



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Törzsinjektálás hatása a nyugati dióburok-fúrólégyre

DOI: 10.54598/007350

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

Tartalomjegyzék

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | BEVEZETÉS..... | 5 |
| 2 | CÉLKITŰZÉS..... | 7 |
| 3 | IRODALMI ÁTTEKINTÉS..... | 8 |
| 3.1 | A dió elterjedése | 8 |
| 3.2 | A diótermesztés helyzete | 8 |
| 3.3 | A nyugati dióburok-fúrólégy | 10 |
| 3.3.1 | A kártevő elterjedése | 10 |
| 3.3.2 | A kártevő biológiája | 10 |
| 3.3.3 | Kártételének megítélése és megakadályozása | 13 |
| 3.4 | A törzsinjektálás..... | 15 |
| 3.4.1 | A törzsinjektálási technológia fejlődése | 15 |
| 3.4.2 | Típusai | 16 |
| 3.4.3 | Az alkalmazhatóság növényfiziológiai háttere | 19 |
| 3.4.4 | A törzsinjektálás gyakorlati alkalmazása..... | 23 |
| 3.4.5 | A törzsinjektálás előnyei és korlátai | 26 |
| 3.4.6 | A hatóanyag sorsát befolyásoló tényezők..... | 32 |
| 3.4.7 | A törzsinjektálás fejlődéséhez hozzájáruló kísérletek | 44 |
| 3.5 | A felhasznált hatóanyagok áttekintése | 54 |
| 3.5.1 | Abamektin | 54 |
| 3.5.2 | Emamektin-benzoát..... | 56 |
| 3.5.3 | Acetamiprid | 56 |
| 3.5.4 | Flupiradifuron..... | 57 |
| 3.5.5 | Spirotetramát | 57 |
| 4 | ANYAG ÉS MÓDSZER..... | 59 |
| 4.1 | Helyszínek és a növényvédelmi kezelések időpontjai | 59 |
| 4.2 | Felhasznált anyagok és eszközök..... | 60 |
| 4.3 | Hatóanyag választás törzsinjektálásra..... | 64 |
| 4.4 | Hatóanyag választás törzskénésre | 65 |
| 4.5 | Hatékonyság vizsgálat lárvicid hatás alapján..... | 66 |
| 4.6 | A gazdasági kár értékelése..... | 69 |
| 4.7 | Dózisbeállítás..... | 71 |
| 4.8 | A toxikokinetikai folyamatok bemutatása | 71 |
| 4.8.1 | Térbeli eloszlás vizsgálat..... | 71 |
| 4.8.2 | Időbeli eloszlás vizsgálat | 72 |
| 4.9 | Toxikológiai kérdések..... | 73 |
| 4.9.1 | A dióbél élelmiszer-biztonsági szempontú értékelése | 73 |
| 4.9.2 | A virágzat szennyezettsége..... | 73 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.10 | Hatástartam, második éves hatás..... | 73 |
| 4.11 | Az injektálási időpont megválasztása, időzítése | 74 |
| 4.12 | Mintaelőkészítés analitikai mérésre | 74 |
| 4.13 | Méréstechnika | 76 |
| 5 | EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK | 78 |
| 5.1 | Hatóanyag választás törzsinjektálásra..... | 78 |
| 5.2 | Hatóanyag választás törzskénésre | 80 |
| 5.3 | Hatékonyság vizsgálat lárvicid hatás alapján..... | 82 |
| 5.4 | Gazdasági kár értékelése | 88 |
| 5.5 | A toxikokinetikai folyamatok bemutatása..... | 89 |
| 5.5.1 | Térbeli eloszlás vizsgálat..... | 89 |
| 5.5.2 | Időbeli eloszlás vizsgálat | 93 |
| 5.6 | A dózis beállításának lehetőségei..... | 97 |
| 5.7 | Az injektálási időpont megválasztása, időzítése | 98 |
| 5.8 | Toxikológiai kérdések..... | 100 |
| 5.8.1 | A dióbél élelmiszer-biztonsági szempontú értékelése | 100 |
| 5.8.2 | A virágzat szennyezettsége..... | 103 |
| 5.8.3 | Fitotoxikus mellékhatások | 105 |
| 5.9 | Hatástartam, második éves hatás..... | 108 |
| 6 | KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK | 112 |
| 7 | ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK..... | 116 |
| 8 | ÖSSZEFOGLALÁS | 117 |
| 9 | SUMMARY | 119 |
| 10 | MELLÉKLETEK | 121 |
| 10.1 | Irodalomjegyzék..... | 121 |
| 10.2 | A jelentősebb korábbi injektálós és törzskenesés/-permetezési kísérletek áttekintő táblázata a növénypatogén kórokozók ellen, kronológiai sorrendben felsorolva | 137 |
| 10.3 | A jelentősebb korábbi injektálós és törzskenesés/-permetezési kísérletek áttekintő táblázata a növénykártévők ellen, kronológiai sorrendben felsorolva..... | 138 |
| 10.4 | A jelentősebb korábbi injektálós kísérletek áttekintő táblázata a növénypatogén kórokozók és a fertőzésüket elősegítő, illetve a terjesztésükben szerepet játszó vektorszervezetek ellen, kronológiai sorrendben felsorolva | 142 |
| 10.5 | A jelentősebb korábbi injektálós kísérletek áttekintő táblázata növénykondicionálásra, kedvezőtlen abiotikus tényezők okozta elváltozások, illetve tüneteinek mérséklése érdekében, kronológiai sorrendben felsorolva | 143 |
| 10.6 | QuEChERS mintaelőkészítés és extrakció lépéseinek sematikus ábrázolása | 144 |
| 11 | KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS..... | 145 |

Rövidítések jegyzéke

ABA: abamektin

ACE: acetamiprid

C_{aq.}: vízzel injektált kontroll

C_{no inj.}: nem injektált kontroll

DAT (days after treatment): a kezelés időpontjától eltelt napok száma

DBH (diameter at breast height): mellmagasságban (~130 cm) mért törzsátmérő

EMA: emamektin-benzoát

FLU: flupiradifuron

Koc: szerves szén-víz megoszlási együttható vagy szerves szén adszorpciós koefficiens

LD₅₀: Letális medián dózis; toxikológiában használatos kifejezés, ami megadja, hogy egy anyag mekkora mennyisége okozza a kísérleti állatok 50%-ának pusztulását.

LC₅₀: Letális medián koncentráció; toxikológiában használatos kifejezés, ami azt az anyagkoncentrációt fejezi ki, amelynek hatására a kísérleti állatok 50%-a elpusztul.

LOAEL (lowest observed adverse effect concentration): Azt a legalacsonyabb expozíciós szintet vagy dózist jelöli, ahol észlelhető káros hatások vagy negatív változások figyelhetők meg a vizsgált élőlényeken.

NOAEL (no observed adverse effect level): Káros hatást nem okozó legnagyobb expozíciós szint; az az anyagmennyiség, amelynél az expozíciónak kitett egyedek csoportjában még nem fordulnak elő kimutatható káros hatások. A NOAEL érték hasonló a LOAEL-hoz, de eltér abban, hogy itt még nincs megfigyelhető káros hatás, míg a LOAEL esetében már van.

NOAEC (no observed adverse effect concentration): Az anyag azon legnagyobb koncentrációja, amelynél nincsenek megfigyelhető káros hatások a kísérleti állatokon vagy a vizsgált élőlényeken. Ez a koncentráció az, ahol semmilyen káros hatás nem tapasztalható, legalábbis a rendelkezésre álló vizsgálatok és megfigyelések alapján.

QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, Safe): Mintaelőkészítés és szilárd fázisú extrakciós módszer az élelmiszerekben található növényvédőszer-maradványok kimutatására. A név egy szóösszeírásra utal, amely a "gyors, könnyű, olcsó, hatékony, robusztus és biztonságos" szavakból származik.

SPE (solid phase extraction): A mintaelőkészítés eljárás során a szerves komponensek kinyerésére szolgáló szilárdfázisú extrakciós módszer.

SPI: spirotetramát

UHPLC-ESI-MS/MS (ultrahigh performance liquid chromatography–electrospray ionization tandem mass spectrometry): folyadékkromatográfiával kapcsolt elektrospray ionizációs tandem tömegspektrometria.

1 BEVEZETÉS

Európában a közönséges dió (*Juglans regia* L., 1753) az egyik legkedveltebb és legnagyobb mennyiségben termelt héjas gyümölcs, bár az utóbbi években az európai diótermesztés volumene, termésátlagá – beleértve Magyarországot is – az újabb telepítések ellenére is stagnál. Ugyanakkor a világ diótermő területe növekszik és a termelés is háromszorosára nőtt 2003 és 2023 között (Simon et al., 2023). Az európai termelés alacsonyabb színvonala mögött több tényező is áll (FruitVeB 2019). Okozója egyrészt a klímaváltozás kedvezőtlen hatásai, főként pedig az idegenhonos nyugati dióburok-fúrólégy (*Rhagoletis completa* Cresson, 1929) megjelenése, ami gyökeresen átalakította a dió növényvédelmi programját és a dió termesztésének közgazdasági viszonyait. Korábban a dió legjelentősebb kártevőjének a generatív részeken fejlődő almamoly (*Cydia pomonella* L., 1758) számított, mára azonban Európa nagy részén sokkal fenyegetőbbé vált a nyugati dióburok-fúrólégy.

A nyugati dióburok-fúrólégy, mint számos más nagy gazdasági jelentőséggel bíró idegenhonos kártevőnk, Amerikából került Európába. Azon országokban, melyekben ez ideig megtelepedett, nagy károkat okozva gyorsan el is terjedt. A nyugati dióburok-fúrólégy a zárlati károsítók listáján (2000/29/EC és a 7/2001 /I.17./ FVM rendelet karantén listáján) szereplő kártevő. Növényvédelmi jelentősége leginkább abban rejlik, hogy károkozásával – amely a dió zöld burkának furkálásával, fogyasztásával jár – utat nyit a dió baktériumos és gombás betegségeinek, melynek következtében nagy veszteséget okoz a gazdának mind a termés mennyiségének és minőségének csökkentésével, mind a feldolgozási költségek megnövelésével.

Napjainkban a növényvédelmi tevékenység egyre szigorodó jogszabályi háttere és a környezetvédelmi előírások olyan új technológiák, módszerek fejlesztését és használatát indokolják, melyek a természetes folyamatokba való lehető legkisebb beavatkozás és a lehető legkisebb környezetterhelés mellett is gazdaságilag sikeres termelést tesznek lehetővé. Ennélfogva a növényvédelem egyre szűkösebb keretek közé szorul, amely a folyamatosan szigorodó környezetvédelmi megfelelésben, a fokozódó fogyasztói és társadalmi elvárásokban és ezzel együtt a hatóanyagok számának folyamatos csökkenésében is tetten érhető. Az újabb károsítók megtelepedése mellett egyre gyakrabban jelentkezik bizonyos károsítók rezisztenciája a korábban hatásos hatóanyagokkal szemben. Ez további nehézséget jelent, különösen a kisebb felületen termesztett kultúrák védelmében, ahol az engedélyezett hatóanyagok száma egyébként is kisebb. A kihívást csak fokozza a dióültetvények fizikai megjelenése, ugyanis a nagy lombkoronájú állomány szakszerű kezelése igencsak nehéz feladat. Következésképpen manapság cél a meglévő, bevált hatóanyagok hatásának minél precízebb és mélyebb kihasználása, minél inkább a hatást támogató eljárások, technikák fejlesztése a növényvédő szerek teljes vertikumában.

Az új környezetvédelmi kihívások előtérbe helyezik a fenntartható megoldások iránti igényt mind a szakemberek, mind a mezőgazdasági termelők körében. Ebben a kontextusban egy érdekes megközelítés a dió növényvédelmi technológiájában a törzsinjektálás, amit másnéven endoterápiás kezelésként ismerünk. Ennek a módszernek az a lényege, hogy a fa törzsébe, vagy egyes esetekben a törzs felszínére, közvetlenül juttatjuk a növényvédő szereket, és ezzel hatékonyabban védekezhetünk a károsítók ellen, mint a hagyományos permetezés módszerével. Emellett az endoterápiás kezelés kevésbé terheli a környezetet és az emberek egészségét, melyet e technológia kedvezőbb ökotoxikológiai és humántoxikológiai profilja igazol.

Vizsgálataink megkezdésekor a nyugati dióburok-fúrólégy elleni védekezés a dióültetvények egyik legsürgetőbb kihívásának számított, különösen annak fényében, hogy sem egységesen elfogadott, sem igazán hatékony növényvédelmi technológia nem állt rendelkezésre. Ráadásul a termesztés bizonyos területein ez a probléma máig fennáll, ahol a törzsinjektálásos növényvédelmi technológia továbbra is az egyik legígéretesebb megoldásként kínálkozik.

2 CÉLKITŰZÉS

A kutatás célja egy olyan alternatív növényvédelmi technológia kidolgozása volt dió kultúrában, mely annak termés-kártevői, ezen belül is a legfontosabb kártevője, a nyugati dióburok-fúrólégy ellen hatékony és emellett biztonságosan alkalmazható. Egy új növényvédelmi megoldás kidolgozása sok megválaszolandó kérdést foglal magába és idővel még újabbakat vet fel. A dolgozatban 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.

A kutatás befejeztével célunk volt lefektetni a főbb sarokpontokat, mely a jövőben egyfajta iránymutatásként tekinthető az endoterápia, mint növényvédelmi technológia dió, de más gyümölcs-kultúrában való felhasználására, illetve továbbfejlesztésére.

3 IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1 A dió elterjedése

A dió ősi formája elterjedt volt Európa, Ázsia és Észak-Amerika nagy részén, melyet fossziliák bizonyítanak, azonban az éghajlat későbbi változásai, különösen a legutóbbi jégkorszak során bekövetkezett eljegesedés, átrajzolták a földrajzi elterjedésének határait. Az éghajlati anomáliák váltakozása során végbement evolúciós alkalmazkodás vezetett a mintegy 20 modern diófaj megjelenéséhez, amelyek a *Juglans* nemzetséget alkotják és melyek mindegyike a mérsékelt vagy a szubtrópusi klímán őshonos (Ramos, 1998).

A kereskedelmileg legértékesebb közönséges dió származását sokan kutatták és az mindmáig kisebb vita tárgyát képezi, valószínű azonban, hogy a Kárpátoktól kezdődően egészen Indiáig őshonos (Toolir és Mozaffari, 2020). Az már azonban nem vitatott, hogy a termesztésbe vonással a dió nagymértékben eltávolodott az egykori természetes lelőhelyétől, s mára fellelhető szinte minden mérsékelt égövi ország területén. Elterjedésének északi határa egybeesik a +5 °C izoterma határvonalával (Bandi, 2015). Az egymástól eltérő klímájú termőhelyeken több típusa és típusonként igen sok termesztett fajtája alakult ki. Ezen fajtakörök elsősorban élettani tulajdonságaikban és ökológiai igényeikben különböznek, míg külső, alaktani tulajdonságaikban kevésbé. A diótermesztés legészakibb, hidegebb vidékein alakult ki a dió kárpáti fajtakörhöz tartozó csoportja, mely csoportnak a hazánkban is elterjedt közönséges dió is a képviselője. Ez a legnagyobb területen és a legváltozatosabb éghajlati viszonyok között kialakult, ebből fakadóan a legnagyobb változatossággal és kiváló alkalmazkodással jellemezhető fajtakör (Bandi, 2015). Jellemzője a nagy téli hidegtűrés (-30 °C), a korábbi fakadási idő és az apomixisre (aszexuális szaporodás; termékeny magvak létrehozása anyai gaméták összeolvadásával) való hajlam. További fajtakörök a francia, a mandzsúriai, a perzsa és a kaliforniai fajtakör, mely utóbbi a három korábban említett fajtakör képviselőinek meghonosítása után, azok természetes és mesterséges hibridizációjából alakult ki (Szentiványi, 1976).

3.2 A diótermesztés helyzete

A világ dióültetvényeinek területe lassan növekvő tendenciát mutat, mely jelenleg 1,7 millió ha, amiről évente közel 4 millió tonna héjas diót takarítanak be (FAOSTAT, 2023). A legnagyobb diótermelő országok Kína, ezt követi az USA, Irán, Törökország és Chile (1. táblázat). Az első tízbe tartozó legnagyobb diótermelő még Burkina Faso, Mexikó, Ukrajna, Görögország és Románia. Magyarország 2022-ben 7822 hektáron 6451 tonna héjas diót termelt, mely az ország területéhez mérten lehetővé teszi nemcsak a hazai igények kielégítését, hanem az exportot is (KSH, 2023). A diótermés nagy részét ugyan intenzív ültetvényeken termeljük, de hazánkban még

mindig nagy hagyományai vannak a háztáji termelésnek is. A családok mintegy 2/3-a az udvarban vagy a nagyszülőknél álló egy-egy diófa termését hasznosítja vagy hasznosítaná.

1. táblázat A legtöbb héjas diót termelő országok termelésének alakulása 2018-2022 között, ezer tonnában kifejezve (FAOSTAT, 2023).

| | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Kína | 850,0 | 1000,0 | 1100,0 | 1100,0 | 1400,0 |
| USA | 616,0 | 594,2 | 716,7 | 657,7 | 682,2 |
| Irán | 304,0 | 321,1 | 357,0 | 387,0 | 355,0 |
| Törökország | 215,0 | 225,0 | 286,7 | 325,0 | 335,0 |
| Mexikó | 159,5 | 171,4 | 164,7 | 136,0 | 176,9 |
| Chile | 152,0 | 125,0 | 140,4 | 148,0 | 153,0 |
| Burkina Faso | 127,0 | 128,0 | 128,0 | 137,3 | 135,0 |
| Ukrajna | 127,2 | 125,9 | 113,3 | 115,4 | 107,7 |
| Görögország | 31,9 | 31,0 | 36,4 | 62,8 | 60,7 |
| Románia | 54,0 | 49,6 | 48,4 | 54,3 | 53,4 |
| Világ összesen | 2992,0 | 3113,3 | 3445,4 | 3522,7 | 3874,0 |

A hazai export döntő része a nyugati országokba irányul, az utóbbi években azonban kiszorulóban van a magyar dió az európai piacról. A klímaváltozás okozta termesztési és növényegészségügyi problémák miatt évről-évre csökkenő diótermésünk minősége is romlik. Emellett a nagy diótermelő országok olcsó árukínálata teszi versenyképtelenné a korábban koraisága miatt a külföldi piac által keresett és kedvelt termékünket. A hazai termesztés színvonala sem a leghatékonyabb, ugyanis míg a világ átlagtermése 2,3 t/ha, addig ez nálunk csak 0,8 t/ha.

Pár évtizeddel ezelőtt még viszonylag kevés szó esett a dió növényvédelméről, mára azonban ez igencsak megváltozott és a termesztés sikerességét alapvetően meghatározó tényezővé vált. A dió gazdasági jelentőséggel bíró kártevői; a nyugati dióburok-fúrólégy, az almamoly, és a rajta károsító atkák *Aceria erineae* Nalepa, 1891, *Aceria tristriata* Nalepa, 1890, *Aceria brachytarsus* Keifer, 1939, valamint a kórokozói; a dió xantomonászos betegsége (*Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis* (Pierce, 1901) Vauterin et al., 1995) és a dió gnomóniás betegsége (*Ophiognomonina leptostyla* (Fr.) Sogonov, 2008) ellen ültetvényeinkben évről évre agrotechnikai és növényvédelmi kezeléseket szükségszerű végeznünk a kiváló minőségű, a termesztők megélhetését biztosító, piacképes áru előállításának érdekében. Még nagyobb probléma, hogy az előbb említett háztáji diófákról származó termés is elvészni látszik, köszönhetően a nyugati dióburok-fúrólégy megjelenésének. Ugyanis míg a többi károsító tevékenységével ezen egyedül álló fák (extrém időjárási anomáliákkal sújtott évektől eltekintve) együtt tudtak élni és viszonylag

elfogadható kiesés mellett betakarítható, egészséges termést szolgáltatnak, addig a nyugati dióburok-fúrólégy megjelenésével a termés nagyarányban károsodott, ami a kiskerti diótermesztést visszaveti.

3.3 A nyugati dióburok-fúrólégy

3.3.1 A kártevő elterjedése

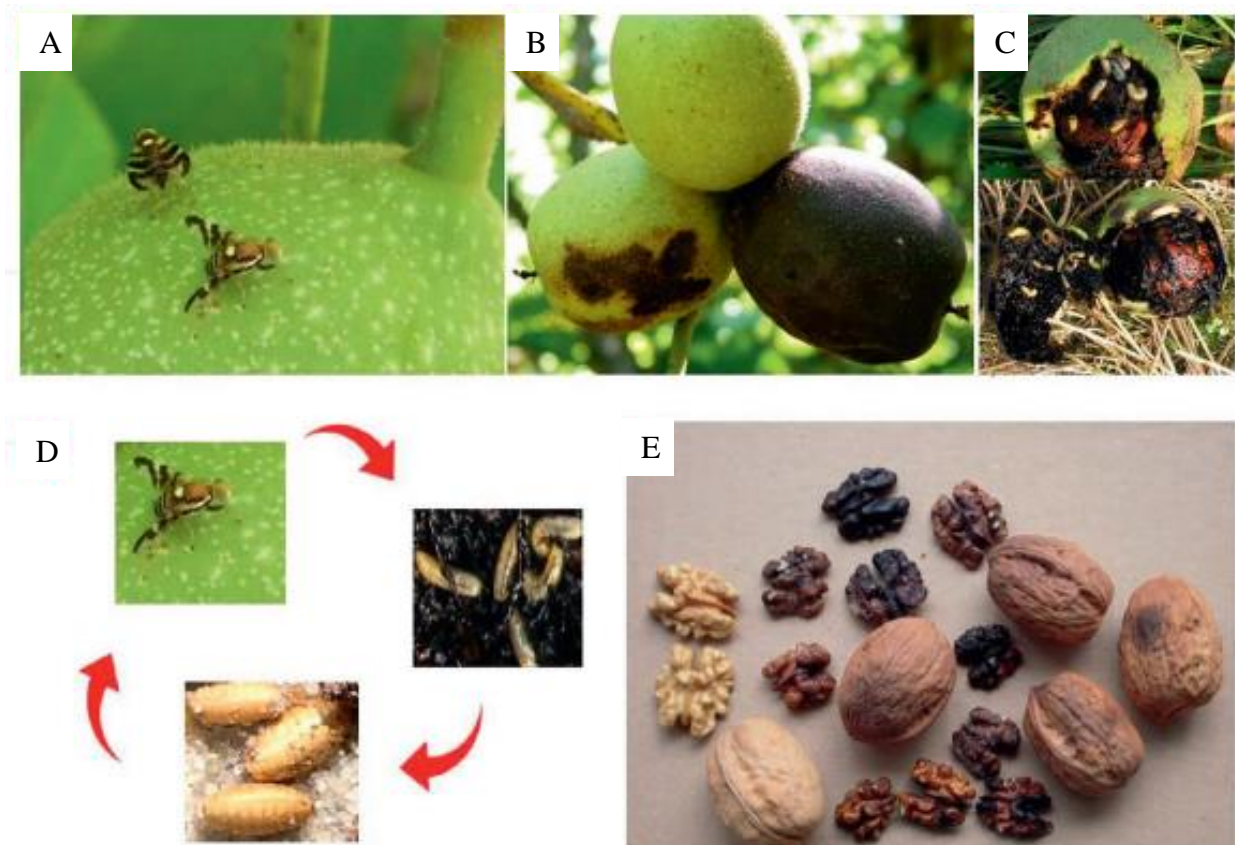
A Közép-, és Kelet-Amerikában, valamint Északkelet-Mexikóban honos nyugati dióburok-fúrólégyet Európában először Svájcban, az 1980-as évekből származó múzeumi példányok között találták meg (Merz, 1991; Smith és Bush, 2000; Chen et al., 2006). Úgy tartják, hogy mint sok más idegenhonos kártevőnk, ez is a globális kereskedelem potyautasaként érkezett az Atlanti-óceánon keresztül (Medic et al., 2022). Ültetvényben először 1991-ben, Olaszországban azonosították (Duso, 1991). Feltételezhetően innen terjedt szét a környező országokba, így nyugaton a kontinens határáig (Franciaország, Spanyolország, Németország, Ausztria, Horvátország, Szlovénia, Magyarország, Bosznia-Hercegovina) (Verheggen et al., 2017; Medic et al., 2022). Természetes ellenségeinek hiányában terjedése azóta is folyamatosan zajlik az európai régióban, és számítani kell további területek meghódítására is, ugyanis a faj még nem érte el az elterjedési területének ökológiai korlátait (Medic et al., 2022). Az elkövetkező időszakban várhatóan Európa és Ázsia összes diótermő területére megérkezik, a diótermesztésre súlyos negatív hatást gyakorolva. Jelenleg Magyarországon, ahol a nyugati határvidéken való megjelenését (Kőszeg, 2011) követően gyorsan elterjedt, napjainkra már elérte az ország keleti határát is (Oláh et al., 2017). A terjedést elősegítheti, hogy a nyugati országokhoz hasonlóan a dió hazánkban is nagyon elterjedt természetes környezetben. A kártevő a nem kezelt fákon rezervoár populációkat alkot, majd tovább terjed, illetve berepül a védelemben részesített ültetvényekbe is, ami lehetővé teszi az ismételt betelepedést, még az eredményes növényvédelmi programot folytató üzemekbe is.

