metszéssel stb.) és különböző rovarvektorok segítségével könnyen tovább vihetők.

Pepino mozaik vírus

A pepino mozaik vírust (pepino mosaic virus, PepMV) eredetileg Peruban azonosították és írták le pepinon (*Solanum muricatum*), majd 1999-ben Hollandiában detektálták paradicsomban. Ezt követően valószínűleg a palánta- és szaporítóanyag kereskedelem globalizációja révén gyorsan elterjedt egész Európában. Ma már a világ számos részén jelen van többek között Afrikában, Ázsia egyes részein, Észak- és Dél-Amerikában, valamint Új-Zélandon is jelentették előfordulását. Hazánkban először 2004-ben észlelték megjelenését paradicsom ültetvényekben, azóta minden évben megjelenik általában üvegházban vagy fóliasátorban termesztett paradicsom állományokban.

A PepMV szűk gazdanövénykörrel rendelkezik, elsősorban a *Solanaceae* családba tartozó növényeket fertőzi (mint például paradicsom, burgonya, padlizsán), kivéve a paprikát, ami nem gazdanövénye.

Paradicsom növényen a fertőzést követően először kis sárga foltok jelennek meg a leveleken, és a hajtáscsúcs levelei deformálódnak, csavarodnak.

Később, ahogy a növény tovább fejlődik, a pirosodó termésen halványabb, sárgás-narancsos kerek foltok, valamint ún. márványozottság figyelhető meg (1. ábra). Mivel a tünetek erősségének kedvez a gyenge fényerő, ezért a normál megvilágítás mellett termesztett paradicsomon nehéz észrevenni a tünetek kezdeti kialakulását. Gyakran csak a termés érésekor derül fény a fertőzésre, amikor a növények nagy része már fertőződött. A vírus könnyen terjed mechanikai úton, emiatt akár a termesztés során végzett munkálatok közben használt eszközökkel átvihető egyik növényről a másikra. Bár maggal nem terjed, a mag felületén megtapadt víruspartikulumoknak mégis lehet szerepe a fertőzés kialakulásában, ezért fontos a szakszerűen csávázott magok használata. Ezen kívül kiemelten fontos a termesztés során alkalmazott higiéniai szabályok betartása, mert mind az elhalt fertőzött növényi részek, mind az öntözővíz fertőzési forrásként szolgálhat a járványok kialakulásában.



1. ábra: *Pepino mozaik vírus (PepMV) fertőzés tünetei paradicsom bogyón*

A PepMV fertőzés erősségét számos tényező befolyásolhatja. Függ többek között a termesztési körülményektől, a vírustörzstől, attól, hogy más ví-

russal együtt fertőz-e a vírus (kevert/komplex fertőzés), a fertőzés körülményeitől (pl. a növény milyen fejlődési stádiumában történt a fertőzés), a gazdanövény (paradicsom) fajtától. Ezek összességében befolyásolják a gazdasági veszteségek mértékét, melyek lehetnek egészen súlyosak is, amikor akár 80–90%-os termésvesztést okozhatnak, vagy enyhébbek, amikor a paradicsom termés minősége és értéke romlik, illetve az eladhatóság jelentősen csökken.

A vírus elleni védekezés egyik fontos pillére a rezisztens fajták termesztése, azonban a PepMV ellen eddig nem találtak rezisztenciagént paradicsomban, emiatt nincs rezisztens paradicsomfajta kereskedelmi forgalomban. Ezért a gyakorlatban keresztvédekezés kialakításával, a növények immunizálásával védekeznek a vírus ellen, illetve a nagyobb veszteségek megelőzése érdekében.

A PepMV izolátumokat eddig öt törzsbe sorolták filogenetikai csoportosításuk alapján. A törzsek földrajzi elterjedésükben, fertőzőképességükben, virusgazdanövény tulajdonságaikban térnek el egymástól. Ezek a törzsek a következőképpen jellemezhetők: 1. az eredeti perui törzs (LP), amelyet pepinóról izoláltak és egyéb vad *Solanum* spp. fajokról gyűjtöttek; 2. az európai paradicsomról származó (EU) törzs; 3. az amerikai (US1) törzs; 4. a chilei-2 (CH2) törzs; és a legújabban jellemzett 5. PES törzs, amelyet Peruban 2014-ben írtak le vad paradicsom populációban. A PepMV elleni hatékony immunizálást először az elsősorban Európában elterjedt EU törzs ellen dolgozták ki. Ennek lényege, hogy egy enyhe tüneteket okozó törzssel fertőzik (spray formájában) a növényeket a fejlődés korai stádiumában (palánta korban). Ezzel az „elő-fertőzéssel” beindítják a növény védekező mechanizmusait, és így egy későbbi, nagyobb patogenitású így súlyosabb tüneteket okozó vírustörzssel szemben a növény hatékonyabban tud védekezni, és a komoly termésvesztéssel járó tünetek elkerülhetők. Ez a rendszer jól működik, kereskedelmi forgalomban beszerezhető.

Azonban az immunizálásnak alapfeltétele, hogy pontosan ismerjük azokat a vírustörzseket, amelyek a helyi populációt alkotják, ami ellen védekezni sze-

retnénk. Európában az utóbbi években megváltozott a PepMV víruspopuláció összetétele, az itt előforduló EU törzs mellett a korábban itt nem detektált más törzsek (CH2) is megjelentek, és különböző mértékben dominánssá váltak.

Ezért laboratóriumunk is felkérést kapott, hogy molekuláris jellemzést követő filogenetikai vizsgálatokkal állapítsuk meg, ill. jellemezzük a hazai paradicsomot fertőző PepMV törzsek összetételét, hogy vajon hatékony-e a jelenleg használt immunizáló, keresztvédettséget kialakító készítmény a jelenleg előforduló vírustörzsekkel szemben. Vizsgálatainknak köszönhetően megállapítottuk, hogy a hazai víruspopuláció az utóbbi években megváltozott. A korábban előforduló EU törzsbe tartozó izolátumokat felváltották a chilei-2 (CH2) törzsbe tartozó izolátumok, ezért a paradicsomtermesztő cégeknek olyan készítmény használatát javasoltuk, amely az EU törzs mellett a CH2 törzs ellen is védettséget biztosít, ezzel hatékony védelmet biztosítva a megváltozott víruspopuláció fertőzésével szemben is.

Paradicsom bronzfoltosság vírus

A paradicsom bronzfoltosság vírus (tomato spotted wilt virus, TSWV) az egész világon elterjedt, egyike a legszélesebb gazdanövénykörrel rendelkező vírusoknak. Több mint ezer növényfajt képes megfertőzni, melyek között gazdaságilag jelentős növények, mint például a paradicsom, paprika, zöldborsó épp úgy szerepel, mint számos dísnövény, például a krizantém, muskátli és a ciklámen. A vírus elterjedésében fontos szerepe van az áttelelő, élő gyomnövényeknek, mint például a tyúkhúr (*Stellaria media*) vagy az apró szulák (*Convolvulus arvensis*), amelyek elsődleges vírusforrásként szolgálva lehetővé teszik a kórokozó áttelelését és terjedését. A TSWV fertőzött növényeken megjelenő vírustünetek növényfajonként igen változatosak lehetnek. Megfigyelhetünk a leveleken megjelenő gyenge mozaik tünetektől kezdve a virágon kialakuló színtörésen keresztül, a termés nekrotikus vagy klorotikus foltosságán át akár a megfertőzött növény teljes nekrozisát, elhalását. A

TSWV-t Magyarországon először 1972-ben írták le szabadföldön dohány növényekről, de az 1990-es évektől vált gazdaságilag jelentőssé. Terjedésében a mechanikai átvitel mellett a legfontosabb szerepe különböző tripsz fajoknak van, amit súlyosbított a 90-es években a nyugati virágripsz (*Frankliniella occidentalis*) behurcolása Magyarországra, ami kulcsszerepet játszott a vírus elterjedésében. Ezt követően hazánkban elsősorban az üvegházi paprika termesztésben okozott komoly gazdasági veszteséget a vírus terjedése, de szántóföldön, például zöldborsó ültetvényben is azonosították. A tripszek elleni védekezés komoly kihívást jelent az üvegházi paradicsom és paprika termesztésben, éppen ezért előtérbe került mindkét növény esetén a rezisztens fajták termesztése és növénynemesítők munkájának köszönhetően egyre több TSWV rezisztens paprika és paradicsomfajta elérhető kereskedelmi forgalomban. Sajnos mindkét növény esetén csak egy-egy TSWV rezisztencia gént sikerült napjainkig azonosítani. Ez a paradicsom esetén az ún. *Sw-5b* rezisztencia gén, míg paprikánál az ún. *Tsw* rezisztencia gén, amely az összes rezisztens fajtában jelen van. Mindkét rezisztencia gén ún. hiperszenzitív rezisztenciát okoz, ami során az elsődlegesen megfertőzött sejtekben egy erős reakció alakul ki, aminek következtében ezek a sejtek elhalnak és rendszerint apró, jól körülhatárolható nekrotikus foltok jelennek meg a fertőzés helyén, ami megakadályozza a vírus további terjedését. Korábbi kutatások megállapították, hogy paradicsom növények esetén a vírus ún. mozgási fehérjeje önállóan képes elindítani ezt a folyamatot, tehát ez a fehérje a vírus ún. avirulencia faktora.

Ugyanakkor ismert, hogy mint minden vírus, a növényi vírusok is igen változatosak és változékonyak. Replikációjuk során folyamatosan sokféle vírusváltozat, ún. mutáns keletkezik, ami biztosítja, hogy a fertőzés során az adott gazdanövényhez alkalmazkodhasson a vírus. Ez a folyamat eredményezi sok esetben az ún. rezisztenciatoró vírus izolátumok megjelenését is.

2022-ben Kecskemét környéki növényházban az Univer-Product Zrt.-nél dolgozó kollégáink figyeltek

meg szokatlan tüneteket és erősen nekrotizálódó paradicsom terméseket *Sw-5b* rezisztencia gént tartalmazó paradicsom növényeken (*Solanum lycopersicum* cv. Janus F1) (2. ábra). PCR vizsgálatokkal megállapítottuk, hogy a növényeket csak TSWV fertőzte, és kizártuk más paradicsomot fertőző vírusok jelenlétét. Tesztnövények fertőzése során megállapítottuk, hogy az azonosított TSWV izolátum képes szisztemikusan fertőzni mind a rezisztencia gént hordozó (*Sw-5b*), mind a rezisztencia gént nem hordozó (fogékony) paradicsomot (3. ábra).



2. ábra: Paradicsom bronzfoltosság vírus (TSWV) fertőzés rezisztens paradicsom bogyón



3. ábra: Szisztemikus tünetek TSWV fertőzött rezisztens paradicsom növényen



4. ábra: A TSWV *Sw-5b* rezisztenciatoró törzs fertőzése paprika növényeken. A: hiperszenzitív reakció (HR), nekrotikus lokális léziók rezisztens paprika inokulált levelén. B: fogékony paprika inokulált levelén nem alakul ki HR, nincsenek lokális léziók

Ezzel ellentétben, ha paprika növényeket fertőztünk ezzel a TSWV izolátummal, akkor csak a rezisztencia gént nem hordozó növényeket fertőzi szisztemikusan, míg a rezisztencia gént (*Tsw* gén) hordozó paprika növényeken csak lokális nekrosis alakul ki (4. ábra). Így megállapítottuk, hogy egy olyan TSWV izolátumot sikerült azonosítanunk, mely a paprikában lévő rezisztenciát nem, de a paradicsomban lévő *Sw-5b* rezisztencia gén által nyújtott védelmet sikeresen áttöri. A rezisztenciatoró izolátum teljes jellemzéséhez az *Sw-5b* rezisztencia esetén avirulencia faktorként azonosított mozgási fehérje (NSm) teljes nukleinsav sorrendjét meghatároztuk. Korábban számos országban azonosítottak *Sw-5b* rezisztenciatoró TSWV izolátumot és ezek NSm fehérjéinek teljes aminosav sorrendjét meghatározva megállapították, hogy két aminosav változás (C118Y, T120N) felelt a rezisztenciatoró fenotípusú TSWV megjelenéséért. Az általunk azonosított *Sw-5b* rezisztenciatoró izolátum ezeket a mutációkat nem tartalmazta, ugyanakkor egy új mutációt azonosítottunk, az ún. D122G mutációt. Így elmondhatjuk, hogy Magyarországon egy korábban még nem azonosított *Sw-5b* rezisztenciatoró TSWV izolátumot azonosítottunk, ami felveti azt a kérdést, hogy ez a mutáns hazánkban alakult ki, vagy esetleg valamely más országból került be, ahol nem történt meg korábban az azonosítása. Munkánk felhívja a paradicsomter-

mesztők figyelmét arra, hogy a vírusok elleni védekezéshez nem elég a rezisztens fajták választása, hanem továbbra is elsődleges fontosságú a megfelelő higiénés körülmények betartása a rezisztenciatorró izolátumok megjelenésének elkerülésére.

Paradicsom barna termérráncosodás vírus

Az úgynevezett tobamovírus csoportba tartozó vírusok régóta komoly kihívás elé állítják a paradicsomtermesztőket. Ezeknek a vírusoknak közös jellemzőjük, hogy rendkívül stabilak, nem csak fertőzött növényekből vihetők tovább, hanem sokáig fennmaradnak akár a talajban, a magokon vagy az üvegházban a különböző termesztésre használt eszközökön is. Ugyanakkor kizárólag mechanikai úton terjednek, így a növények termesztése során különböző technikai műveleteknél, akár a bogycsodás szedése alkalmával is átvihetők. Több mint negyven éven át sikerült a paradicsomot fertőző tobamovírusokat a Tm2² rezisztencia gén segítségével ellenőrzés alatt tartani, a rezisztens fajták termesztésének köszönhetően súlyos termésvesztést nem okoztak. 2014-ben azonban megjelent a Közel-Keleten egy új tobamovírus, a paradicsom barna termérráncosodás vírus (tomato brown rugose fruit virus, ToBRFV), amely az általánosan használt Tm2² rezisztenciagént hordozó paradicsom növényeket is képes fertőzni.

A ToBRFV a paradicsom növények fertőzött levelein mozaik tüneteket okoz, de megfigyeltek levéldeformációt és keskenyedést is. A fertőzött paradicsom termésén látványos tünetek jelenhetnek meg, barna foltosodás, ráncosodás, és gyakran a termés felületén lévő érdesedés figyelhető meg. A tünetek megjelenését és erősségét nagyban meghatározza a termesztett paradicsomfajta, a hőmérséklet, a fényviszonyok és a növény tápanyag ellátottsága. A termesztők szempontjából fontos probléma, hogy a fertőzés következtében egyenletlenné válik a termés érése, és legrosszabb esetben a termésvesztés 70%-t is elérheti.

A ToBRFV először Izraelben jelent meg 2014-ben, majd részletesen Jordániában jellemezték

2015-ben. Európában először 2019-ben írták le Olaszországban, Spanyolországban, Hollandiában, Görögországban és Németországban, majd néhány éven belül egész Európában azonosították. A ToBRFV gyorsan terjedt világszerte, és jelenleg már a globális paradicsomtermesztést veszélyezteti, mivel jelenleg nem ismerünk a nemesítésben használható hatékony rezisztencia forrást.

Magyarországon először a NÉBIH azonosította két termesztő üvegházban (6,2 ha és 5,2 ha) 2021 májusában Lébény és Forráskút községekben. A leveleken jellegzetes mozaikos tüneteket észleltek, de a terméseken vírustüneteket nem lehetett látni. A járványok eredetét nem sikerült azonosítani. A fertőzött növények a termés betakarítása után megsemmisítésre kerültek, de a tünetmentes bogycsodás kereskedelmi forgalomba kerülését engedélyezték.



5. ábra: Paradicsom barna termérráncosodás vírussal (ToBRFV) fertőzött paradicsom növények üvegházban

A vírus jellemzéséhez két termesztő üvegházból (5. ábra) 2021 ősztén kaptunk tünetmentes paradicsom bogycsodát, melyek RT/PCR módszerrel történő vizsgálata után a fertőző vírus teljes nukleinsav

sorrendjét meghatároztuk. A további filogenetikai vizsgálatokba bevontuk az Európában és a Közel-Keleten azonosított ToBRFV izolátumokat is, és megállapítottuk, hogy mindkét hazai termesztő üvegházban azonosított ToBRFV izolátum a legközelebbi rokonságot 2021 júniusában és októberében izolált belga ToBRFV izolátumokkal mutatta. Mivel a para-

dicsom palánták európai forgalma általános, érdekes lenne annak ismerete, hogy honnan származtak a paradicsom palánták az egymástól igen távol lévő, de hasonló vírusizolátumokkal fertőzött üvegházakban. Kutatásunk felhívja a figyelmet arra, hogy zárt termelési rendszerek esetében elsődleges fontosságú a vírusmentes szaporítóanyag használata.

IRODALOM

- Almási, A., Pinczés, D., Tímár, Z. Sáray, R., Palotás, G. & Salánki, K. (2023): Identification of a new type of resistance breaking strain of tomato spotted wilt virus on tomato bearing the Sw-5b resistance gene. *European Journal of Plant Pathology*, 166(2): 219–225.
- Almási, A., Pinczés, D., Sáray, R., Tímár, Z., Palotás, G. & Salánki, K. (2023): Paradicsom Sw-5b rezisztenciagént áttörő paradicsom bronzfoltosság vírus (TSWV) megjelenése Magyarországon. *Növényvédelem*, 84(8): 337–343.

FÁGTERÁPIA A NÖVÉNYVÉDELEMBEN

Schwarczinger Ildikó, Király Lóránt, Künstler András, Kolozsváriné Nagy Judit

Prioritási vita, avagy ki is fedezte fel a bakteriofágokat?

A bakteriofágok a baktériumok vírusai. Felfedezésüket hosszas viták övezték, beleértve azt is, hogy ki fedezte fel őket először. Bár már az ókorban egyes folyóvizekről feljegyezték, hogy fertőző betegségeket, például leprát gyógyítanak, de a jelenség valódi okát sokáig nem ismerték. Feltehetően az első e témakörben írt tudományos publikáció E. H. Hankin brit bakteriológustól származik, aki felfigyelt arra, hogy az indiaiak körében a gyomor- és bélrendszeri fertőzések, különösen a kolera eseteinek száma alacsonyabb a Gangesz és Jumna folyókhoz közeli falvakban élők között, mint a folyótól távolabb lakók körében. Ezirányú kísérleteinek eredményeiről 1896-ban számolt be. Megállapította, hogy e folyók vizében olyan anyag van, ami antibakteriális hatású a kolera kórokozójára – a *Vibrio cholerae* baktériumra –, átjut a finom porcelánszűrőn, de hő hatására inaktiválódik. Két évvel később N. F. Gamaleya orosz bakteriológus felfedezte, hogy a lépfene kórokozója (*Bacillus anthracis*) bizonyos esetekben rendellenes, részlegesen elhalt telepeket fejleszt és az ilyen tenyészetekből származó anyaggal a még egészséges tenyészetek is megfertőzhetők. A rendellenességet okozó anyagot bakteriolizinnak, vagyis „baktérium-feloldó”-nak nevezte el, de nem feltételezte, hogy ezt egy baktériumokon élősködő kórokozó idézheti elő, mivel akkoriban a jelenséget inkább a baktériumok önfeloldásának, autolízisének hitték.

Majdnem 20 évvel Hankin megfigyelése után F. Twort, egy angliai bakteriológus, a Londoni Egyetem Brown Intézetének felügyelője is beszámolt hasonló jelenségről, de ő vetette fel elsőként, hogy a baktériumtelepek feltisztulásának okozója akár egy vírus

is lehet. Twort vírusok tenyésztésére keresett mesterséges táptalajt, de miközben tehénhimlő vírust kívánt felszaporítani, a tehénhimlő nyirokváladékkal beoltott agar táptalajon a vírus helyett csak néhány elburjánzó mikrokokusz-telepet talált. A baktériumtelepek közt akadt olyan, amelynek morfológiája a szokásostól eltérően nyálkás, üvegszerűen átlátszó volt. Rájött, hogy ezek az üveges területek a baktériumsejtek pusztulását jelzik és ez az „üveges átalakulást” okozó anyag szűrhető, friss, aktívan növekvő baktériumtenyészet ellen a legaktívabb, generációról generációra átvihető, nem hat az elhalt szervezetekre, nem szaporítható élő baktérium jelenléte nélkül, egymilliósoros hígításban is aktív, de hatástalan a mikrokokuszokkal nem rokon szervezetekre. Tapasztalatait 1915-ben a *Lancet* című szaklapban tette közzé. Ettől az évtől számítjuk a bakteriofágok felfedezését. Twort a cikkben több feltevést is megfogalmazott a baktériumsejtek pusztulásának okairól és a rejtélyes átlátszó anyag mibenlétéről. Amellett, hogy valóban felvetette annak lehetőségét, hogy a jelenség hátterében egy ultramikroszkópikus, szűrhető vírus állhat, több más hipotézist is felsorakoztatott; vagyis, hogy az anyag lehet a baktérium által termelt enzim, ami a baktérium autolízisét okozza, vagy egy ultra kicsiny baktérium, vagy amőba, ami élő anyagon tud szaporodni, vagy élő protoplazma. Twort felfedezése azonban évekig tudományos visszhang nélkül maradt.

