



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Törzsinjektálás hatása a nyugati dióburok-fúrólégyre

Kiss Máté

Budapest

2025

A doktori iskola

megnevezése: Kertészettudományi Doktori Iskola

tudományága: Növénytermesztési és kertészeti tudományok

vezetője: Zámboriné Dr. Németh Éva

egyetemi tanár, DSc

MATE Kertészettudományi Intézet

Gyógy- és Aromanövények Tanszék

Témavezetők: Marczika Andrásné Dr. Sörös Csilla

egyetemi docens, PhD

MATE Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet,

Élelmiszerkémia és Analitika Tanszék

Dr. Szabó Árpád

egyetemi docens, PhD

MATE Növényvédelmi Intézet,

Rovartani Tanszék

Vállalati szakértő: Dr. Gutermuth Ádám Jenő

PhD

GreenUnit Kft.

.....

.....

Az iskolavezető jóváhagyása

.....

A témavezetők jóváhagyása

1. A munka előzményei, célkitűzések

Európa egyik legkedveltebb héjas gyümölcse a közönséges dió (*Juglans regia* L., 1753), melynek termelése a régióban viszonylagos lemaradást mutat. Ezért a klímaváltozás kedvezőtlen hatásai és a nyugati dióburok-fürőlég (*Rhagoletis completa* Cresson, 1929) elterjedése tehető felelőssé, mely kártevő megjelenése súlyos gazdasági veszteségeket okozott.

A növényvédelmi gyakorlatot napjainkban egyre szigorúbb környezetvédelmi és társadalmi elvárások nehezítik, amelyek új technológiák és fenntartható módszerek alkalmazását teszik szükségessé. Az engedélyezett hatóanyagok számának csökkenése tovább nehezíti a hatékony védekezést, különösen az olyan kisebb területen termesztett kultúrák esetében, mint a dió. Ebből adódóan egyre nagyobb figyelmet kapnak az olyan növényvédelmi eljárások, amelyek célja a meglévő hatóanyagok hatásának maximalizálása és a környezetterhelés minimalizálása.

A törzsinjektálás (endoterápia) egy olyan növényvédelmi technológia, amely közvetlenül a fa törzsébe juttatja a növényvédő szereket. Ez a módszer hatékonyabb védelmet nyújthat a kártevők ellen, miközben kevésbé terheli a környezetet és az emberi egészséget.

A kutatásunk célja egy olyan alternatív növényvédelmi technológia kidolgozása volt dió kultúrában, mely a nyugati dióburok-fürőlég ellen hatékony és emellett biztonságos. Vizsgálataink során a technológia meghatározó kérdéseire összpontosítottunk:

- Hatóanyag választás; olyan hatóanyag keresése, ami megfelelő hatékonysággal használható fel a kártevő elleni endoterápiás védekezésben.
- Technológiai paraméterek (módszer, kezelési időpont) értékelése és a kezelések homogenitásának felderítése biológiai és kémiai vizsgálatokkal.

- A lárvicid hatás értékelése és az elfogadható gazdasági kárt jellemző értékszámok megállapítása.
- Toxikokinetikai tulajdonságok jellemzése tekintettel az időbeli lefutásra és a többéves hatástartam lehetőségére.
- Az alkalmazandó dózis megválasztása a növényvédelmi hatékonyság és az élelmiszerbiztonsági követelmények függvényében.
- A technológia jellegéből adódó toxikológiai kérdések megválaszolása, mely az esetleges mellék- és környezeti hatásokra terjedt ki.

2. Anyag és módszer

2.1. A kezelések bemutatása (helyszín, módszer, hatóanyagok)

Törzsinjektálási kísérletet négy évben állítottunk be az alábbi helyszíneken: Taksony, Csipkerek, Felsőpáhok, Szelevény. Az injektálásra két különböző, de hasonló elven működő eszközt alkalmaztunk. Mindkét eszköz közvetlenül csatlakozott az injektálás előtt kialakított furatba. A Treenject készülék használatához a törzs kerületén arányos elosztásban, a törzsmérettől függően 4-8 db 3,5 mm átmérőjű és 50 mm mélységű furatokat készítettünk. Ez az eszköz kisebb mennyiségek (max. 10-20 ml/furat) injektálására használható. A másik eszköz egy többbrétegű latexcső és applikátor kombinációja (Ynject GO) volt. Ebben az esetben a törzs átellenes oldalain 4 darab, 6,5 mm átmérőjű, 50 mm mélységű furatokat készítettünk. Ez az eszköz nagyobb mennyiségű, akár 50-60 ml/furat folyadék injektálására is alkalmas.

Az injektáláshoz felhasznált növényvédő szerek egy részét kristályos formából állíttattuk elő, másrészt kereskedelmi forgalomban kapható készítményekkel dolgoztunk. A hatóanyagokat (i) fizikai-kémiai paramétereik, valamint (ii) a szakirodalmi forrásokban fellelhető korábbi tapasztalatok alapján választottuk ki. Ezek az abamektin (ABA), az emamektin-benzoát (EMA), az acetamiprid (ACE), a flupiradifuron (FLU) és a spirotetramát (SPI) voltak. A törzskenésre ugyanezen készítményeket és hatóanyagait vizsgáltuk, melyekhez

olyan hatásfokozó segédanyagokat (Pentra-Bark® (PB), Invazív® (I)) adtunk, amik lehetővé teszik vagy növelik a kergén keresztüli penetrációt.

Minden kezelés esetében három ismétlést alkalmaztunk. A vizsgálatokhoz két kontrollcsoportot alakítottunk ki: a vizes kontroll ($C_{aq.}$) esetében vízzel végeztük az injektálást, míg a másik kontrollban nem történt injektálás ($C_{no\ inj.}$), azaz furatkészítés sem.

2.2. Hatékonyág vizsgálat (lárvicid hatás) és a gazdasági kár értékelése

A rovarölő hatást a burokban lévő lárvák, pontosabban az élő lárvával fertőzött burkok gyakorisága alapján értékeltük. Az értékelést a dióburok természetes felrepedése idején végeztük. A termésburokat a gyűjtést követő 1-2 napon belül megvizsgáltuk. A fánként 100-150 db begyűjtött termést két csoportba osztottuk aszerint, hogy a burok tartalmazott-e élő lárvát vagy sem. Az így számolt fertőzöttségi arány a közvetlen rovarölő hatást jól jelzi, azonban nem azonos a gazdasági kártétel mértékével, hiszen a termésburokban esetleg fellelt élő nyű által okozott kismértékű burokelhalás nem eredményez szükségszerűen piaci szempontból értéktelen termést.

A gazdasági kár mértékét bonitálással becsültük, a fekete foltot mutató termésburok gyakorisága, illetve az egyes termések foltosságának mértéke (a folt kiterjedése) alapján. E két paraméter közül mindig a szigorúbbnak megfelelő csoportba soroltuk a kezelés gazdasági/termelői szempontú megfelelőségét. Alapoztuk ezt arra, hogy a nyugati dióburok-fúrólégy károkozása elsősorban a feldolgozhatóságot és a héjas termés minőségi mutatóit rontja.

2.3. Dózisbeállítás

A dozírozáshoz a fák törzsmérőjére és a lombkorona térfogatára helyeztünk hangsúlyt. A technológiára javasolt hatóanyag mennyiség kiszámításához, az Abbott (1925) által kifejlesztett hatékonysági formulát használtuk, amely lehetővé tette számunkra a szükséges dózis pontos meghatározását a kívánt lárvicid hatás elérése érdekében.

2.4. Toxikokinetikai folyamatok feltérképezése

A hatóanyag-tartalom tér- és időbeli eloszlásának meghatározásának céljából, a fa lombkoronáját (gömb alak) égtájak szerint felosztva 4×15 db összetett levelet szedtünk az adott negyedből elszórtan.