3.3.2 A kártevő biológiája

A *Rhagoletis* nemzetség a kétszárnyúak (Diptera) rendjének, a rövidcsápúak (Brachycera) alrendjének, a fúrólégyek (Tephritidae) családjának tagja, amely hozzávetőlegesen 60 fajt foglal magába. A nyugati dióburok-fúrólégy, hasonlóan a már jól ismert európai cseresznyelégységhez (*Rhagoletis cerasi* L., 1758) vagy az Egyesült-Államokban éppen terjedő almalégységhez (*Rhagoletis pomonella* Walsh, 1867), a *Rhagoletis* nemzetség egyik legpusztítóbb kártevőjeként ismert.

A nyugati dióburok-fúrólégy imágók méretüket és szárnyrajzolatukat tekintve könnyen azonosíthatók szabad szemmel is (1/A. ábra). Az imágók nagyobbak a hozzá hasonlító, Magyarországon őshonos európai cseresznyelégységnél, méretük 4-7 mm, határozott

szárnyrajzolattal rendelkeznek, a szárny szélén található fordított V-alakú mintázat nem ágazik el (Verheggen et al., 2017). Táplálkozását tekintve oligofág, őshazájában több diófajon; a közönséges dión, a fekete dión (*Juglans nigra* L., 1753), a kaliforniai dión (*Juglans californica* S.Watson, 1875), a texaszi fekete dión (*Juglans microcarpa* Berl., 1850) és az észak-kaliforniai fekete dión (*Juglans hindsii* Jeps. 1923) is kifejlődik (Aluja et al., 2011; Khan et al., 2016).



1. ábra A nyugati dióburok-fürölőgy (*Rhagoletis completa*) kifejlett példányai (A), a lárvák károsításának jelei (korai: jobbra lent, kései: balra lent, nem fertőzött gyümölcs: fent) (B), a burok szövetét felélő lárvák (C), a kártevő életciklusa (D), valamint a héj és a mag károsodása (ép a bal és károsított a jobb oldalon) (E) *Medic et al., 2022 nyomán.*

Európában veszélyt elsősorban a közönséges dióra jelent, azonban a fajták között is megfigyelhető jelentős különbség a fogékonyság mértékében, amely részben a dió mezocarpiumának vastagságával, részben pedig az érési idő függvényében változik (Coates, 2004; Guillén et al., 2011). Vizsgálatok szerint egyes fajtáknál a károsítás meghaladhatja a 70%-ot, más fajtákon pedig mindössze 0,3%-os károsítást mértek azonos feltételek mellett (Shelton és Anderson, 1990). Azon fajtákon, melyek nagyobb terméseket hoznak, ezáltal puha, vastag burokkal rendelkeznek, jelentősebb lehet a fertőzés. A korán érő fajták már fejlettebb és puhább burokkal rendelkeznek az imágók tömeges rajzásakor, melyekbe így a nőtények könnyedén lerakhatják petéiket (Shelton és Anderson, 1990), míg a későn érők keményebb burokkal rendelkeznek, aminek köszönhetően a vegetáció későbbi időszakában tudja csak megtámadni a

kártevő (Shelton és Anderson, 1990). Az ilyen, nagyobb méretű termésekben fejlődő lárvák fitnessze is feltehetőleg nagyobb (Coates, 2004; Guillén et al., 2011).

Az imágók a Kárpát-medencében zömmel július elejétől szeptember végéig rajzanak. Más fűrőlégycsoportokhoz hasonlóan a hímek rajzása ennél a fajnál is előbb indul és nagyobb egyedszámú, mint a nőstényeké (Tuba et al., 2012; Tuba, 2018). Egy nemzedékes, jól repülő faj. Imágói hosszú életűek, akár 40 napig is élhetnek. Eközben mézharmattal és növényi nedvekkel táplálkoznak. A nőstények az érési táplálkozást, majd a párzást követően tojásaikat a dió zöld burkába (pericarpium) süllyeszti. A megfelelő termés kiválasztásában vizuális és kisebb mértékben olfaktorikus ingerek segítik a nőstényeket tojásrakáskor (Cirio, 1972). A tojásrakás helyén nem feltűnő, kisebb elszíneződés, illetve bemélyedés figyelhető meg az exocarpiumon (a burok legkülső rétege). Egy nőstény élete során akár 400 db tojást is rakhat (Boyce, 1934). A tojások megnyúltak, fehérek, ezekből 5-7 nap alatt kelnek ki a nyüvek. A dióban a mezocarpiumot (a zöld burok középső, húsos rétege) fogyasztva egyidejűleg több nyű is növekedhet, nagyobb egyedszám előfordulásakor akár a teljes pericarpiumot is elfogyaszthatják (Voigt és Tóth, 2013). A nyüvek növekedésével párhuzamosan egyre nagyobb, szabálytalan kiterjedésű, fekete foltok jelennek meg a dió burkán (1/B. ábra). A lárvák három lárvastádiumon keresztül (Medic et al., 2022) az időjárástól függően 3-5 hét alatt fejlődnek ki (Kenis, 2010), mialatt kétszer vedlenek (Christenson és Foote, 1960). Ekkor kb. 6-8 mm hosszúak, enyhén sárgás, piszkosfehér színűek (1/C. ábra). A kifejlett nyüvek a dió burkát elhagyva lehullnak a talaj felszínére, majd sekélyen a felszín alá húzódnak és bábóznak (1/D. ábra) (Kenis, 2010; Tuba et al., 2012). A telet a talaj felső rétegében, báb alakban vészeli át. A nyugati dióburok-fűrőlégycsoport obligát diapauza állapotban telel, ami 1-2 évig tart (Tuba, 2018).

A nyugati dióburok-fúrólégyhez nagyon hasonló tüneteket okoz a Magyarországon gyakran előforduló dióburok-gabonalégy (*Polyodaspis ruficornis* Fabricius, 1798), de a károsítás mértéke elhanyagolható, ugyanis ép, egészséges dióburokot nem képes megfertőzni. Általában a már más károsító által károsított terméseket keresik fel. Kifejlett egyedeinek repülési és nyüveinek fejlődési ideje bizonyos átfedést mutat a nyugati dióburok-fúrólégy repülési és lárvaínak fejlődési időszakával, de a két faj minden fejlődési alakja jól elkülöníthető. A dióburok-gabonalégy kifejlett lárvai csontszínűek, 3-4 mm nagyságúak, bábjai kisebbek, vörösesek, inkább orsószerűek (2. ábra), míg a nyugati dióburok-fúrólégy lárvai nagyobbak, vaskosabbak, sárgás színűek, bábjai pedig világosbarnák, hordószerűek (Bodor, 2012). További különbség, hogy a dióburok-gabonalégy lárvai nagy számban még a fán bebábozódnak és a burokkal együtt hullanak le.



2. ábra Dióburok-gabonalégy (*Polyodaspis ruficornis*) lárva és bábok (saját fotó, Budapest, 2019).

3.3.3 Kártételének megítélése és megakadályozása

Egyes vizsgálatok szerint a dióburok már két lárva kártétele esetén is képes az egész felületre kiterjedően károsodni (Coates, 2004; Tuba et al., 2012). A kártétel következtében később a dió csonthéján is sötét foltokat lehet megfigyelni (Tuba et al., 2012), illetve a dióbél (mag) ráncos, töppedt és avas jellegű lehet, továbbá másodlagos, szaprofita kórokozók is megjelenhetnek a felületén (1/E. ábra) (Coates, 2004). A károsított dió idő előtti hullásával is számolhatunk, valamint a termések tömege, olaj- és fehérjetartalma is nagymértékben csökkenhet (Solar et al., 2019). Baric és munkatársai (2015) a mikotoxin tartalmat is vizsgálat alá vonták, melyben azonban nem találtak szignifikáns különbséget az ép és a károsított termések között. Kasana és Aliniazee (1995) a nyugati dióburok-fúróléggel fertőzött termések tömegvesztésére irányuló kutatása során kapott eredményeik egyértelműen a károsított termések kisebb tömegét mutatták, de az egyes a fajták között is komoly eltérések mutatkoztak. A legnagyobb mértékű csökkenést a 'Vina' fajtánál tapasztalták, ahol ez több mint 20%-os volt.

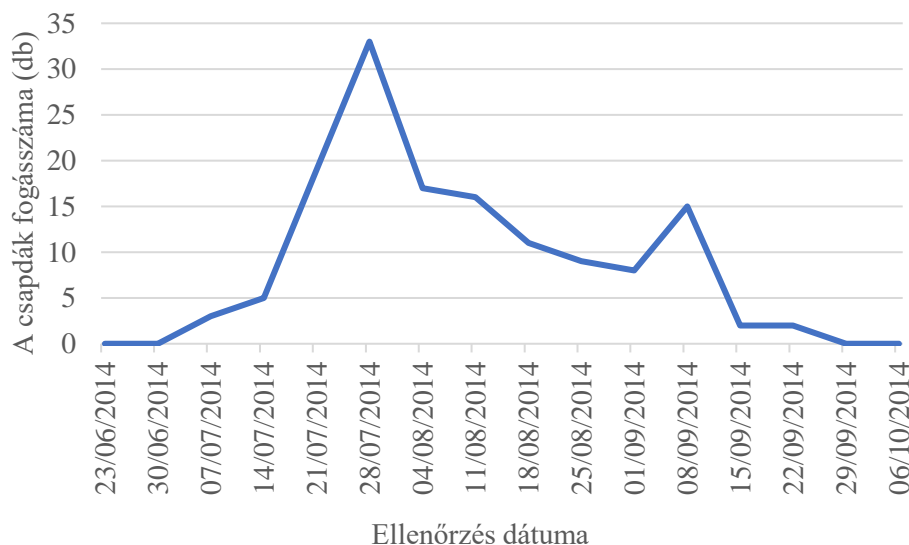
A nyugati dióburok-fúrólégy károsításának jól észlelhető tünete, hogy a termések sokszor a burokkal együtt hullanak le, ellentétben a nem károsított termésekkel, ahol a felrepedt burok többnyire tovább marad a fán és csak a héjas termés esik le (Kenis, 2010; Tuba, 2018). A legnagyobb probléma a termesztők számára, hogy a piacossági mutatókat (foltos héj, sötétebb színű dióbél) is kedvezőtlenül érinti a károsítás. A termés betakarítását és az azt követő tisztítási kezelését is drágítja a károsított dió csonthéjára tapadt, a betakarításkori időjárástól függően rothadó, vagy éppen rászáradt fekete burok (Ohlendorf, 2000; Duso és Dal Lago, 2006). A kezeletlen ültetvényekben a kártétel elérheti a 74-91%-ot (3. ábra), amely 50-80 %-os profitvesztéshez eredményezhet az üzemeknek (Duso és Lago 2006; Aluja et al., 2011; Voigt és Tóth 2013).



3. ábra Egy védelem nélkül hagyott ültetvényből származó tétel (saját fotó, Lovasberény, 2019).

Ezen kártevő elleni védekezés nehéz feladat melyet több tényező együttesen alakít ki (Medic et al., 2022). A lárvák a dió zöld burkában fejlődnek, ahol növényvédő szerrel már nem érhetők el. Az imágók hosszú ideig rajzanak, amely időszak alatt folyamatos a tojásrakás, így az ellenük való preventív védekezésnek is folyamatosnak kell lennie, mely a gyakorlott szakemberektől is komoly felkészültséget igényel. A legyek aktivitását sárga ragacs lap és táplálkozási attraktáns kombinált használatával lehet eredményesen szignalizálni (Tóth et al., 2021). A kártevő rajzása alatt időjárástól függően folyamatos védelmet igényelnek az ültetvények, melyet többszöri állománypermetezéssel lehet elérni (Nickel és Wong, 1966). Ez normál évjáratban időjárástól függően 3-5 db kezelést jelent, a még a tojásrakás előtt álló rajzó imágók ellen irányítva. A védekezések sikerét a kártevő hosszú rajzási időszaka mellett (4. ábra), a dióültetvények fizikai megjelenése is korlátozza. Ebből kifolyólag nagyobb ültetvények esetében alkalmazott és bevált módszer a légi védekezés is. Mind a hagyományos helikopteres, mind az újabban terjedő drónos technikák eredményesen használhatóak (Kalmár és Bujdosó, 2023). A védekezés ültetvény szinten az Egyesült Államokban őshonos létéből adódóan megoldott (Nickel és Wong, 1966; Hislop et al., 1981). Hazánkban leginkább az újdonsága, illetve a diótermesztés közgazdasági viszonyait átalakító hatása adott okot aggodalomra. Az elmúlt évek tapasztalatai alapján azonban mára a hazai termelők is sikeresen alkalmazkodtak és felkészültek az ültetvények védelmére. Új technikák, mint például a csalétkes védekezés is segítik a termelőket a hatékonyabb és fenntarthatóbb gazdálkodásban (Nomoto et al., 2009; Verhaeghe et al., 2009; Van Steenwyk et al., 2019), melynek felhasználása 2021-ben

hazánkban is engedélyt kapott hatásfokozó segédanyagként, Combi-protec® néven (Nébih, 2024).



4. ábra A nyugati dióburok-fürőlég (Rhagoletis completa) rajzásmenete Kőszegen, 2014-ben Tuba, 2018 nyomán.

3.4 A törzsinjektálás

3.4.1 A törzsinjektálási technológia fejlődése

A törzsinjektálás története egészen 1158-ig vezethető vissza, amikor is Hadje de Granada gazdálkodó, egyfajta injektálós módszerrel juttatott különböző anyagokat a növények gyökereibe és a hajtásaiba, amely különleges illatokat és egyéb előnyös tulajdonságokat biztosított a virágoknak, valamint az érő gyümölcsöknek (Roach, 1939; Perry et al., 1991; Li és Nangong, 2022). Elsődleges célja a növények gyógyászati tulajdonságainak javítása volt. Később Leonardo da Vinci figyelmét is felkeltette a fainjektálás, amikor az almafájába juttatott arzénal próbálta annak termését eltulajdonítót elriasztani (Costonis, 1981). Ezt követően az 1700-as évek elején Hales kámfor injektálásával figyelte meg, hogy a jellegzetes szagú szublimátum mikor éri el a rügyeket (Bálint, 2022). A legkorábbi tényleges fainjektálási kísérleteket, melyek a növény védelmét, ellenálló képességének támogatását szolgálták, azonban csak a 20. század elején rögzítették (Jones és Gregory, 1971). Az 1970-es évektől a szilfavész betegség (*Ophiostoma ulmi* (Buisman) Nannfeldt, 1934, *Ophiostoma novo-ulmi* Brasier, 1991) nagymértékben hozzájárult a törzsinjektálás elterjedéséhez, ugyanis a hagyományos permetezés hatástalan volt a betegséggel szemben (Jones és Gregory, 1971). A fainjektálást rovarirtásra az 1990-es évektől kezdték gyakrabban alkalmazni. Az injektálás elterjedéséhez az invazív fajok nagyszámú megjelenése, és ezzel a klímaváltozás is nagymértékben hozzájárult (Doccola és Wild, 2012). A növényvédelem által gyakran használt módszerként elsősorban az Amerikai Egyesült Államokban terjedt el, ebből

kifolyólag a legtöbb szolgáltatás, a kereskedelemben kapható készítmény és eszköz is itt található meg (Doccoła és Wild, 2012). Napjainkban a törzsinjektálást elsősorban növényvédelmi célból vagy fairtási célra, másodsorban tápanyagutánpótlásra, valamint termés mennyiség szabályozásra használják.

Az endoterápiát, mint növényvédelmi technikát legáltalánosabban a közterületeken alkalmazzák (Shang et al., 2024). Ennek okai egyrészt a korábban említett környezet és egészségvédelem, míg másik oka a kezelés nagyobb egyszeri kivitelezési költsége (Berger és Laurent, 2019). A legszemléletesebb és igen sikeres példája a vadgesztenye (*Aesculus hippocastanum* L., 1753) fáink védelme a vadgesztenye aknázómoly (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimić, 1986) ellen, mely több évig tartó védelmet biztosít (Ferracini és Alma, 2008). Az injektálásos növényvédelmi technológia nagyüzemi termesztésben való felhasználásának lehetőségét is leginkább az Amerikai Egyesült Államokban kutatják (Percival és Boyle, 2005), ahol a legfrissebb publikációk is születtek (McCullough et al., 2019; Archer és Albrecht, 2023). Az utóbbi években azonban egyre több kutatás és publikáció jelenik meg Európában is, elsősorban olyan károsítók ellen, melyek újnak számítanak az adott régióban és hirtelen nagy károk okozására képesek (Romero et al., 2019; Maso et al., 2021).

3.4.2 Típusai

A törzsinjektálásra sokféle módszer ismert (Li és Nangong, 2022), abban azonban hasonlóak, hogy általában a vízszállító rendszert (xilém), ritkábban a floémet, illetve néhány esetben a kambiumot célozzák meg, majd az oda bejuttatott hatóanyag ezen edényrendszerek segítségével (*in planta*) jut el a hatáskifejtés helyére (Prasad és Travnick, 1973; Doccoła és Wild, 2012). Az injektálási módszer alapvető jelentőségű, mivel ez befolyásolja a két fő funkcionális folyamatot: a függőleges felvételt és radiális diffúziót,



5. ábra Aktív injektáló készülék Albrecht, 2022 nyomán.

miután oldatot fecskendezünk a törzsbe (Ferreira et al., 2023). A szállítás és annak sebessége ebből kifolyólag meghatározó ezen technológiák hatásfokára nézve. Az egyes technológiák között általánosságban a nyomás megléte (aktív vagy passzív), illetve annak nagysága, az egyszerre bejuttatható folyadék mennyisége és az előzetes furatkialakítás szükségessége, valamint annak mérete alapján lehet különbséget tenni (2. táblázat) (Archer et al., 2022; Li és Nangong 2022). Az aktív módon injektáló eszközök (5. ábra) általában 0,4-7,6 bar közötti nyomást használnak, és két kategóriába sorolhatók, mint nagy és kis

nyomású készülékek. A nagy nyomású készülékek nehezebb körülmények (rosszul injektálható faj, felhős idő stb.) is alkalmazhatóak, de ennek a technológiának az egyik hátránya a buborékképződés lehetősége (embólia), amely repedést okozhat a kéregben és a törzsben, ezzel nemkívánt mellékhatásokat kiváltva (Ferreira et al., 2023).

A passzív befecskendező eszközök (6. ábra) a xilémekben a nedváramlás felfelé irányuló mozgása által generált negatív nyomásra támaszkodnak, ezért ezeket gyakran infúzióként említik (Montecchio, 2013). Az injektálás teljes folyamatához általában hosszabb időt igényelnek, de nem okoznak buborékképződést és így kéregleválást sem.

A fatörzsbe való behatolás történhet perforált injektáló tűn, pengén keresztül, melynek előnye, hogy nem igényel előzetes fűrást, így az eltávolítása utáni sebzáródás gyorsabb folyamat. Hátránya viszont a kisebb injektálható térfogat és a hosszabb időigény. A használatához speciális beütő szerkezetre van szükség. A behatolás másik módja az előre kifűrt lyukon keresztüli készülék csatlakoztatás, amely sokkal



6. ábra Passzív infúziós rendszerű eszköz Albrecht, 2022 nyomán.

elterjedtebb. Ennek hátránya, hogy az injektálás a szövetek lokális roncsolásához vezet, ezért az azzal járó sebek képződése jóval nagyobb jelentőségű, ebből adódóan hosszabb időre van szükség a regenerálódásához (Docola et al., 2011; Montecchio, 2013). Mikroinjektálásról beszélünk, ha a furat átmérője és mélyége nem haladja meg az 5, illetve a 19 mm-t, valamint az egy ponton bejuttatott folyadék maximális mennyisége 15 ml. Makroinjektálásnak nevezzük, ha a furat átmérője és mélyége legalább 9, illetve 25 mm, valamint 15 ml-nél több folyadék jut be egy ponton keresztül (Ferreira et al., 2023).

Létezik ezen kívül egy ugyan nem injektálásnak nevezett, de hasonló elvek alapján használt úgynevezett törzskenés (vagy törzspertmet) eljárás, mely során a kívánt permetszert a fatörzs alapi részénél magára a kéregre viszik fel (2. táblázat; Pentra-Bark, Invazív). Innen a segédanyagokkal támogatott hatóanyagok előbb a kérgen kell átjutnia, majd hasonlóan az injektáláshoz, a vízszállító rendszer transzport folyamataival jut el a lombkoronába (Cowles, 2010; McCullough et al., 2011). Ez a technológia azért vonzó megoldás, mert gyors, nem sérti meg a fát, nincs szükség légfűvós permetezőkre és nem igényel semmilyen különleges felszerelést sem. Hasonlóan csökkenteni a permetezés elsodródásának és kimosódásának kockázatát és a növényvédő szer érintkezése a talajjal minimálisra csökkenthető (Cowles, 2010; McCullough et al., 2019).

2. táblázat Az injektálás típusai és a kereskedelemben megtalálható készülékek összefoglalása. Saját gyűjtés (az egyes készülékek elnevezése, a kereskedelemben fellelhető módon szerepel).