Nem sokkal ezután F. d'Herelle, a párizsi Pasteur Intézet mikrobiológusa a francia Tudományos Akadémia 1917. szeptemberi ülésén számolt be először arról a jelenségről, amit ő bakteriofágiának nevezett el. Ugyanis 1915 augusztusában megkérték, hogy vizsgáljon ki egy vérhas járványt, amely Párizs egyik külvárosában állomásozó lovassági században tombolt.

A beteg katonák ürülékét egy finom baktériumszűrőn átszűrte és megvizsgálta, hogy a szűrlet hogyan hat a vérhaszt okozó baktériumok tenyészteteire. Azt tapasztalta, hogyha a szűrletet kis mennyiségben friss baktériumtenyésztethez adja, akkor az feloldja a baktériumok nagy részét, a baktérium kultúra szemmel is jól látható feltisztulását okozva. Ugyanakkor Petricsészében az egyöntetű (homogén) baktériumréteg helyett többször megfigyelt a baktériumgyepen kis, tiszta területeket, tarfoltokat, amit később plakknak nevezett el. Arra a következtetésre jutott, hogy a baktériumrétegen látható plakkokat, illetve a folyékony baktériumtenyésztet feltisztulását egy láthatatlan mikroba, egy szűrhető vírus okozta, ami valójában a baktériumokon élősködő vírus. A „bakteriofág” nevet d’Herelle javasolta; a szóösszetételt feltehetően a görög „βακτήριο” és a „φάγειν”, szavakból alkotta, aminek a jelentése „baktérium evő”. Ezt követően világszerte elkezdtek bakteriofágokkal foglalkozni és a kezdeti tanulmányokban úgy hivatkoztak a bakteriofájiára, mint „d’Herelle-jelenség”-re. Felfedezése d’Herelle-t évekig elismert, ünnepelt tudóssá tette, mígnem 1921-ben J. Bordet Nobel díjas belga immunológus és mikrobiológus és M. Ciuca román bakteriológus és parazitológus rá nem bukkantak Twort 1915-ös cikkére és a tenyésztéről tenyésztetre átvihető bakteriolízis felfedezésének elsődlegességét teljes egészében Twortnak tulajdonították. Ezzel egy komoly prioritási vita vette kezdetét. Az őt ért támadásokra d’Herelle két dologgal védekezett; egyrészt, hogy szerinte Twort egy másik jelenségről és nem a bakteriofájiáról írt 1915-ös cikkében, másrészt pedig azzal, hogy erre a jelenségre ő már Twort előtt figyelte, amikor 1910 és 1915 között egy mexikói sáskajárvány során a sáskákat tizedelő, vérhasjárványt tanulmányozott. A vérhasban elhullott sáskákból egy a sáskákon addig ismeretlen *Coccobacillus* írt le. Majd irányításával ezt a baktériumot sikeresen alkalmazták az egész Észak-Afrikát súlytó sáska invázió megfékezésére Tunéziában 1915-ben: a Mexikóban izolált baktériumtenyésztetekkel kezelték a sáskarajok előtt a gabonát. A sáskák a növényeket elfogyasztva megbetegedtek és elpusztultak. Így sikerült megvédeni a termést, ami a háború miatt különösen

fontos volt. De nem csak a sáskajárvány kérdését sikerült megoldania, hanem miközben e baktériumot tenyésztette, arra lett figyelmes, hogy a baktériumgyepen gyakran apró tarfoltok képződnek. Mintát vett az átlátszó foltokból, de a mikroszkóp alatt nem látott baktériumokat. Az átlátszó anyagot tovább vizsgálva, arra a következtetésre jutott, hogy az a valami, ami a feltisztult foltokat okozza olyan kicsi, hogy átjuthat a baktérium szűrőn és képes a baktériumot fertőzni. Ezirányú tapasztalatai valószínűleg hozzájárultak a vérhasjárvánnyal kapcsolatos 1915-ös kísérleteihez és a bakteriofágja leírásához, de a *Coccobacillus* fágokról először csak az 1920-as évek elején, különböző könyveiben tett nyilvános említést. A prioritási vita végül elcsendesült, salamoni döntés született, miszerint Twort és d’Herelle egymástól függetlenül fedezték fel a bakteriofágokat.

Ugyanakkor d’Hérelle-nek nem csak a bakteriofág és a plakk elnevezéseket köszönhetjük; arra is rájött, hogy a plakkszámlálás módját ad e láthatatlan mikrobák számbavételére. Ezen kívül 1920-tól vezetésével kezdődtek el a fágok humán gyógyászati kísérletei is. A klinikai kísérleteket elsősorban maga d’Hérelle vezette. A fágokat először vérhas kezelésére használta. Az első fágkészítményt d’Hérelle és több kórházi orvos is lenyelte, hogy megbizonyosodjanak annak biztonságosságáról, mielőtt másnap beadták volna egy 12 éves, súlyos vérhasban szenvedő fiúnak. A beteg tünetei a d’Hérelle-féle vérhas elleni fágkészítmény egyszeri beadása után megszűntek, és a fiú néhány napon belül teljesen felépült. A vizsgálatok eredményeit azonban nem publikálták azonnal, ezért a fágok első klinikai alkalmazása sem d’Hérelle nevéhez fűződik, hanem R. Bruynoghe és J. Maisin-hez, akik 1921-ben bakteriofágokat használtak *Staphylococcus* okozta bőrbetegségek kezelésére. A klinikai tesztek sikerén felbuzdulva számos vállalat kezdett fágtartalmú gyógyszerek gyártani és forgalmazni, mint például az indianapolisi Eli Lilly Company vagy a párizsi L’Oréal. A bakteriofágok történetének harmadik központi alakja G. Eliava, aki szoros kapcsolatban állt d’Hérelle-lel. Eliava úttörő szerepet játszott a bakteriofágok humán gyógyászatban való felhasználásának kidolgozásában és

népszerűsítésében a Szovjetunióban és azon túl is. Nagyrészt az ő erőfeszítéseinek, és az általa Tbilisziben alapított és ma is működő intézetnek köszönhető, hogy a fágterápia fennmaradt. A fágterápiát az 1940-es évekig egyre szélesebb körben használták. A szovjet Vörös Hadsereg katonái még a második világháborúban is kaptak fágtartalmú gyógyszerrel antibiotikum helyett. Azonban a II. világháború után, az antibiotikumok térhódításával a fágok humán gyógyászati alkalmazása Nyugat-Európában és az USA-ban visszaesett, és csak az elmúlt évtizedekben került újra az érdeklődés homlokterébe. Ennek egyik oka, hogy egy új antibiotikum kifejlesztésének költsége igen magas, másrészt a klinikai gyakorlatban egyre gyakrabban fordulnak elő multireszisztens, ezáltal nehezen leküzdhető baktériumtörzsek, amelyek ellen olcsó és sokszor az egyetlen alternatívát egy hatásos fág-készítmény jelentheti. A multidrog rezisztens (MDR) kórokozókval kapcsolatos fertőzések kezelése hatalmas anyagi ráfordítást igényel. Becsült adatok szerint az ilyen fertőzések kezelésének teljes költsége pl. az Egyesült Államokban meghaladja az évi 20 milliárd USD-t.

Mire használhatók a bakteriofágok?

A bakteriofágok nem csak terápiás célú felhasználási lehetőségeik miatt bírnak nagy jelentőséggel. Ezek közül talán a legfontosabb, hogy 1938-tól E. L. Ellis, M. Delbrück és S. Luria hatására, megkezdődött a bakteriofágok szerkezetének és genetikájának feltárása, ami végül hozzájárult a molekuláris biológia és a genetika forradalmához. Ezen kívül az epidemiológiában (járványtanban) szintén 1938-tól kezdve indult meg a fertőző baktériumok bakteriofágokkal való azonosításának, az ún. fág típus-meghatározásnak módszertani kidolgozása, amely módszert 1948-tól kezdve Magyarországon is bevezették. A fágok emellett alkalmasak ún. receptorkötő-fehérjéken alapuló molekuláris próbák révén kórokozó baktériumok gyors kimutatására, továbbá terápiás gének és vakcinák antigénjeinek szállítására, valamint hidrológiai modellezésekben jelölőanyagként is használják őket. Szerepük van a biztonságos élelmiszergyártás fo-

lyamataiban is, alkalmazhatók pl. sajtok, felvágottak bakteriális fertőzésének megelőzésére és kórházi felületeket, katétereket, szállodai függönyöket is fertőtlenítenek velük.

Fágok a növényvédelemben

Bár a bakteriofágok növényvédelmi célú felhasználásának ötlete szinte egyidős a fágok felfedezésével, az ezirányú kutatásoknak a fágok humán- és állatgyógyászatban való sikeres használata, a réztartalmú növényvédő szerekre, illetve egyes antibiotikumokra rezisztens növényi kórokozó baktériumtörzsek kialakulása és a társadalom környezetbarát növényvédő szerek iránti igénye adott új lendületet világszerte az 1990-es évek végétől. A bakteriofágok azon jellemzői, hogy a szaporodásuk a gazdasejthez kötött, hatásuk nagymértékben specifikus a gazdaszervezetre, de nem toxikus a többi eukarióta szervezet sejtjeire, valamint, hogy felszaporításuk és tárolásuk meglehetősen egyszerű és olcsó, egyaránt alkalmassá teszik őket biopeszticidként való felhasználásra. A világon az első növényvédelmi vonatkozású fágtartalmú szert 1983-ban szabadalmaztatták az USA-ban, fagykárt előidéző jégmagképző baktériumok ellen. A legismertebb fágtartalmú készítmény pedig, a szintén az USA-ban engedélyezett AgriPhage™, ami a paprika és a paradicsom pszeudomonászos és xantomonászos betegsége ellen a gazdabaktérium vad típusú és ún. gazdakör-mutáns fágjainak kombinációját tartalmazza. A gyümölcsfák tűzelhalás betegségének kórokozója, az *Erwinia amylovora* elleni első bakteriofág-alapú biopeszticidet, az Erwiphage-t, pedig egy hazai cég, az Enviroinvest Zrt. fejlesztette ki. A szer, amely két *Erwinia amylovora*-specifikus fágizolátumot, valamint UV-fény elleni védőanyagot tartalmaz, 2012-től szükséghelyzeti engedéllyel alkalmazható Magyarországon.

Fágkutatás az HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézetben

Hazánkban az első olyan kutatások, amelyek növényi kórokozók bakteriofágaival foglalkoztak, intézetünk neves kutatói Klement Zoltán, Király Zoltán

és Lovas Béla (MTA Műszaki Fizikai Kutatóintézet) nevéhez fűződtek. Vonatkozó kutatásaik eredményei a rangos Nature és a Phytopathology tudományos folyóiratokban jelentek meg 1957 és 1960 között. Intézetünkben a 2000-es évek közepétől indultak újra a fágyterápiás kutatások. Kutatócsoportunk célja az *E. amylovora* elleni biológiai védekezés megalapozása bakteriofágokkal.

Az *Erwinia amylovora* okozta tűzelhalás az alma- és körtefák több, mint kétszáz éve ismert egyik leg-súlyosabb betegsége. A tűzelhalás név a baktérium által kiváltott perzselésszerű tünetre utal. A fertőzés a termés kiesésén kívül a termőképletek, az ágak, súlyos esetben az egész fa pusztulásához vezet. A kórokozó hazánkban 1995-ben jelent meg először. Azóta – a kórokozó számára kedvező időjárási viszonyok esetén – a betegség rendszeresen fellép és jelentős gazdasági károkat okoz. A kórokozó elleni hatékony védekezés alapillérei a megelőzés, vagyis a kórokozóval szemben ellenálló fajta kiválasztása, a fertőzésmentes szaporítóanyag használata, és a fertőzött növényi részek mielőbbi eltávolítása mellett, az alapvető növényegészségügyi szabályok betartása (pl. a munkaeszközök fertőtlenítése). A kémiai védekezési lehetőségek korlátozottak, amióta az eddigi legeredményesebb védekezési mód, a virágzaskori antibiotikus kezelés a legtöbb európai országhoz hasonlóan Magyarországon sem engedélyezett. Az antibiotikumok növényvédelmi használatát egyrészt humánegészségügyi megfontolásból korlátozták, másrészt azért, mert Észak-Amerikában már az 1970-es évektől többször detektáltak sztreptomycin-rezisztens *E. amylovora* törzseket.

Hazánkban elsők közt voltunk, akik e probléma megoldását a baktérium természetes ellenségei közül a bakteriofágok alkalmazásában látták. A külön e célra engedélyeztetett, akkreditált *E. amylovora*-karantén laborban folyó vizsgálataink több fágizolá-

tum morfológiai és részleges genetikai jellemzésére, gazdakörük meghatározására, kórokozó visszaszorító képességük *in vitro* tesztelésére és a fágok növénybeni terjedésének vizsgálatára terjedtek ki. Egy bakteriofágtartalmú potenciális biopesticid kifejlesztésének első lépéseit az intézetünkben folyó *E. amylovora* fágokkal történt vizsgálatok példáján mutatjuk be.

Izolálás

A növényi kórokozó baktériumok fágjait az adott baktérium gazdanövényéről, vagy a növényt körülvevő talajból izolálhatjuk. Mi erre a célra tűzelhalás tünetét mutató növényi részeket (pl. almafa pásztorbatszerűen hajlott hajtásvégét) használtunk (1. ábra). Ezeket tápoldatban együtt rázattuk több *E. amylovora* törzssel, majd a baktériumot kloroformmal elöltük és az így nyert ún. lizátumot tisztítottuk. Tapasztalataink szerint minél több baktériumtözset használtunk „csaliként” az izolálás során, annál többféle fágizolátumot sikerült „kihalásznunk”.

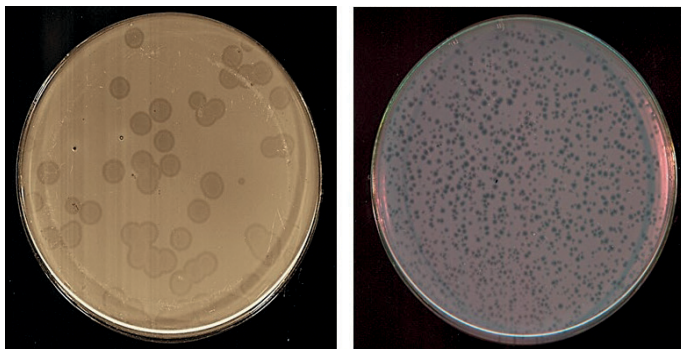


1. ábra: Az *Erwinia amylovora* baktérium egyik jellegzetes tünete a pásztorbatszerűen hajlott és elszáradt hajtásvég

Plakkmorfológia

A fágok első látható bélyege, hogy *in vitro* táp-talajon, az ún. „kettős agarlemezzel” felső, az indikátorbaktériumot és a vizsgálandó fagot egyaránt tar-

talmazó rétegén milyen morfológiájú plakkokat képeznek. Ezért a fágokat először a plakkok tisztasága, mérete és a plakkot körülölelő sáv szélessége alapján jellemeztük. Fágizolátumaink 0,5–10,0 mm átmérőjű plakkokat képeztek (2. ábra).



2. ábra: A CFBP1430 számú *E. amylovora* indikátor baktériumtörzsön képződött feltisztult zónák, más néven plakkok. A vizsgált hazai fágok közül a legnagyobb (5,0–10,0 mm átmérőjű) plakkot a ΦEaH7B fág (balra), míg a legkisebbet a ΦEaH5K (jobbra) fág képezi, melynek plakkjai alig haladják meg az egy millimétert. A plakkok mérete általában nem korrelál a fág hatékonyságával, de a plakk körüli szélesebb sáv nagyobb lítikus (a baktériumsejt felbomlásához vezető) enzimaktivitásra utal (Forrás: Kolozsváriné Nagy et al., 2015)

Bakteriofágok morfológiái vizsgálata transzmissziós elektronmikroszkóppal

A fág partikulumok (virionok) alakja és mérete a bakteriofágok rendszertani besorolásának egyik alapja, azonban a bakteriofágok igen aprók, átlagosan 30–200 nanométeresek, közönséges fénymikroszkóppal nem láthatók. Bakteriofágot teljes valójában H. Ruska, illetve E. Pfankuch és G. A. Kausche láttak meg először elektronmikroszkóp alatt és az erről készült fotók 1940-ben jelentek meg. A fág partikulumok morfológiai jellemzését napjainkban transzmissziós elektronmikroszkópos vizsgálattal végzik.

Az általunk vizsgált fágok közül 14 a *Myoviridae* család tagjaira jellemző ikozaéder alakú fejvel és hosszú, összehúzódó farki résszel rendelkezik. A másik 5 izolátumra kisebb ikozaéder fej és rövid, nem összehúzódó, széles farki rész jellemző, ezek a *Podoviridae* családba tartoznak. A magyar fágok

közül a legkisebb a ΦEaH11, míg a legnagyobb a ΦEaH4A jelzésű fág (3. ábra). Az eddig világszerte leírt *E. amylovora* fágok többsége szintén a *Myoviridae* és a *Podoviridae* családba tartozik, de Magyarországról korábban csak a *Syphoviridae* családba tartozó *E. amylovora* fágokat írtak le, így az általunk leírt fágok ismeretlenek voltak hazánkban.

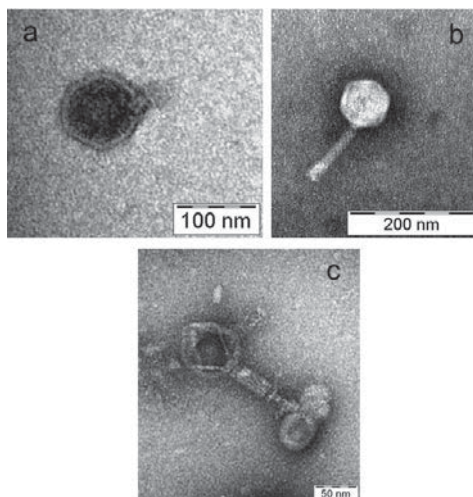
Fágok genetikai vizsgálata

A fágok genetikai anyaga lehet egy- vagy duplaszálú RNS, vagy DNS. Ma már tizenhárom *E. amylovora* fágizolátum teljes genomi szekvenciája elérhető online az NCBI GeneBank-ban, ezek közül kettőhöz a magyar fágkészítmény fejlesztői (Dömötör és munkatársai) szolgáltatottak az adatokat. Közülük az egyik fág (a ΦEaH2 NC 019929.1) genomja azonban tartalmazza azt az *ams-F* gént, ami egy olyan fehérjét kódol, ami szükséges

az *E. amylovora* baktérium patogénitásban jelentős szerepet játszó amilovorán nevű extracelluláris poliszacharid bioszintéziséhez. Emiatt a fejlesztő kutatók is megfontolandónak tartják ennek az izolátumnak a biológiai védekezésben való alkalmazását (lásd lizogén konverziót később). A pályázatunk nem tette lehetővé fág izolátumaink teljes genomi szekvenálását, de több gén meglétét is vizsgáltuk. Különösen izgalmas kérdés volt, hogy a mi izolátumaink tartalmazzák-e az előbb említett *ams-F* gént. Vizsgálatunkhoz a ΦEaH2 fág erre a DNS szakaszára terveztünk primer párt (indítószekvenciát) és az elvégzett PCR vizsgálat eredménye szerint megállapítottuk, hogy a kérdéses szakasz egyik általunk izolált fágban sincs jelen.