A dióburok és a dióbél minták hatóanyag-tartalmának vizsgálatához minden fáról 100-150 db burokkal fedett termést gyűjtöttünk elszórtan a lombkorona minden részéből. A mennyiségi meghatározás célja a hatóanyagok növénybeni mozgásának megfigyelése, azok gyakorlati alkalmazhatóságának igazolása volt. A hatóanyag-tartalom időbeli alakulásának követése érdekében a vegetációs időszak alatt több időpontban is vettünk mintát.

2.5. Toxikológiai kérdések megválaszolása

A dióbél hatóanyag-tartalmának mérését, minden kísérleti beállítás alkalmával elvégeztük, ezzel is biztosítva a technológiára ajánlható hatóanyag biztonságosságát.

Azon kezelések esetében, amelyek biológiai hatás szempontjából sikeresnek bizonyultak (ABA, EMA, ACE) a következő év tavaszán minden egyes fáról kb. 500 gramm virágzatot gyűjtöttünk. A hím virágzatokat a fa lombkorona minden részéről, elszórtan gyűjtöttük be. Az értékelés célja volt, hogy a hatóanyag megjelenik-e a virágzatban, és ha igen, milyen mennyiségben.

2.6. Az injektálási időpont megválasztása

Az injektálási időpont megválasztására 2 időpontban (21 nap eltéréssel) 3 különböző dóziszú ABA-nel elvégzett kezelések lárvicid hatását, illetve a hozzá kapcsolódó burookban kialakult hatóanyag koncentrációt vizsgáltuk.

2.7. Hatástartam vizsgálat

A hatástartam vizsgálatához két vegetációs időben követtük nyomon a különböző növényi szervekben (levél, burok) kialakult hatóanyag (ABA, EMA) koncentrációkat, illetve a lárvicid hatást.

2.8. Méréstechnika és mintaelőkészítés

A hatóanyag-tartalomra vonatkozó méréseket Agilent Ultivo típusú, hármass kvadrupól (QqQ) analizátort tartalmazó, tömegspektrométerhez kapcsolt UHPLC készüléken végeztük, amellyel a vizsgált minták komponenseit folyadékkromatográfiás módszerrel elválasztottuk, az elválasztott komponenseket tömegspektrometriás (MS/MS) módszerrel detektáltuk és azonosítottuk. A mintákat a növényi eredetű élelmiszermintákhoz kifejlesztett (EN 15662:2018), citrát-pufferelt QuEChERS módszer alapján készítettük elő (European Standard—EN 2018).

3. Eredmények és azok megbeszélése

3.1. Hatóanyag választás

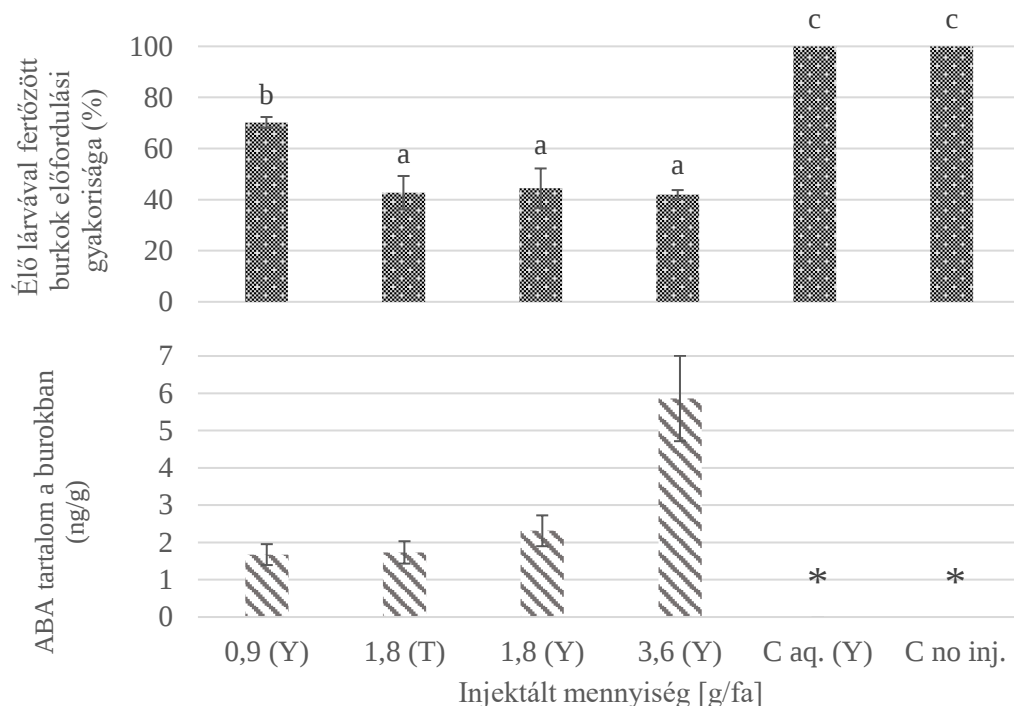
A fizikai-kémiai paraméterek alapján alkalmasnak vélt peszticidek (ABA, EMA, ACE, FLU, SPI) mindegyike képes volt az anyagáramlás segítségével eljutni a lombkoronába. A dózis növelésével a növényi részek visszamért hatóanyag-tartalma is növekedett, egy kivétellel: a SPI szuszpenzió koncentrátum (SC) kiszerezés volt, ami törzsinjektálásra nem előnyös. Az oldatok túltelítettsége következtében a nagyobb dózisú SPI kezeléseket kisebb detektált hatóanyag-tartalommal jártak, ami az SC formula alacsony oldhatóságával függhet össze. Egy másik magyarázat lehet, hogy minél nagyobb dózisú keveréket használtunk, az injektálás egyre nagyobb toxikokinetikai nehézségekbe ütközött. A szilárd szuszpenzióban kiszerezelt SPI injektálásakor, az újból vizes közegbe kerülő részecskék kikristályosodtak és eltömíthették a sejtfalak járatait.

Ellentétben az injektálással, törzskenés esetén a segédanyagoknak fontos szerep jut. A törzskenés olyan formulációt kíván, mely lehetővé teszi a hatóanyag kergén keresztüli penetrációját, majd az injektáláshoz hasonlóan viselkedik. A hatóanyagok közül az ACE és a FLU figyelemre méltó mennyiségben penetrálódott, míg az avermektinek nagy molekulaméretükből adódóan nem voltak képesek erre. A SPI minimális mennyiségben jelent meg a levélzetben, melynek magyarázata hasonló a korábban említetthez. Formuláció-váltással egyébként ez a hátrányos tulajdonság talán kiküszöbölhető. A két alkalmazott segédanyag (PB és I) hatékonyságában sem a levelek (Mann–Whitney $U = 44$, $z = 0,310$, $p = 0,796$), sem a burok (Mann–Whitney $U = 48$, $z = 0,662$, $p = 0,546$) hatóanyag koncentrációi alapján nem találtunk különbséget.