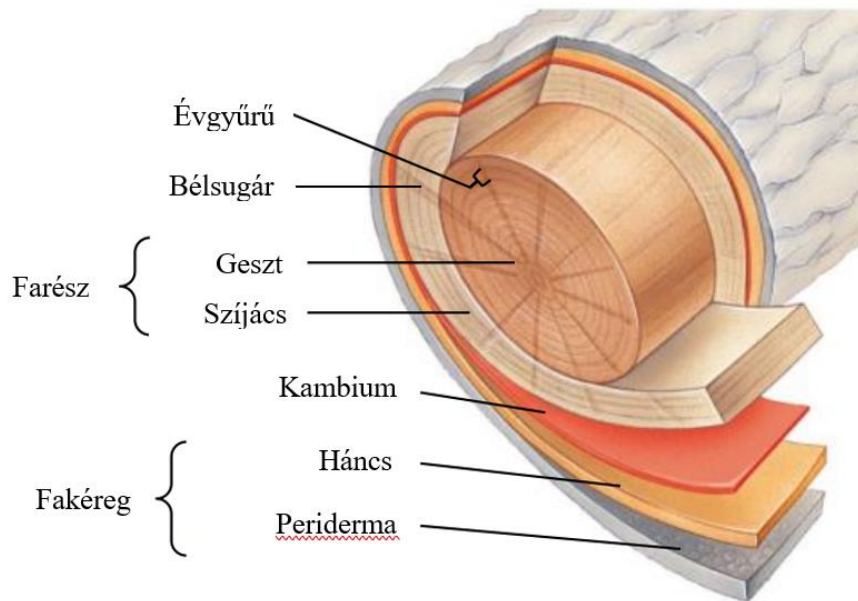
| Előzetes furatkialakítás szükséges | | |
|--|--|---|
| Aktív rendszerek | | Passzív rendszerek |
| Nagy nyomású (>6,8 bar) készülékek | Kis nyomású készülékek | Nyomás nélküli készülékek |
| <ul style="list-style-type: none"> • Chemjet Tree Injector (Chemjet, Ausztrália) • Mauget Smart Shot (Mauget, USA) • Mauget Tree Injection Capsules (Mauget, USA) • Manual Macro-Infusion (Rainbow Treecare, USA) • EcoJect System (BioForest, Kanada) • Tree IV Micro-infusion System és Viper Micro-infusion System (Arborjet Inc., USA) • Mikroinjectors (Tree Tech, USA) • Syngenta Tree Care és Syngenta Tree Micro-Injection (TMI) System (Syngenta) | <ul style="list-style-type: none"> • Quick-Jet Micro és Quik-Jet Air (Arborjet Inc., USA) • ENDOplant (ENDOterapia Vegetal, Spanyolország) • Q-Connect (Rainbow Ecoscience, USA) • Sidewinder Tree Injector (The Australian Made, Ausztrália) • Ynject GO (Fertinyect, Spanyolország) • Treenject (GreenUnit Kft., Magyarország) | <ul style="list-style-type: none"> • Hypo-Hatchet (Hack-N-squirt) tree injectors (Forestry Suppliers, Inc.) |
| Furatkialakítás nélküli rendszerek | | |
| Aktív rendszerek | Passzív rendszerek | |
| Kis nyomású készülékek | Nyomás nélküli készülékek | Törzskénés és segédanyagai |
| <ul style="list-style-type: none"> • Wedgle Direct-Injection System (ArborSystems, USA) • Bite-Blade for Infusion of Trees (University of Padova, Italy) | <ul style="list-style-type: none"> • EZ Ject Lance (ArborSystems, USA) • BITE Tree Infusion (Sorbus, UK) | <ul style="list-style-type: none"> • Pentra-Bark (Quest Products Corp., USA) • Invazív (Chemark Zrt., Magyarország) |

Ezen technikának az injektálással szembeni legnagyobb előnye, hogy míg az injektálás a törzs kisebb-nagyobb sérülésével jár, addig itt semmilyen invazív behatás nem keletkezik az élő szöveteket tekintve. Hátránya ugyanakkor, hogy még inkább függ a kezelni kívánt fajtól, a hatóanyagtól és annak segédanyagaitól, illetve a környezet általi degradációtól (Cowles, 2010; Horner, 2018; Coley, 2020; Albrecht és Archer, 2021). A törzskenesés technológia legfontosabb tényezője a jól megválasztott segédanyag, mely a hatóanyag kérgen keresztüli transzportját elősegíti (McCullough et al., 2011).

3.4.3 Az alkalmazhatóság növényfiziológiai háttere

A növényekben a víz a gyökérből a hajtásba a vízmozgással szembeni legkisebb ellenállást jelentő xilém elemekben áramlik. Az aktív farész (szíjács, a xilém külső része) a fatörzs azon része, amit az alapi résznél bejuttatott anyagok szállítására és elosztására felhasználnak. A szállításban általában a legfrissebben kialakult (illetve fajtól függően 2-3 korábbi) évgyűrű a legaktívabb, de akár 10 évig is funkcionálhatnak (7. ábra). A farész felépítése alapján különbséget teszünk az örökzöldek és a lombhullató fák között. Örökzöldeknél tracheidák és gyanta csatornák alkotják az aktív farészt, míg a lombhullató fák esetében a tracheák (faedények) hosszúra nyúlt sejtek egyesüléseként, komplett vízszállító csöveket alkotnak. A tracheák és a tracheidák anatómiája biztosítja a nagy mennyiségű víz gyors mozgását. Főként a zárwatermőknél található tracheák, lényegében elhalt sejtekből kialakuló kapillárisok, melyeknek harántfalai perforálódtak. Oldalaikon gödörkés megvastagodások vannak. Ezek azok a mikroszkópikus régiók, ahol a két egymás mellett lévő xilém elem kapcsolatban van egymással és ezzel oldalirányú anyagmozgást tesz lehetővé (Láng, 1998).

A xilém a tracheákon kívül parenchima sejteket és farostsejteket tartalmaz. A fa parenchimasejtek a xilém élő plazmatartalmú elemei, a tápanyagok szállításában és raktározásában vállalnak szerepet. Két típust különíthetünk el, az axiális parenchimat, amik a hossz tengellyel párhuzamosan álló sejtekből állnak és a hossz tengelyre radiálisan (merőlegesen) fekvő parenchima sejteket melyek a bélsugarat alkotják. Szerepük a radiális anyagmozgás biztosítása a szomszédos faelemek és a háncsrész felé. A kétféle típusú parenchima sejtek egymással kapcsolatban állnak. A farostok megnyúlt, vastag falú, szűk üregű, elhalt, kihegyezett végű szilárdító elemek, tápanyagszállítást nem végeznek.

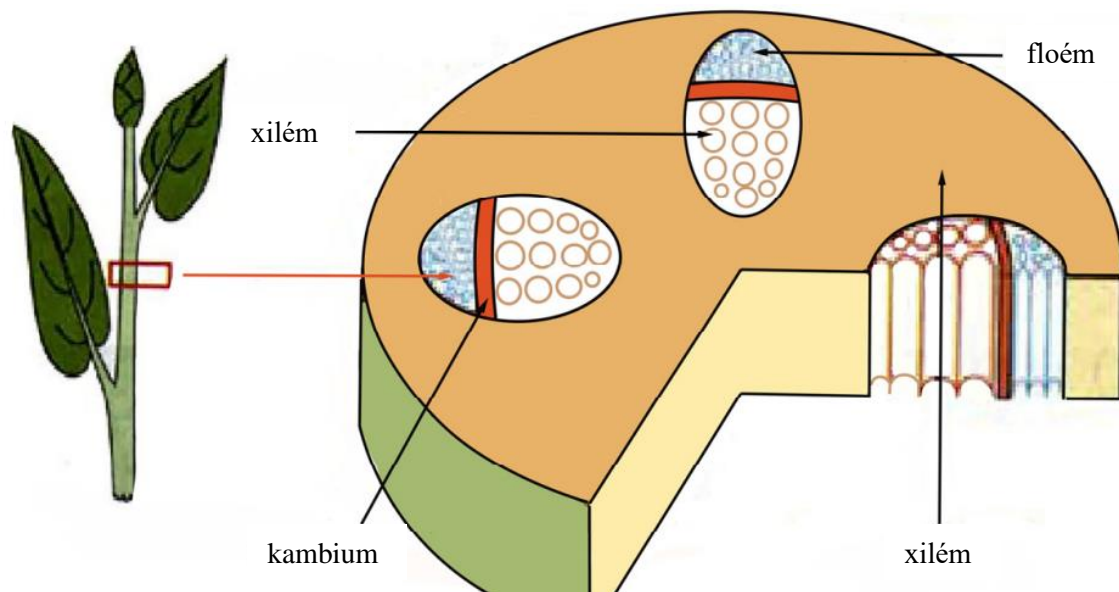


7. ábra A fatörzs szerkezeti felépítése *Vizkievicz, 2018 nyomán.*

A fatest szöveti szerkezete szerint a lombhullató fák zöme két csoportra tagolódik: gyűrűs és diffúz (szórt) likacsú fák. Megkülönböztetésük alapja az adott évgyűrűben lévő tracheák elhelyezkedése. A közönséges dió a szórtlikacsú csoportba tartozik, a tracheák átmérője kifejezetten nagy (20-500 μm), az egyes tracheatagok átlagos hossza 100-600 μm , a tracheák keresztmetszete szabályos kört formáz, magányosak vagy ikerpólust alkotnak (Láng, 1998). Ebből adódóan a viszonylag könnyen és jól injektálható fajok közé tartozik (Gutermuth, 2017). Az egyes fafajok túlnyomásos injektálhatóságuk alapján öt csoportba sorolhatók (Gutermuth 2017). A főbb csoportok a következők: teljesen injektálhatatlan, alig injektálható, nehezen injektálható, injektálható (30-60 sec.) és könnyen injektálható (<30 sec.).

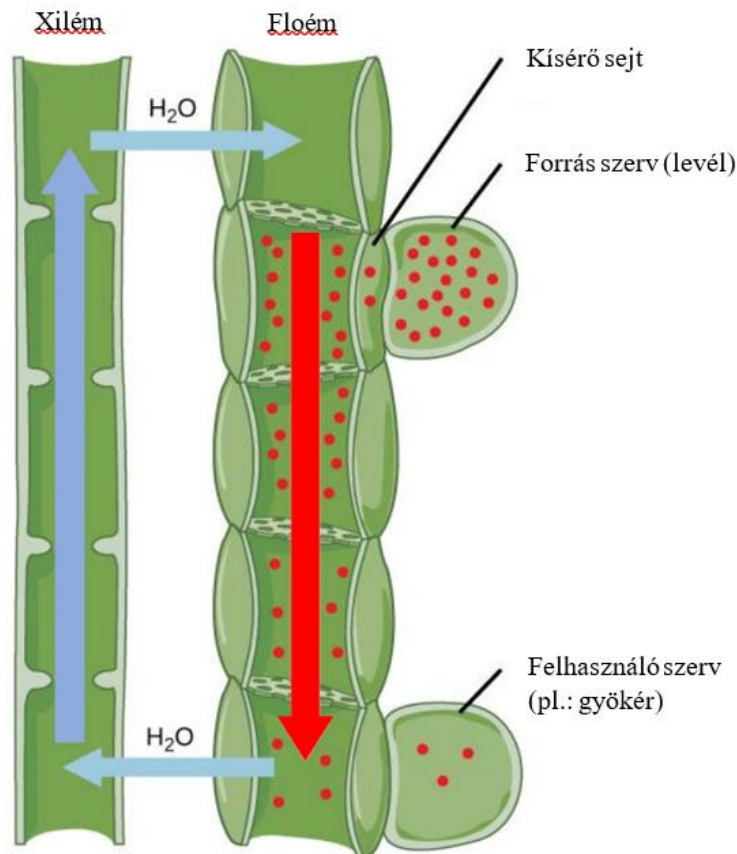
A xilém a növények vízszállító szöve, mely leginkább élettelen szövetekből (cellulózból, ligninből és más anyagokból) áll és amelyek csőszerű rendszert alkotnak (8. ábra). A cellulóz és hemicellulóz glükóz-molekulákból ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$) álló szerves polimer hosszú láncokba kapcsolva, mely a növényi sejtfal alkotórésze (Heukelekian és Waksman, 1925; Raven et al., 1981). A lignin összetett szerves polimer, amely a fa mechanikai (statikai) megerősítésére szolgál. A pektin szintén a sejtfal összetevője, galakturonsavat tartalmazó poliszacharid. Érett állapotban a xilém protoplasztja elpusztul, és csak a sejtfal marad vissza, ezen keresztül vezeti a vizet. Ez az edényrendszer egyszerre működik folyamatos és kiterjedt vezető és adszorpciós szerkezetként (Docola és Wild, 2012). A xilém vizet és tápanyagokat szállít a gyökerektől a fa többi része felé. A beinjektált anyagok eloszlanak és radiális mintázatban szétterülnek a xilémen keresztül – viszonylag homogén módon – mire eléri a lombkoronát (Shang et al., 2024). Ezt az oldalirányú mozgást, ami lehetővé teszi az ásványi oldat és ennél fogva a beinjektált vegyületek fokozatos terjedését a geszt belső részei felé is, elősegíti a xilém vékonyfalú sejtjeinek aktív transzportja és

a sejtfalakon keresztüli diffúzió (Shang et al., 2024). Ugyanakkor a xilém adszorpciós felületként is működik olyan komponensek számára, melyek a cellulóz- és ligninszálak funkciós csoportjaihoz másodlagos kölcsönhatásokkal kapcsolódni képesek. Ezek a kölcsönhatás típusok alapvetően befolyásolják egy transzlokálódó molekula sorsát (Berger és Laurent, 2019). Ezen ismereteken alapulva a korai kísérletek a törzsinjektálást nem meglepő módon elsősorban a xilémekben lakó és károsító gombák, a fatestet felélő rovarok, illetve a leveleket rágó és szűrő-szívó rovarok megfékezésére használták (Jones és Gregory, 1971).



8. ábra A kétszikű növények szárának sematikus keresztmetszeti és longitudinális ábrázolása Shang et al., 2024 nyomán.

A törzs szállítószövetéből a xilém foglalja el a legtöbbet, a floém csupán egy vékony réteget alkot, mely a belső kéregben található szövet (8. ábra). A növényi xilémekben megvalósuló felfelé irányuló – a gravitációval szemben – mozgásnak (9. ábra) magyarázatára a Dixon és Joly által 1894-ben javasolt, kohézió-feszültség-adhézió elmélet a legelfogadottabb modell (Berger és Laurent, 2019). Kísérleti kutatások során fedezték fel, hogy a növényen belüli víz a transzspiráció, a gyökérfeszítés, illetve a kohézió és a feszültség kölcsönhatása révén képes mozgást végezni a gyökerektől a párologtatást végző levelek irányába (Shang et al., 2024).



9. ábra A szállítószövetekben megvalósuló transzport vázlata a *Georgia Tech Biological Sciences*, 2024 (organismalbio.biosci.gatech.edu) nyomán.

Az elmélet alapján a vízmolekulák a növényi szállítórendszeren belül egy teoretikus láncot alkotnak, amely a gyökérrendszertől egészen a párologtató levelekig tart, így kialakítva a vízszállítási útvonalat, mely útvonal a kohézió és a feszültség közötti kölcsönhatások eredményeképp jön létre. A kohézió a vízmolekulák közötti kölcsönös vonzásra utal (H-híd), lehetővé téve számukra, hogy folytonos láncszerű szerkezetet alkossanak. A feszültség ezzel szemben a vízmolekula lánc végére ható húzóerőre utal. Ez a feszültség abból adódik, hogy a vízmolekula lánc vége levegőnek kitett, ahol a vízmolekulák előfordulása viszonylag ritka. Ennek eredményeként a vízmolekula lánc húzóerőt tapasztal. Ez a húzóerő arra készíti a vízmolekula láncot, hogy felfelé terjedjen, és végül vízszállítási útvonalat képez a gyökerektől a levelekig. Az adhézió, mely különböző molekulák között fellépő vonzódás – esetünkben a xilém elemek fala és a víz között – következménye a kapilláris hatás, mely a folyadékok azon tulajdonsága, hogy kellően szűk, keskeny térben – jelen esetben az edénnyalábokban – a nehézségi erő ellenében is képesek mozogni. A gyökérmomás a gyökerek ozmózis útján felvett víz növekvő mennyiségéből adódó pozitív nyomás, mely szintén segíti a szállítórendszerben lévő folyadékok felszín felé történő elmozdulását.

A növények a talajból vizet és tápanyagokat vesznek fel, amelyek azután sejtközi lépésekkel az érkötegbe költöznek. A hidraulikus vezetőképesség elmélete szerint, ezeknek az anyagoknak a mozgását a növényen belül két erő szabályozza: a gyökérszívás, amely a gyökérben keletkezik, és a párszívás, amely a levelek párologtatásával jön létre, negatív nyomású régiót hozva létre a levelek és a levegő között (Koehler et al., 2023). Ez a negatív nyomású régió a víz mozgását a sejtekben a levelek felé hajtja, ami a víz felfelé irányuló szállítását eredményezi az edényrendszerben, és ezzel egyidejűleg az ott jelenlévő egyéb anyagok szállítását is. A transzpiráció és annak mértéke tehát meghatározó jelentőségű az injektált vegyületek transzlokációjának határfokára nézve.

A floém élő szövet, amely cukrok és egyéb szerves anyagok szállításáért felelős. A floém transzport a forrásszövetekből – az általában fotoszintetikusán aktív levelektől – történik, azon részek, szövetek felé, ahol cukrokra van szükség, mint a gyökerek vagy a fejlődő gyümölcsök (9. ábra). A floémekben megvalósuló anyagáramlás iránya változhat is: a raktározó szerv lehet forrás (télen) és felhasználó (nyáron) is. Az itt végbemenő tömegáramlást a Münch-hipotézissel magyarázhatjuk, amely kifejti, hogy a szerves anyag áramlását a növényekben maga a növény által generált nyomásgradiens hajtja (Turgeon, 2010). Ezek alapján a cukor (főleg szacharóz) a termelés helyén (asszimiláló parenchimasejt) nagy koncentrációban van jelen, majd a létrejött koncentráció-gradiensnek megfelelően – szimplasztikusán vagy apoplasztikusán – áramlik a floém felé. A szimplaszt a növényi sejtek protoplasztjai között a sejtfalakon áthaladó citoplazmatikus kapcsolatokkal – plazmodezmák által – létrejött egységes rendszert jelöli, míg az apoplaszt a plazmamembránnal határolt protoplasztokon kívüli struktúrák együttese. A szállított cukor a forráshoz közeli rostacsövekbe aktív transzporttal jut be. A cukor transzportját a víz passzív transzporton keresztül követi (a xilémből is), mely víz beáramlása növeli a turgornyomást. Ez a pozitív hidrosztatikai nyomás mozgatja a floém-nedvet a forrástól a felhasználóig, ahol ismét aktív transzporttal kerül ki a rostacsövekből a felhasználás helyére, majd a szállításban szerepet játszó víz is visszakerül a xilémbé.

Közvetlenül a floémbe ugyan csak kisebb mennyiségű folyadék injektálására van lehetőség, de a gyökereket támadó károsítók megfékezésében szerepe kiemelkedő (Shearer és Fairman, 2007; Romero et al., 2019).

3.4.4 A törzsinjektálás gyakorlati alkalmazása

A törzsinjektálás viszonylag lassan terjedő technológia, mivel alkalmazásához számos alapvető kérdést kell megválaszolni, amihez kísérletes kutatómunkára és technológiai fejlesztésre van szükség. A fa faja, a farész szöveti felépítése, a fa mérete, egészségi állapota, az injektáláskori időjárás és napszak, a hatóanyag és a kisserelt készítmény fizikai-kémiai tulajdonságai, illetve az

injektálási módszer mind befolyásolhatja a biológiai hatást (Zamora és Escobar, 2000; Doccola és Wild, 2012). Másrészt a növényvédő szer engedélyezési eljárás sem igazodik e technológiához, igaz az utóbbi években ez egyre inkább a figyelem középpontjába került.

Általános megállapításként elmondható, hogy törzsinjektálást akkor lehet a leghatékonyabban végezni, amikor a fák párologtatnak (Roach, 1939). A párologtatás számos tényezőtől függ; a talaj nedvességétől, a talaj és a környezeti hőmérséklettől, a relatív páratartalomtól, ennél fogva a napszaktól, valamint a növényi fenofázistól. A körülmények akkor tekinthetők injektálásra optimálisnak, ha a talaj nedves, de nem átázott, hőmérséklete 7°C felett van. A napszakot tekintve délután 2-4 óra közötti időszak a legalkalmasabb, amikor a legnagyobb a növényi transzspiráció.

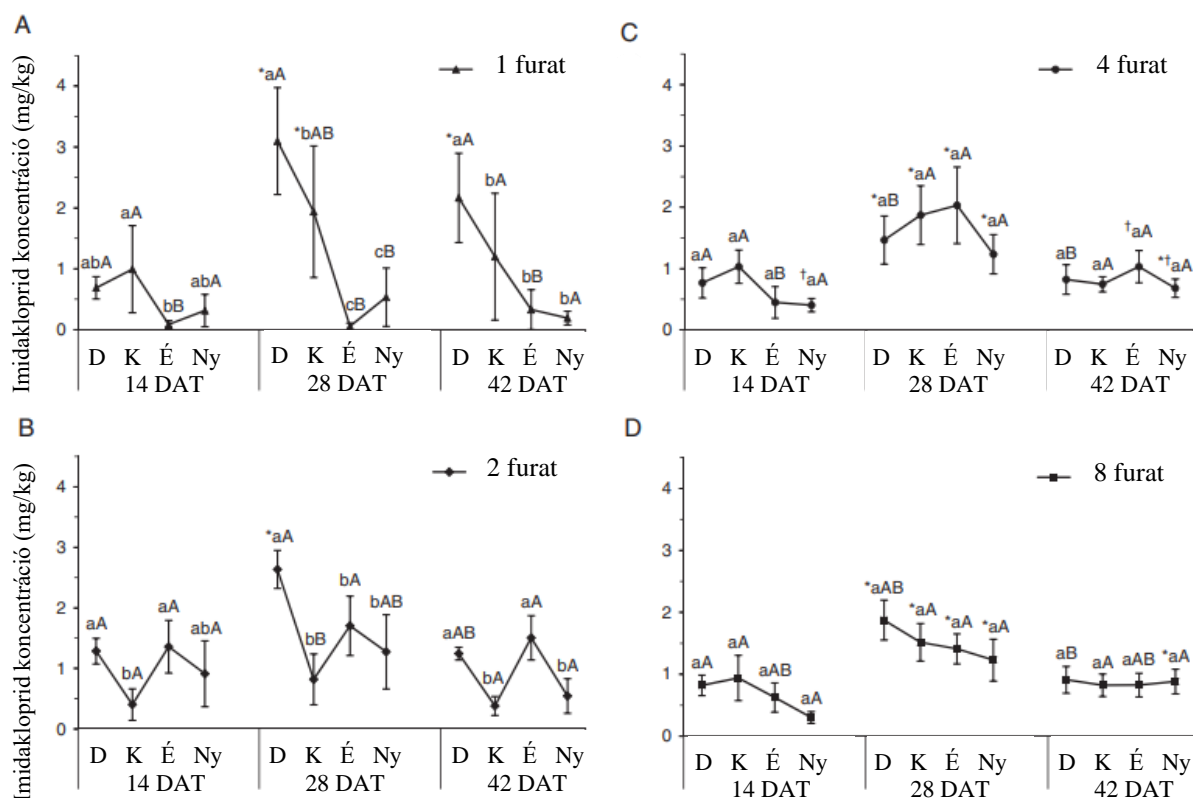
A növényi fenofázis hatása abban mutatkozik meg, hogy általában lombfakadás idején az oldott anyagok terjedése a növényben egyenletesebb és gyorsabb, mint nyár végén vagy nyugalmi állapotban, ami a párologtatás miatti negatív xilém nyomással (negatív vízpotenciál) is magyarázható (Ferreira et al., 2023).

Seyahoei és munkatársai (2019) eredményei a törzsinjektálás kiváló hatékonyságát jelezte a mangón (*Mangifera indica* L., 1753) károsító kabóca (*Idioscopus clypealis* Lethierry, 1889) visszaszorításában, ami megegyezett a Arbabtafti és munkatársainak (2014) korábbi megfigyelésével. A törzsinjektálást kedvezően ítélték meg, ugyanis kevesebb mellékhatást dokumentáltak a természetes ellenségekre, mint a lombpermetezés alkalmával, mivel azokkal kevesebb közvetlen érintkezési lehetőség állt fenn. Emellett a növényvédelmi hatás kialakulásának kisebb késéséről is beszámoltak. A növényvédő szernek több időre volt szüksége transzlokációhoz. Javaslatuk alapján az injektálásos vagy talajbeöntözéses módszerrel a peszticideket korábban kell kijuttatni, mint a lombpermetezés esetén (Seyahoei et al., 2019).

A dozírozást a fa törzsének 130 cm-es magasságban mért (DBH) átmérőjéhez igazítva ajánlják a gyártók, amely megegyezik a legtöbb szakirodalmi forrásban fellelhető ajánlással (Fishel, 2018; Wang et al., 2020). A hatóanyag szabálytalan eloszlása a lombkoronán belül Maso és munkatársai (2019) kísérleteiben azt az anomáliát okozta, hogy a hatékonyság az injektálás irányával változott. Azaz a fa injektálási pontjával ellentétes oldali részén lévő lombkoronában kisebb hatékonyságot mértek, a *Geosmithia morbida* (M.Kolařík et al., 2010) kórokozó és annak vektora, a *Pityophthorus juglandis* (Blackman, 1928) ellen végzett törzsinjektálás alkalmával, amely rámutat a többpontos injektálás fontosságára, mely homogénebb mintázata lévén eredményesebb.