Gazdakörvizsgálat

A fágok gazdakörének vizsgálata több aspektusból is fontos. Egyrészt a gazdakör az adott fágizolátumok, illetve törzsek meghatározó jellemző-



3. ábra: A Φ EaH11 fág a Podoviridae fágokra jellemző ikozaéder fejvel és rövid fark rüsszel rendelkezik (a). A másik két fág, a Φ EaH4A (b) és a Φ EaH4B (c) fejrésze ikozaéderes, de a farkrészük többszöröse a fejük átmérőjének, mely a Myoviridae fágokra jellemző. Fertőzéskor a fágok a baktérium felületén megtapadva, a fark részük összehúzásával – egy injekciós fecskendőhöz hasonlóan – injektálják genetikai anyagukat a baktériumba (c) (Forrás: Schwarczinger et al., 2017)

je. Másrészt ez az első olyan vizsgálat, amely során a biológiai védekezés célorganizmusára, jelen esetben az *E. amylovora* baktériumra specifikus fágok elsődleges szelekciója történik. Az ún. cseppeszt során a kettős agarlemez felső – a tesztelni kívánt baktériumot tartalmazó lágyagar – rétegére azonos mennyiségű és sűrűségű fágot cseppentünk, majd a kialakult plakkok megléte alapján értékeljük a baktériumok fogékonyságát. A módszer előnye, hogy gyorsan (24 órán belül) kiválaszthatjuk a vizsgált fágok közül azt, amely a legtöbb *E. amylovora* törzset képes lizálni, tehát az adott baktériumgyepen tiszta plakkot képez, míg más nem cél baktériumon nem képez plakkokat, ami az adott fág *Erwinia*-specifikusságára utal. Az ilyen ún. lítikus fágok perspektivikusak a biológiai védekezés szempontjából. Ezzel szemben a baktériumrétegen homályos, zavaros plakkot képező fágok, az ún. lizogén (másnéven mérsékelt, vagy temperált) fágokat nem ajánlatos biológiai védekezésre használni. Ennek oka, hogy a bakteriofágok szaporodhatnak lítikus, vagy lizogén ciklussal, illetve néhány vírus mindkettőre képes. A lítikus fágoknál a virion sokszorozódása során a baktériumsejtek

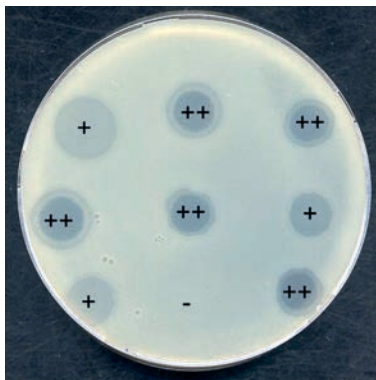
lizálódnak (felbomlanak), vagyis a baktériumok elpusztulnak. Ahogy a sejt elpusztul, az új fágok új gazdaszervezetet kereshetnek. Ezzel szemben a lizogén ciklus nem eredményezi a gazdabaktériumsejt azonnali pusztulását, a lizogén fágok genomja integrálódik a gazda DNS-ébe, és a baktérium számára többnyire ártalmatlan módon, azzal együtt sokszorozódik. A vírus láten sen van jelen a baktériumban mindaddig, amíg a gazdaszervezetben a körülmények meg nem romlanak, ekkor az endogén fágok (profágok) aktiválódnak. Beindítják a reprodukciós ciklust, ami a gazdasejt lízisét okozza. Néha a profágok új funkciókat adnak a baktérium genomjához. Ezt a jelenséget lizogén konverciónak nevezik. Legismertebb példája ennek, amikor a *Vibrio cholerae*

egy ártalmatlan törzsét egy fág virulenssé, így a kolerabetegség kórokozójává tette. Ez az oka annak, hogy a mérsékelt fágokat miért nem alkalmazzák a fágtérapiában.

Gazdakör vizsgálatunk során összesen 56 teszt-organizmust használtunk, köztük magyar és külföldi *E. amylovora* törzseket, más *Erwinia* fajokat, *Erwinia amylovora* baktérium fajjal közeli rokon, nem patogén *Pantoea agglomerans* törzseket és *Pantoea* nemzetségbe tartozó kórokozó törzseket, valamint több más (nem rokon) növényi kórokozó baktérium fajt (*Agrobacterium tumefaciens* C58, *Agrobacterium vitis* F2/5, *Escherichia coli* DH5 α , *Xanthomonas campestris* pv. *zinnia*, *Pseudomonas cichoriae*, *Pectobacterium carotovorum* ssp. *carotovorum*, *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* H9). A baktérium fogékonyságot az indikátor baktériumot tartalmazó felső agarrétegen kialakult plakkok megléte és tisztasága alapján jellemeztük (4. ábra).

Eredményeink szerint a magyar fágok szélesebb gazdakörrel rendelkeznek, mint a kontrollként használt amerikai fágok (Φ Ea1h, Φ Ea100, Φ Ea104,

ΦEa116C). A fágok közül 5 magyar és 1 amerikai fág bizonyult *Erwinia*-specifikusnak, mivel ezek – az *Erwinia tasmaniensis* kivételével – lizálták az összes vizsgált *Erwinia* törzset, míg más, az *Erwinia* fajokkal nem közeli rokon patogén baktériumokat nem fertőzték. A magyar *E. amylovora* törzsek mindegyike fogékony volt a fágizolátumokkal szemben, függetlenül a fágok származásától. A gazdakör vizsgálatokat kiterjesztettük az *E. amylovora* fajjal közeli rokon, de nem patogén baktériumokra is, azzal a céllal, hogy a bakteriofágokat olyan mikroorganizmusban szaporítsuk fel, amelyből nem „lophat” pl. virulenciagént, vagy toxint termelő gént, vagyis ami alkalmas lehet a fág biztonságos felszaporítására és a védendő területre való kijuttatására. Erre két baktériumtörzset is alkalmasnak találtunk; az *E. billingiae* és a *Pantoea agglomerans* egy-egy törzsét. Ezen kívül megállapítottuk, hogy mivel a ΦEaH2B és a ΦEaH5A izolátumok képesek a vizsgált egyéb kórokozó baktériumok közül a *Pantoea citrii* CCM4312, a *Pantoea stewartii* ssp. *stewartii* DC283 és az SW2, és a *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* H9 teszt-baktérium törzseken is tiszta plakkot képezni, ezért ezek a fágok nem *Erwinia*-specifikusak.



4. ábra: Cseppteszt. A fágok gazdakör meghatározásánál azt vizsgáljuk, hogy a gazdabaktériumot tartalmazó felső lágyagarral cseppentett fágok képesek-e megfertőzni és lizálni a tesztbaktériumot. Ha igen, akkor a csepp helyén egy nap elteltével feltisztult foltot, ún. plakkot láthatunk (++)). A zavaros plakk (+) arra utal, hogy a fág nem lizálta, csak megfertőzte a baktériumot. A módszer egyik előnye, hogy egy Petri-csészében egyidejűleg több fágizolátum is tesztelhető ugyanazon a baktériumrétegen

Fágtipizálás

Nemcsak a fágok jellemezhetőek gazdakörük alapján, hanem az egyes baktérium fajok, illetve törzsek is jellemezhetőek a fágokkal szembeni fogékonyságuk alapján. E vizsgálati módszer azon alapul, hogy csak azok a baktériumok érzékenyek az adott faggal/fágokkal szemben, amelyek a fágadszorpcióhoz megfelelő fágreceptorral rendelkeznek. Az orvostudományban a fágok specifikusságát régóta használják egyes baktériumtörzsek gyors azonosítására, szelektálására és járványtani megfigyelésekre. Ezt nevezik fágtipizálásnak, vagy fágtípus-meghatározásnak. E vizsgálathoz használt fágok, az ún. típusfágok. A típusfágokkal kapott reakciók alapján állapítható meg egy baktérium fágprofilja, melyet többnyire szám vagy betűjellel kódolnak.

Mi is kíváncsiak voltunk arra, hogy az általunk izolált fágok alkalmasak-e ilyen fágtipizálásra illetve, hogy van-e összefüggés a fágérzékenység és a baktériumok izolálásának helye, illetve gazdanövénye között, ezért megvizsgáltuk 25 magyarországi és 6 külföldi *E. amylovora* törzs fágokkal szembeni érzékenységét. A gazdakör vizsgálataink eredménye alapján a teszthez négy fágot (ΦEaH1A, ΦEaH5A, ΦEaH4B és a ΦEaH8) választottunk ki. A fágérzékenység meghatározására ismét a csepptesztet használtuk és egy nap elteltével feljegyeztük, hogy a fágok tiszta, vagy zavaros plakkot képeztek, avagy egyáltalán nem képeztek plakkot az adott baktériumrétegen.

A vizsgálatnál használt fágok alkalmasak voltak e csoportok fágtipizálással való elkülönítésére, segítségükkel a baktériumtörzseket fágprofiljuk alapján 12 csoportba soroltuk. Az *E. amylovora* baktériumtörzsek fágokkal szembeni fogékonysága nem függött össze azzal, hogy mely gazdanövényről, vagy Magyarországon melyik területéről lettek izolálva, de egyes külföldi törzsek (pl. az ukrainjai Ea96-os törzs), fágprofiljuk alapján határozottan elkülöníthetőek voltak más baktériumtörzsektől. A vizsgált négy fág közül a leghatékonyabbnak a ΦEaH5A fág bizonyult, amely a legtöbb *E. amylovora* törzset képes volt teljesen lizálni.

Fágok hatékonyságának *in vitro* vizsgálatai

A vizsgálatokhoz az egyéb *E. amylovora* antagonistá mikroorganizmusok tesztelésére általánosan használt módszereket alkalmaztuk, vagyis baktérium-elimináló hatásukat folyadékultúrában, a kórokozó különböző gazdanövényeinek levágott virágain és éretlen körtészeleteken vizsgáltuk. A folyadékultúrát a baktériumszuszpenzió optikai sűrűsége (OD), a körtészeletes kísérletet a kiváltott tünetek súlyossága, a virágos kísérletet a mesterségesen inokulált (fertőzött) virágokból visszaizolált baktériumok száma alapján értékeltük. A vizsgálatokhoz egy német, sztreptomycin rezisztens, spontán mutáns *E. amylovora* törzset használtunk, így a virágokból visszaizolálással nyert szuszpenziót szelektív, sztreptomocintartalmú táplemezre szélesztve biztosíthatuk, hogy csak a fertőzésre használt baktérium telepei nőjenek ki. A baktérium telepszámlálással kapott eredményeinket az 'Idared' alma fajtán végzett kísérletünk esetében Real-Time PCR módszerrel is megerősítettük. Nem csak az egyes fágokat, hanem a fágok különböző kombinációit is teszteltük, hogy egyrészt megtaláljuk azokat a fágkombinációkat, amelyben a fágok pl. szinergista hatást gyakorolnak egymásra, másrészt több fágot egyszerrel alkalmazva elkerülhető, vagy késleltethető a fágrezisztens baktériumtörzsek kialakulása.

Mindhárom vizsgálati módszerrel azt tapasztaltuk, hogy a fággal történt kezelés hatására jelentősen (30-95%-kal) csökkent a baktérium mennyisége és a baktérium okozta tünetek súlyossága. A folyadékultúrában legeredményesebb fágokat (Φ EaH2A, Φ EaH5K és a Φ EaH7B), amelyek csaknem felére csökkentették a OD értéket, tovább vizsgáltuk különböző alma fajták ('Royal Gala', 'Golden', 'Idared', 'Pinova') és egy birs fajta ('Berecki'

birsa) virágain. A fágokkal történt kezelések mindegyik fág esetében, mind az öt almafajtán szignifikánsan csökkentették a baktérium mennyiségét. A mindhárom fágot tartalmazó fágkombináció a 'Royal Gala' fajtán volt a legeredményesebb, ahol a kezelés 95%-kal csökkentette a virágokról visszaizolált baktériumok számát a kezeletlen kontrollhoz képest, ami azért is jelentős, mivel ez a fajta különösen fogékony a tűzelhalással szemben. Az éretlen körtészeleteken végzett kísérlet során a vizsgált izolátumok közül a legjobb hatást a Φ EaH11-es izolátummal értük el; a kezelt körtészeleteknek csupán 12%-án jelentek meg a baktériumcseppek és alakult ki enyhe nekrosis, míg az erviniás kontroll 64%-án súlyos nekrosis volt megfigyelhető (5. ábra). Négy fogékony dísznövényfajon (*Pyracantha angustifolia*, *Cotoneaster horizontalis*, *Sorbus domestica*, *Crataegus monogyna*) is megvizsgáltuk a fágok baktérium-elimináló hatását.

A fágkombinációk közül a Φ EaH2A+ Φ EaH4A+ Φ EaH5A bizonyult a leghatásosabbnak, mely szignifikánsan jobb eredményt adott, ahhoz képest, mint amikor az egyes fágokat külön használtuk. A legszembetűnőbb hatást a keskenylevelű tűztövisen (*P. angustifolia*) figyeltük meg, ahol a fágkombináció hatására egyáltalán nem alakultak ki tűzelhalásos tünetek.



5. ábra: Bakteriofágok *Erwinia amylovora* baktériumra kifejtett hatása körtészeleteken. A bal oldalon a csak *E. amylovora* baktériummal kezelt kontroll (a), a jobb oldalon a Φ EaH11-es fággal előkezelt, majd baktériummal inokulált körtészeletek láthatók (b). A fág hatására jelentősen csökkent a körtészeletek szöveti nekrozisa (barnulása) (b)

Tudnak-e a fágok szállítódni a növényben?

Bár a fágok számos előnyös tulajdonsággal rendelkeznek néhány jellemzőjük valódi kihívást jelent baktericidként való alkalmazásuk során. A fágok csak gazdabaktériumok jelenlétében képesek szaporodni és különösen érzékenyek a környezeti feltételekre, változó hőmérsékletre, extrém pH-értékre, ezen kívül csapadékkal vagy UV-sugárzással könnyen inaktíválódhatnak. Közülük is a legutóbbi, vagyis a fágok fényérzékenysége a fágalapú biológiai védekezés „Achilles sarka”. A fágok UV-fénytől való védelmének egyik lehetősége a fágok közvetlenül a védendő növénybe való juttatása.

Ismert, hogy a fágok gyökéren, vagy levélen keresztül be tudnak jutni a növénybe, de ezt még az *E. amylovora* fágok esetén nem vizsgálták. Ennek tisztázására kísérleteket végeztünk 2–4 hetes 'Freedom' és 'Jonathan Watson' alma magoncokon. A korábbi kísérletekben talajba ültetett növényeket használtak, de a fágkoncentráció a növényben – a fágok talajkolloidhoz való adszorpciója miatt – sokszor a kimutathatósági szint alá csökkent, ezért mi ültető közegként steril perlitet használtunk, hogy az adszorpciót kiküszöbölhessük. A fágokat a növénybe kétféle módon juttattuk: gyökérszónába öntözéssel, vagy sziklevekbe injektálással. A fágok detektálása a nem kezelt növényi részekből való visszaizolálással, illetve az adott fágokra specifikus indítószekvenciákat használva Real-Time PCR-rel történt.

A negyedik naptól mindkét alma fajtából, mindkét módszer esetén ki lehetett mutatni a kezelésre használt fágokat. Ezzel nem csak arra derült fény, hogy a bakteriofágok fenn tudnak maradni a növényben, hanem arra is, hogy az egész növényben képesek elterjedni (szisztemizálódni).

A növénybe jutott fágok képesek mérsékelni a tüneteket?

Ennek kiderítésére 4–6 leveles 'Pinova' alma magoncok szikleveleibe injektáltuk a fágokat, majd

ezt követően a szűrés helyére cseppentettük a baktériumszuszpenziót. Hat nap elteltével a tünetek alapján értékeltük a fágok hatását.

Azt tapasztaltuk, hogy a vizsgált két fág közül a kedvezőbb hatást a Φ Ea104 nyújtotta, amely képes volt a harmadára csökkenteni a baktérium okozta tünetek súlyosságát.

Az eredmények rövid összefoglalása

Elsőkén izoláltunk Magyarországon *Myoviridae*, illetve *Podoviridae* családba tartozó *E. amylovora*-specifikus bakteriofágokat. Az általunk izolált *E. amylovora* fágokat jellemeztünk plakk morfológiájuk, partikulum morfológiájuk és gazdakörük alapján. A bakteriofágok különböző *E. amylovora* törzsekre kifejtett hatását folyadékultúrában és különböző fogékonyságú termesztett, illetve dísznövényeken vizsgáltuk. Összehasonlítottuk, hogy a szelektált bakteriofágok önmagukban, vagy több fágot egyszerre használva (fágkombinációban) hatékonyabbak-e. Vírágón végzett *in vitro* kísérleteinkben a legjobb hatást a Φ EaH2A+ Φ EaH4A+ Φ EaH5A és a Φ EaH2A+ Φ EaH5K+ Φ EaH7B fágkombinációkkal értük el. Az általunk izolált fágok közül kiválasztottunk négyet, amelyek alkalmasnak bizonyultak különböző *E. amylovora* törzsek fágtypizálására. Új módszert dolgoztunk ki annak vizsgálatára, hogy a növények képesek-e a gyökéren, vagy a levélen keresztül felvenni a bakteriofágokat. Kimutattuk, hogy a fágok passzív transzport révén transzlokálódnak a növényben és a növényben szétterjedt fágok a csökkentik a baktérium koncentrációját és mérsékelik a betegség tüneteket.

Kísérleteink eredményei alapján további vizsgálatokkal kívánjuk tisztázni a fágok növényben történő szállításának részleteit. Terveink közt szerepel a biológiai védekezés szempontjából legígéretesebb fágizolátumok teljes genomi szekvenciájának meghatározása. Ezen kívül különösen izgalmas kérdés a fágrezisztens baktériumtörzsek ellen határos ún. „host range” mutáns fágok izolálása és tesztelése. A jövőben vizsgálataikat

más, növényvédelmi szempontból jelentős baktériumok (mint pl. *Xanthomonas*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium* fajok) fágjaira is ki kívánjuk terjeszteni.

Köszönetnyilvánítás

A munka anyagi háttérét a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal OTKA PD75280 számú kutatási pályázata biztosította.

IRODALOM

- Kolozsváriné Nagy, J., Király, L. & Schwarczinger, I. (2012): Phage therapy for plant disease control with a focus on fire blight. *Open Life Sciences*, 7(1): 1–12.
- Kolozsváriné Nagy, J., Schwarczinger, I., Künstler, A. Pogány, M. & Király, L. (2015): Penetration and translocation of *Erwinia amylovora*-specific bacteriophages in apple - a possibility of enhanced control of fire blight. *European Journal of Plant Pathology*, 142: 815–827.
- Schwarczinger, I., Kolozsváriné Nagy, J., Künstler, A. Szabó, L. Geider, K. Király, L. & Pogány, M. (2017): Characterization of *Myoviridae* and *Podoviridae* family bacteriophages of *Erwinia amylovora* from Hungary - potential of application in biological control of fire blight. *European Journal of Plant Pathology*, 149: 639–652.
- Schwarczinger I., Kiss E., Süle S., Tóth M., Hevesi M. (2011): Control of Fire Blight by Bacteriophages on Apple Flowers, *Acta Horticulturae*, 896, 457-462.
- Végh A, Horváth B, Hevesi M, Schwarczinger I, & Palkovics L: (2012): Bakteriófágok hatásának vizsgálata *Erwinia amylovora* izolátumokra. *Növényvédelem*, 48 (12): 559–567.