3.2. Hatékonyág vizsgálat (lárvicid hatás) és a gazdasági kár értékelése

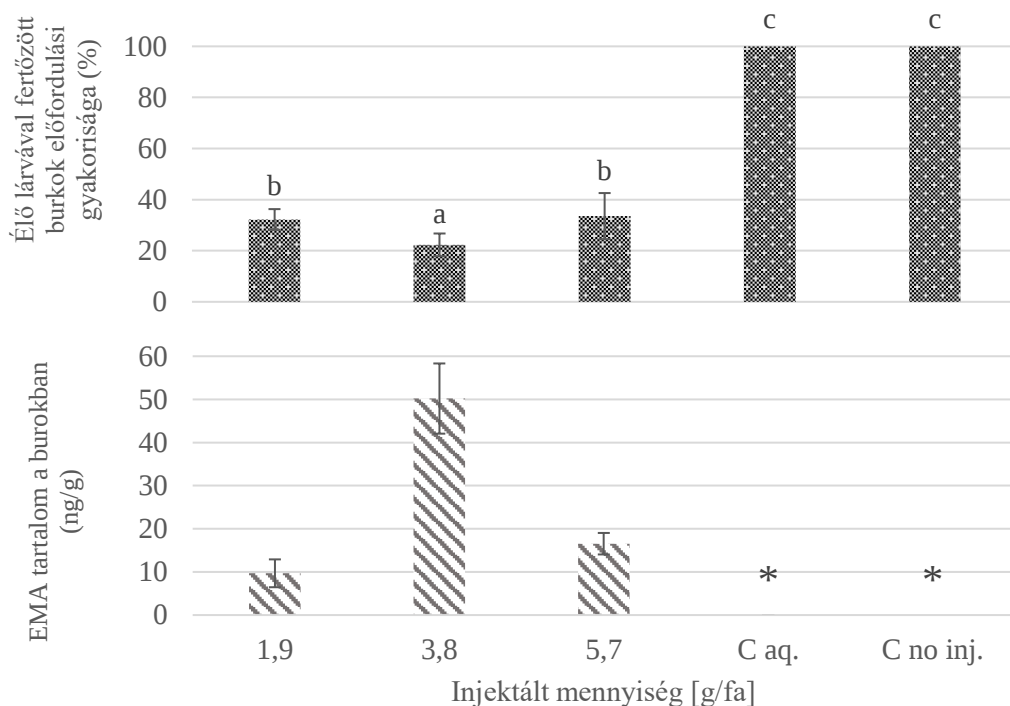
A dió pericarpiumában mért ABA hatóanyag-maradék enyhe pozitív korrelációt mutatott az injektált hatóanyag mennyiségével ($r_s = 0,478$) és negatív a fertőzés mértékével ($r_s = -0,455$), habár ezen változók nem mutattak szignifikáns kapcsolatot ($p = 0,116$ és $p = 0,138$) (1. ábra). A burokban lévő átlagos ABA tartalom nem eredményezett szignifikáns különbséget az eltérő dózisú kezelések között (Kruskal–Wallis $H = 3,00$, $df = 3$, $p = 0,392$).

Míg kontroll esetén a lárvával fertőzött burokok aránya elérte a 100%-ot, addig a különböző kezelések hatására ez jóval kisebb volt. A legkisebb dózisú ABA kezelés eredményezte a leggyengébb rovarölő hatást, míg szignifikánsan jobb lárvicid hatást tapasztaltunk a növelt dózisú ABA-nel kezelt fákon.



1. ábra A burok fertőzöttsége (felül) és a hatóanyag-tartalom (alul) (átlag $\pm$ SE) a különböző dózisú ABA (abamektin) törzsinjektálás hatására. Az azonos betűvel jelölt oszlopokban végzett kezeléseknél a Marascuilo-összehasonlítás alapján a fertőzöttség nem tér el szignifikánsan ($p > 0,05$). C_{aq.}: injektálás vízzel, C_{no inj.}: injektálás nélkül, * DL (kimutatási határ): 1,2 ng/g.

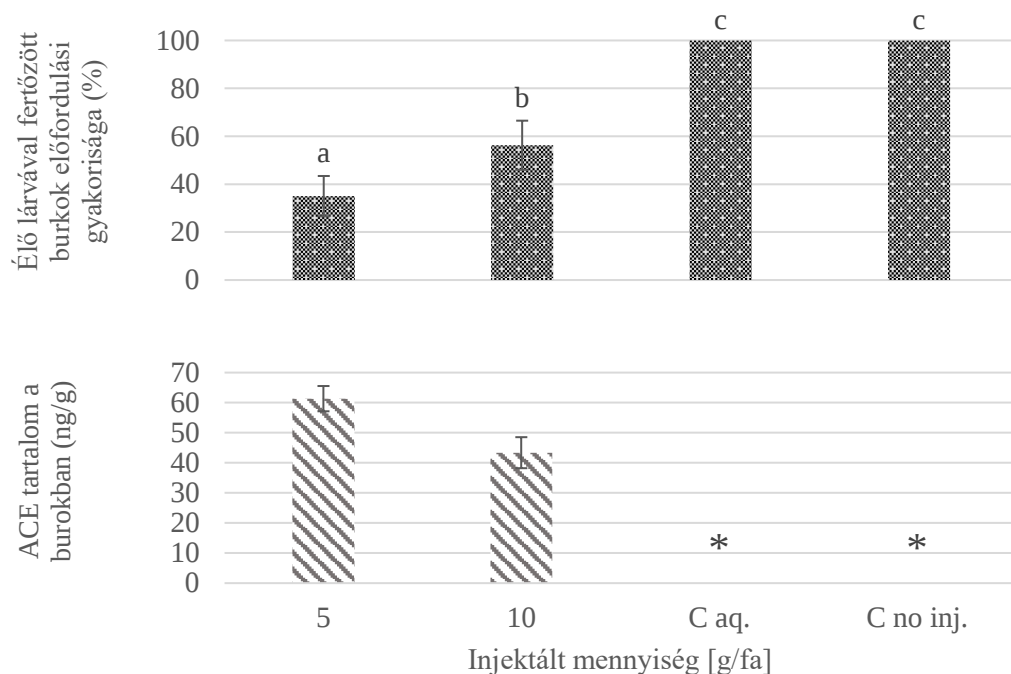
EMA esetében negatív korrelációt tapasztaltunk a burok hatóanyag-tartalma és a fertőzöttség között ($r_s = -0,867$, $p = 0,002$), de nem tapasztaltunk korrelációt az injektált hatóanyag mennyisége és a hatóanyag-maradék között ($r_s = 0,316$, $p = 0,407$) (2. ábra). A burokban lévő átlagos hatóanyag-tartalom alapján kezelések nem különböztek szignifikánsan (Kruskal–Wallis $H = 5,067$, $df = 2$, $p = 0,079$). Mindhárom dózis jelentősen csökkentette a lárvával fertőzött burkok számát. A kontrollban tapasztalt 100%-hoz képest 1,9 g/fa injektált hatóanyag esetén 32%, 3,8 g/fa esetén 22%, 5,7 g/fa esetén 33% volt az élő lárvával fertőzött burkok előfordulási gyakorisága (2. ábra).



2. ábra A burok fertőzöttsége (felül) és a hatóanyag-tartalom (alul) (átlag $\pm$ SE) a különböző dózisú EMA (emamektin-benzoát) törzsinjektálás hatására. Az azonos betűvel jelölt oszlopokban végzett kezeléseknél a Marascuilo-összehasonlítás alapján a fertőzöttség nem tér el szignifikánsan ($p > 0,05$). C_{aq.}: injektálás vízzel, C_{no inj.}: injektálás nélkül, * DL (kimutatási határ): 0,1 ng/g.