Acimovic (2014) a homogenitás felmérését szolgáló terepi vizsgálatban, a teljes 20 ml-es IMA-jet (imidakloprid tartalmú, injektálásra formulált növényvédő szer) egyenlően osztotta el a furatok között, így minden fa ugyanazt a mennyiséget kapta. 20 ml IMA-jet-et (1 g hatóanyag)

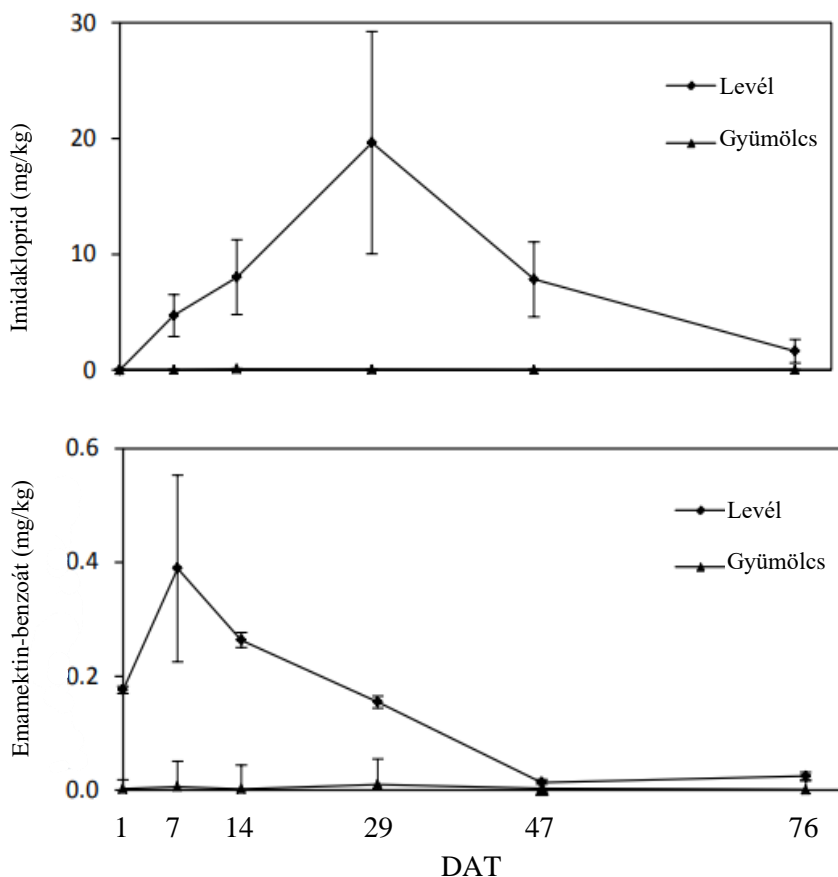
fecskendezett egy furatba, majd ehhez hasonlóan 10 ml IMA-jet-et (0,5 g hatóanyag) két furat esetén, 5 ml IMA-jet-et (0,25 g hatóanyag) négy furat esetén és 2,5 ml IMA-jet-et (0,125 g hatóanyag) nyolc furat esetén. A furatok számának növelése az imidakloprid egyenletesebb térbeli eloszlását biztosította az almafa lombkoronájában. A 10. ábrán láthatóan négy injektálási pont elegendő volt az egyenletes eloszlás biztosításához, és annak egyenletességét több furat alkalmazása sem javította tovább.



10. ábra Az imidakloprid időbeli és térbeli eloszlása az almafák (*Malus domestica*) koronájában a négy fő égtáj szerint felosztva, 1 (A), 2 (B), 4 (C) és 8 (D) injektálási pont esetén, 14, 28 és 42 nappal a kezelést követően (DAT: kezelés után eltelt napok száma (days after treatment)). Égtájak jelölése: D-dél, É-észak, K-kelet, Ny-nyugat. *: az égtáj szerint időben szignifikáns ugyanazon kezelésen belül, kisbetű: szignifikáns egy kezelés és mintavételi időn belül, nagybetű: szignifikáns a különböző furatszámot használó kezelések között egy mintavételi időn belül, Acimovic, 2014 nyomán.

A különböző növényi szövettípusok közül a levelek hatóanyag koncentrációja általában sokkal nagyobb, mint bármely más növényi szöveté. A levelekben az imidakloprid koncentrációja Mota-Sanches és munkatársai (2009) vizsgálata alapján folyamatosan nőtt az első tenyészidőszakban, míg az injektálást követő évben csak kevés imidaklopridot találtak, hasonlóan Wise és munkatársai (2014) eredményeihez (11. ábra). Az imidakloprid koncentrációja a gallyak xilém részében (2 mg/kg) száraz tömegre vetítve körülbelül kétszerese volt a gallyak háncs (floém) részében mért hatóanyag-tartalomnak (1 mg/kg). Ez arra utalt, hogy az imidakloprid transzlokáció főként a xilémbe zajlott le. Ezzel egyidejűleg megfigyelték, hogy a törzsinjektált fák leveleit

fogyasztó ázsiai kőrisonrózó karcsúdíszbogár (*Agrilus planipennis* Fairmaire, 1888) imágók 71%-a pusztult el a kezelés évében, míg egy évvel később ez az arány már csak 24% volt.



11. ábra Az imidakloprid és az emamektin-benzoát koncentrációjának alakulása alma (*Malus domestica*) levelekben és gyümölcsökben az idő múlásának (DAT: kezelés után eltelt napok száma (days after treatment)) függvényében Wise et al., 2014 nyomán

Cowles és munkatársai (2006) jelentésében két különböző növekedési évből származó évgyűrűk imidakloprid szintje megegyezett áprilisban, a tavaszi vagy őszi alkalmazás után. Ez alátámasztja azt az elképzelést, miszerint az imidakloprid maradványokat nem hígítja fel az új évgyűrű növekedése. Az előzőekhez hasonlóan az imidakloprid koncentrációja előbb növekedett, majd a növekedési görbe csúcsát elérve az idő múlásával lassabb ütemben csökkent a gallyakban és a fatestben egyaránt (Ugine et al., 2013).

3.4.5 A törzsinjektálás előnyei és korlátai

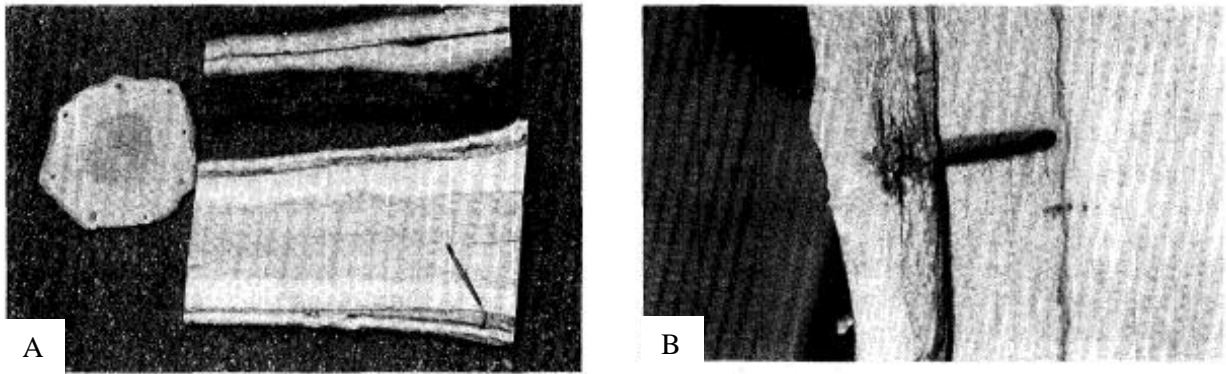
A fásszárú növények törzsinjektálásának, mint növényvédelmi eljárásnak számos előnye van a hagyományos permetezéssel szemben, melyek nemcsak szakmailag támaszthatók alá, hanem társadalmi szempontból is értékesek (Seyahooei et al., 2019). A módszer egyik legnagyobb előnye az ökotoxikológiailag kedvezőbb profil. Ennek a technológia környezetkímélő jellege az oka, ugyanis a fa vízszállító rendszerébe közvetlenül injektált növényvédő szer teljes mértékben a védendő növénybe jut. Ezzel szemben egy földről üzemeltetett hagyományos permetezés során a

célzott növényfelületet (a gép teljesítményének és a lombkorona habitusának függvényében) a permetlé csak 29-56%-a éri el, míg a felhasznált mennyiségnek csupán 0,4%-a találkozik a célzott kártevővel (Wise et al., 2014). A technológia további előnye, hogy zárt rendszerként is üzemeltethető, miáltal a dolgozók növényvédő szerrel való érintkezése minimálisra vagy akár nullára is csökkenthető, így humántoxikológiai szempontból is kedvezőbb e módszer a permetezésnél (Acimovic, 2014). Az injektálás során alkalmazott növényvédő szer direkt úton a farészbe jut, így a kinetikai tényezőket, a környezet általi degradációt akár figyelmen kívül is hagyhatjuk. A környezet kisebb terhelésén túl, gazdaságilag is előnyös lehet, hiszen a célzott felhasználás hosszú hatástartamot biztosít, ami akár több év is lehet (Wise et al., 2014; Walczak et al., 2024), sőt a kijuttatás-technológia a faállomány méretétől sem függ. További kedvező tulajdonsága, hogy vízszükséglete a felhasznált növényvédő szer formájának függvényében minimális vagy egyáltalán nincs (Li és Nangong 2022).

Amellett, hogy ezen technológia eddig számos alkalommal, többféle kultúra és károsító tekintetében sikerrel járt, a közterületeken előnyben részesített módszer, mely nem csak a dolgozók-, de a járókelők minimális expozíciójának, az elsodródás és a nem célszervezetre gyakorolt negatív hatások hiányának tulajdonítható (Acimovic, 2014; Wise et al., 2014).

A törzsinjektálás egyik legnagyobb hátránya ugyanakkor a fatörzs fúrásakor képződő seb kialakulása, amely akár kaput nyithat egyes kórokozók számára, mint például az elmúlt években a figyelembe kerülő dió sekély- (*Brenneria nigrifluens* (Wilson et al., 1957) Hauben et al., 1999) és mély kéregrájkjának (*Brenneria rubrifaciens* (Wilson et al., 1967) Hauben et al., 1999) (McClean et al., 2008; Véghe et al., 2015). Ennek a kockázatnak a kiküszöbölése mindenképp feladatunk. A fainjektálás alkalmazhatósága nagymértékben függ a fafajok regenerálódó képességétől, mert az egyes fák a genetikai tulajdonságaiktól vagy az egészségi állapotuktól, anatómiájuktól függően jelentősen eltérhetnek az injektálási sebekre adott válaszuk megnyilvánulásában (Bai et al., 2005).

Az 1987-es fotó (12. ábra) egy fűzlevelű tölgy (*Quercus phellos* L., 1753) fatörzs csonkjának keresztirányú, sugárirányú és érintőleges metszeteiről készült, melyet 1983-ban, tehát négy évvel a kivágás előtt kezeltek injektálással. Az injektált oldat híg koncentrációban tartalmazott vasat, magnéziumot és egyéb elemeket. Az 12/A. ábrán láthatóak a törzsön belüli elszíneződött függőleges irányú oszlopos megjelenésű sötét elváltozások, amelyek felfelé a fa koronájáig, lefelé a gyökerekig nyúltak. Ezen sebreakció, egyféle elhalást váltott ki az érintett szövetrészekben (12/B. ábra). Bár a fa kívülről gyógyultnak látszott, a sebzáródás és a kambium záródásának köszönhetően, valójában a fa adott évi transzspirációs oszlopának 20%-a elveszett az injektálás következtében (Perry et al., 1991).

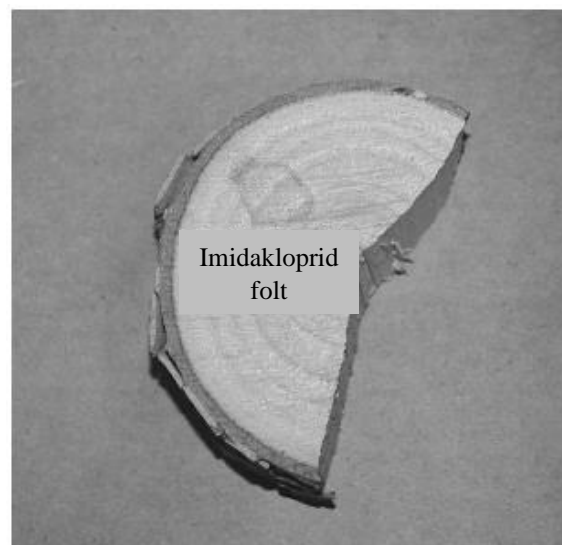


12. ábra Fűzlevelű tölgy (*Quercus phellos*) fatörzs csomkjának keresztirányú, sugárirányú és érintőleges metszeteiről készült fotó az injektálás után négy évvel Perry *et al.*, 1991 nyomán.

A kezdetben atmoszférikus nyomáson működő, azaz passzív injektálási eljárások idővel nagynyomásúvá fejlődtek, és a kézi meghajtású furdancokat is felváltották a modern akkumulátoros fűrők, melyek vitathatatlanul segítették az egyre jobb, gyorsabb és kisebb káros behatással járó technikák elterjedését, azonban még a legélesebb fűrő is megszaggatja és túlmelegíti a seb (furat) későbbi záródásáért felelős kambialis szövetet. Ennek következtében pedig a sebzáródás késhet, és a szomszédos fás szövetek nagy része elveszítheti funkcionalitását (elszíneződött farész) az injektálás pontjában, illetve fölötte és alatta (Montecchio, 2013).

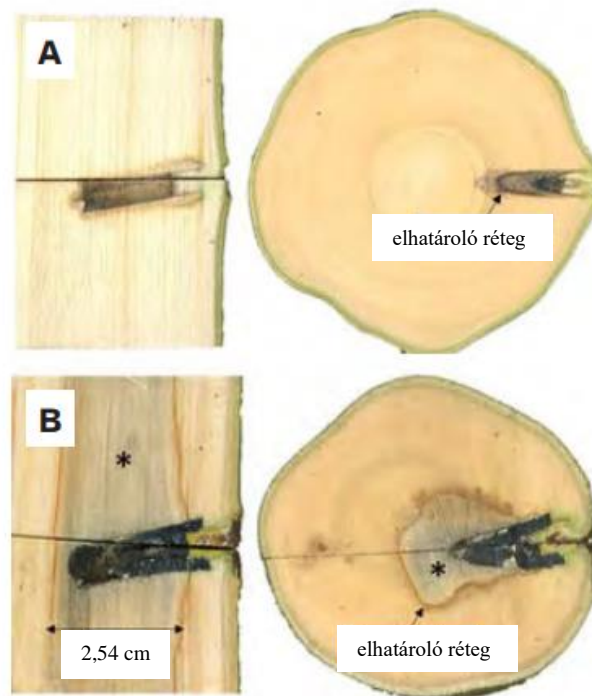
Mota-Sanches és munkatársai (2009) vizsgálatában az injektálás tünete egy évvel korábban imidaklopriddal injektált fák törzsének keresztmetszetében, a kezeléssel érintett évgyűrűkben ugyan jól látható foltként jelent meg, de nem okozott elhalást (13. ábra). A foltokat valószínűleg az imidakloprid vagy a készítmény egyéb összetevői (segédanyagai) okozták. Az egyes fákon a befecskendezés felett 1,5 m-ig volt látható a festékszerű tünet. Amikor megvizsgálták ezen foltok hatóanyag-tartalmát, az imidakloprid koncentrációja a festett területeken belül 300-szor nagyobb volt, mint a törzs keresztmetszetének fennmaradó részében (Mota-Sanches *et al.*, 2009).

A 14/A. ábra víz injektálása után keletkezett seb hatékony elrekesztését (kompartmentalizációját) mutatja, mely lehetővé tette a következő tenyészidőszak, új xilém és floém elemeinek a kialakulását, így a sérült területet körbefogva a törzs ezen része ismét működőképpé vált (Albrecht és Archer, 2021). Mivel a xilém általi transzport általában az aktív farész legkülső (legfiatalabb) részében a legaktívabb, a fa teljesen



13. ábra Az injektálás tünete egy évvel korábban imidaklopriddal injektált fa törzsének keresztmetszetében Mote-Sanches *et al.*, 2009 nyomán.

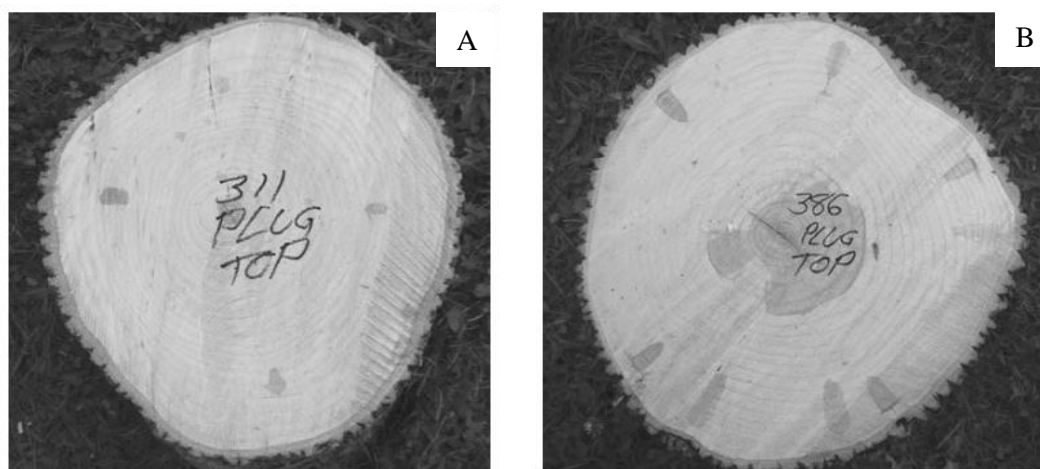
visszanyerte szállítási kapacitását a kezelés utáni évben. Ezzel ellentétben az oxitetraciklinnel kezelt törzs injektálási pontjai (14/B. ábra) kevésbé voltak képesek a regenerálódásra, így a sebzáródás sem ment végbe kellőképpen. A sebek regenerálódásának és a fa károsodásának mértékét leginkább a kezelés időpontja, a felhasznált növényvédő szer összetevői és a kezelés technikája befolyásolja (Doccola et al., 2011).



14. ábra A vízzel (A) és oxitetraciklinnel (B) injektált törzsek sebzáródása *Albrecht és Archer, 2021 nyomán.*

Egy másik, de kevésbé figyelemmel kísért probléma a fa egészségére és teljesítményére gyakorolt hatás. A fúrás vagy más módon történő injektálási pont kialakítása, illetve idegen anyagok bejuttatása a törzsön különböző mértékű sebzéseket eredményez, amely belépési pontokat biztosíthat opportunistá kórokozóknak. A kezelés után le nem zárt furatok könnyen kaput nyithatnak a kicsurgó nedv által vonzott baktériumoknak és gombáknak, amelyek a fa hosszú távú belső pusztuláshoz vezethetnek, ezzel szilárdságának és stabilitásának csökkenését is eredményezhetik (Montecchio, 2013). Továbbá, a sérülés helyén a xilém rostacsövei kisebb-nagyobb mértékben embolizálódhatnak. Ennek során a vízszállító edénynyalábokban légrés vagy buborék keletkezik és a vízoszlop folytonosságának megszakadásával azok hosszabb-rövidebb ideig működésképtelenné válhatnak, befolyásolva a víz- és tápanyag-szállító képességet. Hasonlóképpen a floém és a kambium is sérül, ami pedig a cukorszállítást, valamint a sebzáródást befolyásolhatja.

Ezen jelenségeket megcáfoló eredményről számoltak be Doccola és munkatársai (2011), amikor 14 db amerikai kőrisfa (*Fraxinus pennsylvanica* Marshall, 1785) kivágása után, azok összesen 63 injektálási pontján végzett vaszkuláris szövetek vizsgálatából gyűjtött adatok nem utaltak arra, hogy a szerkezeti integritás sérült volna. Ezzel egyidőben felülfertőzésre utaló jeleket sem találtak, ami arra engedett következtetni, hogy a törzs bizonyos növényvédő szerekkel és furatkialakítást igénylő eljárással való injektálása nincs negatív hatással a fák egészségére. A 15. ábrán az A törzsön az injektálás egy alkalommal; 2005 őszén történt, négy ponton Tree-äge (emamektin-benzoát) készítménnyel, míg a B törzsön hasonló módon, de két alkalommal; 2006 őszén, majd 2008 tavaszán ismét. Mindkét esetben látható a szövetek elszíneződése, azonban annak pusztulását vagy arra utaló folyamat jeleit nem azonosították.



15. ábra Közvetlenül az injektálási pontok felett elvágott fatörzsek keresztmetszete Doccola et al., 2011 nyomán.

A hosszútávú hatások mellett lehetséges rövidtávú negatív hatások kialakulása is. Ilyen lehet a lombozat vagy az injektálási pontok körüli szövetek perzseléses tünete. Wang és munkatársai (2020) három készítményt vizsgáltak, melyek közül kettőben ugyanaz a hatóanyag volt megtalálható, de a segédanyagok különböztek. Az emamektin-benzoáttal (0,32 g/cm DBH) kezelt fűzfák (*Salix matsudana* f. *pendula* C.K.Schneid. ex Rehder, 1927) nem mutattak fitotoxicitást a lombkoronában, ha a Tree-äge® R10 készítményt injektálták. A Tree-äge® arányú alkalmazása okozott némi levélszél perzselést, ennek mértéke a levelek 1%-a volt. Ezzel szemben erősen káros mellékhatást figyeltek meg a fákon az Affirm® készítmény alkalmazását követően, amely szintén emamektin-benzoátot tartalmaz, de levélpermet formula. Szemben az előző két készítménnyel, melyek speciális injektáló formulák. Három nappal a kijuttatás után a fűzfák leveleinek többsége levélszél perzselést mutatott és a levelek hullani kezdtek. Az ötödik napot elérve 80-90%-os lombvesztést tapasztaltak. A lombtalanított gallyak egy része a kezelést

követő 40. napon újra fejlődésnek indult és új levelek jelentek meg, de a perzselés következtében a gallyak 20-30%-a elpusztult.

Bálint (2022) a különböző méretű (3,5-10 mm átmérőjű, 50-180 mm mélységű) injektálási pontok lehetséges felülfertőződését vizsgálta Fakopp ArborElectro® Impedancia Tomográf készülékkel évekkor korábban kezelt vadgesztenyefákon. A fatestben aktív gomba jelenlétére utaló elváltozásokat nem talált. Az injektálási furat mérete nem befolyásolta a felülfertőzés mértékét, az impedancia tomogramok egészséges vadgesztenyére jellemző képet mutattak. Vizualis vizsgálatára támaszkodva azonban megjegyezte, hogy a furat átmérőjének és mélységének csökkentése a kalluszosodás szempontjából kardinális, ezért a furat készítésekor törekedni kell arra, hogy a fatestben minél kisebb legyen a sebzés.

Mágori Tibor (2022, nem publikált) végstádiumú almafák (*Malus domestica* Borkh., 1803) injektálással való gyógyítását kísérte meg. A 16. ábrán egy kivágott almafa törzsének keresztmetszetén, az almafa-rozsdástapló (*Inonotus hispidus* (Bull.) P.Karst., 1879) előrehaladott terjedését követően végzett tebukonazol injektálás a betegség



16. ábra Almafa-rozsdástapló (*Inonotus hispidus*) által károsított alma (*Malus domestica*) fatörzs keresztmetszete, Mágori Tibor, 2022.

lefolyását visszafordítani ugyan nem volt képes, de láthatjuk, hogy a gomba terjedése az injektálási pontokban gátolt volt.



17. ábra Vadgesztenye (*Aesculus hippocastanum*) törzsének keresztmetszete az injektálási pontok magasságában, Bálint, 2022 nyomán.