A NÖVÉNYKÓROKOZÓ BAKTÉRIUMOK ELLENI NÖVÉNYI VÉDEKEZÉSI REAKCIÓK A GÉNKIFEJEZŐDÉSEK TÜKRÉBEN

Bozsó Zoltán és Szatmári Ágnes

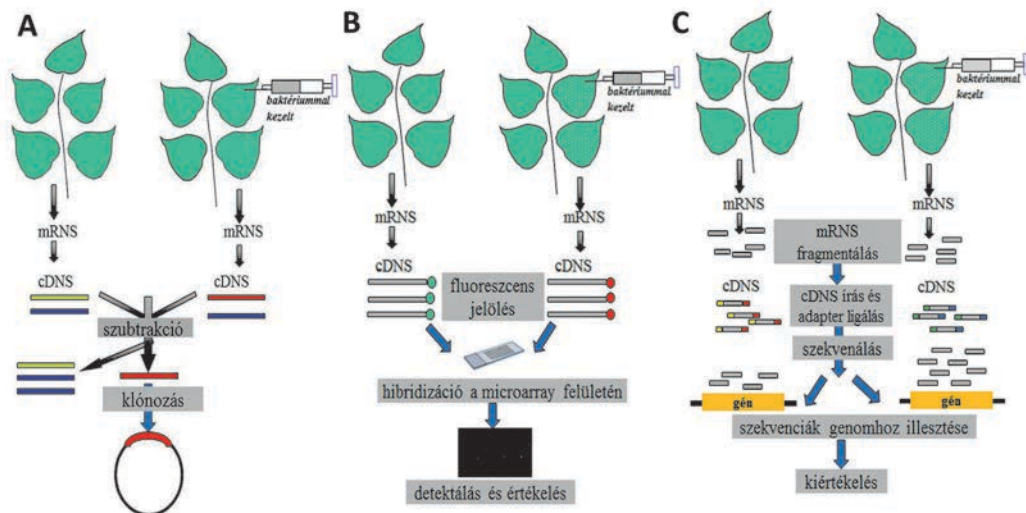
Növényi gének és transzkripciójuk

A növények a génjeik számát tekintve legalább olyan összetett élőlények, mint az állatok, vagy az ember. A növénytani kutatások során igen közkedvelt, és a többek között viszonylag alacsony génszáma miatt gyakran használt lúdfű (*Arabidopsis thaliana*) kb. 27 000 fehérjét kódoló gént tartalmaz. A rizs kb. 39000, a lucerna kb. 44 000, a nyárfa kb. 38 000, míg a búza kb. 90 000 génnel rendelkezik. Az embernek kb. 19 000, az állatok közül a kutyának és a sertésnek kb. 22 000, a szarvasmarhának kb. 21 000 fehérjét kódoló génje van. Ezen kívül vannak olyan RNS-sé átíródó DNS szakaszok is, melyek nem fordítódnak le fehérjévé, hanem pl. génátíródási szabályozási folyamatokban vesznek részt. A gének nagy részének átíródása nem folyamatos, hanem a növény adott igényeihez igazodik. Ennek szabályozása azért is fontos mert a génekről történő RNS átírás és végső soron a fehérjeszintézis energiaigényes folyamatok, melyeket csak akkor érdemes működtetni, ha éppen szükség van rájuk. A szabályozatlan átíródás ugyanis a növény működéséhez szükséges erőforrásokat elvonja, ami pl. csökkent növekedéshez vezethet. A növényi sejtek a gének átíródásának szabályozásához gyakran a környezetből származó információkra, így többek között a kórokozók jelenlétének érzékelésére hagyatkoznak. Ezeket érző (receptor) fehérjéikkel detektálják, majd az információt egymással is kapcsolatban álló jelátviteli útvonalak összetett, de jól szabályozott rendszerével juttatják el a sejtmagban lévő DNS-ben kódolt információ RNS-é történő átírását szabályozó molekulákhoz. A növényi válaszok során keletkezhetnek újonnan átíródó RNS-ek, míg másoknak csak a korábban jól detektálható szintje növekszik meg. Előfordul olyan

eset is, hogy a növény reakciója során egy gén átíródása, és így a detektálható mRNS szintje lecsökken. Az mRNS átíródása és a fehérje átíródása között is léteznek szabályozásai lépések, így a protein szintek változása nem minden esetben követi az mRNS átíródásának mértékét. Ennek ellenére az mRNS-ek mennyisége (transzkripció), illetve ennek mérése sok és fontos információt szolgáltat a növényi válaszokról.

Módszerek megváltozott átíródást mutató gének azonosítására

A transzkripció szintjének mérése azért is népszerű és elterjedt módszer, mert a mérés sokkal egyszerűbben kivitelezhető, mint a protein szintek változásának detektálása. A technika fejlődése során számos olyan módszert dolgoztak ki, amikkel egyre pontosabban és nagyobb számban azonosíthatók a megváltozott aktivitású gének (1. ábra). Kísérleteinkben először az ún. szubtrakciós módszert alkalmaztuk olyan gének azonosítására, amelyek a kórokozókra adott növényi válaszok során változtatják meg transzkripciójuk mértékét. Ezzel az eljárással a kórokozóval fertőzött növényekből származó RNS-ből, illetve az arról átírt cDNS-ből hibridizációs eljárással mintegy kivonjuk, eltávolítjuk a kontroll, nem fertőzött növényi szövetben is jelen lévő mRNS-ből származó cDNS-t. Így azok a cDNS-ek dúsulnak fel a mintában, amelyek magasabb szinten, vagy újonnan fejeződnek ki a fertőzött mintában. Fordított szubtrakciós beállítással azonban a kezelés, illetve a fertőzés hatására alacsonyabban kifejeződő gének azonosítására is van lehetőség. A cDNS szakaszok plazmid vektorba klónozásával, majd ezt követően azok DNS szekvenciájának meghatározásával több



1. ábra: Módszerek megváltozott átíródsát mutató gének azonosítására. Az ábrák leegyszerűsítve mutatják a folyamatokat. A kontroll (nem kezelt vagy vízzel injektált szövet) és a baktériummal infiltrált szövetből származó minták transzkripciójának összehasonlításával történtek a vizsgálatok. A) szubtraktív módszer B) microarray módszer C) új generációs szekvenálás

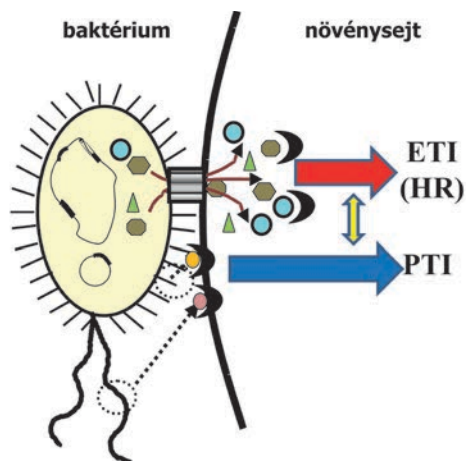
mint száz megváltozott aktivitású gént tudunk azonosítani. A gének aktivitás változás mértékét azután más módszerekkel, például valós-idejű PCR reakcióval lehetett kvantifikálni. Az újabb, egyszerűbb, több gén kimutatására alkalmas módszerek mellett e technika használata akkor lehet megoldás, ha szükség van a megváltozott aktivitású gének cDNS-ére a későbbi kísérletekhez. Ilyen lehet, ha az azonosított gének funkcióját szeretnénk vizsgálni pl. vírus indukálta géncsendesítéssel (itt ugyanis a csendesíteni kívánt gén egy szakaszát a vírus vektorba kell beépíteni). A később kifejlesztett ún. microarray technológia szintén hibridizációs elven működik, de ezzel a technológiával már több tízezer gén aktivitásának egyidejű követésére is lehetőség van. Egy mikroszkóp tárgylemez méretű felületre az adott élőlény, esetünkben a növény cDNS-ének jellemző darabjait rögzítik, amelyek lehetőleg csak egyetlen gén termékéhez hibridizálnak. A vizsgálni kívánt mintából izolált mRNS-ről átírt cDNS-t fluoreszcens festékekkel kell jelölni, majd ezt a mintát a lemezen található próbákhoz hibridizálni. A fluoreszcens jel erőssége a leolvasás során attól függ, hogy mennyi cDNS van az adott génből a mintában. Arra is van lehetőség, hogy

a kezelt (fertőzött) és a kontroll mintából származó cDNS-t különféle fluoreszcens festékekkel jelöljük, ami lehető teszi a kétféle minta egy lemezen lehet történő vizsgálatát. A legutóbbi időszakban az ún. új generációs szekvenáláson alapuló módszerek terjedtek el a génexpressziós vizsgálatokban. E szekvenálási módszer során az RNS-t kisebb darabokra tördelik, majd cDNS írás után, jellemzően 100–150 bázispár hosszú szakaszok szekvenciáját határozzák meg, egyszerre akár több millióét. Az így nyert szekvenciákat a vizsgált élőlény, ismert genomjához illesztik. Az adott génhez illeszkedő szekvenciák száma arányos a génkifejeződés mértékével. Az új generációs szekvenálás előnye a microarray technológiával szemben, hogy lehetővé teszi addig nem ismert új mRNS-ek azonosítását is.

A kórokozó baktériumok ellen kialakuló növényi védekezési reakciók

Annak ellenére, hogy a növények nem rendelkeznek specializált immunsejtekkel, eredményesen tudnak védekezni a kórokozókkal szemben. Ehhez több szintű, részben átfedő, egymással kapcsolatban lévő

védekezési rendszert használnak. Ezek egy része a fertőzést megelőzően is jelen lévő ún. preformált rezisztencia, amelynek egyik fő feladata a kórokozók, így a baktériumok növényi szövetbe történő behatolásának megakadályozása. Ez történhet többek között mechanikai úton vagy különféle antimikrobiális vegyületek révén, vagy akár a gázcserenyílások mint egyik lehetséges bejutási kapu zárásával is. Ha a kórokozóknak sikerül ezen az elsődleges védekezési vonalon túljutni és belépni a növényi szövetekbe, akkor az ún. indukált védekezési folyamatok aktiválódnak (2. ábra). Ezek jó részéhez új fehérjék szintézisére és ennek megfelelően az ezeket kódoló gének transzkripciójának növekedésére van szükség. A védekezéshez nélkülözhető gének átíródása, az energiafelhasználás optimalizálása érdekében viszont csökkenhet. A növényi sejtek először a baktériumok felületén jelen lévő vagy a baktériumból kijutó, a nem-kórokozó baktériumokban is jelen lévő molekulát (pl. a mozgást lehetővé tevő filamentet felépítő flagellin fehérje) ismerik fel receptoraik segítségével. Ezt a típusú védekezési reakciót nevezzük általános védekezésnek vagy a nemzetközi szakirodalomban elfogadott neve alapján (molekula)mintázat által ki-



2. ábra: A kórokozó baktériumok ellen kialakuló növényi védekezési reakciók. A PTI-t jellemzően a baktériumok felületén lévő molekulák, míg az ETI-t a baktériumok által a növénysejtbe juttatott fehérjék aktiválják. Az ETI sok esetben a növényi sejtek elhalásával is együtt jár (HR). A két védekezési reakció között kölcsönhatások is kialakulhatnak

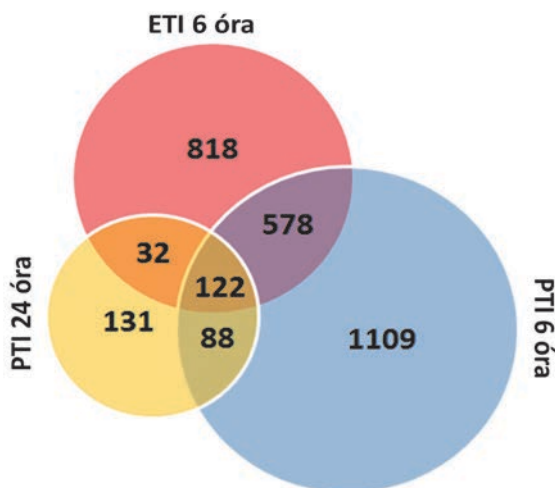
váltott immunitásnak (pattern triggered immunity, PTI). Ez a növényi válasz rendszerint nem jár látható tünetekkel. A kórokozó baktériumok esetében létezik egy másik védekezési vonal is, amit rendszerint azok a peptidok (effektorok) váltanak ki, amiket a baktérium a növényi sejt belsejébe juttat. Ezeket a baktérium a növény folyamatainak manipulálására használja. Azonban ezek egy részét a növény a rezisztencia (R) géntermékei segítségével felismerheti. Ezt a típusú rezisztenciát effektor kiváltotta immunitásnak (effector triggered immunity, ETI) is nevezik. Nagyon gyakran ez a típusú védekezés együtt jár a megtámadott növénysejt/szövet elhalásával is, és hiperszenzitív reakciónak (HR) hívjuk. A PTI és az ETI is viszonylag gyorsan, akár párhuzamosan, rendszerint 6–12 órával a fertőzés után kialakul.

Transzkripciós változások a növénysejtekben a baktériumok elleni rezisztencia reakciók során

Kutatásaink során először is a különböző védekezési módok (PTI és ETI) alatt lejártszódo transzkripciós változásokra, illetve ezek esetleges összefüggéseire voltunk kíváncsiak. További célként pedig ezek alapján olyan növényi gének és folyamatok kiválasztását és részletesebb tanulmányozását tűztük ki, amelyek alapvetőek lehetnek a védekezés során. Ezek alaposabb megismerése segíthet ugyanis hatékonyabb, a növény rezisztenciafolyamatait jobban kihasználó védekezési módszerek kifejlesztésében. A vizsgálatokhoz főleg kutatási modellnövényeket használtunk (pl. dohány, vagy a pillangós virágú lucernaféle *Medicago truncatula*), mivel ezekről a növényekről áll rendelkezésre a legtöbb információ, továbbá a technikai, módszertani lehetőségek is ezeknél a növényeknél voltak adottak. A transzkripciós változások detektálására a korábban felsorolt módszereket használtuk. A növények fertőzéséhez azok a baktériumtörzsek voltak alkalmasak, amelyekkel el lehetett különíteni a különböző védekezési reakciókat. Az általános védekezés (PTI) kiváltására olyan baktériumokat juttattunk a növények leveleibe, amelyekben ki volt

iktatva az a rendszer mellyel ETI-t (HR) kiváltó fehérjéket tudnak juttatni a sejtekbe. Az ETI kiváltásához a vad típusú, az adott növényben HR-t okozó baktériumot használtunk. Egyes esetekben a betegsüneteket okozó ún. kompatibilis baktériummal fertőztük a növényeket.

Ha összehasonlítottuk a különböző növényekben kapott eredményeket, a detektált változások sok hasonlóságot mutattak. Ez a védekezési reakciók általános természetét és egymásra épülését jelzi. Azt is kijelenthetjük, hogy a fertőzések nagymértékű biotikus stressznek teszik ki a növénysejteket, amit jól jelez a megváltozott aktivitású gének nagy száma. Jellemzően több száz gén átíródása aktiválódott vagy represszáldott néhány órával a fertőzés követően (3. ábra). További fontos megfigyelés, hogy bár a PTI esetében nem alakul ki látható tünet, a védekezés legalább olyan összetett mint az ETI esetében, hisz a megváltozott aktivitást mutató gének száma mindkét esetben hasonló volt. Különbséget lehetett tapasztalni azonban a génaktivitás-változás mértékében, ami az ETI esetében jellemzően magasabb volt.

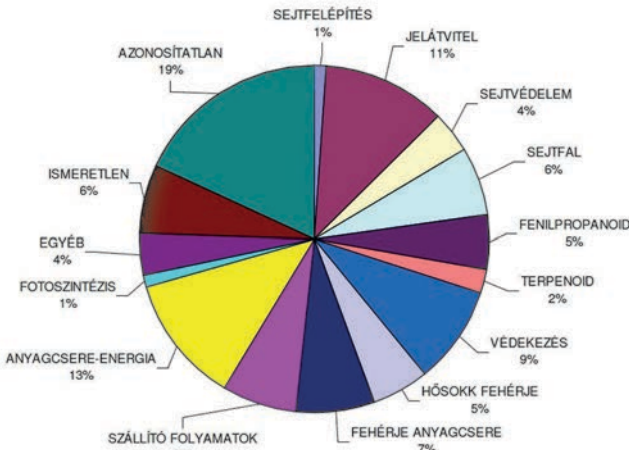


3. ábra: A megváltozott aktivitást mutató gének száma a PTI és az ETI (HR) kialakulása alatt lucerna (*Medicago truncatula*) leveleiben. A PTI esetében a mintát 6 és 24 órával, az ETI esetében 6 órával a fertőzés után gyűjtöttük. A PTI-t a *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* hrcC mutáns, míg az ETI-t a *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* vad típusú törzsével indukáltuk

Aktiváló gének és folyamatok a védekezési reakciók során

A megváltozott átíródású gének funkció alapján történő besorolása megmutatta, hogy melyek azok a növényi folyamatok, amelyek szerepét játszhatnak a védekezési reakciók kialakításában (4. ábra). A gének egy részének jellemzően az egyik irányban változik meg az átíródása a kontrollhoz képest, míg más csoportokban a folyamatok finomhangolása érdekében találunk aktivált és represszált géneket is (5. ábra). Egyik legjellemzőbb változás a jelátvitelben részt vevő gének átíródásának megemelkedése. Már a szignál folyamatok legelső elemeinek, a PTI-t beindító receptor fehérjéket kódoló géneknek a transzkripciója is megnő a baktérium fertőzése után rövid idővel. Ezzel együtt a jelátviteli folyamat következő elemeinek, a kinázoknak a transzkripciója is megemelkedik. A kinázok a jelet foszforiláció útján adják tovább egymásnak és végül a gének átíródását szabályozó transzkripciós faktoroknak, melyek közül soknak az átíródása szintén fokozódik. A jelátvitelben résztvevő gének transzkripciójának növekedése

és az azokról átíródó fehérjék megemelkedett szintje végső soron a jel felerősödéséhez és fokozott védekezési reakciókhoz vezet. Azt azonban el kell kerülni, hogy ez a folyamat korlátlanul aktiválódjon. Erre szolgálnak az ún. negatív regulátorok pl. a kinázok foszforilációs aktivitását ellensúlyozó foszfatázok, vagy a génkifejeződést negatívan szabályozó transzkripciós faktorok, melyek transzkripciója szintén megnő a fertőzés után. A kinázok és foszfatázok mellett más, szignál átvitelben résztvevő pl. a Ca^{2+} jelátvitelben közreműködő Ca^{2+} -kötő fehérjék génjei is aktiválódnak. A rezisztencia reakció fokozott fehérjeszintézis-igényére utal, hogy a PTI alatt a riboszóma alegységeket kódoló, és más proteinszintézishez kapcsolódó géneknek nagy számban megnő a transzkripciója. A baktériumok elleni védekezés során a növényi sejt az előállított fehérjék egy részét a betolakodó mikroorganizmus tapadási helyén kialakuló, a növényi sejtfalat és sejtmembránt magában foglaló



4. ábra: A PTI során aktiválódó dohány gének százalékos eloszlása a feltételezett funkciójuk szerinti csoportokban

A diagram illustrating gene activity changes in a plant cell during PTI. A bacterium (baktérium) is shown activating the cell (AKTIVÁCIÓ ↑). The diagram shows various gene groups and their activity changes:

- sejtfal szintézis** ↑
- transzport** ↑
- fenil-propanoid szintézis** ↑
- hősokk fehérjék génjei** ↑
- riboszóma gének** ↑
- receptorok, jelátviteli gének** ↑
- védekezéssel kapcsolatba hozható gének** ↑
- antioxidánsok/méregtelenítés génjei** ↓
- fotoszintézis és kloroplasztisz gének** ↓
- sejtmag** (transzkripció faktorok) ↑
- fehérjebontás** ↑

5. ábra: Jellemző génaktivitás-változások a PTI kialakulása alatt (6 órával a fertőzés után) a *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* *hrcC* (HR-negatív) mutánsal fertőzött levélben

védekezési zónához (papilla) szállítja. Ehhez viszont megemelkedik a transzportban résztvevő fehérjék génjeinek a kifejeződése. A sejtfal megerősítése kulcsfontosságú eleme a védekezésnek, így az ezekhez hozzájáruló gének átíródásának növekedése, pl. a sejtfalzilárdító glikoprotein alapú hálózatot képező glicin-gazdag és extenzin fehérjék aktiválódása is tipikus a PTI kialakulása alatt. Az ún. fenilpropanoid útvonalban résztvevő enzimeket kódoló gének szinte összes tagjának transzkripció-növekedését figyeltük

meg mindegyik vizsgált növényfaj esetében. Ez az útvonal többek között a ligninnek, a növényi sejtfal egyik fontos alkotóelemének a szintézisében vesz részt. Szemben sok más, csak átmenetileg aktiválódó génnel, ezeknek a sejtfalszintézisében, megerősítésében fontos géneknek az aktivitása jellemzően hosszabb ideig, akár több napig is magasabb szinten maradt. Ezek a változások nemcsak a levelekben fontosak a rezisztencia kialakulásához, hanem pl. a gyökereket fertőző *Ralstonia solanacearum* esetében is. A rezisztens növény gyökereiben ugyanis a sejtfal és a fenilpropanoid szintézis génjeinek magasabb expresszióját, valamint erősebb lignifikációt lehetett megfigyelni. A felfokozott védekezési reakció során olyan termékek is keletkezhetnek, amik a növénysejt számára is károsak lehetnek, ezek közömbösítésére is számos rendszer, illetve enzim létezik. Az ezeket kódoló gének átíródása ugyancsak megemelkedett a fertőzések után pl. a glutation-S-transzferáz (ami a redukált tripeptid glutationt köti a nem kívánatos szubsztrátokhoz).