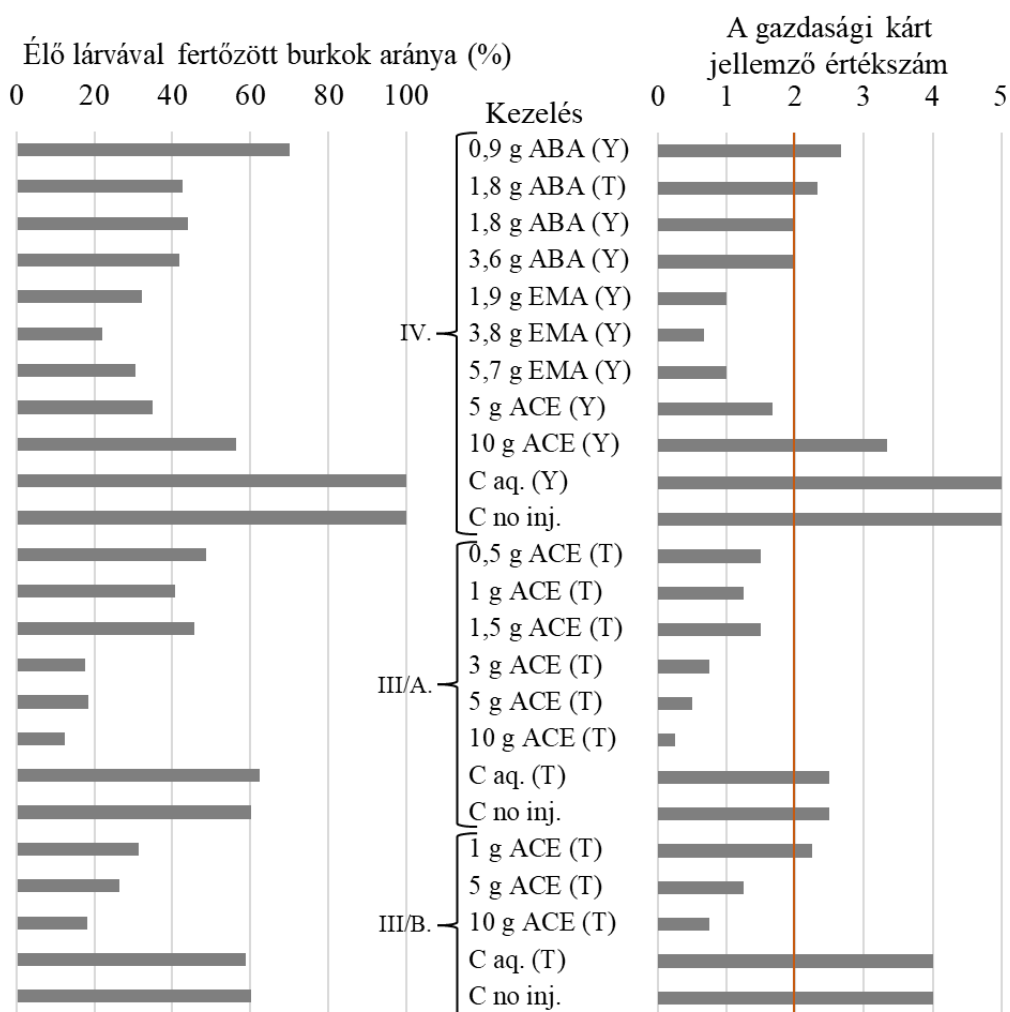
ACE esetében negatív korrelációt ($r_s = -0,829$, $p = 0,042$) tapasztaltunk a burok hatóanyag-tartalma és a fertőzöttség között, de nem tapasztaltunk szignifikáns korrelációt az injektált hatóanyag mennyisége és a hatóanyag-maradék tartalom között ($r_s = -0,488$, $p = 0,326$) (3. ábra). A burokokban kialakult hatóanyag-tartalom itt sem eredményezett szignifikáns különbséget (Mann–Whitney $U = 2$, $z = -1,091$, $p = 0,4$).

Mindkét dózis csökkentette a lárvával fertőzött burokok mértékét. A kontrollban tapasztalt 100%-os gyakorisághoz képest 5 g/fa injektált hatóanyag esetén 31%, 10 g/fa esetén 56% volt az elő lárvával fertőzött burokok előfordulási gyakorisága. ACE esetében a nagyobb dózisú kezelés kisebb hatékonyságot eredményezett.



3. ábra A burok fertőzöttsége (felül) és a hatóanyag-tartalom (alul) (átlag $\pm$ SE) a különböző dózisú ACE (acetamiprid) törzsinjektálás hatására. Az azonos betűvel jelölt oszlopokban végzett kezeléseknél a Marascuilo-összehasonlítás alapján a fertőzöttség nem tér el szignifikánsan ($p > 0,05$). C_{aq.}: injektálás vízzel, C_{no inj.}: injektálás nélkül, * DL (kimutatási határ): 0,25 ng/g.

Kísérleteink értékelésekor számos alkalommal előfordult, hogy egy-egy nyű túlélte a kezelést, de az okozott kár mértéke messze elmaradt a kontrollban tapasztalt kártételtől. Az előfordulási gyakoriságot az el nem pusztult, a szubletális hatásnak kitett nyűvek jelenléte ugyan növelte, de a gazdasági kárt alig. A burok fertőzöttsége tehát nem feltétlenül jelenti azt, hogy a termés sérült és ebből kifolyólag hátráltatja a feldolgozást. Mivel a fertőzöttség tehát nem azonos a gazdasági kártétel mértékével, ezért fontosnak tartottuk kifejezni a gazdasági kártétel is (4. ábra).



4. ábra A fertőzöttség és a gazdasági kár egymáshoz viszonyulása. ABA: abamektin, EMA: emamektin-benzoát, ACE: acetamiprid, C aq.: injektálás vízzel, C no inj.: injektálás nélkül

A 4. ábra alapján az ABA kevésbé volt alkalmas a gazdasági kárt az elfogadható, 2-es értékszámmal jellemzett szint alatt tartani, bár a nagyobb dózisú kezelések közelítették ezt. Az EMA ebből a szempontból sokkal kedvezőbb volt, a kártételi értékszám 1-gyel volt jellemezhető, míg az ACE néhány kivételtől eltekintve szintén elfogadható mértékű gazdasági kárt eredményezett.

3.3. Dózisbeállítás

A gyártók a fák 135-cm-es magasságában mért törzsátmérőjéhez egyedileg ajánlják a dózist alakítani (Schulte et al., 2006; Smitley et al., 2010),

mely viszonyszám ideális esetben jól alkalmazható, de esetenként pontatlan dozírozáshoz is vezethet. A törzs átmérőjének növekedése, ugyanis nem mindig áll egyenes arányban a dózisznöveléssel, ha a védendő lombkorona és a törzs keresztmetszetének viszonya változik. Ennek elkerülése érdekében pontosabb dozírozást eredményezne a fák lombkorona térfogatát is figyelembe venni. Vizsgálatainkban az ABA és EMA hatóanyagok esetén a burokból mért hatóanyag-tartalom és a lombkorona térfogatához arányított hatóanyag mennyiség mutatott szignifikáns összefüggést ($r_s = 0,594$, $p = 0,042$ és $r_s = 0,833$, $p = 0,005$).

3.4. Toxikokinetikai folyamatok feltérképezése

Az égtájak és a hatóanyag-tartalom között egyik vizsgált hatóanyag (ABA, EMA, ACE) esetében sem találtunk szignifikáns különbséget $F(3, 24) = 0,391$, $p = 0,761$, $\eta^2 = 0,47$; $F(3, 24) = 0,750$, $p = 0,533$, $\eta^2 = 0,86$; $F(3, 16) = 0,741$, $p = 0,543$, $\eta^2 = 0,122$. Az égtájak és ezzel a megvilágítottság iránya tehát nem befolyásolták a kezelések hatására kialakult hatóanyag-tartalmat a lombkoronán belül.

A levélmintákban detektált hatóanyag-tartalom az idő múlásával csökkenő tendenciát mutatott. A dózis és a levelekben később visszamért hatóanyag-tartalom között általában pozitív korrelációt találtunk, de egyes kísérleti beállításoknál ez máshogyan alakult és a hatóanyag-tartalom időszakos ingadozása volt megfigyelhető. Feltételezésünk szerint a levelek hatóanyag-tartalmának ingadozása mögött, két tényező áll; (i) a fatörzsben lévő hatóanyag rezervoár mérete és (ii) a szállított víz mennyisége.