Ehhez hasonló, de ellentétes következtetésekre jutó megfigyelést végzett Bálint (2022) korábban injektált vadgesztenyefákon. Az abamektinnel injektált fák törzsének keresztmetszetében (17. ábra) látható, hogy az injektálási pontok felgyorsították a törzs belső korhadását, segítve annak

kiterjedését a korábban még épnek mondható külső részre, melyhez valószínűleg hozzájárult a túl mélyre hatoló furat is.

Schulte és munkatársai (2006) az azadiraktinnal injektált licsi (*Litchi chinensis* Sonn., 1782) jelentős gyümölcsméret csökkenéséről számoltak be, melynek lehetséges magyarázataként (i) a kezelés által okozott sérülésekre adott növényi stresszreakciót, (ii) az azadiraktin növényi anyagcsere-folyamatokra gyakorolt toxicitását vagy (iii) az azadiraktin energiaigényes metabolikus lebontását jelölték meg, bár korábban még nem figyeltek meg a szisztémás azadiraktin törzsinjektálást követően stresszel összefüggő vagy fitotoxikus hatást (Helson et al., 2001). Következtetéseik szerint a gyümölcsméret csökkenése elkerülhető egy korábbi kezeléssel, annak ismeretében, hogy a tartamhatás elegendő a betakarításig (Schulte et al., 2006).

Horner (2018) elhalásos megbetegedést okozó *Phytophthora agathidicida* (B.S.Weir et al., 2015) fertőzésben szenvedő déli kaurifenyőket (*Agathis australis* (D.Don) Lindl., 2010) kezelt törzsinjektálással és törzspertmetezéssel. Ez utóbbi technika során a törzs alsó két méteres palástjára törzspertmetet vitt fel kézi pertmetezővel többszöri alkalommal. Az injektált és pertmetezett kezeléseket során (a törzs kerülete alapján) azonos összmenyiségű foszfítot alkalmazott. Egyes törzspertmetezett fáknál a pertmetezett zónában kéregleválást tapasztalt, amit először a hatodik hónapos felvételezés alkalmával figyelt meg. Ez nem csak a kórokozó által okozott léziós elhalások szélére vonatkozott, hanem az egész pertmetezett zónára kiterjedt. Egyes esetekben a kéreghámlás olyan mértékű és gyors volt, amely nem nevezhető általánosnak, bár úgy tűnt, hogy a leválások alatt egészséges kéreg volt. A kezelés után 18-24 hónappal ez a kéregrészt szinte teljes egészében lehullott, a törzsek normálisnak és egészségesnek tűntek. A léziók gyakorisága lényegesen kisebb volt az összes foszfíttal injektált és törzspertmetezett kezelésben, mint a kezeletlen kontrollokban (Horner, 2018).

Az említett esetek mutatják, hogy az injektálás tervezésekor – annak előnyös tulajdonságai tudatában is – figyelembe kell venni a fa élettevékenységére gyakorolt lehetséges negatív hatásokat, melyek közül legfontosabbak a sebggyógyulás gyorsasága, a fitotoxicitás elkerülése, valamint az injektálási seb nem kívánatos felülfertőződése, melyek minimálisra csökkenthetők vagy kiküszöbölhetők a célra alkalmas eszköz és a megfelelő növényvédő szer megválasztásával (Docola et al., 2011).

3.4.6 A hatóanyag sorsát befolyásoló tényezők

Törzsinjektálással a kezelésre szánt hatóanyag döntő része a xilémbe jut, ahol optimális esetben a vízzel együtt a lombkorona felé áramlik (Berger és Laurent, 2019). A transzlokáció sebességét azonban számos paraméter befolyásolja, amelyek így a biológiai hatást is meghatározzák.

A szállítószövet morfológiája mellett (ld. fent) annak kémiai tulajdonságai, ezáltal a faj, fontos tényező (Roach, 1939). A xilém fala cellulóz, hemicellulóz és lignin tartalmú poliszacharid (Láng, 1998). A poláris karakterű cellulóz, a hidroxil-csoportok jelenléte miatt erős hidrogén-híd képző felület, melyhez az erre képes vegyületek kötődni képesek. Ez a kötés relatív erős. A lignin cellulóz/hemicellulóz molekulák között helyezkedik el, azokhoz kovalens kötéssel kapcsolódik. Aromás gyűrűket tartalmazó polimer, mely apoláris karakterű, ezáltal diszperziós kötéssel kapcsolódni képes egyéb aromás vegyületekhez, például az ilyen karakterű xenobiotikumokhoz is. A kötés relatív gyenge, azonban sok adszorpciós hely esetén a kapcsolódás releváns gátja lehet a hatóanyag transzlokációnak (Docola és Wild, 2012).

Miáltal ez a kötődés kétszereplős, a hatóanyag fizikai-kémiai karaktere a másik fontos tényező a toxikokinetikai folyamatokban (3. táblázat) (Berger és Laurent, 2019). A legfontosabb paraméterek, melyek a kölcsönhatás típusait meghatározzák a vízdoldhatóság, a szénadszorpciós együttható (Koc), a molekulatömeg vagy molekulaméret, a sav-bázis karakter, a hidrolitikus stabilitás, valamint a növényvédő szer és a növényi mátrix egyéb kölcsönhatásai (Kiss et al., 2021).

A vízben való oldhatóság egy bizonyos mennyiségű vegyület egységnyi mennyiségű vízben történő feloldódásának képessége homogén oldatot képezve. A jó vízdoldhatóság elengedhetetlen az injektált vegyület könnyebb, gyorsabb felvételéhez és transzlokációjához, miáltal a xilém is vízzel telt cső (Tattar et al., 1998; Percival és Boyle, 2005; Acimovic, 2014). Ez teszi lehetővé a vegyület nagyobb koncentrációban való jelenlétét a fa lombkoronájában. A törzsinjektálás tágabb körű elterjedéséhez és használatához kiemelt fontosságú olyan új komponensformák (speciesszek) tervezése, amelyek nagyobb vízdoldhatóságot tesznek lehetővé (Docola és Wild, 2012; Acimovic, 2014). Ilyen lehetőség például a szerves vegyületek sószerű kiszerezése, hiszen az ellenion minősége nagyban befolyásolja az oldhatóságot (Travlos et al., 2017). Kérdéseket vet fel azonban az a tény, hogy az ionokkal teli xilémnedvben hamar kicserélődnek az ellenionok, ezért feltételezésünk szerint a fenti megoldás kevésbé alkalmazható törzsinjektálásnál.

A szerves szén-víz megoszlási együttható vagy más néven szerves szén adszorpciós koefficiens (Koc) azt fejezi ki, hogy a hatóanyag milyen mértékben kötődik a talaj szerves szénvegyületeihez (Docola et al., 2011; Docola és Wild, 2012). Ezt a paramétert környezettoxikológiai kockázatelemzésekhez használják, hiszen a felhasznált növényvédő szer előbb-utóbb a talajba kerül. Minél kisebb ez az érték, annál könnyebben kimosódik a hatóanyag a talajból és jut el a vízi rendszerekbe, expozíciós kitétséget okozva az ökoszisztéma tagjai számára. A túlságosan nagy Koc értékkel rendelkező vegyületek (pl. réz ion) erősen kötődnek a talaj szerves molekuláihoz, ezek például a földigiliszták számára lehetnek veszélyesek. Miáltal a talaj szerves anyag összetétele nagyban különbözik a xilém falának összetételétől, ezt az indikátort a

törzsinjektálás szempontjából kisebb súllyal kell számításba venni. Ugyanakkor a talaj szerves savai (mint a huminsavak, fulvósavak), vagy szerves polimerei (humusz) gyengén savas karakterűek és aromások is, ezért kissé hasonlítanak a celullóz- és lignin-tartalmú xilémhez. Értelemszerűen a törzsinjektálást tekintve a nagyon nagy Koc érték akadályozza a transzlokációt, ami rossz időzítéshez, inhomogenitáshoz és ebből kifolyólag alacsony szintű kártevő-szabályozáshoz vezethet. A közepesen nagy értéktől lassú transzlokációt várunk, mely akár több szezonon is átívelhet. A kis kötődési képességű hatóanyag gyorsan a lombkoronába jut, ahol kifejtheti hatását. A Koc érték ennél fogva szerepet játszik a több éves hatástartam (rezervoár hatás) kialakításában is, amit a hatóanyag xilémhez való bizonyos mértékű kötődése alakít ki, ezért tehát sem a túl nagy, sem a túl kis Koc értékek nem kívánatosak.

A kis molekulatömegű szerves vegyületek esetén kijelenthető (kivételem a fehérjék), hogy a molekulatömeg arányos a molekulamérettel (Simpson, 2002). A kisebb méret előnyös a tracheák perforált és a tracheidák gödrös végfalain való átjutáskor. Ha a molekulaátmérők nagyobbak ezeknél, akkor csekély mértékben vagy egyáltalán nem valósul meg a szállítás, mivel a molekulák ezen nyílások eltömődése miatt a sejtekben maradnak. A perforáció mérete függ a fajtól, a fejlődési állapottól; a dió tracheáira az egyszerűen perforált végfal jellemző, ami egyetlen nagyobb (10-100 μm) nyílásból áll (Richter és Dallwitz, 2000; Wróblewska, 2015).

A vegyület sav-bázis karaktere (pKa érték) fontos tényező a transzlokációt illetően, hiszen alapvetően meghatározza a speciesz ionos lehetőségeit. Amennyiben a hatóanyag gyenge sav vagy bázis, a környezeti pH szabja meg az ionos és nemionos formák koncentrációinak arányát (Henderson-Hasselbalch egyenlet) (Buchholz és Trapp, 2016). Az ionizált állapotú speciesz másodlagos kölcsönhatási lehetőségei nagyon különböznek a nemionos módosulattól. Ennél fogva kinetikai viselkedése is nagyban eltér. Ha megvizsgáljuk a xilém kémiai összetételét (18. ábra), akkor találunk cukoregységeket (glükóz a cellulózban), melyek hidroxil-csoportjai jó hidrogénhid képzők, de nem savasak. Vannak karbonsavak (pl. galakturonsav a pektinben) és fenolok (pl. a ligninben), melyek savas karakterű csoportok, ezek erős ionos kölcsönhatásra is képesek disszociált állapotban.

3. táblázat A dolgozatban említett hatóanyagok fizikai-kémiai tulajdonságait meghatározó legfontosabb paraméterek. A vastag betűvel szedett inszekticid hatóanyagok alapját képezték a kísérleteinknek.

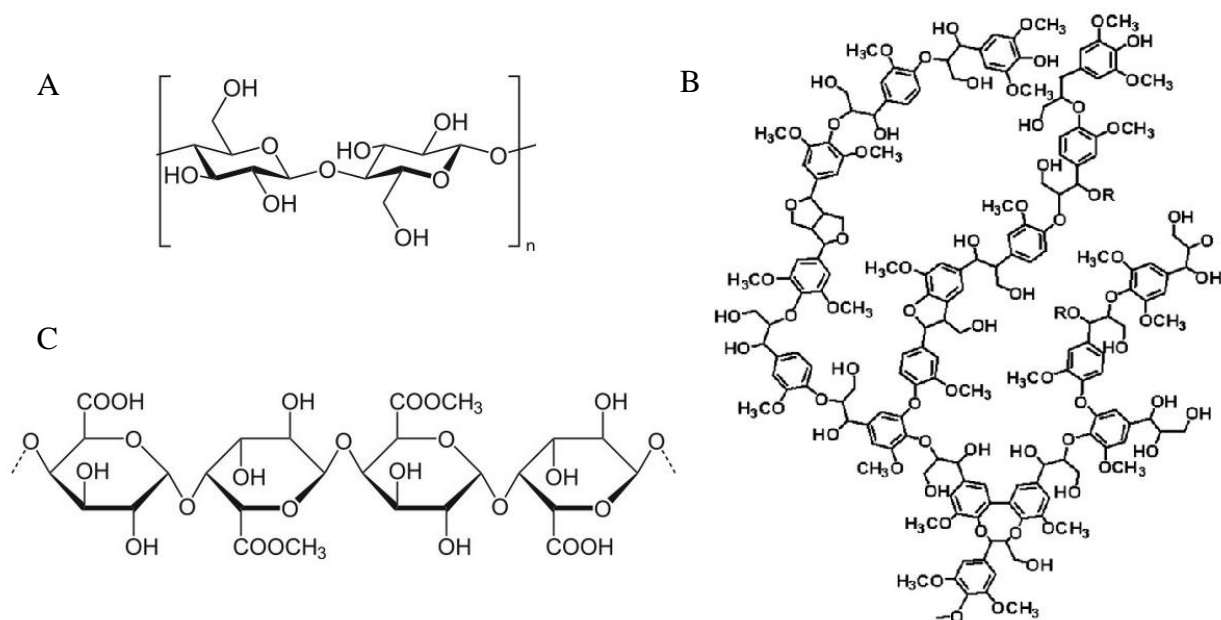
| Hatóanyag | Molekulatömeg (g/mol) | Koc | Microspeciesz 25°C, pH=5-6 (pKa) | Vízoldhatóság (mg/l, 20-25°C, pH=5-6) | Hatásmód (IRAC ¹ /FRAC ² csoportosítás) |
|--|--------------------------|---------------------------|--|---|--|
| Acefát | 183 | 302 | semleges (8,35) | 790000 | 1B |
| Oxidemeton-metil | 246 | 10 | nem disszociál | 1200000 | 1B |
| Bifentrin | 423 | 236610 | nem disszociál | 0,001 | 3A |
| Deltametrin | 505 | 10240000 | nem disszociál | 0,0002 | 3A |
| Acetamiprid | 223 | ~200 | semleges (0,7) | 2950 | 4A |
| Dinotefurán | 202 | 26 | kation (12,6) | 39830 | 4A |
| Imidakloprid | 256 | 225 | semleges (1,56) | 610 | 4A |
| Tiametoxam | 292 | 56,2 | nem disszociál | 4100 | 4A |
| Flupiradifuron | 289 | ~98 | semleges (0,22) | 3200 | 4D |
| Spinozád (spinozin A és D) | 732 | 34600 | részben protonált (8) | 7,6 | 5 |
| Abamektin B1a és B1b | 873 és 859 | ~6000 | semleges (12,5) | 0,007-0,01 | 6 |
| Emamektin B1a és B1b | 886 és 872 | ~25000 | részben protonált (7,7) | 24-100 | 6 |
| Spirotetramát és spirotetramát-enol | 373 és 301 | ~289 és ~27-99 | semleges és anion (10,7 és 5,2) | 29,9 és 2700 | 23 |
| Klórántraniliprol | 483 | 362 | semleges (10,88) | 0,88 | 28 |
| Azadirachtin | 720 | 180 | nem disszociál | 2900 | UN |
| Karbendazim | 191 | 225 | semleges (4,2) | 8 | 1 |
| Tiabendazol | 201 | 3983 | semleges (4,73) | 30 | 1 |
| Miklobutanil | 289 | 517 | semleges (2,3) | 132 | 3 |
| Penkonazol | 284 | 2123 | semleges (1,51) | 73 | 3 |
| Pirifenox | 295 | 980 | semleges (4,61) | 300 | 3 |
| Prokloráz | 377 | 500 | semleges (3,8) | 26,5 | 3 |
| Propikonazol | 342 | 944 | semleges (1,09) | 110 | 3 |
| Tebukonazol | 308 | 769 | semleges (5) | 36 | 3 |
| Tetrakonazol | 372 | 428 | semleges (0,65) | 157 | 3 |
| Triadimefon | 294 | 300 | semleges (1,41) | 70 | 3 |
| Acibenzolar-S-metil | 210 | 644,1 | nem disszociál | 7,7 | P 01 |

| | | | | | |
|----------------------------|------|-------|----------------------|---------|---------------------------|
| Foszetil-Al | 354 | 0,1 | anion (0,8) | 110300 | P 07 |
| Aszkorbinsav | 176 | 10 | részben anion (4,17) | 330000 | növényi immunitás fokozás |
| β-amino-vajsav | 103 | 2,6 | ikerionos | 367000 | növényi immunitás fokozás |
| Kálium-foszfonát | 212 | 453,6 | részben anion (2) | 500000 | növényi immunitás fokozás |
| Foszforossav | 81 | 1 | részben anion (2,16) | 5480000 | növényi immunitás fokozás |
| Oxálsav | 90 | 5 | részben anion (1,23) | 95500 | növényi immunitás fokozás |
| Szalicilsav | 138 | 404 | részben anion (2,97) | 20000 | növényi immunitás fokozás |
| Kasugamicin-hidroklorid | 416 | 364 | só (3,23) | 228000 | antibiotikum |
| Oxitetraciklin-hidroklorid | 444 | 52875 | só (4,5) | 1000 | antibiotikum |
| Benzilpenicillin | 334 | 421 | részben anion (2,74) | 210 | antibiotikum |
| Streptomycin szulfát | 1457 | 339 | só (11,1) | 20000 | antibiotikum |

A összeállításához felhasznált források: <https://www.ars.usda.gov/>, <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/>, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

¹ Insecticide Resistance Action Committee <https://irac-online.org/>, ² Fungicide Resistance Action Committee <https://www.frac.info/>

A xilémnedv pH-ja enyhén savas-semleges (pH=5-7), ezért a felületi savas csoportok csak nagyon kis mértékben disszociáltak, de ez a disszociáció negatív töltést eredményez a felületen. A gyengén savas peszticid vegyületek disszociációja szintén visszaszorított, zömmel nemionos formában vannak jelen. Ezért a két rendszer közötti kölcsönhatási forma döntően gyenge (apoláris és hidrogén-híd, amennyiben a peszticid részéről ezek a funkcionalitások adottak). Ha az injektált vegyület bázikus karakterű (például amino-csoportokat tartalmaz), az enyhén savas közegben a komponensek protonálódnak és ezáltal erős ionos kölcsönhatást képezhetnek a xilém negatívan töltött adszorpciós helyeivel (Shomer et al., 2003). Ez a transzlokáció ellenében hat. A fán belül és a szezon során a nedv pH-ja rendre változik és ingadozik, illetve a pH-értékek tartománya fafajonként is eltérő lehet. Ezért az injektált vegyület hatásának és eloszlásának alacsony hatásfoka a vizes közegben mutatott nem megfelelő pH miatt is kialakulhat.



18. ábra A xilémet alkotó molekulák kémiai szerkezete A) cellulóz, B) pektin, C) lignin.

A hidrolitikus instabilitás bizonyos funkciós csoportokra jellemző tulajdonság. Az észtercsoport például könnyen hidrolizálódik főleg akkor, ha a környezeti pH is eltér a semlegestől. Levélpermetek esetén ez a hátrányos tulajdonság formálással (vízmentes kiserelés, pl. WG – nedvesíthető granulátum) elkerülhető, de törzsinjektálás során az ilyen hatóanyag hamar bomlik a vízbázisú környezetben, ezért csak rövid hatástartammal jellemezhető.

Az injektálásra alkalmas vegyületek a növényi szállítószöveten belül a fenti tulajdonságokból fakadóan két különböző állapotban vannak jelen: (i) biológiailag konzervált és (ii) biológiailag hozzáférhető. A konzervált állapot azt a hatóanyag mennyiséget jelenti, amely nagy koncentrációban halmozódik fel a növényi szövetekben, általában az alkalmazási pont közelében. A biológiailag hozzáférhető állapot a szállításra alkalmas hatóanyag mennyiséget jelenti, amely keveredik és hígul a nedvvel, és a nedváramlás miatt transzlokációnak van kitéve.

Ferreira és munkatársainak (2022) modellszimulációi azt mutatták, hogy a nagyobb nyomású módszerrel a hatóanyag gyorsan a konzervált állapotból a biológiailag hozzáférhető állapotba került, ami gyorsabb transzlokációt eredményezett és nagyobb transzlokált koncentrációt alakított ki a lombkoronában a nyomás nélküli módszerhez képest. Ugyanakkor nyomás nélkül a lassabb transzlokáció hosszabb hatástartamot, időben és térben egyenletesebb transzlokációt biztosított.

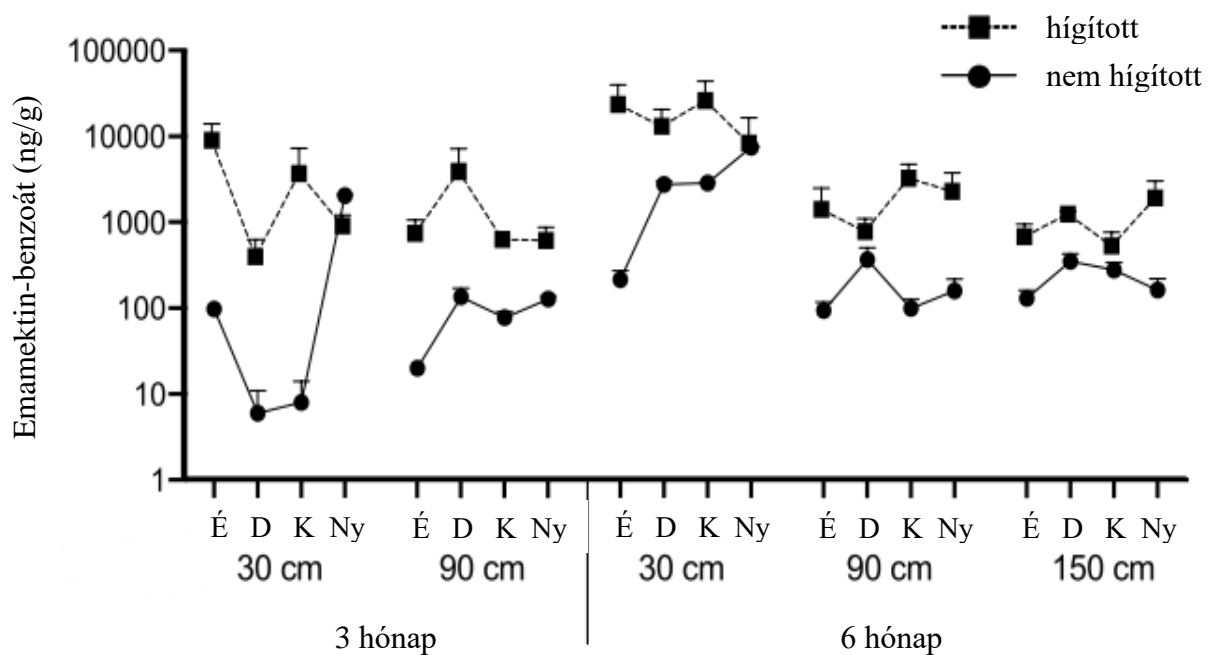
A különböző peszticidek mozgási sebességükben és aktivitásukban a fentebb leírt tulajdonságok miatt jelentős különbségek tapasztalhatóak. Morse és munkatársai (2005) az acetamidrid hatóanyag esetében két héttel az injektálást követően már tapasztaltak rovarölő hatást, míg az imidakloprid esetében csak 7-9 hét elteltével, amit a két hatóanyag vízdékonyságában való eltéréssel indokoltak (3. táblázat). A vízdékonyság jelentőségét kiemelve, a rendelkezésre álló víztartalom szezonális csökkenése az imidakloprid transzportjának gyengüléséhez vezetett. Emellett egy másik fontos tényezőt is megemlítettek: a vízfelhasználás csökkenése hosszabb időn át fokozatos volt, ami arra utalt, hogy ez önmagában nem lehetett az egyetlen ok az imidakloprid koncentrációjának csökkenésében. Az idő tehát szintén fontos szerepet játszik az injektált vegyületek lombkoronában való kellő mértékű feldúsulásában, de annak múlásával ugyanakkor ezek hanyatlásához is vezet.

A transzport gyorsasága és a hatástartam (rezervoár képzés), mely két elválaszthatatlan tényező, fontos paraméterek az injektált hatóanyagokat illetően (Schutte et al., 1988; Tattar et al., 1998). A rezervoár hatás a vegyület xilém falhoz való adhézióját jelenti, mely felelős a hatás létrejöttéhez szükséges időért, valamint a hatástartam hosszáért (Walczak et al., 2024). Egy vegyület xilémbe való lassú mozgása a lombkorona irányába az élettelen apoplastot alkotó polimerekhez (cellulóz, hemicellulóz, lignin, pektin) való adszorpciójával vagy a farész axiális és radiális parenchimájában fellépő tárolásával (abszorpcióval) kapcsolatos (Acimovic, 2014). Ezen időbeli rezervoár hatást először törzsinjektált almafáknál figyelték meg, majd kőrisfákban kísérletileg is bizonyították (Mota-Sanchez et al., 2009) A xilémhez való kötődésen kívül az edényelemek oldalfalának gödröcskéi (számuk és méretük szerint) szintén befolyásolhatják a szállítás folyamatát (Acimovic, 2014).