Számos olyan fehérje, illetve ezeket kódoló gén van, amelyet a korábbi kutatások során közvetve vagy közvetlenül (antimikrobiális hatás) a védekezési reakciókhoz tudtak kötni. Ezeknek a fehérjéknek a mennyisége és/vagy az aktivitása rendszerint megnövekszik a rezisztencia reakciók során (patogenezissel kapcsolatos PR fehérjék). A *Medicago* növény leveleiben pl. a PR-10 gének aktiválódtak nagyobb számban a PTI és az ETI alatt. A PR-10 fehérjéknek számos olyan aktivitása ismert amelyekkel részt vehetnek a védekezési folyamatokban. Így kimutatták már ribonukleáz, illetve hormon (pl. citokinin) kötő képességüket is. Jellemző még a kitinázok aktivitásának növekedése mind enzim, mind transzkripció szinten. Ezek az

enzimek alapvetően a gombák sejtfalát bontják, de egyes kitinázok a baktérium sejtfal (peptidoglikán) hidrolizálására is képesek, így antibakteriális hatásúak is.

Represszáldó gének és folyamatok a védekezési reakciók során

Az egyik legjellemzőbb génaktivitás csökkenés a fotoszintézishez és a kloroplaszthoz köthető gének kifejeződésének gátlása, ami mind a tünetmentes PTI, mind a sejtelhalással együtt járó ETI (HR) alatt is bekövetkezik. Más kutatási eredményekből is az következtethető ki, hogy a fotoszintézissel kapcsolatos gének transzkripciójának csökkenése jellemző a biotikus stresszre, és valószínűleg segíti a növényeket abban, hogy erőforrásaikkal a védekezésre tudjanak koncentrálni. A PTI esetében ez a folyamat átmeneti, mivel a fertőzést követő 24-48 órában a növény fotoszintéziséhez kapcsolódó gének átíródása nagyrészt helyreáll.

A növényi sejtközötti térben a baktériumoknak a sikeres szaporodáshoz megfelelő környezet pl. tápanyagok szükségesek. Ezek korlátozása a növény számára is sikeres eszköz lehet az ellenük történő védekezésben. Ennek megfelelően a cukrok növényi sejtéből történő kifelé szállítását végző gének egy részének szintén csökken az átíródása (SWEET gének) mind az ETI mind a PTI alatt. E gének, illetve géntermékeik működésének fontosságát jelzi, hogy vannak olyan kórokozó baktériumok, amik a növényi sejtbe juttatott ún. effektor proteinjeikkel transzkripciós faktorként működve aktiválni tudják az átírásukat.

A betegséget okozó kompatibilis baktérium által kiváltott transzkripciós változások

Ahhoz, hogy egy baktérium a növényi szövetben, pontosabban a sejtközötti térben szaporodni tudjon és a végén nagy sejtszámot elérve betegség tünetet okozzon, speciális tulajdonságokkal kell rendelkeznie. Egyrészt képesnek kell lennie a különböző növényi védekezési reakciók minél

nagyobb hatékonyságú gátlására. Másrészt olyan környezetet kell kialakítania (pl. megfelelő tápanyag-ellátottság) amely közel optimális a baktérium szaporodásához. Azt tapasztaltuk, hogy e cél érdekében a kompatibilis baktérium gátolni tudja a PTI és ETI alatt aktivált vagy represszált gének egy részének az aktivitásváltozását. Ráadásul speciális, csak a kompatibilis baktériumra jellemző növényi transzkripciós változásokat is okozott. Ez utóbbiaknak a valószínűsíthető feladata, a számára kedvező környezeti változások létrehozása. A kísérletek azt mutatták, hogy a legnagyobb arányban a jelátvitelben és a transzkripció szabályozásában résztvevő gének átíródása gátlódik. Ez igazán hatékony módja a baktériumok növényi szövetbeli túlélésének, hiszen így a védekezési folyamatok jelentős része már a kölcsönhatás elején blokkolódik. Jellemző volt még az egyes transzport folyamatok, illetve sejtfal szilárdításában résztvevő gének transzkripció növekedésének elmaradása is. Érdekes módon az összes peroxidáz enzim aktivációja elmaradt, ami ezeknek a multifunkcionális enzimeknek a fontosságát jelzi a védekezési reakciókban. A betegséget kiváltó baktérium által specifikusan kiváltott változás volt még a stresszválaszokban résztvevő abszcizinsav hormon jelátviteli útjainak aktiválódása. Erről a hormonnól ismert, hogy más fontos védekezési útvonalakat gátol (pl. szalicilsav által szabályozottakat). A glutation peroxidáz gének kifejeződése is megemelkedett, ami viszont csökkentheti a baktériumsejtek oxidatív stressznek való kitétséget, hozzájárulva a baktérium szaporodás kedvező feltételeihez.

Transzkripciós változások alapján kiválasztott növényi védekezési folyamatok részletesebb vizsgálata

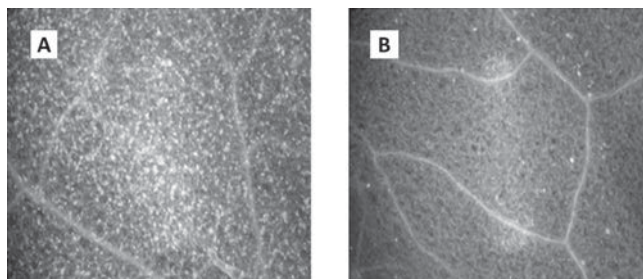
A nagyszámú transzkripciós adat, néha a bőség zavarát okozva, lehetővé teszi olyan folyamatok kiválasztását, amelyek részletesebb vizsgálata közelebb visz a rezisztencia folyamatok megismeréséhez. Ehhez egyaránt használhatjuk azokat a géneket, amelyek a védekezési reakciók kialakulása során (PTI

és/vagy az ETI) változtatják meg aktivitásukat, vagy olyanokat melyeknek a transzkripcióját a betegséget kiváltó kompatibilis baktérium manipulálja.

Az egyes gének, géncsaládok szerepének jobb megértéséhez különböző módszerek alkalmazhatóak. Ez lehet pl. az adott enzim aktivitását többé-kevésbé specifikusan gátló inhibitorok használata, vagy az adott gén/géncsoport működésének kikapcsolása, vagy éppen túltermeltetése. Két nagyobb csoport, a fehérje lebontás, illetve a fenolpropanoid útvonal és a hozzá kapcsolódó fenolos vegyületek szerepéhez kapcsolódó eredményeinket mutatjuk itt be részletesebben. A protein bontás génjei nagy számban változtatták meg az átíródásukat a PTI és az ETI alatt. Méréseink azt mutatták, hogy a PTI során a fehérjebontó aktivitás a fertőzést követően egy korai (3. óra) és egy későbbi (48. óra) időpontban mutat magasabb értéket a kontrollhoz képest. Ez egybeesik azokkal a megfigyeléseinkkel, ami egy korai és egy késői védekezési fázist különböztet meg a PTI indukálása után. A fehérjebontó enzimeknek számos típusa létezik a növényekben,

és ezeknek eltérő funkciója lehet a védekezési reakciókban pl. a főlősleges jelátviteli fehérjék, transzkripció szabályozók, vagy éppen a felhalmozódott sérült fehérjék eltávolítása. A fehérjebontó enzimek inhibitoraival végzett kísérletek során azt tapasztaltuk, hogy az inhibitorok a PTI alatt aktiválódó gének transzkripcióját nem gátolták jelentősen. Sőt egyes esetekben a proteínáz gátlók önmagukban (a védekezést aktiváló baktérium sejtek jelenléte nélkül is) a gének átíródásának növekedését idézték elő. Az ún. proteoszómás lebontási útvonal inhibitora ezzel ellentétben többnyire csökkentette a PTI során a gének transzkripcióját. A levelekben a sejtfallerősítésben résztvevő kallóz mikroszkópos megfigyelése ugyancsak a proteínázok összetett szerepére utalt (6. ábra). Voltak olyan inhibitorok, melyek gátolták a baktérium által kiváltott kallóz beépülését, mások önmagukban is kallóz felhalmozódást tudtak kiválta-

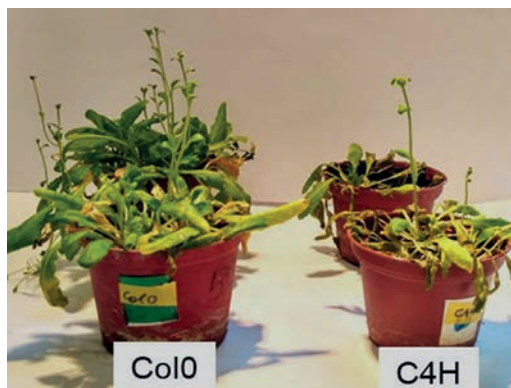
ni. A lúdfű fehérjebontó enzim génekben mutáns növényeit tesztelve találtunk olyan karboxipeptidáz és a szubtiláz típusú proteázokat, melyek befolyásolni tudták a fertőzés után a baktérium-szaporodás mértékét. Ezekből az eredményekből arra lehetett következtetni, hogy a növényi proteázok szerepe igen összetett lehet a védekezési folyamatok során, mivel a rezisztencia negatív és pozitív szabályozásában is részt vehetnek.



6. ábra. Cisztein típusú proteázokat gátló inhibitor csökkenti a PTI alatt a növényi sejtfalba beépülő kallóz mennyiségét. Fluoreszcens mikroszkóppal készített felvételek anilin-kékkel megfestett lúdfű (*Arabidopsis thaliana*) levelekről. A minták a kezelést követő 24. órában kerültek preparálásra. A sejtfalakra berakódott kallóz a képeken világos, pontszerű foltokként jelenik meg. A) kallóz beépülés a PTI indukálása után (*Pseudomonas syringae* pv. *syringae* hrcC mutáns) B) kallóz beépülés gátlása, ha a PTI indukálásával egyszerre cisztein proteínáz gátlót juttattunk a levélbe.

Ahogy előzőleg említettük, a fenilpropanoid útvonal enzimjeit kódoló gének transzkripciójának növekedése, ami akár több napig is eltarthat, az egyik legjellemzőbb változás a PTI kialakulása során. Ez a bioszintetikus útvonal a lignin szintéziséen keresztül vesz részt sejtfallerősítésében, de lehet direkt antimikrobiális hatású vegyületek forrása is. Az útvonal második enzime a fahéjsav-4-hidroxiláz (C4H). Az általa katalizált reakció sebessége jelentős hatással van a fenilpropanoid szintézis folyamatára. A fenilpropanoid útvonal, és a C4H jelentőségét a C4H specifikus inhibitorával végzett kísérlet is bizonyította, mivel az inhibitor gyengíteni tudta a PTI kialakulását. További bizonyítékként szolgált a C4H jelentőségére az e génben mutáns lúdfű, melyben nagyobb sejtszámot és erősebb tünetet tudott elérni a levélbe injektált kompatibilis *Pseudomonas* baktérium (7. ábra). Dohány

növényben (*Nicotiana benthamiana*), az útvonal más enzimeinek géncsendesítéssel történő gátlása is a PTI gyengülését okozta. Ezzel ellentétben az útvonal egyes génjeinek átmeneti túltermelése, a betegséget okozó baktérium szaporodásának csökkenését eredményezte.

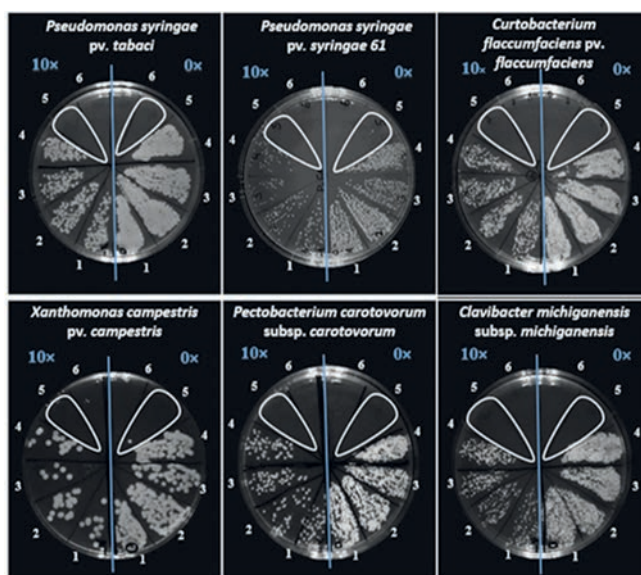


7. ábra: A tünetek különbsége a Col-0 kontroll, és a fahéjsav-4-hidroxiláz (C4H) mutáns lúdfű (*Arabidopsis thaliana*) növényeken 6 nappal a baktériumfertőzés után. A fertőzés a *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000 baktérium alacsony koncentrációjú szuszpenziójával történt

Folyadékromatográfiás módszerrel különböző fenolos vegyületek mennyiségének változását

is követtük a PTI kialakulása során. A legnagyobb mértékben, és PTI specifikusan az acetosziringon (3,5-dimethoxy-4-hydroxyacetophenon) molekula mennyisége nőtt meg. Az *in vitro* kísérletek során sikerült megállapítani, hogy az acetosziringon önmagában ugyan nem, de a védekezési reakciók során egy időben jelen lévő hidrogén-peroxid és peroxidáz enzim jelenlétében sikeresen tudja gátolni a különféle növénykórokozó baktériumokat (8. ábra). Speciális fluoreszcens festékek használatával azt is sikerült megállapítani, hogy ez a gátlás közvetve vagy közvetlenül a baktérium membránjának depolarizálásával valósul meg. Az acetosziringon tehát fontos szerepet játszhat a baktériumszaporodás gátlásában a PTI során.

Az itt részletesebben vizsgált és leírt, továbbá a még feltáratlan transzkripciós válaszokon alapuló kutatások olyan rezisztencia folyamatokra hívják fel a figyelmet, amelyek megerősítése a betegségekre ellenállóbb növények használatához vezethet. E kutatások jelentőségét többek között az adja, hogy a rezisztencia akár kis mértékű növelése is kevesebb növényvédő szer felhasználását teheti lehetővé a haszonnövények termesztésében. A különböző rezisztenciátípusok kombinálása még tovább is erősítheti ezt a hatást.



8. ábra: Az acetosziringon oxidált formájának *in vitro* antimikrobiális hatása különböző növényi patogén baktériumokra. A hígításokat 3 órás inkubálást követően szélesítettük a sejtszám meghatározásához.

Lemez jobb fele: nincs hígítás (0x), minden lemez bal oldala: 10x hígítás.

A baktériumsuszpenziókra alkalmazott kezelési kombinációk számozása:

1. nem kezelt kontroll;
2. acetosziringon;
3. H_2O_2 ;
4. H_2O_2 + peroxidáz;
5. acetosziringon + H_2O_2 + peroxidáz;
6. hővel előlt baktérium.

Forrás: Szatmári és mtsai. 2021

IRODALOM

- Bozsó, Z., Maunoury, N., Szatmári, Á., Mergaert, P., Ott, P. G., Zsíros, L. R., Szabó, E., Kondorosi, É. & Klement Z (2009): Transcriptome analysis of bacterially induced basal and hypersensitive response of *Medicago truncatula*. *Plant Molecular Biology*, 70(6): 627–646.
- Bozsó, Z., Ott, P. G., Kámán-Tóth, E., Bognár, G. F., Pogány, M. & Szatmári, Á (2016): Overlapping yet response-specific transcriptome alterations characterize the nature of tobacco-*Pseudomonas syringae* interactions, *Frontiers In Plant Science*, 7: 251.
- Szatmári, Á., Móricz, Á. M., Schwarczinger, I., Kolozsváriné Nagy, J., Alberti, Á., Pogány, M. & Bozsó Z. (2021): A pattern-triggered immunity-related phenolic, acetosyringone, boosts rapid inhibition of a diverse set of plant pathogenic bacteria. *BMC Plant Biology*, 21(1): 153.
- Szatmári, Á., Zvara, Á., Móricz, A. M., Besenyi, E., Szabó, E., Ott, P. G., Puskás, L.G. & Bozsó Z (2014): Pattern Triggered Immunity (PTI) in Tobacco: Isolation of Activated Genes Suggests Role of the Phenylpropanoid Pathway in Inhibition of Bacterial Pathogens, *PLOS ONE*, 9(8): e102869.

MEGELŐZHETŐK-E „OLTÁSSAL” A FITOPLAZMÁS NÖVÉNYBETEGSÉGEK?

Mergenthaler Emese, Kiss Emese és Viczián Orsolya

Mik azok a fitoplazmás betegségek, és miért nehéz ellenük harcolni?

Napjainkban egyre több gondot okoznak azok a növényeket megbetegítő kórokozók, amelyek ellen nincs növényvédelmi technológia, vagy engedélyezett növényvédő szer. Ezek közé tartoznak a fitoplazmák is, amelyek alaposabb megismerésére már az 1900-as évek óta folynak kutatások. A fitoplazmák sejtfal nélküli baktériumok, de viselkedésükben inkább a vírusokra emlékeztető kórokozók. Hazánkban is előfordulnak, több termesztett növényünket is súlyosan megbetegítik; mai ismereteink szerint több mint 300 növényfajt érintenek. A legsúlyosabb gazdasági károk a többéves kultúrákban, a gyümölcs- és szőlőtermesztésben jelentkeznek. Sokéves termő fákat és tőkéket pusztíthatnak el, vagy bennük lappangva fertőzési forrásként szolgálhatnak. A gyümölcsfák életciklusa hosszú, több 10 év is lehet, ami alatt a termőre fordulástól kezdve több tonnányi termést is képesek produkálni. Hazánkban az egyik ilyen jelentős, a csonthéjasokat megbetegítő fitoplazmás betegség a csonthéjasok európai sárgulása (European Stone Fruit Yellows, ESFY), amely elsősorban a kajszit és őszibarackot termesztők számára jelent mind nagyobb kihívást, de saját házi kertjeinkben is találkozhatunk évről évre a fák hirtelen pusztulásával. A betegség kórokozójának jelenleg elfogadott neve a '*Candidatus Phytoplasma prunorum*'. Magyarországon emellett a legnagyobb fenyegetést a szőlő aranyszínű sárgasága (Flavescence Dorée) fitoplazmás betegség 2013-as felbukkanása jelenti. Az almatermésűeket megbetegítő almafa boszorkányseprűsödése (Apple Proliferation, AP) fitoplazmás betegség (kórokozó neve: '*Candidatus Phytoplasma mali*') hazánkban kisebb jelentőségű.

Európában viszont a legnagyobb területen termesztett gyümölcsfaj az alma, így a betegség Európa-szerte, főként Nyugat-Európában, Németország délnyugati részén, és a környező területeken súlyos minőségi és mennyiségi, ezáltal pedig gazdasági károkat okoz. Az előfordulás közelsége és a kórokozó áthurcolhatósága miatt (vektorok, ellenőrizetlen szaporító anyag) fennáll a veszély, hogy hamarosan hazánkban is fontosabb növény-egészségügyi problémává válhat.

A fitoplazmás betegségek ellen hatékony kezelés nem áll rendelkezésünkre, így a hangsúly a megelőzésre helyeződik át úgy, mint egészséges szaporítóanyag használata, a rovarvektorok elleni védekezés, illetve rezisztens növények termesztésbe vonása. Ezen 'hagyományos' megelőzési módszerek nem minden esetben képesek megvédeni a növényeket a fitoplazma fertőzésektől, így szükség lenne hatékonyabb védekezési módszerek kidolgozására.

Fitoplazma-fertőzött fák tünetmentes kigyógyulása (recovery)

Bizonyos fitoplazma fertőzések esetében megfigyelték, hogy a megfertőződést követő első évek után a jelentkező tünetek intenzitása csökken, akár teljesen meg is szűnhetnek rövidebb-hosszabb időre. Ezt követően ismét visszatérhetnek súlyos tünetek formájában. Ezt a jelenséget Seemüller és munkatársai az almafa boszorkányseprűsödése fitoplazma fertőzésével összefüggésben már 1984-ben leírták, majd később kimutatták, hogy eltérő virulenciával rendelkező törzsek együttesen is jelen lehetnek a növényben, ezzel okozva a bekövetkező ingadozást a tünetek megjelenésében. A különböző törzsek között fellépő antagonizmusnak köszönhe-

tően elképzelhető, hogy az eredetileg virulens törzs kismértékben, vagy teljesen visszaszorult. Alma és szőlő esetében is előfordult ilyen típusú spontán „kigyógyulás”, amely a tünetek megszűnésében mutatkozott meg.