3.5. Toxikológiai kérdések megválaszolása

A kísérleteink alapján élelmiszerbiztonsági szempontból legkedvezőbbnek az ABA és az EMA hatóanyagokat tekintettük. A termések maradék hatóanyag-tartalma ABA esetében még a kimutatási határt (2,4 ng/g) sem haladta meg, nemhogy az MRL (10 ng/g) értéket, sem a száraz, sem a friss

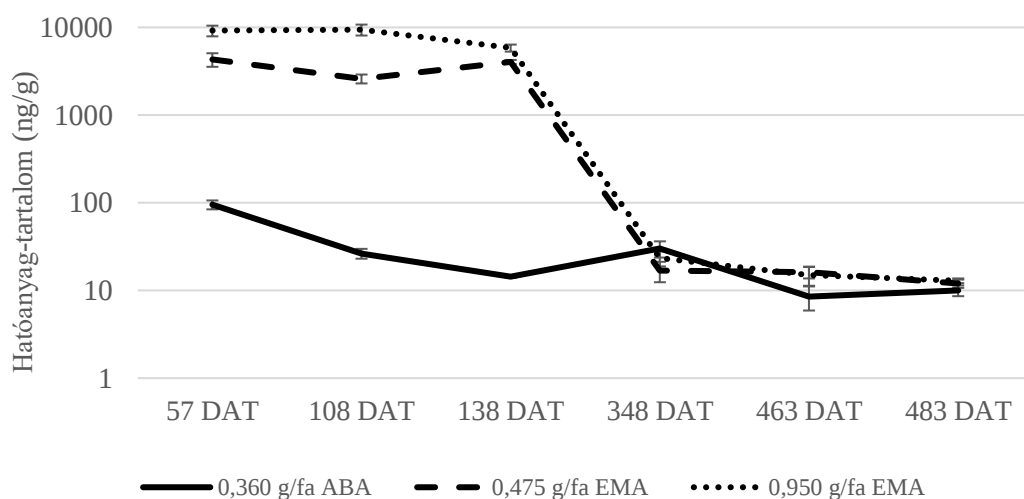
dióbélben. Az EMA hatóanyaggal kezelt fák dióbelében mért hatóanyag-maradék szintén a detektálási határ (0,2 ng/g) alatt volt száraz dióbél esetén. Friss dióbélben hasonlóan alacsony maradék értékeket mértünk, egy kivétellel, amikor 0,95 g/fa dózisú kezelés után a hatóanyag-maradék 0,5 ng/g volt, de még ez is nagyságrenddel kisebb volt, mint az MRL (5 ng/g) érték. Az ACE maradék a maximálisan megengedett koncentráció (MRL=70 ng/g) felett volt, míg a FLU legalacsonyabb dózisa is jócskán meghaladta azt (MRL=20 ng/g). Ezen hatóanyagokkal kevesebb kísérletet állítottunk be, ugyanis az alacsony dózisú kezelések is nagy szermaradék koncentrációt eredményeztek, ellehetetlenítve ezzel az endoterápiás növényvédelmi alkalmazás lehetőségét. A SPI élelmiszerbiztonsági szempontból ugyan jól vizsgázott (MRL=500 ng/g), azonban az elérhető készítmény oldhatósági problémái miatt nem volt preferencia a további kísérletekben.

Az előző évben injektált fákról gyűjtött virágmintákban az ABA koncentrációja a detektálási határ alatt volt, míg az EMA hatóanyagot csak nagyon kis mennyiségben tudtuk kimutatni. A különböző dózisú kezelések között nem találtunk különbséget egyik kísérleti beállításban sem ($t(2) = 0,089$, $p = 0,468$) és ($F(2, 6) = 1,044$, $p = 0,408$), azok hasonló koncentrációt eredményeztek a virágzatban. A virágzat ACE tartalma ugyanebben a kísérletben magasabbnak bizonyult, azonban méhveszélyességi szempontból mégsem tekinthető aggasztónak, mivel az ACE a "méhekre nem jelölésköteles" kategóriába tartozik. Az eltérő dózisú kezelések nem eredményeztek szignifikáns különbséget a virágzatban mért hatóanyag mennyiségben ($t(4) = 0,017$, $p = 0,493$). Mindhárom hatóanyag virágzatban mért mennyisége alulmaradt a káros hatást kiváltó koncentrációktól.

3.6. Hatástartam vizsgálat

A kezelt diófák levelének hatóanyag-tartalmát két vegetációs időszakban (57-483 DAT) nyomon követve azt tapasztaltuk, hogy a fába injektált ABA és EMA a második évben nagyságrenddel kisebb mennyiségben jelenik meg. Az

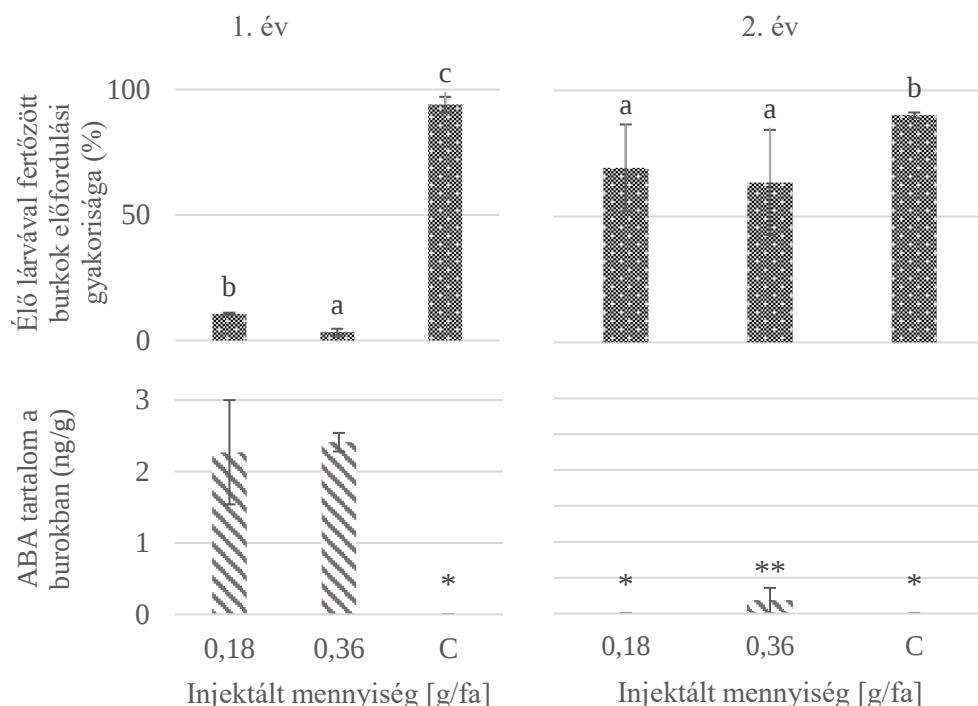
injektált hatóanyag mennyiségek csak az injektálás évében korreláltak pozitívan a levélben megjelenő hatóanyag mennyiséggel. A visszamért hatóanyagok mennyisége az idő előre haladtával csökkenő tendenciát mutatott. A vizsgált időszak alatt a két alkalmazott hatóanyag mennyiségbeli változásában nagyságrendi különbséget tapasztaltunk. Az ABA kisebb koncentrációt ért el a kezelés évében, de a csökkenés üteme jóval lassabb volt. Ezzel szemben az EMA mindkét dózisa nagyobb koncentrációt alakított ki a kezelés évében, de a 2. vegetációs periódusra ennek mértéke az ABA-hez hasonló szintre csökkent. A kezelés évében mutatott különböző koncentrációk oka a két hatóanyag vízóldhatóságában tapasztalt eltérés lehetett, miáltal a xilém által transzportált víz az EMA-ot nagyobb mennyiségben tudta kioldani az injektálás pontja körül kialakult rezervoárból. Ennek következtében az EMA a 2. vegetációs periódusra nagymértékű csökkenést szenvedett, ugyanis a rendelkezésre álló rezervoár feltételezésünk szerint nem volt kellően nagy ahhoz, hogy a lomkoronában újra kellően fel tudjon dúsulni a hatóanyag.