Rövid hatástartamú, rezervoárt nem képező rovarölő szerek (például acefát) alkalmazása akkor indokolt, amikor a kártevő már aktív. Nagyobb maradékaktivitású hatóanyagok valamivel kevésbé függenek a rovarok táplálkozási aktivitásától, károsítási időszakától (pl. imidakloprid, emamektin-benzoát), de jellemzően a várható kártevő-aktivitást megelőző 30 napnál korábban érdemes injektálni (Doccola és Wild, 2012).

A későbbi (3.4.7) fejezetben tárgyalt vizsgálatok igazolták az emamektin-benzoát hatékonyságát, mint törzsinjektálásra alkalmas rovarölő szert, bár a fán belüli megfelelő koncentráció kialakulásához viszonylag hosszabb időre lehet szükség, mielőtt teljesen hatásossá

válík. Byrne és munkatársai (2020) vizsgálatában az emamektin-benzoát koncentrációja következetesen nagyobb volt minden mintavételi magasságnál azokban a fában, amelyeket a hígított készítménnyel kezeltek (19. ábra). Az injektálás után három hónappal az emamektin-benzoát átlagos szintje a fatestben hatszor, illetve 14× volt nagyobb 30 és 90 cm-nél a hígított készítménnyel kezelt fában, ami a gyorsabb függőleges irányú mozgásra utalt. A kezelés után hat hónappal az emamektin-benzoát koncentrációja továbbra is folyamatosan nagyobb volt a hígított készítmény esetében. Ez az eredmény rávilágított a rovarölő szer gyorsabb és egyenletesebb mozgására, amikor a készítményt egy előre hígított oldatként fecskendezik a fatörzsbe.



19. ábra Az emamektin-benzoát koncentrációja a fatestben a négy égtáj irányában mintázva, 3 és 6 hónappal a hígított és a nem hígított készítménnyel végzett kezelés után. A pontok a négy ismétlésből mintavételezett minták átlagait, a magasság (30, 90, 150 cm) az injektálási pont és a mintavétel helye közötti távolságot jelöli, Byrne et al., 2020 nyomán.

A hígítatlan rovarölő szer lassabban mozgott, és a fán belüli bármely magasságban detektált koncentráció értékek mindig kisebbek voltak, mint amikor a növényvédő szert az injektálás előtt felhígították (Byrne et al., 2020). Erre a megfigyelésre az lehet a magyarázat, hogy nem elhanyagolható a hatóanyag diffúziója a xilém rendszerben. A peszticid molekula oldalirányú diffúzióval tud eljutni a környező edénnyalábokba. Amennyiben az oldat töményebb, ez a diffúziós út rövidebb. Híg oldat esetén az út hosszabb, ezért a folyamat időigényesebb, mely alatt releváns transzlokáció valósulhat meg, kiváltképpen, ha a transzspiráció is aktív. A növényi szállítószöveten belüli terjedés sebessége tehát manipulálható ugyanazon növényvédő szer injektálás előtti hígításával is.

Chihaoui-Meridja és munkatársai (2020) különböző inszekticidok mobilitását, perzisztenciáját és hatékonyságát értékelték a pálmafűró ormányosbogár (*Rhynchophorus*

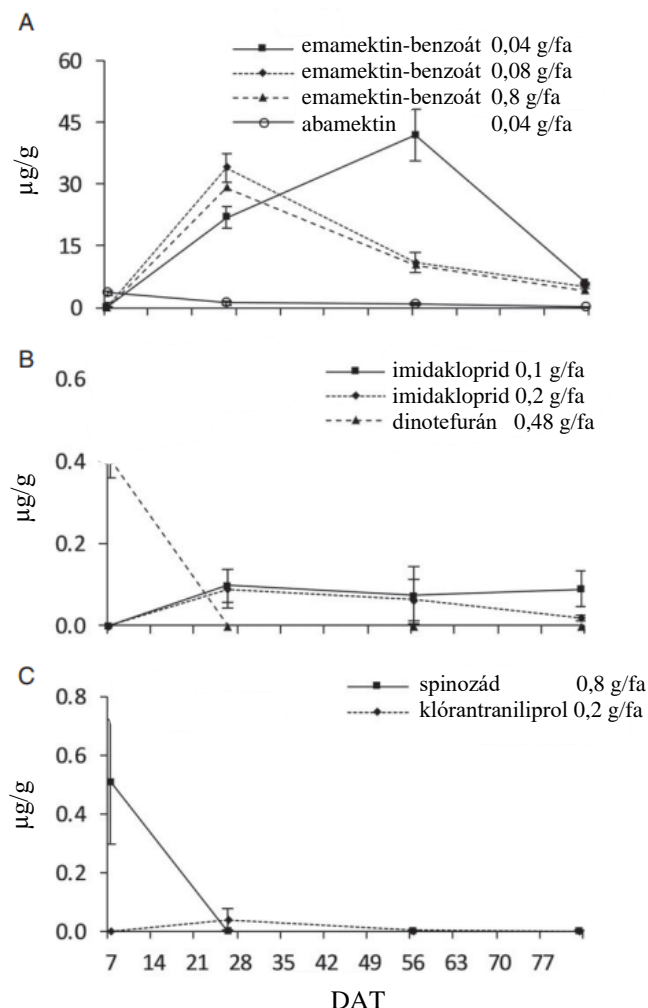
ferrugineus Olivier, 1790) ellen. Eredményeikben az emamektin-benzoát transzlokációja jobb, tartamhatása pedig hosszabb (ímax. 5 hónap) volt a pálma szöveiben, mint a tiametoxam vagy az imidakloprid. A hosszabb tartamhatás a nagyobb Koc értékből következő rezervoár hatás miatt lehetett (3. táblázat). Tíz nappal a kezelés után az emamektin-benzoát maradéka 10× nagyobb volt, mint az imidaklopridé a levélmintákban, és ez utóbbi tartamhatása is legfeljebb három hónapig tartott. A tiametoxam maradványait csak egyszer, tíz nappal az alkalmazás után tudták kimutatni. Később az értékek a kimutatási határ alatt voltak (<0,1 mg/kg). A preventív és gyógyító endoterápiás kezelésként alkalmazott, válogatott rovarölő szerekkel végzett terepi kísérletek azt mutatták, hogy az emamektin-benzoát akár kilenc hónapig is képes megvédeni a pálmafákat a pálmafűró ormányosbogár kártételétől. A dél-mediterrán régióban a kártevő peterakása és a tojások kelése tavasz és ősz között (márciustól novemberig), azaz évente körülbelül nyolc hónapig fordul elő. Ezért tavasz elején (áprilisban) javasolt az emamektin-benzoátos endoterápia alkalmazása, kihasználva annak hosszú tartamhatását és az optimális nedvkeringési aktivitást, amely elősegíti a rovarölő szer szisztemizálódását.

Az injektálást élelmiszernövényeken alkalmazva a legelső szempont annak élelmiszerbiztonsági szempontból való megfelelése. Miáltal a transzlokáció egészen a gyümölcsig megvalósulhat, a szermaradék meghatározása kiemelt fontosságú. A fenti példa esetén a kanári datolyapálma (*Phoenix canariensis* hort. ex Chabaud, 1882) injektálása kapcsán a fogyasztók védelme érdekében fontos volt meghatározni a gyümölcsökben megjelenő maradék hatóanyag-tartalmat is. Ebben az összefüggésben Mashal és Obeidat (2019) jelezte, hogy a Revive® II (emamektin-benzoát) maradványa 60 nappal a kezelés után már nem volt kimutatható a gyümölcsökben.

Coslor és munkatársai (2019a) almakártevők ellen használt fel hat különböző rovarölő hatóanyagot, melyek közül az emamektin-benzoátot és az imidaklopridot több dózisban alkalmazták (20. ábra). Kísérletükben a figyelem középpontját a környezeti- és az élelmiszerbiztonság foglalta el. A hatóanyagok különböző növényi szervekben (rügy, levél, nektár, pollen, gyümölcs) kialakult koncentrációját kísérték figyelemmel. A gyümölcsben megjelenő hatóanyagok maradékának mennyiségéről megállapították, hogy a betakarításig eltelt csaknem három hónapos időintervallum elegendő volt azok biztonságos szintre való lecsökkenésére, bár láthatjuk, hogy az Európai Unió által támasztott mai követelményeknek (MRL (emamektin) = 0,005 mg/kg) ez nem minden esetben (20/A. ábra) felelt meg.

A környezetvédelmi szempontokat tekintve elengedhetetlen fontosságú, hogy az ugyan zárt rendszerként működő injektálás során bejuttatott készítmények, milyen úton és hogyan hatnak környezetünkre. Ennek nyomon követésére néhány vizsgálat a szakirodalomban is megtalálható. Az injektált fák leveleiben felhalmozódott rovarölő szer-maradványok nemcsak a megcélzott

kártevőfajokat, hanem a talajban élő gerinctelen élőlényeket is érinthetik, amikor az öregedő levelek az őszi lombhullás alkalmával a földre hullanak. Burkhard és munkatársai (2015) különböző komposztálási eljárásokat és azok során eltérő környezeti körülményeket beállítva követték az emamektin-benzoát hatóanyag felezési idejét, valamint a földigiliszták élettevékenységének esetleges változásait, de negatív biológiai hatást nem tapasztaltak.

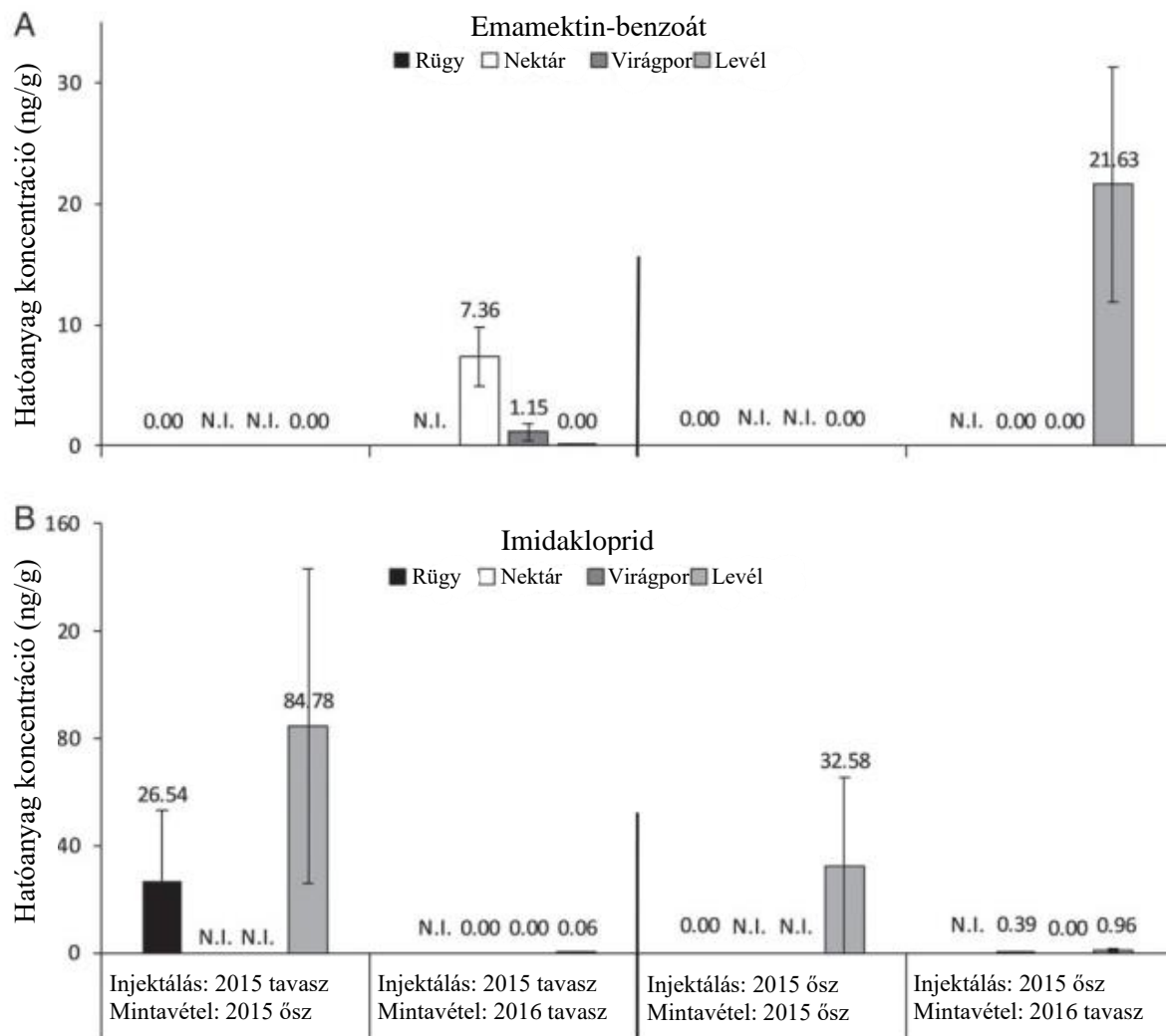


20. ábra Törzsinjektálást követően a gyümölcsben fellelhető különböző hatóanyagok koncentrációja a vegetációs időszakon keresztül 2013-ban (A-C), DAT: kezelés után eltelt napok száma (days after treatment), Coslor et al., 2019a nyomán.

Ezzel ellentétben Kreuzweiser és munkatársainak (2008) vizsgálataiban az imidakloprid 3-11 mg/kg-os koncentrációja a cukorjuhar (*Acer saccharum* Marsh. 1785) levelében a földigiliszták súlyvesztését és a táplálkozás lassulásának következtében a levél lebomlási sebességének csökkenését eredményezte.

A virágzás alatti pollenszóródás az egyik lehetséges útvonal, mellyel a növényvédő szerek a környezetbe kikerülve nemkívánatos folyamatokat indíthatnak el. Emellett a pollen is lehet *ab ovo* veszélyes a viráglátogató rovarokra, például a méhekre (Gierer et al., 2019). Coslor és munkatársai (2019a) a rügyekben, a nektárban, a pollenben és a levelekben tavaszi és őszi

injektálást követően végeztek hatóanyagmaradék-analízist. Eredményeikben az emamektin-benzoátot a 21. ábrán jelzett esetekben sikerült kimutatniuk a nektárban, a virágporban és a levelekben is, míg az imidaklopridot a levelekben és a rügyekben detektálták. A két hatóanyag eltérő időszakokban volt detektálható a szövetekben, mely a különböző fizikai-kémiai paramétereik miatt alakulhatott így (3. táblázat).



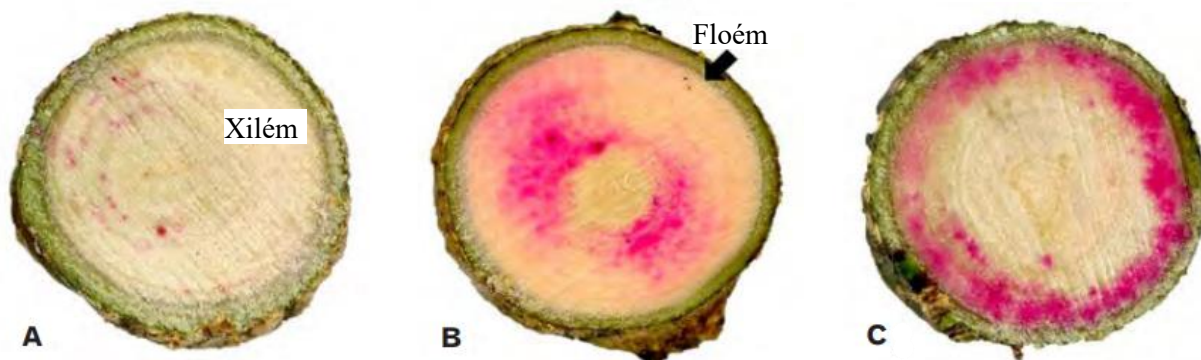
21. ábra Az emamektin-benzoát (A) és az imidakloprid (B) koncentrációja a rügyekben, a nektárban, a pollenben és a levelekben törzsinjektálás (2015 tavasz/ősz) után *Coslor et al., 2019a nyomán*. (N.I.= nem történt mintavétel, 0,00 = nem detektálható mennyiség)

A dió ugyan szélporozta növény, de a pollenszóródás idején a méhek mégis sűrűn keresik fel a diófák hímvirágzatát, melynek során elsősorban a fiasítás számára gyűjtenek virágport (Orosz, 2015). A méhekre gyakorolt negatív hatás kockázatértékelésének leglényegesebb része a virágporban és a nektárban található hatóanyag-maradékok, mivel ezek a fertőzésben kulcsszerepet játszó utak (Gierer et al., 2019). Ezekben a speciális mátrixokban a hatóanyag-maradékok nagy eltéréseket mutathatnak (Heller et al., 2020), mely eltéréseket a szakirodalom szerint négy fő tényező okozza: (i) a növény faja, (ii) a növényvédő szerek alkalmazásának módja,

(iii) a vegyület fizikai-kémiai tulajdonságai és (iv) a környezeti körülmények sokváltozós halmaza (Gierer et al., 2019). Uhl és Brühl (2019) a viráglátogató rovarok peszticid kitétséget elemezte az élőhelyüként szolgáló agrár tájban, amely a peszticidek széles körével potencióálisan veszélyeztetett és szennyezett. Elemzésük alapján arra következtethetünk, hogy a viráglátogató rovarok populációjában a környezetileg egyébként releváns peszticid mennyiség, illetve az általa okozott expozíció is káros hatásokat okozhat. Mindamelllett a peszticidek keverékeinek, melyek a viráglátogató rovarokat érintik, számos nemkívánatos hatása lehet a rovarok viselkedésére, életritmusára, ha még ezen keverékek alkotói önmagukban nem is érik el a veszélyesnek vélt koncentrációt (Prado et al., 2019). Ezeket az ismereteket egyébként az európai szabályozás expozíció- és hatásértékelésének elemzésére is felhasználták. A rengeteg változó azonban továbbra is pontatlan becsléseket és bizonytalanságokat eredményezhet már a kockázatértékelés során is, ráadásul a pollen és a nektár szermaradék-vizsgálata költséges és gyakorlati megvalósítása is hosszadalmas procedúra.

Azon nemkívánatos jelenség, miszerint a pollennel bekerülő toxikus anyagok, melyek a méhcsaládok életfolyamataiban zavart okozhatnak, mindenképpen elkerülendő. Továbbá a pollenszóródás lehetséges útvonalat teremthet nemkívánatos ökológiai folyamatoknak, a peszticidek környezetbe való kikerülése révén. Az injektálásos növényvédelmi technológia méhveszélyességének részletes megismerése céljából további kutatásokra van szükség, ugyanis ez egy kevésbé feltérképezett terület (Doccola és Wild, 2012; Mach et al., 2018).

A citrusfélék zöldülése vagy sárga sárkánykór betegsége (Huanglongbing (HLB)) egy floémában lakó korokozóhoz (*Candidatus Liberibacter asiaticus* Jagoueix, Bové, & Garnier, 1994) kapcsolódik, amely súlyos károkat okoz a citrusfélék (*Citrus sp.*) termesztésében. Az ilyen floémában lakó kórokozók elérése csak olyan anyagok használatával lehetséges, amelyek xilémtől a floémig jutnak, azaz teljes szimsztemizálódásra képesek. A 22. ábrán ennek bizonyítására végzett kísérletben alkalmazott, különböző kémiai karakterű színezékek mozgását láthatjuk (Albrecht és Archer, 2021). Az A egy kis mobilitású, a B a xilémekben, míg a C a floém részben mozgó vegyületet mutat. (Az, hogy ezek pontosan milyen tulajdonságokon alapulnak és milyen értékek, a korábbiakban tárgyaljuk).



22. ábra Különböző kémiai tulajdonságokkal rendelkező három festék törzsön belüli eloszlása: A) szafranin; kis mobilitású festék, B) rodamin; jó mobilitású festék a törzs farészében és C) fukszinsav; túlnyomórészt a floémbe mozgó festék *Albrecht és Archer, 2021 nyomán.*

Az antimikrobiális vegyületek használata a citrusfélék zöldülésének gyógyítására egyébként már sok évtizede tárgyalt, ugyanis korábban ezek az anyagok levélpermetként alkalmazva nem rendelkeztek a kívánt hatékonysággal. Az 1970-es években Dél-Afrikában, és legutóbb Floridában tetraciklinekkel végzett kísérletek bizonyították, hogy ugyanazon antibakteriális vegyületek törzsinjektálásával a bakteriális csíraszámot és ezzel együtt a betegség súlyosságát csökkenteni lehet (Albrecht és Archer, 2021). Tipikus példája ez annak az elméletnek, hogy egy egyébként biológiailag hatásos hatóanyagnak a megfelelő helyre is kellő mértékben el kell jutnia az elvárt hatás elérése érdekében.

3.4.7 A törzsinjektálás fejlődéséhez hozzájáruló kísérletek

A nemzetközi szakirodalomban számos közlemény található a törzsinjektálás sikeres alkalmazásáról, függetlenül attól, hogy a cél kórokozó mikroorganizmusok vagy kártevők megfékezése. Ezek közül azokat a fontosabb tanulmányokat szeretnénk megemlíteni ebben a fejezetben, amelyek nagyban hozzájárultak ismereteink mai szintjének kialakulásához. A kísérleti eredmények dolgozatunkban összevethetők az alkalmazott peszticidek fiziko-kémiai adataival (3. táblázat), ezáltal kritériumként megfogalmazhatók azok az elvárások, melyek szükségesek egy injektálásra jelölt hatóanyag esetén.

Holderness (1992) a hüvelyrothadást és kakaórákot előidéző kórokozó (*Phytophthora palmivora* Butler, 1919) ellen hasonlította össze a lombpermetezést az injektálással (10.2 melléklet). Vizsgálataiban a metalaxil és réz-oxid lombpermetezések valamelyest csökkentették a rákos tünetek előfordulását, míg a kálium-foszfónát lombpermetezések kevésbé voltak hatékonyak. A kálium-foszfónátos törzsinjektálás (évi 16-24 g H₃PO₃/fa) azonban szignifikánsan csökkentette a rákos tünetek előfordulását, sőt egyes ültetvényeken csaknem teljesen megszüntette a megbetegedéseket. Idővel az injektált fákon előforduló rákos sebek csökkenéséből adódó javuló egészségi állapot következtében növekedő hozamot és csökkenő hüvelyrothadásos tüneteket

észleltek. Így, mind a fejlődő, mind az érett gyümölcsök közvetlen védelmét sikerült megvalósítaniuk. A floém által transzlokált foszfonátok növelték a hozamot azáltal, hogy megvédték a gyökereket a fitoftóras fertőzéstől és így fenntartották a normális tápanyagfelvételi dinamikát is. A kezelt fákon tapasztalt hosszú távú kondíció javulást valószínűleg a fában rezervoárként megmaradt foszfonát-maradékok okozták.

Percival és Boyle (2005) hároméves kísérletükben az injektálás hatékonyságát vizsgálták almafákon (*Malus domestica* 'Crown Gold') és kocsányos tölgyeken (*Quercus robur* L., 1753). A kutatás során az alma ventúriás varasodásának (*Venturia inaequalis* (Cooke) Winter, 1875) és a tölgy lisztharmat (*Phyllactinia* sp.) fertőzöttségének mértékét értékelték nyolc különböző gombaölő hatóanyag használata mellett (10.2 melléklet). A törzs kerülete mentén egymástól 15 cm távolságra egy mikrokapszulát helyeztek el az előzetesen kialakított 3 mm átmérőjű és 5 mm mély furatokba. A miklobutanil kivételével a hatóanyagok mindegyike szignifikánsan csökkentette a fertőzöttség súlyosságát, de az egyes hatóanyagok között is tapasztaltak hatékonyságbéli különbségeket. A legjobb hatást a penkonazol, pirifenox és a karbendazim mutatták. A vizsgálat során megfigyelték az injektálással járó kalluszképződés mértékét is. Sem a tölgy, sem az alma esetében nem jelentkeztek gyökérpusztító gombák vagy másodlagos fertőzések jelei az injektálási pontokon, illetve azok környezetében (Percival és Boyle, 2005).