A vírusok között jelentkező keresztvédetség jelenségével már az 1950-es évektől találkozhatunk, de fitoplazmák – amelyeket akkor még vírusoknak vélték – között fellépő antagonista hatással kapcsolatban is található feljegyzések már a múlt század közepe óta. Megfigyelték, hogy azok a növények, amelyek egyféle vírust már tartalmaznak, általában védetséget mutatnak más, közeli rokonságban álló vírussal szemben, távoli rokonságban álló vírussal szemben azonban nem védettek. Azonban ez a védetség változékonyságot mutathat közeli rokonsági kapcsolatban álló vírusok között is. Ebből kiindulva Kunkel és munkatársai 1955-ben azt vizsgálták, hogy vajon két amerikai AY törzs gátló hatással lehet-e egymásra a kísérleti növényekben. A gátló hatás egymással szemben nem csupán növényekben, hanem a rovarvektorban is érvényesült. Valenta 1959-ben az őszirózsa sárgulását okozó fitoplazma törzsek között fellépő antagonista hatásról írt. Később, 1964-ben Freitag szintén az őszirózsa sárgulás fitoplazma rokon törzsei között feltételezett kölcsönös gátló hatást a megjelenő tünetek alapján. Keresztfertőzéses kísérletükben az elsőnek oltott fitoplazma általában gátolta a kihívó szaporodását, amelyet 1–2 héttel később oltottak rá. Morvan és Castelain fogalmazták meg először 1982-ben a keresztvédetség definícióját fitoplazmákra nézve, mely szerint egy avirulens, vagy gyenge törzssel való előfertőzés (preimmunizálás) gátolhatja egy, általában közeli rokonságban álló virulens törzs által okozott tünetek kifejlődését.

A keresztvédetség mechanizmusa a rokon törzsek azonos táplálékigényén alapulhat, mely szerint az elsőként jelen levő fitoplazma elfogyasztja a következő elől az annak szaporodásához és fennmaradásához szükséges tápanyagot. Ez a gondolat azt feltételezi, hogy a távoli rokonságban álló törzsek más tápanyagot igényelnek a szaporodáshoz. Nem tisztázott, hogy a növény honnan szerzi az immu-

nitást: a kórokozó általi korábbi fertőzésből, vagy a jelenlegi, ill. korábbi fertőzésből, amit egy, a kórokozó közeli rokona okozott. Ennek értelmében a keresztvédetség megléte függ a fertőzött növény új fertőzésre adott reakciójától.

Castelain és munkatársai az ESFY-vel szembeni keresztvédetség lehetőségeit vizsgálva 1997-ben úgy találták, hogy az „immunizáló faktor” hosszú éveken át stabil marad, és könnyen átvihető egy másik kajszi szövetébe oltással, ahol szintén működőképesé válik. Carraro 2004-ben írta le, hogy az almafák föld feletti részében a kórokozó mennyisége jelentősen lecsökkent, vagy akár teljesen eltűnt. A következő években Musetti és munkatársai alma, szőlő és kajszi esetében is kimutatták, hogy a fitoplazmák által okozott tünetekből való kigyógyulás a hancsszövetekben lokalizált hidrogénperoxid felhalmozódásával hozható összefüggésbe. Sőt, további kísérleteikben azt is megállapították, hogy a kigyógyult szőlőben kialakuló hosszútávú, szövet-specifikus hidrogén-peroxid felhalmozódás nem csupán a kórokozó mennyiségét csökkentheti, hanem a további fertőzéseket is megelőzheti. A szőlőlevél plazmolemmában megnövekedett mennyiségű hidrogén-peroxid mellett alacsony kataláz és aszkorbát-peroxidáz szintet mértek az egészséges, illetve a beteg növényhez képest.

Az almafa boszorkányseprűsödése betegséget okozó 'Candidatus Phytoplasma mali' fitoplazma 1/93 avirulens törzse

A 'Ca. P. mali' számos törzsét osztályozták fertőzőképesség alapján, és további vizsgálatok során igazolták, hogy közülük néhány nem csupán avirulens, hanem antagonista hatással is bírhat. Az utóbbi években molekuláris módszerekkel igazolták, hogy a 'Ca. P. mali' 1/93 avirulens törzssel indukált keresztvédetség során nem csupán a tünetek kifejeződése gátlódik, hanem a virulens törzs mennyisége is a kimutathatósági szint alá csökken. Többéves szabadföldi és laboratóriumi kísérlet során azt is igazolták, hogy a 'Ca. P. mali' 1/93 avirulens

törzse előfertőzés esetén képes teljesen visszaszorítani a rokon 'Ca. P. mali' AT virulens törzset kísérleti körülmények között. Kísérleti tapasztalatok alapján azonban az is kiderült, hogy az antagonista törzs alacsony mennyiségben való jelenléte nem elegendő ahhoz, hogy a virulens törzset visszaszorítsa.

Eltérő virulenciájú törzsek a csonthéjasok európai sárgulása betegségét okozó fitoplazma, a 'Ca. P. prunorum' esetében is

Ermacora és munkatársai a 2000-es évek elejétől, Franciaországban és Olaszországban ESFY fertőzött ültetvényeket vizsgálva eltérő virulenciájú 'Ca. P. prunorum' izolátumokra bukkantak, valamint olyan hipovirulens, oltással átvihető törzseket is találtak, amelyek immunizáló hatással rendelkeztek. Elvégezték a 'Ca. P. prunorum' hipovirulens törzsek azonosítását szabadföldi kajszi ültetvényekben, majd a hipovirulens törzsek keresztvédettségre való felhasználhatóságát is tesztelni kezdték. Összefüggést fedeztek fel kigyógyult fákból az enyhén virulens törzsek (hipovirulens törzsek) alacsony koncentrációban lévő jelenléte és a tünetmentesség között, valamint megfigyelték a súlyos tüneteket indukáló törzsek (hipervirulens törzsek) nagy koncentrációban való jelenlétét tünetes, fertőzött fákból.

Kigyógyulás, preimmunizáció, keresztvédettség

Összefoglalva, a fitoplazmás betegségekből való kigyógyulás mára már ismert jelenség, a kutatások már több mindenre választ tudtak adni. A keresztvédettség alapja egy érdekes folyamat, az ún. preimmunizáció. A növények ennek során megfertőződnek bizonyos fajta fitoplazmával, de olyan törzsekkel, amelyek nem, vagy csak csekély mértékben okoznak tüneteket (ún. avirulens vagy hipovirulens törzsek). Egy későbbi, erősen virulens törzs támadásakor ez az eredeti „gyenge” törzs védettséget okoz. A keresztvédettségi reakció helyi, vagy részleges, illetve teljes formában jelentkezhet. A reakció a fer-

tőzéssel szemben a védekezést és a fertőzés utáni elterjedés elleni védelmet foglalja magába specifikus és hatékony módon. Bizonyos kísérletek reménykeltő eredményeket adtak, mivel az immunizált növényeken a fertőzést követően csak legfeljebb enyhe tünetek jelentek meg, míg a védtelen, nem immunizált növények elpusztultak. Annak ellenére, hogy a keresztvédettség jelensége régóta ismert, a mai napig nem született molekuláris és biokémiai szinten helytálló elmélet a mechanizmust illetően.

Kutatásainkkal a fitoplazma-gazdanövény kapcsolatot, az eltérő virulenciájú fitoplazma törzseket és a köztük fellépő kölcsönhatásokat kívántuk jellemezni, amelyek előrelépést jelenthetnek a kórokozó elleni biológiai védekezés megalapozásában. Eredményeink hozzájárulhatnak a fitoplazmák által okozott tünetek megjelenésének, valamint a törzsek közötti virulenciabeli különbségek molekuláris alapjainak megértéséhez.

A keresztvédettség mechanizmusának feltárása – kutatások a HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézetben

A kísérletekhez szükséges fitoplazma törzseket *Catharanthus roseus* L. (rózsameténg), *Nicotiana occidentalis* (közönséges dohány) és *Malus domestica* 'Golden Delicious' (nemes alma) tesztnövényeken tartottuk fenn. A kísérletekhez a 'Candidatus Phytoplasma mali' 1/93 avirulens, 17/93 enyhén virulens, AT virulens törzseit, a 'Candidatus Phytoplasma prunorum' GSFY virulens törzsét, a körteleromlást (pear decline, PD) okozó 'Candidatus Phytoplasma pyri' PD1 virulens törzsét, a sztolburt okozó 'Candidatus Phytoplasma solani' STOL virulens törzsét, és az őszirózsa sárgulás betegségét okozó 'Candidatus Phytoplasma asteris' AAY1 virulens törzsét használtuk fel. Az első három fitoplazma közelebbi rokonságban áll egymással, mind gyümölcsstermő fákat betegítenek meg (sorrendben almatermésűeket, csonthéjasokat és körtét) (1. ábra), míg a további két fitoplazma rendszertanilag távolabbi csoportokba tartozik (elsősorban lágyszárúakat betegítenek meg) (2. ábra).



1. ábra: Almafa boszorkányseprűsödése (kórokozó: 'Ca. Phytoplasma mali') által okozott gyümölcsdeformáció (a) és hajtásproliferáció (b) almán, a csonthéjasok európai sárgulása (kórokozó: 'Ca. Phytoplasma prunorum') által okozott levélkanalásodás (c) és sárgulás, általános leromlás tünetei (d) kajszin, valamint a körte leromlás (kórokozó: 'Ca. Phytoplasma pyri') által okozott sárgulás, vörösödés, leromlás tünetei (e) körtén



2. ábra: Sztolbur (kórokozó: 'Ca. Phytoplasma solani') tünetei paradicsomon (a) és az őszirózsza sárgulás (kórokozó: 'Ca. Phytoplasma asteris') jellegzetes virágzöldülés és elleveledés tünetei haranglábban (b)

Hogyan függ össze a tünetek erőssége és jellege az eltérő virulenciájú fitoplazma törzsek jelenlétével?

Vizsgáltuk az eltérő virulenciájú törzsek hatását rózsameténg tesztnövényen. A tünetek intenzitásában jelentős eltéréseket tapasztaltunk az egyes törzsek között. Az eltérések többnyire a levél és a virág elszíneződésében, deformációjában, valamint a növény vigorának változásában jelentkeztek.

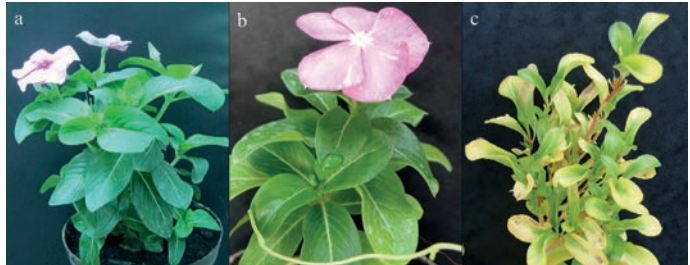
Az egészséges kontroll növényekhez képest a 'Ca. P. mali' 1/93-as törzs okozta a legkisebb mértékű elváltozást rózsameténgen: csupán a levelek enyhe

fokú méretbeli csökkenését tapasztaltuk. Ezzel szemben a 'Ca. P. mali' AT törzse komoly, szemmel látható deformációkat okozott a tesztnövényben (3. ábra). Az 1/93-as törzssel történő immunizálás esetén az AT törzssel végzett felülfertőzést követően egy évvel az AT törzs okozta tünetekhez hasonló, de annál enyhébb mértékű szimptómák alakultak ki. Egyidejű fertőzés esetén a tünetek megjelenésének üteme, intenzitása és jellege ugyanolyan volt, mint az AT törzssel fertőzött pozitív kontroll növények esetében megfigyeltek. Amennyiben a fertőző törzs ráoltását követően történt meg az avirulens törzssel való fertőzés, az AT törzsre jellemző tünetek szintén erőteljesen fejeződtek ki.

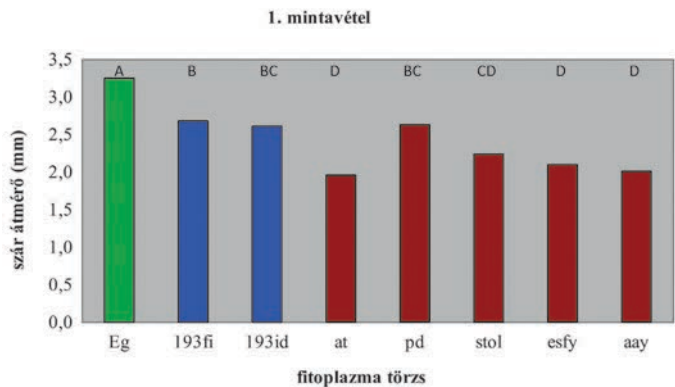
Az eltérő virulenciájú fitoplazma törzsek a növény vigorára más mértékben hatottak, amely a különböző tünetek megjelenésén túl a megbetegített növény hajtásának vastagságában is megmutatkozott. Az eltérő fitoplazma törzsek rózsameténgre gyakorolt hatását növényenként 10–10 véletlenszerűen választott hajtás átmérőjének mérésével is értékeltük a fertőzéstől számított 6. hónaptól 2 hónapos rendszerességgel. A kifejlődött tüneteket a fertőzéstől számított 6. hónapban értékeltük vizuális úton (4. ábra).

Természetesen fertőződött almafák fitoplazma-törzs összetétele

A PCR során az egyes minták 528 bp hosszúságú hflB gén szakaszait szaporítottuk fel, majd a fitoplazma törzsek variabilitását egyszálú konformációs polimorfizmus (SSCP) elemzéssel vizsgáltuk.

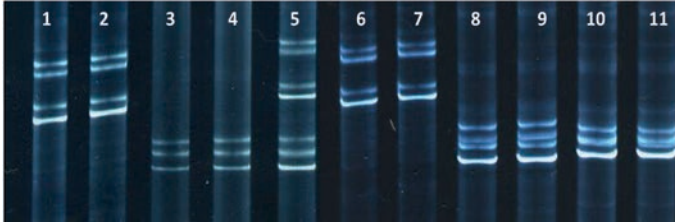


3. ábra: a: egészséges, b: 'Ca. P. mali' 1/93-as törzssel fertőzött c: 'Ca. P. mali' AT törzssel fertőzött rózsameténg tesztnövény.



4. ábra: A fertőzést követő 6. (az 1/93id minta esetében a 12.) hónapban mért adatok páronkénti összehasonlítása során kialakult csoportok a szár átmérőjének átlagos mérete, valamint a szórások alapján. Az A, B, C, D jelölések a szignifikáns eltérések alapján való csoportosítást jelentik. Az egészséges minta zöld, az avirulens törzssel fertőzött minta kék, a virulens törzsekkel fertőzött minták bordó színnel jelöltek. A kezelések balról jobbra: „Eg”: fertőzetlen kontroll, „1/93fi”: 'Ca. P. mali' 1/93 avirulens törzssel fertőzött rózsameténg, a fertőzést követő 6. hónapban, „1/93id”: 'Ca. P. mali' 1/93 avirulens törzssel fertőzött rózsameténg, a fertőzést követő 12. hónapban, „at”: 'Ca. P. mali' AT törzssel fertőzött rózsameténg, „pd”: 'Ca. P. pyri' PD törzssel fertőzött rózsameténg, „stol”: 'Ca. P. solani' STOL törzssel fertőzött rózsameténg, „esfy”: 'Ca. P. prunorum' GSFY törzssel fertőzött rózsameténg, „aay”: 'Ca. P. asteris' AAY1 törzssel fertőzött rózsameténg.

Ez a módszer alkalmas két törzs nukleotid sorrendjében megtalálható kis különbségek detektálására is. Az izolátumokat SSCP profiljuk alapján csoportosítottuk (5. ábra). A természetesen fertőződött almafákban megtalálható fitoplazma törzsek együttes jelenlétét kimutattuk, valamint virulenciájuk és a tünetek összefüggéseinek feltérképeztük. A vizsgált mintáink 50%-nál is magasabb arányban bizonyultak több, akár 2–5 törzssel fertőzöttnek a PCR



5. ábra: A '*Ca. P. mali*' izolátumok *hflB* fragmentjeinek SSCP profilja. 1–5: 1/93-as izolátum almából, 6–7: 1/93-as izolátum rózsameténgből, 8–9: 1/93-as izolátum dohányból, 10: AT izolátum rózsameténgből, 11: AT izolátum dohányból

termékek SSCP profilja alapján (ennek ellenére a valóságban a többszörösen, vegyesen fertőzött fák aránya még magasabb lehet). Az almában együttesen előforduló '*Ca. P. mali*' törzsek között általában virulens és avirulens törzsek is megtalálhatók voltak. A fitoplazmával fertőzött almafák esetében a tünetek változékonysága összefüggést mutatott a benne előforduló törzsek predomanciájával. Tapasztalataink szerint az avirulens és virulens törzsek közötti kölcsönhatások eredményeképp a populációk aránya változhat, amelyek a tünetek kifejeződését is befolyásolja. A törzsek szaporodási feltételei is hatással lehetnek az azok arányában bekövetkező változásokra, amelyek szintén fontos szerepet játszhatnak az almafa boszorkányseprűsödésre jellemző tünetek kialakulásában, vagy a tünetmentességben. Megfigyeléseink alapján a több törzssel egyszerre fertőzött fák több, mint 10 évesek voltak. Ez a vektorok több éven át tartó fertőzési tevékenységével magyarázható.

Igazoltuk több fitoplazma törzs együttes jelenlétének növénykórtani jelentőségét. Megállapítottuk, hogy az almában található komplex törzset alkotó egyes vonalak erőteljes gazdanövény preferenciával rendelkeznek.

A '*Candidatus Phytoplasma mali*' 1/93-as avirulens törzs keresztvédettséget adó hatása

A '*Ca. P. mali*' 1/93 avirulens törzs gátló hatását teszteltük azonos fajba tartozó '*Ca. P. mali*' AT virulens törzssel, valamint azonos rendszertani csoportba, de más fajba tartozó törzsekkel; '*Ca. P. prunorum*'

GSFY és '*Ca. P. pryi*' PD1, továbbá más rendszertani csoportba tartozó '*Ca. P. solani*' STOL, '*Ca. P. asteris*' AAY1 virulens törzsekkel szemben rózsameténg tesztnövényeken, több biológiai ismétlésben. Előfertőzést, illetve egyidejű fertőzést is alkalmaztunk. Egyidejű fertőzés során a két törzset egyszerre juttattuk a növénybe oltással, előidejű fertőzés esetén az avirulens törzsszel való

fertőzést követően a virulens törzset 2,5, 3, vagy 4, hónappal később oltottuk a növényre. A mintákat az oltás helyéről, vagy attól távol vettük rendszeres időközönként, egyes esetekben a gyökerekből is történt mintavétel. A mintavétel a második (ún. kihívó) törzsszel végzett fertőzéstől számított fél év múlva kezdődött, és mintegy 2 éven át tartott. A növényeken ez idő alatt a jellegzetes tünetek kialakulását is figyelemmel kísértük, valamint molekuláris módszerekkel ellenőriztük az egyes fitoplazma törzsek jelenlétét. A keresztfertőzéses kísérletek során a különböző fajba tartozó fitoplazmák jelenlétét az adott fitoplazma fajra specifikus indítószekvenciákkal végzett polimeráz láncreakció segítségével mutattuk ki. Egy fajon belül ('*Ca. P. mali*') az immunizáló 1/93 és kihívó AT törzsek elkülönítését valósidejű láncreakcióval végeztük. A templát amplifikációjához egy általunk tervezett, *hflB* génre specifikus indítószekvencia-párt használtunk. A '*Ca. Phytoplasma prunorum*' valamint a '*Ca. Phytoplasma pyri*' virulens törzseivel történt felülfertőzés esetében a kórokozók növényen belüli szaporodását szintén valósidejű PCR reakcióval követtük nyomon törzs-specifikus indítószekvencia párok segítségével. A valósidejű PCR-t alkalmazva kaptuk meg azokat a ciklusszámokat, amelyek igazolták a tesztnövényre oltott törzsek jelenlétét, vagy azok hiányát. A magas Ct értékek a vizsgált kórokozó alacsony koncentrációjára utalnak.