5. ábra A levelek hatóanyag-tartalom csökkenése két év távlatában, DAT: kezelés után eltelt napok száma, ABA: abamektin, EMA: emamektin-benzoát

A 6. ábráról leolvasható, hogy az injektálás évében mindkét vizsgált dózissal sikerült megvédeni a termést. Az első évben mindkét dózis ('a' és 'b') szignifikánsan kevesebb lárvával fertőzött burkot eredményezett, mint a kontroll

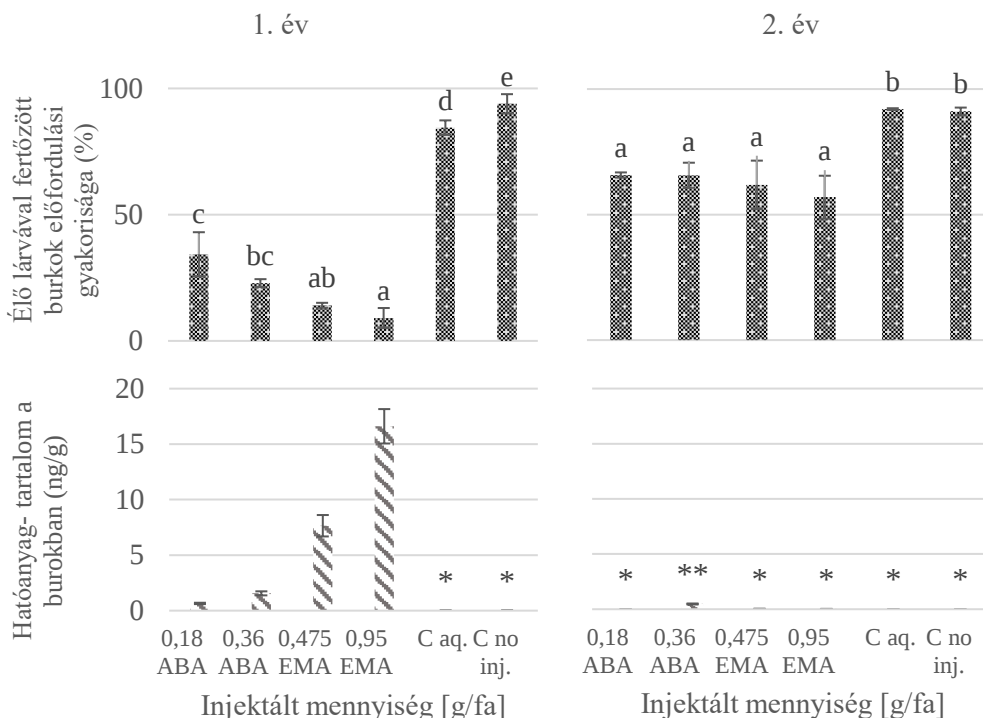
('c'). Az ABA pericarpiumban mért átlagos mennyisége $2,27 \pm 0,73$ ng/g (0,18 g/fa), illetve $2,41 \pm 0,13$ ng/g (0,36 g/fa) volt (6. ábra). Egy évvel később ugyan volt még értékelhető rovarölő hatás, de a fertőzés mértéke (64-75%, 'a') már csak kismértékben maradt el a kontrolltól (90%, 'b'), míg a burok hatóanyag-tartalmát csak a 0,36 g/fa kezelés esetében sikerült detektálnunk. Ez a lecsökkent lárvicid hatás kevésnek bizonyult a gazdasági kárt megakadályozni.



6. ábra A burkok fertőzöttségének és hatóanyag-tartalmának (átlag $\pm$ SE) alakulása ABA (abamektin) törzsinjektálás hatására. Az azonos betűvel jelölt oszlopokban végzett kezeléseknél a Marascuilo-összehasonlítás alapján a fertőzöttség nem tér el szignifikánsan ($p > 0,05$). C: kontroll, ami a $C_{no\ inj.}$ és $C_{aq.}$ átlagát reprezentálja, DL (kimutatási határ): 1,2 ng/g. *: <DL, **: nyomnyi mennyiség.

ABA-tel és EMA-tal kezelt fákon az injektálás évében a nyugati dióburok-fürölég által fertőzött termések száma szignifikánsan alacsonyabb volt a kontrollhoz viszonyítva (7. ábra). A pericarpiumban visszamért ABA hatóanyag-tartalom $0,65 \pm 0,06$ ng/g és $1,56 \pm 0,18$ ng/g volt. Az EMA hatóanyag felhasználásával végrehajtott kezelések még ennél is eredményesebbnek bizonyultak: 0,475 g/fa esetén 14%, 0,95 g/fa esetén 10% fertőzöttséget

tapasztaltunk, ahol a burkok $7,65 \pm 0,96$ ng/g és $16,61 \pm 1,55$ ng/g visszamért hatóanyagot tartalmaztak.

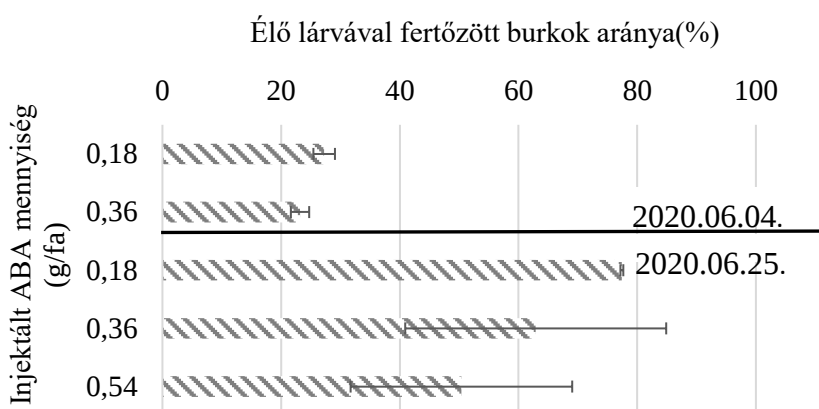


7. ábra A burkok fertőzöttségének és hatóanyag-tartalmának (átlag $\pm$ SE) alakulása ABA (abamektin) és EMA (emamektin-benzoát) törzsinjektálás hatására. Az azonos betűvel jelölt oszlopokban végzett kezeléseknél a Marascuilo-összehasonlítás alapján a fertőzöttség nem tér el szignifikánsan ($p > 0,05$). C aq.: injektálás vízzel, C no inj.: injektálás nélkül, DL_{ABA} (kimutatási határ): 1,2 ng/g, DL_{EMA}: 0,2 ng/g, *: <DL, **: nyomnyi mennyiség.

Esetünkben az injektálás a második évben is kifejtett rovarölő hatást, de az csak kisebb mértékben volt eredményes az első évhez képest. A fertőzöttség ugyanis a második évben ABA esetében 65%, EMA esetében 60 % volt, míg a kontrollban 92%. Ezt burkok hatóanyag-tartalma is alátámasztotta, mely az előző évhez képest nagymértékű csökkenést szenvedett. Bár számos kutatás szól az injektálás több évig tartó hatásairól, de különböző gazda és károsító fajok nagyon eltérő módon viselkedhetnek (Eisenbach et al., 2014, Wang et al., 2020).