Spanyolországban a tölgyes legelőerdők az ökológiai állattenyésztés szinterei, melyeket a *Phytophthora cinnamomi* (Rands, 1922) kórokozó olyannyira súlyosan veszélyeztet, hogy az általa okozott gyökérbetegség évente több ezer tölgyet pusztít el. Romero és munkatársai (2019) egy ilyen legelőerdőben, ahol a kórokozó már jelen volt és súlyos károkat okozott, 60 db tölgyet választottak ki kísérletük beállítására, melyeket három különböző osztályba soroltak a lombvesztés akkori mértéke alapján (tünetmentes, enyhe- és mérsékelt lombvesztés). Az injektálásra 4%-os foszetil-Al-t, illetve kontrollként vizet használtak (10.2 melléklet). A tölgyest időszakonként ellenőrizték és felvételezték a lombvesztés mértékét, valamint a kórokozó jelenlétét a gyökerekben és a rizoszférában. Három évvel a kezeléseket után a foszetil-Al hatóanyaggal kezelt tölgyeknél a lombvesztés a kontrollhoz képest szignifikánsan kisebb volt, sőt a lombkorona borítása még növekedett is, függetlenül a kezdeti lombvesztési osztálytól, mely megfigyelés hasonló az ausztrál erdőalkotó fajok *P. cinnamomi* gyökérbetegséggel szembeni védelmére szolgáló kálium-foszfit injektálásról szerzett tapasztalatokkal, ahol Shearer és Fairman (2007) 4 éves tartamhatásról számoltak be.

Kelet-Ázsiában a licsin (*Litchi chinensis* Sonn., 1782) károsító poloskafaj (*Tessaratoma papillosa* Drury, 1770) elleni injektálás során azadirachtin hatóanyagot (0,17 g/cm DBH) alkalmazva a kártevő mortalitási rátája szignifikánsan nagyobb volt (55%), mint a kontroll esetében (10%) (10.3 melléklet) (Schulte et al., 2006).

A törzsinjektált abamektin, valamint az imidakloprid törzsinjektálással és talajbeöntözéssel történő alkalmazása jelentősen csökkentette a galagonya (*Crataegus viridis* L., 1753) kártevő csipkésposolkák (*Corythucha cydoniae* Fitch, 1861) által károsított levelek arányát Gill és munkatársainak (1999) vizsgálataiban (10.3 melléklet). Az értékelés során egyetlen levelet sem tekintettek sérültnek, és a kezelt fákon élő csipkésposolkát sem figyeltek meg. Amikor az imidaklopridot talajbeöntözve alkalmazták, 8-12 hétre volt szükség a letális koncentráció eléréséhez a kanadai hemlokfenyő (*Tsuga canadensis* (L.) Carrière, 1855), az amerikai mocsártölgy (*Quercus palustris* Münchh., 1770) és a simafenyő (*Pinus strobus* L., 1753) lombjában, míg a törzsinjektált imidakloprid egy, illetve négy hét alatt érte el a letális koncentrációt (Tattar et al. 1998).

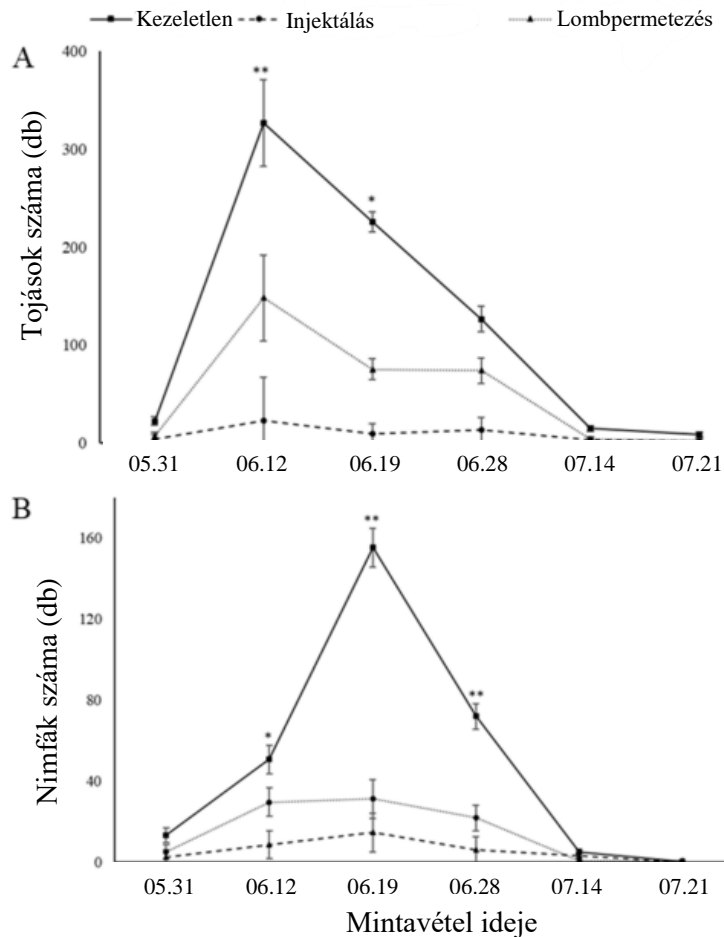
A neonikotinoidok és az avermektinek eredményességéről mások is beszámoltak. Coslor és munkatársai (2019b) az almalevél aknázómoly (*Phyllonorycter blancardella* Fabricius, 1781), a sűrű almalevéltetű (*Dysaphis plantaginea* Passerini, 1860), a *Choristoneura rosaceana* sodrómoly faj (Harris, 1841) és a fekete répa levéltetű (*Empoasca fabae* Harris, 1841) kártevők ellen végzett kísérleteiben, az injektálás hatékonyabbnak bizonyult más technológiákkal szemben (10.3 melléklet). Lawson és Dahlsten (2003) szilfa-olajosbogár (*Xanthogaleruca luteola* O.F.Müller, 1766) ellen bizonyította az abamektin és az imidakloprid eredményességét (10.3 melléklet). Rosenberg és munkatársai (2012) számos inszekticidet teszteltek a közönséges lucfenyő (*Picea abies* (L.) H. Karst., 1881) tobozaival táplálkozó rovarokkal szemben. A virágzás ideje alatt bifentrint, deltametrin, abamektint és imidaklopridot, illetve a virágzás előtt egy évvel abamektint és imidaklopridot injektáltak (10.3 melléklet). Az egyetlen hatóanyag, amely sikeresen csökkentette mindkét esetben a kártétel mértékét az abamektin volt.

2013-ban a fekete répa levéltetű nimfák átlagos száma a dinotefuránnal kezelt almafákon volt a legkisebb, ezt követte az imidakloprid és az abamektin (10.3 melléklet). A levéltetű nimfákat legnagyobb számban a kezeletlen, az emamektin-benzoáttal, a spinozáddal és a klórtraniliprollal kezelt fákon figyelték meg. Hasonlóképpen, 2014-ben az imidaklopriddal és dinotefuránnal injektált fákon volt a legkisebb az előfordulásuk az összes kezelés közül. A nimfák átlagos száma azonban minden kezelésnél szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a kezeletlen kontrollnál, tehát volt hatásuk, kivéve az emamektin-benzoát legkisebb dózisát. Az emamektin-benzoátra adott válasz dóziszfüggő volt, az 0,08 és 0,8 g/fa dózisok szignifikánsan kisebb kártevő előfordulást eredményeztek, mint a kezeletlen kontroll. Az abamektin és a spinozád az emamektin-benzoáthoz hasonlóan teljesített (Coslor et al., 2019b).

A banántripsz (*Thrips hawaiiensis* Morgan, 1913) napjainkban komoly károkat okoz Kína banánültetvényein (Fu et al., 2020). Mivel a hagyományos permetezős kezelések gyenge hatásúak a tripszek elleni védekezésben, kulcsfontosságú az új védekezési eljárások kifejlesztése. Ennek

fényében imidaklopridot és spirotetramát alkalmaztak viráginjektálásra (10.3 melléklet). Ezt követően kimutatták, hogy a viráginjektálás nagyobb mortalitást és jobb növényvédelmi hatékonyságot eredményezett a permetezésnél mindkét hatóanyag esetén és emellett nem volt negatív hatása a termés hozamra. Az eredmények azt is igazolták, hogy az injektálás hatékonyságát sem a banánfajok, sem a fenológiai eltérések nem befolyásolták. Figyelemre méltó, hogy ezek a peszticidek gyorsan lebomlottak a fiatal gyümölcsökben és az érett gyümölcsben nem mutattak ki szermaradékot, ami arra utal, hogy az injektálás nem jelentett élelmiszerbiztonsági kockázatot. Az imidaklopriddal és spirotetramáttal injektált fák gyümölcsén a fekete foltok száma lényegesen kisebb volt, mint a kezeletlen kontroll gyümölcsökön. Az injektált imidakloprid és spirotetramát hatékonysága között nem mutatkozott szignifikáns különbség. A 2017-es és a 2018-as szabadföldi kísérletekben a spirotetramát négyszeri permetezése körülbelül 70%-os hatékonyságot nyújtott a banántripsz ellen. Az injektálás hatékonysága azonban mindkét vizsgálati évben felülmúlta a permetezést, több mint 90%-os gyümölcsvédelmet biztosítva mindkét vizsgált banánfaj esetében.

Wheeler és munkatársai (2020) azadirachtin és abamektin injektálást hasonlították össze hagyományos lombpermetezéssel (10.3 melléklet). Céljuk a körte levélbolha (*Cacopsylla pyricola* Foerster, 1848) megfékezése volt. Eredményeik egyértelműen igazolták a törzsinjektálás jó hatásfokát (23. ábra): mind a tojások (A), mind a nimfák (B) száma szignifikánsan kevesebb volt az injektált fákön, mint a kezeletlen vagy egyéb módon kezeltékhez képest. Ugyanakkor a két hatóanyag hatékonysága között nem mutatkozott szignifikáns különbség.



23. ábra A körtelevélbolha (*Cacopsylla pyricola*) tojások (A) és nimfák (B) átlagos száma 50 db levélre vonatkoztatva. A * jelölt értékek szignifikáns eltérést ($p < 0,05$) mutattak az injektált és a kezelés nélküli kontroll között, míg a ** jelöltek szignifikáns eltérést mutattak a kezelés nélküli, a törzsinjektálás és a lombpermetezés között egyaránt Wheeler et al., 2020 nyomán.

Wang és munkatársai (2020) az emamektin-benzoát injektálásra való alkalmasságát az simahátú csillagoscincérral (*Anoplophora glabripennis* Motschulsky, 1854) erősen fertőzött fűz erdőkben tesztelték (10.3 melléklet). Az 1,7 ha-os területen az őszi injektálás során a lárvák egyedszáma a következő tavasszal 89%-kal, a második évben pedig 99%-kal csökkent és csak az injektálást követő harmadik évben tapasztalták a cincérek ismételt megjelenését. Az eredmények tükrében arra a következtetésekre jutottak, hogy az emamektin-benzoát jól transzlokálódik a szíjácsban, illetve jó mortalitással ($LC_{50}=20-30$ ppb) rendelkezik a cincér lárvákkal szemben, miközben a fiatal vesszőkön táplálkozó imágók élettartamát is jelentősen csökkentette.

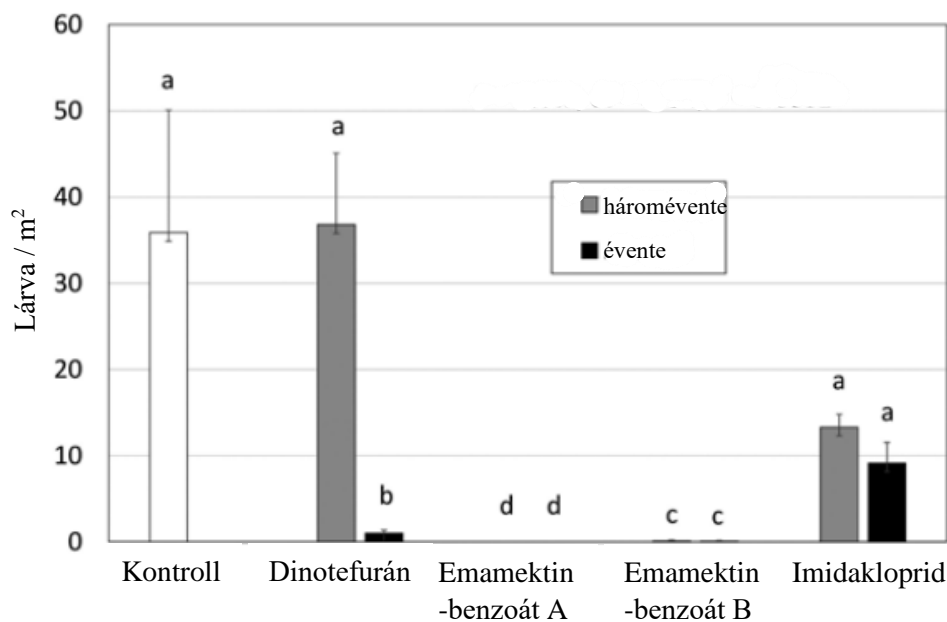
Hasonlóan kimagasló mortalitásról számoltak be Smitley és munkatársai (2010). A 0,1, 0,2 vagy 0,16 g/cm DBH dózisú emamektin-benzoát tartalmú egyszeri törzsinjektálás 100%-os védelmet adott az ázsiai körisrontó karcsúdíszbogár lárvák ellen 2-3 éven keresztül (10.3 melléklet). A kezelt fák lombkorona tünetei a törzsinjektálást követően 2-4 évig hasonlóak voltak, míg a kontroll fák több mint 50%-a elpusztult ugyanebben az időszakban.

Mashal és Obeidat (2019) szabadföldi vizsgálatában két emamektin-benzoát tartalmú készítmény: Revive[®] (40 g/l) és Revive[®] II (95 g/l) megelőző és gyógyító hatását értékelték a pálmafűró ormányosbogár ellen. Egyszeri törzsinjektálást alkalmaztak (2 g/fa) a törzs tövében Syngenta TMI 4.1 készülékkel (10.3 melléklet). Kéthetente monitorozták a kártétel külső tüneteit. A kezelt fákat az injektálás dátumától számított 3, 6 és 12 hónap elteltével kivágták és feldarabolták, hogy az összes ormányosbogár egyedét a fatörzs külső és belső részéről is összegyűjthessék. Az átlagos mortalitás a Revive[®] esetében 88%, a Revive[®] II esetén 99% volt. A leíró tünetadatok és a törzsen belüli mortalitás alapján a fák mindkét készítmény alkalmazása után mentesültek a pálmafűró ormányos kártételétől, továbbá mindkét formuláció legalább egyéves tartamhatást biztosított (Mashal és Obeidat, 2019).

Eisenbach és munkatársai (2014) kanadai hemlokfenyő állományokat injektáltak imidakloprid hatóanyaggal toboztetvek (*Adelgidae*) ellen (10.3 melléklet). A kezeléseket után 3-4 évvel is szignifikánsan kisebb volt a toboztetvek előfordulása azon faegyedek esetében, amelyek legalább 50%-os töménységű oldattal voltak injektálva, és az éves hajtásnövekedés is jelentősen erősebb volt (Eisenbach et al., 2014). Hasonlóan kedvező eredményeket találtak az ázsiai kőrisrontó karcsúdíszbogár vonatkozásában, ahol minimum hároméves védekezést sikerült elérni az emamektin-benzoátos injektálással, míg a törzsalapnál végzett törzskénés is egyéves tartamhatást biztosított, így évenkénti használata esetén hasonlóan eredményesnek bizonyult.

Az évente alkalmazott dinotefurán alaptörzsspermet hatékonyan akadályozta meg, hogy a lárvák száma elérje a károsítási szintet (24. ábra) (Cowles, 2010; McCullough et al., 2019). McCullough és munkatársai (2006) eredményei igazolták, hogy az imidakloprid (37 ml/cm DBH Macho 2F (21,4%)) + Pentra-Bark (89 ml/3,8 l) és dinotefurán (37 ml/cm DBH Safari (20%)) + Pentra-Bark (89 ml/3,8 l) alapi törzsspermetezéssel kezelt fákon az említett hatóanyagok képesek voltak bejutni a kéregről a szállítórendszerbe, így a lombkoronába transzlokálódni (10.3 melléklet).

A törzsspermettel kezelt fákon a levelek imidakloprid tartalma hasonló volt a beöntözött vagy a törzsinjektált fákhöz. A Pentra-Bark segédanyag támogatta a hatóanyagok penetrálását a xilémig. A dinotefurán és Pentra-Bark kombinációja közel 100%-ban képes volt kontrollálni az ázsiai kőrisrontó karcsúdíszbogár kártételét, míg ugyanebben a kísérletben az imidaklopridos törzsinjektálás csak 60%-os hatékonyságot mutatott (Anulewicz et al., 2009; McCullough et al., 2011).

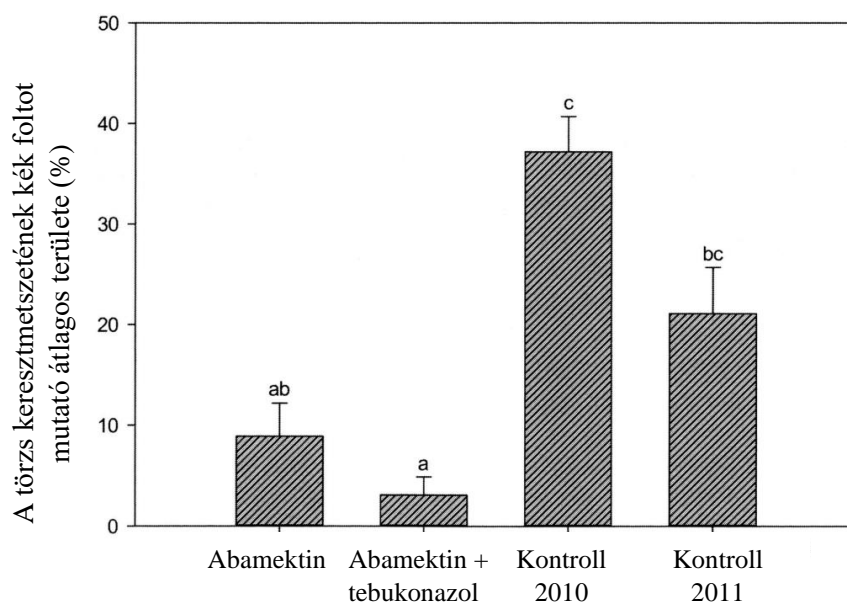


24. ábra A 2008 és 2013 közötti időszakban évente vagy háromévente felszívódó rovarölő szerekkel kezelt fákon az ázsiai kőrisonró karcshúdszobgár (*Agrilus planipennis*) lárvák átlagos sűrűsége 2013 végén. A fákat dinotefuránnal, emamektin-benzoáttal (A = nagy dózis; B = kis dózis) és imidaklopriddal kezelték McCullough et al., 2019 nyomán. Az azonos betűvel jelölt oszlopok nem különböztek szignifikánsan ($p > 0,05$).

Törzspermetként neonikotinoidok alkalmazása (különösen a dinotefurán) kiváló lehetőség az arboristák számára, mivel viszonylag gyorsak, és nem igényelnek fűrást vagy speciális injektáló berendezést. A dinotefurán és az imidakloprid a lombzatban a kezelést követő 3-4 héten belül megjelenik, ami azt jelzi, hogy a rovarirtó szer legalább egy része a xilémbe képes diffundálni és így eljut a lombkoronába. A dinotefurán vízben 80× jobban oldódik, mint az imidakloprid (USEPA 2004, Extoxnet 2010), ezért gyorsabban transzlokálódik a fán belül. McCullough és munkatársai (2006) megfigyelései ennek megfelelően alakultak, ugyanis a szermaradék adatok összhangban voltak ezzel a hipotézissel; 2007 júniusában például a dinotefurán maradékok 2-3× nagyobbak voltak, mint az imidakloprid maradékok. Általában az imidakloprid maradék koncentrációk a nyár folyamán növekedtek, ahogy a transzlokáció folytatódott, míg a dinotefurán maradékok általában a nyár végére csökkentek. Ugyanakkor a dinotefurán a lombzatban 12-14 hónappal a kezelés után is kimutatható volt, ami azt jelzi, hogy további munka szükséges a dinotefurán perzisztenciájának és a fán belüli transzlokációjának feltérképezésére. A Pentra-Bark adjuváns készítmény hozzáadása a formulált dinotefuránhoz vagy az imidaklopridhoz nem befolyásolta következetesen a kártevő mortalitását, a lárvasűrűséget vagy a szermaradék koncentrációkat. A törzspermetezett fákon a szermaradványok általában nagyobbak voltak, ahol a fák fiatalabbak voltak, míg a vastagabb kérgű nagyobb fákon a törzspermetként alkalmazott termékek kisebb szermaradvány értékeket szolgáltattak. Ezen fizikális körülmények a penetrációt gátolhatták, de a nagyobb méretű fákon általában kisebb szermaradványok a DBH és a lombkorona térfogata közötti nemlineáris

kapcsolat eredménye is lehetett (Cowles 2010). Az eredmények egyértelműen azt mutatták, hogy a neonikotinoid termékeket évente kell alkalmazni az ázsiai kőrisonró karsúdíszbogár elleni védekezésre (McCullough et al., 2011).

Az avermektinek jó eredményességéről tanúskodik Fettig és munkatársainak (2013) munkája, melyben abamektint és annak tebukonazzal való kombinációját injektálták a csavarttűs fenyő (*Pinus contorta*) törzsébe (10.4 melléklet). Az eredményeik alapján (25. ábra) ugyan csak az első vegetációs időszakban, de mindkét kezelés szignifikánsan csökkentette a törzs keresztmetszetében megjelenő kék foltok átlagos területét. Kutatásuk áttörést jelentett, ugyanis ez volt az első sikeres módszer, ami megoldást jelentett a csavarttűs fenyő szűbogarakkal (*Scolytus sp.*) szembeni védelmére. Ezzel jelentősen hozzájárult az injektációs kémiai növényvédelem továbbfejlődéséhez (Fettig et al., 2013).



25. ábra A szűbogarak (*Scolytus sp.*) elleni törzsinjektálás hatékonysága Fettig et al., 2013 nyomán. A különböző betűvel jelzett oszlopok szignifikáns eltérést mutatnak ($p < 0,05$).

A kínai dióültetvényekben a legjelentősebb növényvédelmi problémákat a dió antraknózisa (*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc., 1927), illetve egy lepkefaj (*Atrijuglans hetaohei* Yang, 1977) okozza. Az antraknózis ellen Ying és munkatársai (2014) öt különböző fungicidet próbáltak ki, ahol a tebukonazol hatóanyag volt a leghatékonyabb (10.4 melléklet). A kártevővel szemben imidaklopriddal és emamektin-benzoáttal kísérleteztek. Megállapították, hogy a tebukonazol és imidakloprid, illetve tebukonazol és emamektin-benzoát keverékek injektálásával ezen károsítók által kiváltott növényvédelmi problémák orvosolhatóak (Ying et al., 2014).

Hasonló céllal Maso és munkatársai (2019) sikeresen alkalmazták az endoterápiát, amikor megjelent a dió rákos megbetegsége, amelyet a *Geosmithia morbida* kórokozó és a kéregbogár (*Pityophthorus juglandis*) vektoriális tevékenysége együtt okozott és terjesztett (10.4 melléklet).

A terepi és laboratóriumi kísérletek során egyaránt a prokloráz és a tetrakonazol fungicidek bizonyultak a leghatékonyabbnak, míg a tiabendazol kevésbé. Kifejezetten a vektorfaj ellen irányuló abamektin szintén eredményes volt (Maso et al., 2019).