Igazoltuk, hogy a '*Ca. P. mali*' avirulens 1/93-as fitoplazma törzs képes gátlani az azonos faj, a '*Ca. P. mali*' AT virulens törzsének szaporodását, keresztvédettséget biztosított a növényeknek (6. ábra). A védettség hosszú távú hatásosságát mutatta, hogy a

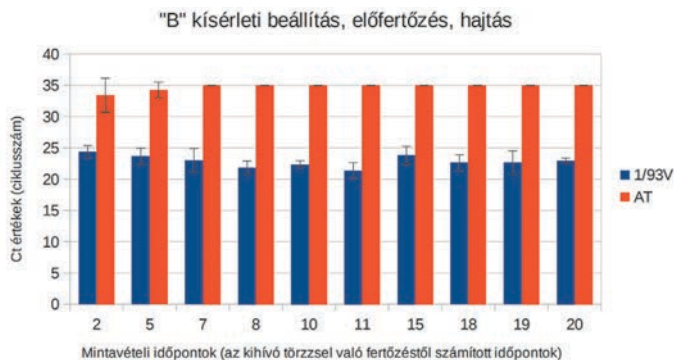
virulens törzs a fertőzést követően 2 évvel sem volt kimutatható a növényből.

Az 1/93-as avirulens törzs képes volt gátolni egy rokon, de más faj, a 'Ca. P. prunorum' egy virulens törzsének (GSFY) szaporodását is (7. ábra). Elsőként igazoltuk, hogy a keresztvédetség fitoplazmák között működik rokon, de nem azonos fajba tartozó fitoplazmák között.

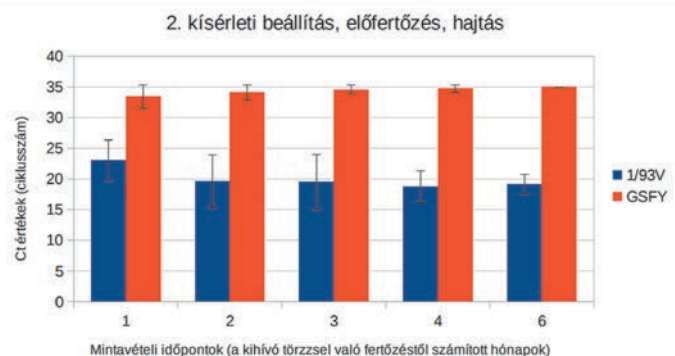
A más rendszertani csoportokba tartozó törzsekkel szemben nem tudtuk igazolni az 1/93-as törzs gátló hatását. Ezek alapján eredményeink hozzájárultak ahhoz a korai feltevéshöz, hogy a keresztvédetség rokon fajok között működik hatékonyan, a távolabbi rokonságban álló fajokkal szemben nem érvényesül.

Több ismétlésben elvégzett kísérletek sorával igazoltuk, hogy a keresztvédetség abban az esetben hatékony, amennyiben az immunizáló törzset előzőleg oltjuk a növényre és a virulens törzssel való fertőzés később történik. Megállapítottuk, hogy a gátlás abban az esetben nem volt hatékony, amikor a két törzset egyidejűleg oltottuk a növényre. Egyidejű fertőzés esetén, bár az avirulens törzs jelenléte is kimutatható volt a növényből, a virulens törzs játszott a domináns szerepet.

A két fertőzés között eltelt idő nem befolyásolta döntően a gátlás sikerességét, jelentősége abban mutatkozott meg, hogy minél több idő telt el az immunizálás és a felülfertőzés között, annál hamarabb volt tapasztalható a virulens törzs mennyiségének csökkenése. Fenti megfigyeléseink arra utalnak, hogy minél több idő telik el az immunizálást követően a virulens törzs fertőzéséig, annál nagyobb mértékű a keresztvédetség. Ez köszönhető egyrészt annak, hogy az avirulens törzsnek több idő áll rendelkezésére ahhoz, hogy a növényben felszapo-



6. ábra: A „B” kísérleti beállításban, előfertőzés esetén a hajtásban előforduló 1/93 és AT törzsek egymáshoz viszonyított mennyiségének kimutathatósága a ciklusszám alapján



7. ábra: A második kísérleti beállításban a rózsameténg hajtásában előforduló 1/93 és GSFY törzsek egymáshoz viszonyított mennyiségének kimutathatósága a ciklusszám alapján

rodjon, másrészt az elszaporodása során több olyan reakciót is kiválthat a növényből, amelyek védik azt a virulens törzs fertőzésével szemben. Az kérdéses, hogy a növény az immunitását az avirulens, vagy a virulens törzssel való fertőzés során szerzi meg. Feltehető az is, hogy a fitoplazmák az egyes enzimek és szénhidrátok metabolizmusainak termékeit használják fel az energiaszükségletük fedezéséhez, ezáltal az elsőként jelen levő fitoplazma esetleg elfogyasztja a következő elől az annak szaporodásához és fennmaradásához szükséges tápanyagot. Feltehető, hogy hatékony gátlás esetén a virulens törzs elpusztul, vagy pedig elveszíti a virulenciáját, ami a tünetmentesség kialakulásában mutatkozik meg.

Alkalmazható-e az avirulens törzssel való immunizálás, mint lehetséges védekezési, megelőzési eljárás a növényvédelmi gyakorlatban?

Bár eredményeink egy reménykeltő gyakorlati alkalmazhatóság irányába vezetnek el minket, azonban a biztonságos felhasználáshoz elsőként molekuláris szinten szükséges tisztázni a keresztvédetség mögött rejlő pontos mechanizmust. A fitoplazma törzsek közötti kölcsönhatásokat többféle elmélettel is

magyarázzák, napjainkig sem tisztázott egyértelműen a folyamat molekuláris háttere. További kutatási irány lehet a hazai ESFY és AP fitoplazma törzsek vizsgálata. Előfordulnak-e Magyarországon is ilyen „gyenge” törzsek? Jellemző-e itt is a természetesen fertőződött fák komplex törzs-összetétele? Végző célként pedig tudjuk-e mesterségesen irányítani a növények védekezési folyamatait úgy, hogy ne véletlenszerűen találkozzanak egy-egy ilyen immunizáló törzssel, hanem mesterséges beoltással életre szóló védetséget szerezzenek?

IRODALOM

- Seemüller, E., Kiss, E., Süle, S. & Schneider, B. (2010): Multiple infection of apple trees by distinct strains of '*Candidatus Phytoplasma mali*' and its pathological relevance. *Phytopathology*, 100(9): 863–870
- Kiss, E., Viczián, O. & Mergenthaler, E. (2014): Fitoplazmás betegségek előfordulása és jelentősége Magyarországon. *Gazdanapló*, 10(1): 9–13.
- Mergenthaler, Emese & Viczián, Orsolya. (2022): Rovarokkal terjedő betegségek. *Kertészet és Szőlészet*, 71: 17–19.

NÖVÉNYTERMESZTÉS KEDVEZŐTLEN KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT: KÓROKOZÓKKAL SZEMBENI HARC MAGAS HŐMÉRSÉKLETEN

Künstler András, Kolozsváriné Nagy Judit, Schwarczinger Ildikó, Fodor József és Király Lóránt

A növényi kórokozók elleni védekezés egyik legkörnyezetkímélőbb módja a megfelelő fajta kiválasztása, melyhez a növénynemesítők nyújtanak széles kínálatot. Napjainkban azonban az új fajtáknak a korábbi igények (magas terméshozam, kedvező beltartalmi értékek, nagyüzemi termesztetőség stb.) mellett a klímaváltozással járó környezeti változások okozta kihívásoknak is meg kell felelniük. Az úgynevezett életelen (abiotikus) környezeti tényezők, mint például a magas vagy alacsony hőmérséklet, szárazság vagy például az UV sugárzás alapvetően befolyásolják a növények életfolyamatait. A termesztett növények hőstressz (magas hőmérséklet) -tűrése iránti érdeklődés soha nem volt még ekkora, mint napjainkban, és ezt a figyelmet elsősorban a globális éghajlatváltozás miatti aggodalmak váltották ki. A hőmérséklet ingadozása természetesen előforduló jelenség, amihez a növények bizonyos határok között képesek alkalmazkodni, azonban a hőmérséklet szélsőséges változásai jelentősen gátolhatják a növények növekedését, szaporodását és kórokozókkal szembeni ellenállóképességüket is. Az extrém magas hőmérsékletek előfordulását egyre gyakrabban tapasztaljuk szűk környezetünkben is. Az Európai Unióban a búza és árpa egyik legjelentősebb termőterülete az Ibériai-félszigeten, főleg Spanyolországban található az EUROSTAT 2019. évi jelentése szerint. A jelenlegi meteorológiai adatok alapján az eddigi legerősebb hőhullámot 2023 júniusában észlelték Spanyolországban, ahol a hőmérséklet tartósan 40 °C fölé emelkedett. A mediterrán térség más részein, például Szicíliában a hőmérséklet elérte a 47,4 °C-ot is. A szélsőségesen magas hőmérsékletek tartós megjelenése szerencsére még nem gyakori jelenség, de fel kell készülnünk arra, hogy a közeljövőben egyre gyakoribbá válhatnak. Mindezek mellett a Föld

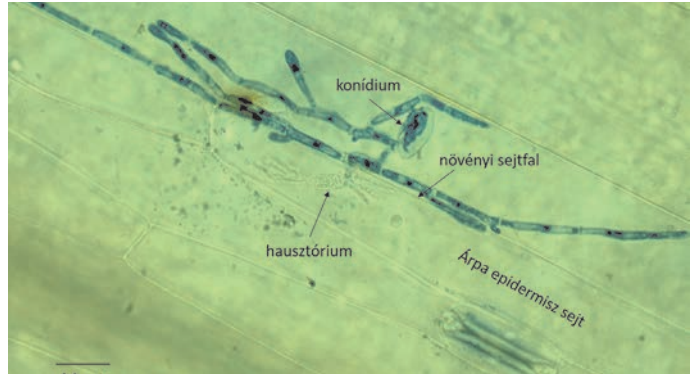
lakosságának folyamatos gyarapodása miatt az emberiség élelmiszer-ellátásához várhatóan 70%-kal több élelmiszerre lesz szükség a XXI. század közepére, mint napjainkban, ezért az élelmiszer-előállítás biztonsága elsődleges fontosságú kérdéssé vált. A probléma tehát adott, több élelmiszert kell előállítanunk, mint valaha, és mindezt kedvezőtlen irányba változó környezeti tényezők között kell megvalósítani.

A hőstressz során a növényben jelentős életlen változások következnek be. A magas hőmérséklet okozta közvetlen hatások közé tartozik a fehérjék denaturációja és aggregációja, valamint a membránlipidek megnövekedett fluiditása a növényi sejtekben. Ennek hatására percekben belül sejthalál következhet be. A közvetett hatások közé sorolható az enzimek inaktíválása, a fehérjeszintézis gátlása, a fehérjék lebomlása és a membrán integritásának elvesztése. A hőstressz egyik fő következménye a reaktív oxigén fajták (reactive oxygen species, ROS) túlzott termelődése, ami oxidatív stresszhez vezet a növényekben. Hogy ezek a hőstressz hatására kialakuló, általánosan megjelenő hatások hogyan hatnak a termesztett növényekre, az sok tényező függvénye. A növény károsodásának mértéke elsősorban a hőmérséklet nagyságától, a hőhatás időtartamától, valamint a hőmérséklet emelkedésének mértékétől függ. Ezen kívül fontos tényező az is, hogy a növényt milyen fenológiai fázisban (pl. csirázás, bokrosodás, virágzás) éri a hőstressz. A magas hőmérséklet hatással lehet a növények mellett azok kórokozóira is, például a hőmérséklet emelkedése kedvez a mediterrán térségből érkező melegkedvelő kórokozók megtelepedésének és az általuk okozott járványok kialakulásának. A természetben a növényekre az abiotikus tényezők mellett sokféle biotikus tényező (kórokozók és kártevők) hat egy időben. Az abiotikus

és biotikus tényezők kölcsönhatása hatással lehet a növény ellenállóképességére és a fertőzés kimenetelére. Valójában a legtöbb növény által kiváltott védelmi reakció megváltozik emelt hőmérsékleten. Összességében elmondható – egyre több tanulmány bizonyítja – hogy a hőstressz többnyire káros hatással van a legfontosabb növényi rezisztencia mechanizmusokra.

Mit lehet tenni annak érdekében, hogy kivédjük a magas hőmérséklet okozta hőstressz káros hatását a növények kórokozókkal szembeni védekezésére? Az Agrártudományi Kutatóközpont Növényvédelmi Intézetének (ATK NÖVI) kutatói többek között azt vizsgálják, hogy a magas hőmérsékleti stressz hogyan befolyásolja egy gazdaságilag fontos gabonaféle, az árpa ellenállóképességét kórokozó gombákkal és vírusokkal szemben. Az árpa egyik legfontosabb kórokozója az árpalisztharmat (*Blumeria hordei*), amely minden évben jelentős károkat okoz a termésben: erős fertőzés esetén a termésveszteség akár a 20%-os értéket is meghaladhatja. A fertőzés során a fertőzött növény levelein a gomba fehér színű bevonat formájában jelenik meg, melyet a gomba ivartalan módon keletkező szaporító sejtjei (konídiumok) és vegetatív képletei, a gombafonalak (micélium) alkotnak. A fehér micélium az elöregedése során megszürkül és a szürke bevonatban fekete pontok formájában jelennek meg az ivaros termőtestek (kazmotéciumok), melyben a tömlőkön (aszkuszkokon) belül az aszkospórák találhatóak. Az árpalisztharmat ún. obligát biotróf kórokozó, ami azt jelenti, hogy a gomba kizárólag a fertőzött növény élő sejtjein tud növekedni és szaporodni. A lisztharmatokra jellemző a tápanyag felvételére módosult szívó hifa, a hausztórium képződése, amelynek során a gomba a megtámadott növényi sejt fala és plazmamembránja közé hatol be. A hausztórium voltaképpen a gomba táplálkozásképlete, a kórokozó a megtámadott növényi sejt membránját benyomva a

membránon keresztül veszi fel a tápanyagokat az élő növényi sejtéből (1. ábra). A lisztharmatgomba működőképes hausztórium hiányában képtelen a fertőzést követően növekedni és elpusztul. A lisztharmatok a növény föld feletti részeit bárhol károsíthatják, de jellemzően a leveleket fertőzik meg. Az erős lisztharmatjárványok enyhe téli időjárást követő meleg, csapadégmentes tavaszi időben tudnak kialakulni.



1. ábra: Sikeres lisztharmat-behatolás fogékony árpa levelének epidermisz sejtjébe. A lisztharmat a levél felszínén megtapadó konídiumból kiindulva csíratömlőt hajt és a növényi sejtfalon áttörve hausztóriumot képez.

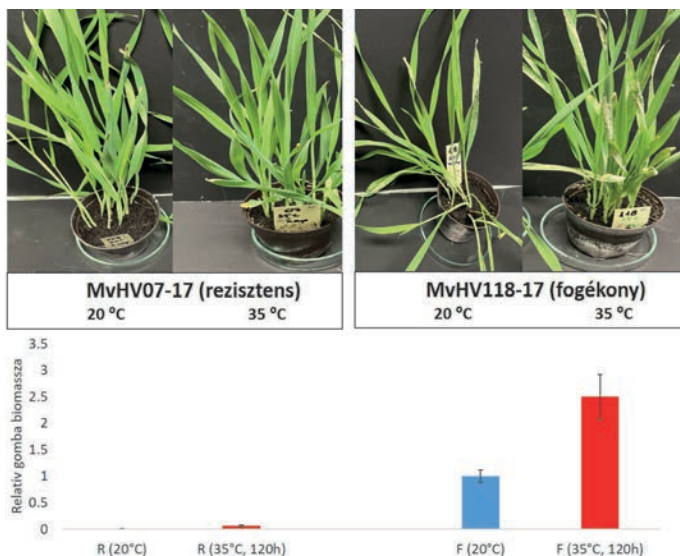
Az árpalisztharmattal szembeni ellenállóképességének vizsgálatához magas hőmérsékleten először tíz különböző őszi és tavaszi árpafajtát teszteltünk, hogy megállapítsuk az A6-os árpalisztharmat rasszal szembeni ellenállóképességüket (2. ábra). A fajták ellenállóképességét a lisztharmatos tünetek megjelenése és erőssége alapján értékeltük. Mivel az árpalisztharmat egy ektoparazita (a növények felszínén élősködő) kórokozó, a növények levelein fejlődő, szabad szemmel látható lisztharmatos tünetek borítottsága (a levélfelület hány százalékán figyelhető meg lisztharmatos tünet) alapján jól el lehet különíteni egymástól a különböző ellenállóképességű árpafajtákat. A vizsgált fajták közül a GK-Stramm, Antonella, MvHV07-17, KWS-Meridian és az MvHV05-17 ellenálló volt az A6-os rasszal szemben, ezen növények fertőzött levelein nem alakultak ki lisztharmatos tünetek. A másik öt vizsgált fajta (MvHV14-18, MV Initium, MvHV118-17, Ingrid és Hanzi) különböző mértékben, de fogékonyságot mu-

tatott az A6-os árpalisztharmattal szemben. A tíz vizsgált fajtából végül kettőt választottunk a hőstressz hatásának vizsgálatához, ezek közül az MvHV07-17 tünetmentes rezisztenciát mutatott, míg az MvHV118-17 közepes mértékben volt fogékony. A vizsgált növényeket növénynevelő kamrákban neveltük 20 °C hőmérsékleten 16 órás megvilágítás mellett. A fertőzést közvetlenül megelőzően magas hőmérsékleti stressznek tettük ki a növényeket 35 °C hőmérsékletet tartva a 16 órás megvilágítás során, míg a 8 órás sötét időszakok alatt 25 °C volt a hőmérséklet. A hőkezelés időtartama 30 másodperc és 5 nap között változott. A kontroll növényeket 20 °C-on tartottuk. Eredményeink szerint a rezisztens növény magas hőmérsékleten is megőrizte lisztharmattal szembeni ellenállóképességét, hiszen lisztharmatos tünetek nem voltak láthatók a hőstressznek kitett növényeken. Ezzel szemben a fogékony növényeken a lisztharmatos tünetek súlyosbodása volt észlelhető a hőkezelés hatására, mivel jelentősen nőtt a lisztharmat-borítottság a fertőzött leveleken (3. ábra). A tünetek értékelése mellett megmértük a lisztharmat mennyiségét is ún. kvantitatív polimeráz láncreakció segítségével (quantitative polymerase chain reaction, qPCR) ahol a gomba egy folyamatosan és nagyjából állandó szinten kifejeződő (konstitutív) génjének (glicerinaldehyd-foszfát-dehidrogenáz, GAPDH) aktivitását, a génkifejeződés mértékét vizsgáltuk a lisztharmattal fertőzött növényeken, egy szintén konstitutív növényi gén (ubiquitin-2) kifejeződéséhez viszonyítva. Ennek eredménye is megerősítette a tüneti



2. ábra: Különböző árpaajták ellenállóképessége az árpalisztharmat A6-os rasszával szemben. A fogékony növényeken a kórokozó fehér színű bevonatot képez, az ellenálló növények vagy tünetmentesek maradnak, vagy nekrotikus foltok jelennek meg rajtuk.

értékelésnél látottakat, vagyis a gomba mennyisége nem változott a hőkezelés hatására a rezisztens növényben (MvHV07-17), míg a fogékony növényben (MvHV118-17) a magas hőmérsékleti stressz hatására a lisztharmat mennyisége jelentősen megnőtt (3. ábra).

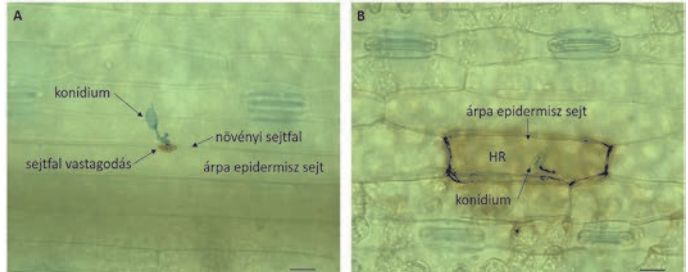


3. ábra: Magas hőmérsékleti előkezelés (35 °C, 5nap) hatása a lisztharmatos tünetekre rezisztens (MvHV07-17) és fogékony (MvHV118-17) árpanövények levelein, 7 nappal a fertőzés után. A gomba felhalmozódását a glicerinaldehyd-foszfát-dehidrogenázt (GAPDH-t) kódoló gén valós idejű kvantitatív reverz transzkripció (RT)-PCR-rel mért kifejeződése jelzi. Az oszlopok az átlagértékeket, a hibaszalagok a szórást jelzik.