3.7. Az injektálási időpont megválasztása

Az injektálás elvégzésére az általunk optimálisnak vélt időszak május vége – június eleje (BBCH 65-73) közé tehető. Ehhez képest a 21 nappal később végzett ABA-es kezelések még nagyobb koncentráció használata mellett is gyengébb biológiai hatást adtak (8. ábra). A hatóanyagnak a kívánt hatás eléréséhez ugyanis a tojásból való kikelés időpontjában már jelen kell lennie a megfelelő koncentrációban, mert csak a fiatal lárvastádium ellen érhetünk el jó eredményt.



8. ábra Az időpont megválasztásának hatása az ABA (abamektin) kezelések hatásfokára.

Az injektálás hatásosságát számos tényező befolyásolja (Doccoła et al., 2011), amelyek közül nagy jelentőségű az injektálás időpontjának megválasztása is. Általában lombfakadás idején az oldott anyagok terjedése a növényben egyenletesebb és gyorsabb, mint a nyár végén vagy nyugalmi állapotban. Ezért a fainjektálást akkor lehet a leghatékonyabban végezni, amikor a fák párologtatnak (Li és Nangong, 2022).

4. Következtetések és a javaslatok

A törzsinjektált hatóanyagok mindegyike (ABA, EMA, ACE, FLU, SPI) megjelent az injektálási ponttól távol eső szervekben; a levélben, a termésburokban, valamint némelyik a dióbélben és a virágzatban is. A törzskenéssel kijuttatott egyes hatóanyagok (ACE, FLU, SPI) ugyancsak

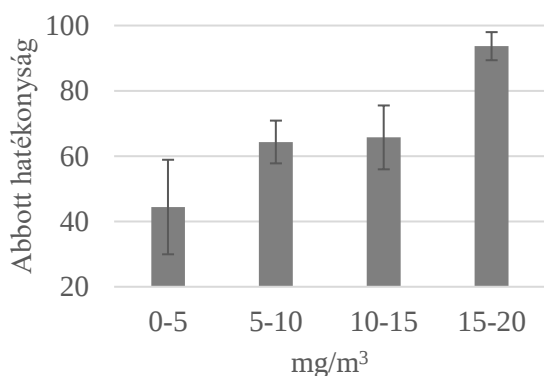
megjelentek a levélben és a dióburokban. A törzskénéses technológia ígéretes lehet, de szűkebb a felhasználható hatóanyagok köre, akárcsak az alkalmas növényfajok száma.

Az ACE a zöld növényi részeken túl a dióbélben is jelentős koncentrációban jelent meg, így hiába ad jó rovarölő hatást, sem injektálással, sem pedig törzskénéssel nem perspektivikus. Élelmiszer-biztonsági szempontból az ABA és az EMA hatóanyagokat javasolhatjuk, ugyanis azok dióbélben kimutatott hatóanyag-maradványai nem jelentenek kockázatot.

Az eredményes hatóanyagtranszport nyomán a dióburokban megjelenő hatóanyagok (ABA, EMA, ACE) a nyugati dióburok-fűrőlégység lárváin mortalitást okoztak. A tojásrakási hely körül kialakult apró fekete, száraz foltok nem eredményeztek minőségromlást sem a héjas diót, sem a dióbelet tekintve.

A helyes dózis meghatározásában jelentős szerepe van a lombtömegnek is, nem csak a törzsátmérőnek. Idősebb ültetvény, vagy szoliterként álló fák esetében érdemes a lombkorona térfogatát is figyelembe venni, mert eltérő lehet a dióburok hatóanyag-tartalma, és ennek következtében a mortalitás mértéke az azonos törzsátmérőjű, de különböző lombtömegű fákban.

Kísérleti eredményeink alapján, a megfelelő dózis beállítására ABA esetén: 15-20 mg/lombkorona m³ aktív hatóanyag (9. ábra), EMA esetében 30-35



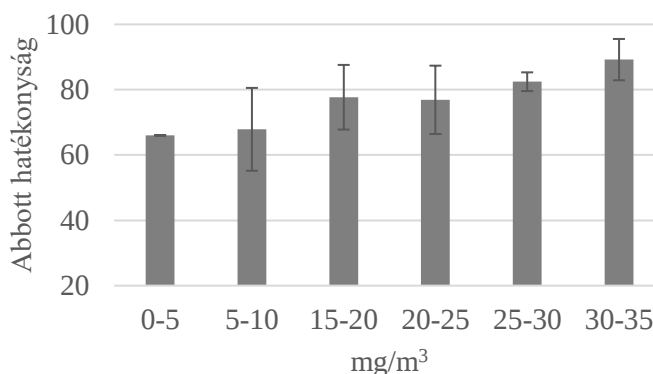
9. ábra Az ABA (abamektin) dózisa a lombkorona-térfogatához történő dozírozás esetén.

mg/lombkorona m³ aktív hatóanyag javasolható (10. ábra), melyek használata mellett 90%-os hatékonyságot várhatunk el. Az ABA-nél az aluldozírozás veszélye nagyobb, mint az EMA esetében, ahol a legkisebb számszerűsített dózis tartomány (0-5 mg/m³) is csaknem 70% -

os hatékonysággal társult. A hatékonyságot az élő lárvával fertőzött burkok

előfordulása alapján számoltuk, ezért tűnhetnek a növényvédelmi gyakorlatban elvárt értékeknél alacsonyabbnak, ugyanakkor a gazdasági kártételi szintet figyelembe véve a kezelések hatékonysága a gyakorlatban az alacsonyabb dózistartományoknál is elfogadható mértékű volt.

Az injektálást követő második évben tapasztalt kisebb hatékonyságból arra következtetünk, hogy a sikeres védekezéshez az általunk alkalmazott injektálással, ABA és EMA



10. ábra Az emamektin-benzoát dózisa a lombkorona-térfogatáshoz történő dozírozás esetén.

hatóanyagokkal, minden évben szükséges a diófákat kezelni. Bár a szakirodalom más növényfajok endoterápiás kezelésénél sok esetben többéves, kielégítő hatásról számol be (Anulewicz et al., 2009; Holderness, 1992; Percival és Boyle, 2005; Wheeler et al., 2020), ám a mi vizsgálataink alapján csak egy vegetációs időszakban adott védelmet a nyugati dióburok-fűrőlégy ellen.

Megítélésünk szerint az endoterápiás növényvédelmi technológia alkalmazásával elérhető nem csak a nyugati dióburok-fűrőlégy elleni megfelelő védelem, de a megfelelő növényvédő szer kombinációt alkalmazva, akár a gombás és baktériumos eredetű fertőzések ellen is védekezhetünk.

A törzsinjektálás sikeres alkalmazásához továbbá kulcsfontosságú a növényvédő szerek endoterápiára való alkalmassá tétele, melyek szerkesztésekor nem csak a fizikai-kémiai tulajdonságokat, de fontos figyelembe venni a kezelni kívánt fajt, a felhasználni kívánt eszköz működési elvét, befecskendezési nyomását, valamint a károsítók növényvédő szerekkel szembeni ellenálló képességét (toleranciáját, rezisztenciáját) is.

Az injektálás hatásosságát számos tényező befolyásolja (Doccola et al., 2011), amelyek közül nagy jelentőségű az injektálás időpontjának megválasztása is. Az általunk optimálisnak vélt időszak május vége, június eleje (BBCH 65-73).

Az injektálásos növényvédelmi technológiával hasonló növényvédelmi hatékonyság érhető el, mint a modernebb üzemekben alkalmazott lombpermetezési technológiával. Ez utóbbi módszerrel a kezelések száma azonban normál évjáratban 4-5 db-ra tehető, ami igencsak megnöveli a diótermesztés költségeit és az ültetvények peszticid terhelését is, a kijuttatás időzítésében rejlő kockázatok mellett. Az injektálásos módszer gépesítése, ezáltal ültetvényi alkalmazása a robotizáció fejlődésével ez rövidesen elérhető lesz (Chengzhang et al., 2019).