Az árpanövényekben számos védekezési módszer fejlődött ki a lisztharmat-fertőzések megelőzésére vagy legalább korlátozására. Az árpalisztharmattal szembeni egyik leghatékonyabb rezisztenciaformaért az árpában található *Mlo* gén recesszív allélja (*mlo*) felelős. Ez egy nagyon hatékony rezisztenciaforma, amely tünetmentes, és ráadásul nem specifikus, mivel szinte minden lisztharmat razzsal szemben védekezést nyújt. Az *mlo* alléleket hordozó ellenálló növényekben megfigyelhető, hogy amint érzékeli

a növény a kórokozó támadását, a megtámadott bőrszövet (epidermisz) sejt fala a fertőzés helyén megvastagodik. Ez a sejtfalvastagodás, mint egy fizikai gát meggátolja a kórokozó behatolását a sejtfalon keresztül. Így hausztórium sem tud képződni, ezért tápanyag hiányában elhal a kórokozó. A növényi sejtfal megvastagodása hidrogén-peroxid jelenlétében történik, ami diamino-benzidin (DAB) szöveti festés során barnás színű polimert képez és így láthatóvá válik a helyi sejtfalvastagodás (4A. ábra). Emellett az árpában számos rassz-specifikus rezisztenciagén (pl. *Mla* és *Mlg*) is előfordulhat, melyek hiperszenzitív reakcióval (HR) jár, lokális sejtelhalások formájában jelentkező rezisztenciát váltanak ki a növényen a kórokozó behatolásának helyén. Az *Mlg* gén által kódolt rezisztens reakció során csak a lisztharmattal kapcsolatba kerülő egyetlen sejt hal el, így gátolva meg a kórokozó továbbterjedését. A HR során a megtámadott növényi sejtekben szintén hidrogén-peroxid halmozódik fel, ami DAB festéssel detektálható (4B. ábra). Az *Mla* rezisztenciagént hordozó növényekben is sejthalál játszódik le, de ebben az esetben a növényt érő károsodás már nagyobb mértékű, mivel több sejt is elhal a védekezési reakció során. Ez a sejthalál már szabad szemmel is látható a növényen apró barna foltok (nekrotikus léziók) formájában (lásd 2. ábra, KWS-Meridian fajta).

Vizsgálataink során arra is kerestük a választ, hogy az előbb említett rezisztenciagének működését



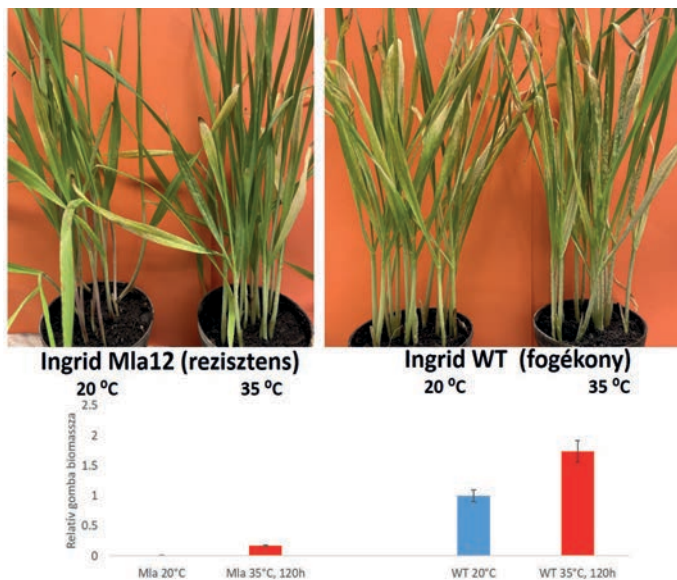
4. ábra: Az árpalisztharmattal szembeni ellenállóképesség típusai Ingrid *mlo5* és Ingrid *MlgB*, rezisztenciagént tartalmazó közel izogén vonalakban. (A) A növényi sejtfal megvastagodása *mlo5* rezisztenciagént hordozó Ingrid árpalevélen meggátolja a kórokozó behatolását a megtámadott sejtbe. (B) Az *Mlg* gén által meghatározott rezisztens válasz során a lisztharmattal kapcsolatba kerülő sejt elhal (hiperszenzitív reakció, HR), meggátolva a kórokozó további terjedését.

hogyan befolyásolja a magas hőmérséklet. A rezisztenciagének vizsgálatához az Ingrid árpafajta közel izogén vonalait használtuk (Ingrid vad típus /WT/, *mlo5*, *MlgB*, *Mla12*). Ezen vonalakról azt kell tudni, hogy a genetikai állományuk teljesen azonos, kivéve hogy a különböző vonalak különböző lisztharmat rezisztenciagéneket tartalmaznak. A WT Ingrid vonal fogékony az árpalisztharmattal szemben, ezekben a növényekben nincs lisztharmat rezisztenciagén. A közel izogén Ingrid vonalakat az előzőekben leírtakhoz hasonlóan különböző időtartamú hőstressznek (35 °C) tettük ki a fertőzést megelőzően. A tüneti értékelés eredményei szerint a fogékony vonalban (Ingrid WT) a hosszabb ideig tartó hőstressz (48 és 120 óra) hatására megnőtt a lisztharmat borítottság a fertőzött leveleken, sőt a lisztharmatos tünetek nem csak a levélen, hanem a száron is megjelentek. Hasonlóan, mindhárom rezisztens vonalban (Ingrid *Mla12*, *Mlg*, *mlo5*) a hőstressz hatására a lisztharmat-borítottság növekedését tapasztaltuk, érdekes módon azonban már rövidebb ideig tartó (1–6 óra) hőstressz hatására is kimutatható volt a lisztharmatos tünetek erősödése. A hőstressz időtartamának növekedésével együtt nőtt a lisztharmat-borítottság mértéke is. A három vizsgált rezisztens vonal közül az *Mla12* rezisztenciagént hordozó vonalban tapasztaltuk a legerősebb emelkedést a lisztharmattal való borítottságban, tehát a magas hőmérsékleti kezelés okozta rezisztencia csökkenés az *Mla12* rezisztenciagént

hordozó vonalban volt a legerősebb (5. ábra). Ezeket az eredményeket a lisztharmat-biomassza mérések is megerősítették, vagyis mind a fogékony, mind a rezisztens Ingrid közel izogén vonalakban nőtt a kórokozó biomasszájának mennyisége a hőstressz hatására (5. ábra).

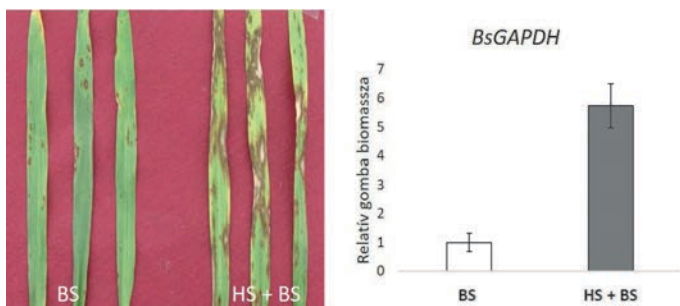
Érdekes, hogy az igen rövid ideig (20–50 másodperc) tartó rendkívül magas hőmérséklet (48–50 °C) is hat a növények betegség-ellenállóságára, és sok esetben képes gátolni a kórokozó elleni védekezést. Ilyen magas hőmérséklet akár a mérsékelt égövi (európai) termőföldeken is előfordulhat (ld. 1. bekezdés). Az ATK NÖVI-ben végzett kutatások elsők között mutatták ki, hogy a 48–50 °C-os vízbe 20–50 mp-ig mártott búza- vagy árpalevelek (hősokk-előkezelés) megfertőzése szárazsáddal (*Puccinia graminis*), ill. lisztharmattal jelentősen fokozza a fertőzésekkel szembeni fogékonyságot. A genetikailag fogékony vad típusú cv. Ingrid árpavonalban a hősokk tovább növelte az árpalisztharmattal szembeni fogékonyságot, de három másik, közel izogén rezisztens árpavonalban (Mla12, MlgB, mlo5) is legalább részleges fogékonyságot idézett elő.

Kérdés, hogy a hősokk hogyan befolyásolja a rezisztenciát egy ún. hemibiotróf kórokozóval szemben, amely a megtámadott gazdasejtet kezdetben életben hagyja, majd a fertőzés későbbi szakaszában toxinjai segítségével elpusztítja. Ilyen kórokozó gomba a *Bipolaris sorokiniana*, amely búzán és árpán foltokban jelentkező elhalást (nekrotizist) okoz a leveleken, elsősorban meleg és párás környezetben, a trópusokon és a mérsékelt övben egyaránt. Kimutattuk, hogy árpán (cv.



5. ábra: Magas hőmérsékleti előkezelés (35 °C, 5nap) hatása árpalisztharmat felhalmozódására rezisztens (Ingrid Mla12) és fogékony (Ingrid WT) árpa közel izogén vonalainak levelein, 7 nappal a fertőzés után. A gomba felhalmozódását a glicerinaldehid-foszfát-dehidrogenázt (GAPDH-t) kódoló gén valós idejű kvantitatív reverz transzkripció (RT)-PCR-rel mért kifejeződése jelzi. Az oszlopok az átlagértékeket, a hibaszívek a szórást jelzik.

Ingrid) a gomba által okozott nekrotikus levéltünetek a hősokk-előkezelés hatására jelentősen súlyosbodnak. A *B. sorokiniana* GAPDH-t kódoló génjének mennyiségét qPCR-rel mérve a tüneti értékelést megerősítő eredményt kaptunk, mivel hősokkot követően a gomba becsült mennyisége is szignifikánsan nőtt (6. ábra).

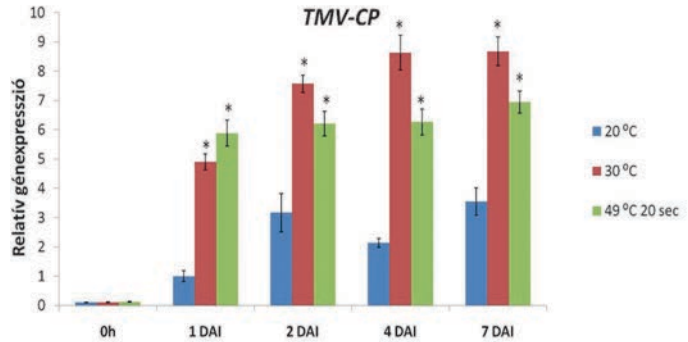


6. ábra: Hősokk (HS)-előkezelés (49 °C-os vízfürdő 30 mp-ig) hatása egy hemibiotróf kórokozó gomba, a *Bipolaris sorokiniana* (BS) felhalmozódására Ingrid árpa leveleiben 7 nappal a fertőzés után. A gomba felhalmozódását a glicerinaldehid-foszfát-dehidrogenázt (GAPDH-t) kódoló gén valós idejű kvantitatív PCR-rel mért mennyisége jelzi. Az oszlopok az átlagértékeket, a hibaszívek a szórást jelzik.

Kíváncsiak voltunk arra is, hogy egy hősokk-előkezelés hogyan hat a növényi vírusfertőzésekre, képes-e megváltoztatni pl. az árpanak a dohánymozaik-vírussal (*Tobacco mosaic virus*, TMV) szembeni, ún. nemgazda rezisztenciáját. Ennek a rezisztenciának a jobb megismerése mezőgazdasági szempontból is fontos, ugyanis egyes vírusok (pl. a TMV) kedvezőtlen környezeti feltételek között (pl. hőstressz vagy más, az adott növényt fertőző vírusok jelenlétében) képesek az amúgy nemgazdának minősülő növényben (pl. búza és árpa) is felhalmozódni. Régóta ismert, hogy a TMV-vel fertőzött dohány után vetett búzából is kimutatható a vírus jelenléte és

az is, hogy magasabb hőmérsékleten (28–30 °C) a TMV képes megfertőzni az árpat. Több árpafajtában is sikerült igazolnunk, hogy a TMV-vel szembeni nemgazda ellenállóképeség már egy hősokk-előkezelés (49 °C, 20 mp vagy 30 °C, 3h) hatására is sérül: látható tünetek nem alakulnak ki, de qPCR méréseink alapján a TMV mennyisége kétszer-háromszor akkora, mint a 20 °C-on tartott kontroll növényekben (7. ábra).

Összeségében elmondható, hogy a hőstressz hatása kedvezőtlen volt a vizsgált növények kórokozókkal szembeni ellenálló képességére, hiszen az MvHV07-17 nemesítési vonal kivételével az összes



7. ábra: Hőkezelés hatása dohány mozaik vírus (TMV) felhalmozódására, Ingrid árpa inokulált leveleiben, 1, 2, 4, illetve 7 nappal a TMV-fertőzés után (DAI = fertőzést követő napok száma). 20 °C = 20 °C-on tartott növények (kontroll), 30 °C = a TMV inokulálás előtt 3 óráig 30 °C-on tartott növények, 49 °C 20 sec = a TMV inokulálás előtt 49 °C-os vízfürdő általi hősokknak 20 másodpercig kitett növények. A TMV felhalmozódását a vírus köpenyfehérje génjének (TMV-CP) valós idejű, kvantitatív reverz transzkripció (RT)-PCR-rel mért kifejeződése jelzi. Az oszlopok az átlagértékeket, a hibaszávok a szórást jelzik.

árpafajtában erősödtek a fertőzés okozta tünetek és nőtt a kórokozók mennyisége is. A közeljövő fontos feladata lesz olyan természetű növények nemesítése, melyek képesek alkalmazkodni a megváltozott környezeti tényezőkhöz és megőrizni a kórokozókkal szembeni rezisztenciájukat magas hőmérsékleten is.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők munkáját a következő pályázatok támogatták: NKFIH FK 131401, NKFIH K 128868. Künstler András munkáját a Bolyai ösztöndíj (BO/719/21) is támogatta.

IRODALOM

- Schwarczinger, I., Kolozsváriné Nagy, J., Király, L., Mészáros, K., Bányai, J., Kunos, V., Fodor, J. & Künstler, A. (2021): Heat stress pre-exposure may differentially modulate plant defense to powdery mildew in a resistant and susceptible barley genotype. *Genes*, 12(5): 776.
- Kolozsváriné Nagy, J., Schwarczinger, I., Király, L., Bacsó, R., Ádám, A.L. & Künstler, A. (2022): Near-isogenic barley lines show enhanced susceptibility to powdery mildew infection following high-temperature stress. *Plants*, 11(7): 903.
- Künstler, A., Füzék, K., Schwarczinger, I., Kolozsváriné Nagy, J., Bakonyi, J., Fodor, J., Hafez, Y.M. & Király, L. (2023): Heat shock induced enhanced susceptibility of barley to *Bipolaris sorokiniana* is associated with elevated ROS production and plant defence related gene expression. *Plant Biology*, 25(5): 803-812.

KÖTETÜNK SZERZŐI

- Almási Asztéria** PhD, tudományos főmunkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Növénykórtani osztály
- Bókony Veronika** PhD, tudományos főmunkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Evolúciós Ökológiai osztály
- Bozsik Gábor** PhD, tudományos munkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Kémiai Ökológiai osztály
- Bozsó Zoltán** PhD, tudományos főmunkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Növényi Kóréletlani osztály
- Fodor József** PhD, tudományos főmunkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Növényi Kóréletlani osztály
- Hettyey Attila** PhD, osztályvezető, tudományos főmunkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Evolúciós Ökológiai osztály és Eötvös Loránd Tudományegyetem, Állatrendszertani és Ökológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C
- Kárpáti Zsolt** PhD, osztályvezető, tudományos főmunkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Kémiai Ökológiai osztály
- Király Lóránt** PhD, tudományos főmunkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Növényi Kóréletlani osztály
- Kiss Emese** PhD, korábbi tudományos munkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Növénykórtani osztály
- Kiss Balázs** PhD, tudományos főmunkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Állattani osztály
- Kóbor Péter** PhD, tudományos munkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Állattani osztály
- Koczor Sándor** PhD, tudományos főmunkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Kémiai Ökológiai osztály
- Kolozsváriné Nagy Judit** PhD, tudományos munkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Növényi Kóréletlani osztály
- Kontschán Jenő** PhD, DSc, igazgató, tudományos tanácsadó, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Állattani osztály és kutatóprofesszor, SZE Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar, Növénytudományi tanszék
- Krüzseli Dániel** PhD, tudományos munkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Növényi Kóréletlani osztály
- Künstler András** PhD, tudományos főmunkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Növényi Kóréletlani osztály
- Magyar Donát** PhD, aerobiológus, mikrobiológus, Budai Allergiaközpont
- Mergenthaler Emese** PhD, tudományos munkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Növénykórtani osztály
- Mikó Zsanett** PhD, tudományos munkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Evolúciós Ökológiai osztály
- Molnár Béla Péter** PhD, PhD, tudományos főmunkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Kémiai Ökológiai osztály
- Móricz M. Ágnes** PhD, osztályvezető, tudományos főmunkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Növényi Kóréletlani osztály
- Németh Z. Márk** PhD, tudományos munkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Növénykórtani osztály
- Páll-Gergely Barna** PhD, tudományos főmunkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Állattani osztály
- Pinczés Dóra** tudományos segédmunkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Növénykórtani osztály
- Salánki Katalin** PhD, DSc, osztályvezető, tudományos tanácsadó, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Növénykórtani osztály
- Sáray Réka** tudományos segédmunkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Növénykórtani osztály

- Schwarczinger Ildikó** PhD, tudományos főmunkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Növényi Kórélettani osztály
- Szatmári Ágnes** PhD, korábbi tudományos munkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Növényi Kórélettani osztály
- Szentkirályi Ferenc** korábbi tudományos munkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Állattani osztály
- Szőcs Gábor** PhD, DSc, tudományos tanácsadó, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Kémiai Ökológiai osztály
- Teruo Nonomura** professzor, Laboratory of Phyto-protection, Science and Technology, Faculty of Agriculture, Kindai University, Nara, Japan és Agricultural Technology and Innovation Research Institute, Kindai University, Nara, Japan
- Teski Anna** tudományos segédmunkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Kémiai Ökológiai osztály
- Tóth Miklós** PhD, DSc, MTA tagja, kutató professor emeritus, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Kémiai Ökológiai osztály
- Tóth Zoltán** PhD, osztályvezető, tudományos főmunkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Állattani osztály
- Turóci Ágnes** tudományos segédmunkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Állattani osztály
- Ujhegyi Nikolett** PhD, tudományos munkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Evolúciós Ökológiai osztály
- Ujszegi János** PhD, tudományos munkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Evolúciós Ökológiai osztály és Eötvös Loránd Tudományegyetem, Állatrendszertani és Ökológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C
- Viczián Orsolya** PhD, tudományos munkatárs, HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet, Növénykórtani osztály

Az elmúlt időszakban a növényvédelmet számos új kihívás éri, talán a legfontosabb a globalizáció és a klímaváltozás hatására megjelenő inváziós károsítók nagy száma mellett, hogy egy jelentős nyomás érkezik a mezőgazdaságra a lakosság irányából, ez pedig az **egészséges környezet és egészséges étel** iránti fokozott érdeklődés és igény, amely nagyon sokszor a tradicionális (kémiai) növényvédelem ellen foglal állást. Ezt a hatást erősíti az a jelenség is, hogy az Európai Unió országaiban egyre több, korábban széles körben használt hagyományos növényvédő szer mára már egyre nagyobb számban kivonásra vagy tiltólistára került. Ettől függetlenül a növényvédelmi problémák fennállnak, és ezekre valamilyen más, szelídebb módszert kell kidolgozni, hogy a gazdaságilag és minőségileg is megfelelő ételkészítésben ne lépjenek fel komoly problémák, de a környezetünk védelmére történő odafigyelés is megjelenjen. A **környezetbarát, ökológiai jellegű növényvédelem** évtizedek óta ismert és alkalmazott

része a mezőgazdaságnak, és a komoly tudományos kutatásokra alapuló környezetbarát, az egészséges környezetet, az egészséges ételmiszert eredményező fejlesztések és módszerek ma már komoly piaci részesedéssel bírnak.

A **HUN-REN Agrártudományi Kutatóközpont Növényvédelmi Intézetében** több évtizedekre menően jelen van a környezetbarát megközelítése a növények védelmének. Így természetes, hogy az intézeti kutatók egy jelentős része ebbe az irányba fordult, ezen a területen is ért el eredményeket. Jelen kötetünkben ezekből a környezetbarát növényvédelemért végzett kutatásainkból szeretnénk egy csokorral bemutatni, amelyek olvasmányos stílusban mutatják be a kutatások jelentős eredményeit, felhívva arra a figyelmet, hogy a HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézetében zajló kutatások számos olyan innovációt alapozhatnak meg, amelyek emelhetik a növényvédelmi kutatások társadalmi és gazdasági hatását, és segíthetik hazánk innovációs potenciáljának emelkedését.