Hazai diótermelésünk nagy része származik szórvány diósokból, nem beszélve a vidéki családok éves diófogyasztásának alapját képező egy-egy, az udvarokban álló háztáji diófákról. Az itt termesztett dió növényvédelmében az üzemi diósokhoz hasonló védekezési módszer nem elérhető. Az injektálás éppen ezért ezekre a célterületekre ajánlható.

5. Új tudományos eredmények

- Elsőként igazoltuk, hogy az abamektin és emamektin-benzoát endoterápiás felhasználásával a nyugati dióburok-fűrőlégy (*Rhagoletis completa* Cresson, 1929) károsítása megakadályozható.
- A törzsátmérő alapján történő hatóanyag dozírozás módszerét a lombkorona térfogat figyelembevételének szükségességével pontosítottuk.
- Megállapítottuk, hogy diófán (*Juglans regia* L., 1753) az endoterápiás kezelés abamektin és emamektin-benzoát hatóanyagokkal csak az injektálás évében nyújt kielégítő védelmet a nyugati dióburok-fűrőlégy ellen, a második évben már nem.

- Elsőként igazoltuk, hogy acetamiprid, flupiradifuron, spirotetramát hatóanyagok törzskénéssel a diófa zöld növényi részeibe eljutnak. Míg ugyanezen módszerrel az abamektin és az emamektin-benzoát nem jutott el a lombkoronába.
- A megfelelő hatás kifejtéséhez szükséges anyagmennyiség endoterápiás kezelése során az abamektin és az emamektin-benzoát hatóanyagok dióbélben mért maradéka az MRL értékek kevesebb, mint 37 (DL), illetve 10%-át érte el, ezért vizsgálataink alapján a technológia élelmiszerbiztonsági szempontból kockázatot nem jelent.

6. Publikációs lista

Lektorált, impakt faktoros folyóiratban megjelent közlemény:

- Kiss, M., Hachoumi, I., Nagy, V., Ladányi, M., Gutermuth, Á., Szabó, Á., Sörös, C. (2021): Preliminary results about the efficacy of abamectin trunk injection against the walnut husk fly (*Rhagoletis completa*). *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128 (1), 333-338. p. (Q2)
- Kiss, M., Sörös, C., Gutermuth, Á., Ittész, A., Szabó, Á. (2023): Avermectin trunk injections: a promising approach for managing the walnut husk fly (*Rhagoletis completa*). *Horticulturae*, 9(6), 655. (Q1)

Lektorált folyóiratban megjelent közlemény:

- Kiss, M., Sörös, C., Gutermuth, Á., Szabó, Á. (2023): Újabb tapasztalatok a törzsinjektálás és a nyugati dióburok-fűrólégy (*Rhagoletis completa* Cresson, 1929) vonatkozásában. *Georgikon for Agriculture*, 27 (1), 34-43. p.
- Kiss, M., Sörös, C., Gutermuth, Á., Szabó, Á. (2022): Megmentheti-e a törzsinjektálás a háztáji diótermést? *Georgikon for Agriculture*, 26 (1), 52-73. p.

Konferenciakiadványban megjelent közlemény:

- Kiss, M., Szabó, Á., Gutermuth, Á., Sörös, C. (2022): 2021-es tapasztalatok a törzsinjektálás hatékonyságáról a nyugati dióburok-fúrólégy (*Rhagoletis completa*) ellen. In: 27. TISZÁNTÚLI NÖVÉNYVÉDELMI FÓRUM, Debreceni Egyetem, Debrecen, 2022.10.19.-2022.10.20., Konferenciakiadvány, p. 65-66.
- Kiss, M., Nagy, V., Ladányi, M., Gutermuth, Á., Sörös, C., Szabó, Á. (2021): Előzetes eredmények a törzsbe injektált abamektin hatékonyságáról a nyugati dióburok-fúrólégy (*Rhagoletis completa*) ellen. In: 67. NÖVÉNYVÉDELMI TUDOMÁNYOS NAPOK, Budapest, 2021.02.16.-2021.02.17., Konferenciakiadvány, p. 18.

7. Irodalomjegyzék

Abbott, W. S. (1925): A method of computing the effectiveness of an insecticide. Journal of Economic Entomology, 18 (2), 265-267. p.

Anulewicz, A. C., McCullough, D. G., Poland, T. M., Cappaert, D., Lewis, P. A., Molongoski, J. (2009): Evaluation of multi-year application of neonicotinoid insecticides for EAB control. In: Emerald Ash Borer Research and Technology Development Meeting (5.)(2009)(Pittsburgh). Forest Health Technology Enterprise Team. Morgantown, p. 67-68.

Chengzhang, M., Desheng, J., Luchao, X., Chao, X., Qing, Z. (2019): Design of automatic trunk injection machine based on tree pest control. International Journal of Advanced Engineering and Management Research, 4 (5), 135-145. p.

Doccola, J. J., Smitley, D. R., Davis, T. W., Aiken, J. J., Wild, P. M. (2011): Tree wound responses following systemic injection treatments in green ash (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh) as determined by destructive autopsy. Arboriculture and Urban Forestry, 37 (1), 6-12. p.

Eisenbach, B. M., Salom, S. M., Kok, L. T., Lagalante, A. F. (2014): Impacts of trunk and soil injections of low rates of imidacloprid on hemlock woolly adelgid (Hemiptera: Adelgidae) and eastern hemlock (Pinales: Pinaceae) health. Journal of Economic Entomology, 107 (1), 250-258. p.

European Standard - EN 15662 (2018): Foods of plant origin—multimethod for the determination of pesticide residues using GC- and LC-based analysis following acetonitrile extraction/partitioning and clean-up by dispersive SPE—modular QuEChERS-method. Elérhető: <https://www.en-standard.eu/> Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: european standards. Lekérdezés időpontja: 2022.03.30.

Holderness, M. (1992): Comparison of metalaxyl/cuprous oxide sprays and potassium phosphonate as sprays and trunk injections for control of *Phytophthora palmivora* pod rot and canker of cocoa. *Crop Protection*, 11 (2), 141-147. p.

Li, M., Nangong, Z. (2022): Precision trunk injection technology for treatment of huanglongbing (HLB)-affected citrus trees—a review. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 129 (1), 15-34. p.

Percival, G. C., Boyle, S. (2005): Evaluation of microcapsule trunk injections for the control of apple scab and powdery mildew. *Annals of Applied Biology*, 147 (1), 119-127. p.

Schulte, M. J., Martin, K., Sauerborn, J. (2006): Effects of azadirachtin injection in litchi trees (*Litchi chinensis* Sonn.) on the litchi stink bug (*Tessaratoma papillosa* Drury) in northern Thailand. *Journal of Pest Science*, 79, 241-250. p.

Smitley, D. R., Doccola, J. J., Cox, D. L. (2010): Multiple-year protection of ash trees from emerald ash borer with a single trunk injection of emamectin benzoate, and single-year protection with an imidacloprid basal drench. *Arboriculture & Urban Forestry*, 36 (5), 206-211. p.

Wang, J. H., Che, S. C., Qiu, L. F., Li, G., Shao, J. L., Zhong, L. Xu, H. (2020): Efficacy of emamectin benzoate trunk injection against the asian long-horned beetle [*Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae)]. *Journal of Economic Entomology*, 113 (1), 340-347. p.

Wheeler, C. E., Vandervoort, C., Wise, J. C. (2020): Organic control of pear psylla in pear with trunk injection. *Insects*, 11 (9), 650.