A száraz klímájú területek egyik legveszedelmesebb diókártevője a kis farontólepke (*Zeuzera pyrina* L., 1761), mely akár 100%-os termésvesztést is okozhat. Mokhtaryan és munkatársai (2021) a tiametoxamot és annak műtrágyával való kombinációját injektálva eredményesnek találták, és a lakóterületekre jellemző öreg, magányos diófák javasolható növényvédelmi módszerének ítélték meg (10.4 melléklet). A műtrágya kiegészítést a fa kondíciójának javítására, regenerálódásának elősegítésére javasolták.

A szakirodalmi közlemények alapján már rendelkezésre állnak sikeres vizsgálatok és technológiai fejlesztések a diófák injektálásával kapcsolatban, melyek eredményesnek bizonyultak mind a kártevők, mind a kórokozók elleni védekezés terén (Ying et al., 2014; Maso et al., 2019; Mokhtaryan et al., 2021). Ugyanakkor a nyugati dióburok-fúrólégy elleni injektálás területén elsőként végeztünk eredményes kísérleteket (Kiss et al., 2021; Kiss et al., 2023).

A felsorolt növényvédelmi célú felhasználáson túl az injektálás alkalmazható tápanyag-utánpótlásra, növény-kondicionálásra (Berger és Laurent, 2019), természabályozásra, valamint egyes fák kivágás előtti elpusztítására, amelyet a sarjhajtások képződésének elkerülése érdekében végeznek. Raese és munkatársai (1986) alma-, illetve körtefákat (*Pyrus communis*) kezeltek vas és kén vegyületekkel a klorózisos tünetek csökkentésére (10.5 melléklet). A kutatás során lombpermetezést, törzsinjektálás és talajbeöntözést alkalmaztak. A beöntözésnél nem tapasztaltak változást, ugyanis a tömörödött, erősen meszes talajon a mikroelem felvétel továbbra is gátolt volt. A lombpermetezés jelentősen javított a levelek és a gyümölcsök vashiányán, viszont hatása rövid tartamú volt. A leghatékonyabb módszernek a törzsinjektálás bizonyult, ahol az injektálást követő 3-4 év elteltével sem mutatkoztak a vashiány tünetei (Raese et al., 1986).

A mikrotápanyag-hiány problémáinak leküzdése meszes talajokban egy állandó probléma. Ennek oka a kalcium-karbonát, különösen az aktív karbonát jelenléte, valamint a talaj lúgos pH-ja, amely a mikroelemek oldhatatlan vagy rosszul oldódó formái, például hidroxidok vagy komplexek kiválásához vezet. Ezen ionok nagy fajlagos felülete miatt lényegesen nagyobb mennyiségben adszorbeálják a mikroelemeket, mint a gyökerek ezen tápelemek felé mutatott felvevő képessége. El-Deen és munkatársai (2018) 5%(m/m) vas, 2,48% cink és 3,5% Mn vízben oldott, EDTA kelátot tartalmazó kereskedelmi keveréket használtak háromféle alkalmazásban (azaz kontroll, talajbeöntözés, lombpermetezés és törzsinjektálás) (10.5 melléklet). Évente háromszor (a növekedési időszak elején márciusban, gyümölcséréskor júniusban és augusztusban betakarítás után) végeztek kezeléseket. Hasonló eredményekről számoltak be, mint Raese és

munkatársai (1986), azaz a permetezés segítette a tünetek csökkentését, de tartósan csak az injektálás volt képes azt fenntartani.

A fogyasztói kereslet a szintetikus növényvédőszer-maradványok nélküli mezőgazdasági termékek iránt egyre nő. Ezzel kapcsolatban olyan alternatív megoldások, mint a xenobiotikumoktól mentes injektálásra is van már példa. Werrie és munkatársai (2021) a fodormenta (*Mentha spicata* L., 1753) illóolaj komponensét, a karvont és a kínai fahéjfa (*Cinnamomum cassia* (L.) J.Presl, 1825) fő komponensét a fahéjaldehidet használták fel almafák törzsinjektálására (10.5 melléklet). Ezen illóolajok a kezelés következtében feldúsultak a levelekben és emellett más illékony vegyületek, mint például a metil-szalicilát vagy a kariofilén koncentrációjának megnövekedését is eredményezték, mely illékony szerves vegyületek vélhetően jelentős szerepet játszanak a növények baktériumok, gombák, vírusok és növényevők elleni védekezési mechanizmusaiban, mely az immunitás fokozásán keresztül a termésmennyiségre is pozitívan hathat.

2018-ban Dalakouras és munkatársai felismerték az RNS-interferenciában rejlő növényvédelmi lehetőségeket. A hajtú RNS-ek (hpRNS) és a kis interferáló RNS-ek (siRNS-ek) injektálás útján hatékonyan szétterjedtek a xilémekben és a floémekben, indukálva ezzel az RNS-interferenciát, mely a fatestet vagy a növényi nedvet fogyasztó károsítók tevékenységére gátlóan hatott (10.5 melléklet) (Dalakouras et al., 2018).

Hasonlóan környezetbarát módszer a különféle növényi betegségek leküzdésében a szisztémikusan szerzett rezisztencia (SAR) indukátorainak használata. Li és munkatársai (2021) acibenzolar-S-metil (ASM), 2,6-diklór-izonikotinsav (INA) és szalicilsav (SA), mint SAR-indukáló anyagokat teszteltek (10.5 melléklet). Kísérletükben narancsfákon (*Citrus x sinensis* 'Hamlin') levélpermetezést, talajbeöntözést és törzsinjektálást alkalmaztak különböző dózisban és gyakorisággal, majd értékelték a citrusfélék levélzöldülés betegségére (HLB) kifejtett hatását. Évente hat levélpermetezést, hat talajbeöntözést és három törzsinjektálást hajtottak végre. Az értékeléshez számba vették a betegség súlyosságát, a betakarítás előtti gyümölcshullást, a termést és a gyümölcs minőségét. A 2018. évi szezon végére a törzsön végzett összes endoterápiás kezelés 0,25 g/fa dózisban, valamint az INA és SA 0,5 g/fa dózisú levélpermetezés jelentősen csökkentette a betegség súlyosságát. Az ASM, SA, oxálsav és kálium-foszfát SAR-indukátorok törzsinjektálva szignifikánsan csökkentették a betegség előrehaladását (Hu et al. 2018). Ezek a tanulmányok azt sugallják, hogy a SAR-indukátorok törzsinjektálva jobb hatást biztosítanak, mint a levélpermetek, ahogyan azt citrusfélék zöldüléssel járó betegségének leküzdésében tapasztalták.

3.5 A felhasznált hatóanyagok áttekintése

Az injektálásra alkalmas hatóanyagok körét alapvetően a biológiai hatékonyság és a kémiai megfelelés alapján szűkíthetjük (Li és Nangong, 2022). A következőkben támpontot kívánunk nyújtani az injektálásra alkalmas hatóanyagok kémiai vonatkozásában, mely jellegű ismeretanyag ez idáig nem volt egyesítve. Az itt részletezett hatóanyagokat (abamektin, emamektin-benzoát, acetemiprid, flupiradifuron, spirotetramát) az irodalomban fellelhető korábbi felhasználásuk és fizikai-kémiai paramétereik alapján választottuk kísérleteinkhez, annak ellenére, hogy az acetamiprid kivételével korábban semmiféle módon nem tesztelték őket a nyugati dióburok-fúrólégy ellen.

A hatóanyag környezeti viselkedését tudományos néven „toxikokinetikának” hívjuk, amely a vegyület sorsát írja le, annak kijuttatását követően (Hernández et al., 2017). Ahogyan azt már korábban említettük, a törzsinjektálás során a fák szállítószövetébe jutott vegyület a felfelé irányuló vízszállítás folyamával együtt kerül a szándékozott hatás kifejtés helyére (Doccola és Wild, 2012; Li és Nangong, 2022). A hatóanyag direkt úton jut a farészbe (xilém), így a levélpermetezéshez viszonyítva a toxikokinetikai folyamatok néhány szakasza (környezeti degradáció, levélen keresztüli penetráció, eloszlás) nem releváns tényező. Ebből adódóan az injektálásra szánt növényvédő szerek nem szorulnak olyan speciális segédanyagokra sem, melyek a viaszos, zsíros zöld növényi felületeken (levélzet) keresztüli penetrációt hivatottak segíteni. A formulálás célja legtöbbször éppen annak a nehézségnek a kiküszöbölése, hogy a hatóanyag némileg áthatoljon a növényi levél felületén, onnan lehetőleg ne mosódjon le és ne degradálódjon idő előtt (Yang et al., 2015). A törzsinjektálásnál a kinetikai folyamatok sokkal egyszerűbbek, nincs szükség a hatóanyag ilyen jellegű támogatására (Li és Nangong, 2022). Ezen segédanyagok jelenléte olykor még hátrány is lehet, ugyanis fitotoxikusak lehetnek a szállítórendszer számára, vagy a szilárd szemcsék például könnyen eltömíthetik azt (Wang et al., 2020). Emiatt szuszpenziók (mint az SC, WG, WDG, OD formulák) kevésbé alkalmasak injektálásra

Az injektálási célra készült növényvédő szerek esetén a formuláció elsődleges célja a hatóanyag stabil oldatban tartása, valamint az injektáláskor keletkezett seb gyógyulásának elősegítése (Archer és Albrecht, 2023). Az elvárt nagy távolságú transzlokáció miatt azonban a hatóanyag fizikai-kémiai tényezői – mint a sejtfalhoz való adszorpció, a vízdékonyság, a stabilitás, a polaritás, a sav-bázis karakter – hangsúlyosabbak ennél a kezelési módnál (Tattar et al., 1998; Zamora és Escobar, 2000).

3.5.1 Abamektin

A kísérleteink során használt abamektin az avermektin-családba tartozó hatóanyag. A hatóanyag család jellemzői, hogy olyan természetes anyagok keverékei, amelyek a makrociklusos

laktonok kémiai csoportját képviselik. Nematicid, akaricid és inszekticid hatással rendelkező nagy molekulatömegű (~800-1000 g/mol) komponens (Lasota és Dybas, 1991). Az abamektint a növényvédelmi gyakorlat elsősorban szűrő-szívó szájszervű kártevők (atkák (Acari), tripszek (Thysanoptera), molytetvek (Aleyrodoidea), levélbolhák (Psylloidea), valamint aknázólégy (Agromyzidae) lárvák elleni biológiai spektrummal rendelkező hatóanyagként ismeri és alkalmazza (Copping és Duke, 2007). Adódik ez azon tulajdonságából miszerint levélpermetként alkalmazva a levélszövetben bizonyos mértékű transzlokációra képes (Dybas, 1989; Escalada et al., 2008). Egy hatóanyag biológiai spektruma azonban nem csak attól függ, hogy megfelelő mortalitással rendelkezik-e egy szervezetre, hanem attól is, hogy az egyébként hatásos vegyület képes-e kapcsolatba kerülni a megcélzott szervezettel. Köztudott, hogy jelentős különbségek vannak a gerincesek és a rovarok idegrendszere között (Jansson és Dybas, 1998; US EPA 2010). Az egyik legfontosabb különbség, amely az inszekticid-szelektivitáshoz kihasználható, a gerincesek csontvázat szabályozó motoneuronok kolinerg természete, összehasonlítva a GABAerg (gamma-aminovajsav) és/vagy glutamáterg motoneuronokkal, amelyek rovarok és más gerinctelenek vázizomzat aktivitását szabályozzák (Cserép, 2013). Ez a különbség olyan vegyületek felfedezéséhez vezetett, amelyek éppen a GABA vagy a glutamát receptorokat célozzák a rovarok izomzatában, de nem képesek behatolni a gerincesek központi idegrendszerébe, ahol szintén találhatóak GABAerg receptorok.

Az abamektinről ismeretes, hogy UV fény hatására gyorsan és nagyfokú degradációt szenved, mely a hatékonyságának elvesztéséhez vezet (Escalada et al., 2008), ezért, valamint a vegyület kémiai jellegéből következően (kváziszisztémikus), csak azon kártevők ellen lehet eredményes melyek a levél azon szövetéből veszik fel táplálékukat melyekben a hatóanyag hosszabb ideig képes jelen lenni. A napfénynek kitett részekben a rövid felezési idővel rendelkező hatóanyag (Bai és Ogbourne, 2016) csak viszonylag kisebb mennyiségben képes penetrálni a levelekbe (Jansson és Dybas, 1998).

Lasota és Dybas (1991) bemutatták, hogy az abamektin transzlamináris mozgékonyasága révén képes az atkák kártételét kontrollálni, ellentétben a levéltetvek (Aphididae) kártételével. Ezzel bizonyítva, hogy az abamektin elsősorban a parenchima sejtekben képez rezervoárt, ahol a kártevő atkák is szívogatnak, míg a floém részben, ahonnan a levéltetvek táplálkoznak csak kis mennyiségben találták meg az abamektint. A parenchimális szövetekben képződött rezervoár hatásának köszönhetően kiváló hatékonysággal kontrollál számos levélaknázó kétszárnyú (Diptera) és lepke (Lepidoptera) fajt.

3.5.2 Emamektin-benzoát

Bár az abamektin hatékony az atkák és számos más rovarkártevő ellen, a lepkék elleni hatékonysága gyengének minősült. Az abamektin ezen hiányossága egy nagyon céltudatos, orvosi, kémiai és biológiai vizsgálati program elindítását eredményezte, amely egy félszintetikus avermektin, a 4"-epi-methylamino-4"-deoxyavermectin BI (emamektin) felfedezését eredményezte 1984-ben, amelyet az abamektin ötlépéses szintézisével nyertek (Jansson és Dybas, 1998). Ezt a vegyületet a későbbiekben növényvédelmi célból továbbfejlesztették, majd felfedezték, hogy az emamektin benzoát sója jobb hőstabilitással és nagyobb vízdoldhatósággal jellemezhető, illetve nagyon hatékony a lepkék széles spektrumában. Akkoriban ez volt a leghatékonyabb mezőgazdasági felhasználásra bejegyzett rovarölő vegyület (Jansson és Dybas, 1998).

3.5.3 Acetamiprid

Az acetamiprid a neonikotinoid inszekticidek közé tartozik, amelyeket 1998-ban Japánban fejlesztettek ki (Yamada et al., 1999). Az Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) szakértői bizottsága háromféle aktív ligandosztályát különbözteti meg a rovarok nikotinos acetilkolin receptorainak (nAChR) (IRAC, 2022). Hatásmódjuk szerint a posztszinaptikus nAChR-ok lehetnek (i) a nAChR agonistái (IRAC 4A csoport: neonikotinoidok, 4B: nikotin, 4C: szulfoxaflor, 4D: flupiradifuron), (ii) a nAChR-allosztérikus modulátorai (IRAC 5 csoport: spinozinok) és (iii) nAChR-csatorna blokkolók (IRAC 14 csoport, melyek az Európai Unióban azonban nem engedélyezettek) (Jeschke et al., 2015; Nauen et al., 2015). Érdekesség, hogy a mai napig a neonikotinoidok jelentik az inszekticidek legfontosabb kémiai osztályát (Jeschke et al., 2015).

Az acetamiprid abamektintől jelentősen kisebb molekulatömegének (223 g/mol) és kiváló vízdékonyságának (4200 mg/l 25°C-on) köszönhetően xilém-szisztémikus tulajdonsággal rendelkező idegrendszeri mérge, mely mind érintés útján, mind gyomorméregként hatékony (Yamada et al., 1999). Az acetamiprid a nikotinos acetilkolin receptorok agonistája, ami rendkívül eredményes a kártevő rovarok elleni védekezésben. Széles körben használják mezőgazdasági, háztartási és közegészségügyi célokra egyaránt. A mezőgazdaságban világszerte alkalmazott levéltetvek, molytetvek, kabócák (Auchenorrhyncha), levélbolhák, poloskák (Heteroptera), tripszek, lepkék, bogarak (Coleoptera) elleni védekezésre a legtöbb kultúrában (Wallace, 2014). Megjegyzendő, hogy a sokrétű használat a kártevők rezisztencia kialakításának kockázatát növeli, ami napjainkban éppen megmutatkozni látszik az acetamiprid esetében is (Wu et al., 2022).

3.5.4 Flupiradifuron

A flupiradifuron a butenolid rovarölő szerek új osztályának a tagja. Szűrő-szívó szájszervű rovarok (levéltetvek, molytetvek és levélbolhák) ellen használt hatóanyag (Jeschke et al., 2015). A flupiradifuron hatásmódja hasonló az előbb tárgyalt acetamipridéhez, reverzibilisen kötődik a rovarok nikotinos acetilkolin receptoraihoz (nAChRs). Azonban a butenolid inszekticidek olyan szerkezet-aktivitás összefüggéseket mutatnak, amelyek eltérnek más nAChR agonistáktól, mint például a neonikotinoidek és szulfoxaminok, éppen ezért a neonikotinoidekkel szemben rezisztenciát kialakító kártevő populációkkal szemben is eredményesek. A flupiradifuron kiváló vízdékonysággal jellemezhető (3200 mg/l 25°C-on) transzlamináris mozgásra képes hatóanyag, de floém-szisztémicitással nem rendelkezik (Nauen et al., 2015).

3.5.5 Spirotetramát

A spirotetramát, egy spirociklusos tetraminsav származék, mely felszívódó tulajdonsággal rendelkező, zsírsav bioszintézist gátló, rovarirtó hatóanyag. Molekulatömege 373,45 g/mol, amely a korábban részletezett avermektinektől jócskán kisebb. E hatóanyagot tartalmazó készítményeket világszerte használják almatermésűek, csonthéjasok, citrusfélék, szőlő (*Vitis vinifera* L., 1753), mandula (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb, 1967), dió, komló (*Humulus lupulus* L., 1753), tea (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze 1887), zöldségek, gyapot (*Gossypium* sp.) és különféle trópusi gyümölcsök védelmére. A spirotetramát kiváló mortalitással bír a szűrő-szívó szájszervű kártevők (levéltetvek, törpetetvek (Phylloxeridae), gubacstetvek (Eriosomatidae), levélbolhák, molytetvek, pajzstetvek (Coccoidea)) széles spektrumában (Nauen et al., 2008), de hatásmechanizmusából adódóan különösen a fiatalok ellen hatékony. Mindamellett további kedvező tulajdonsága, hogy az adult (kifejlett) nőstények termékenységét (a tojások sejtszétválásának gátlásával) hátrányosan befolyásolja, így ezen keresztül az elkövetkező generációkra is negatívan hat.

A spirotetramát egyedi transzlokációval rendelkezik, melynek következtében a lombozatra permetezve, majd felszívódva az inszekticid aktivitás áthelyeződik a szöveteken belülre. Propeszticid tulajdonságából adódva, a felszívódás után a peszticidhatás kialakításáért az elsődleges biológiailag aktív metabolitja (spirotetramát-enol) felel (Brück et al., 2009). A hatóanyag képes a vaszkuláris rendszerben közlekedni lefelé és felfelé egyaránt. A transzlokáció tehát mind a xilémbe, mind a floémbe végbemegy (Mohapatra et al., 2012a). Egy vegyület floémbe való transzlokációs lehetőségét alapvetően két fiziko-kémiai tulajdonsága határozza meg. Egy vegyület abban az esetben floém-mobilis, ha pKa értéke 4-6 (gyenge savak), logP értéke -2 és +1 között található. A spirotetramát-enol pKa értéke 5,2 a logP értéke 0,3 (pH7) (Brück et al., 2009). Ezen tulajdonsága teszi alkalmassá védekezésre az olyan kártevők ellen, melyek

morfológiai tulajdonságaik miatt védettek (pajzstetvek) vagy rejtett életmódot folytatnak (törpetetvek, gubacstetvek), ezáltal érintő mérgekkel nem kezelhetők. Az egyetlen megoldás ilyen esetben a táplálkozás útján ható mérgek alkalmazása, melyeknél ilyenkor elvárás a bazipetális mobilitás (fonálférgek (Nematoda), törpetetvek, gubacstetvek).

A növényekben a spirotetramát elsődleges metabolitja a spirotetramát-enol (Mohapatra et al., 2012b), amely toxicitásában egyenértékű az anyavegyületével, éppen ezért növényvédőszer-maradék vizsgálatokban e két vegyület összegét kell a határértéknek tekinteni.

4 ANYAG ÉS MÓDSZER

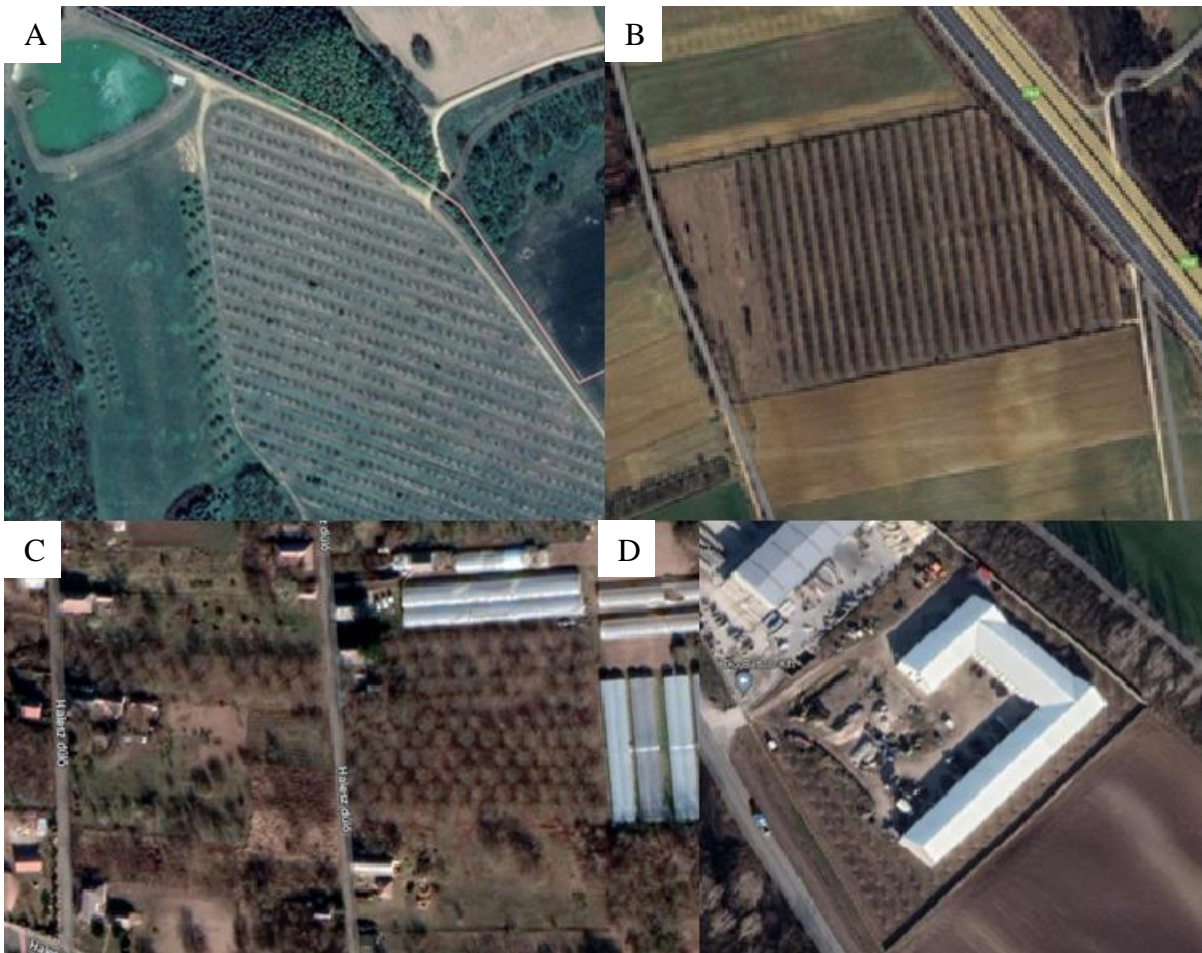
4.1 Helyszínek és a növényvédelmi kezelések időpontjai

Diófa törzsinjektálási kísérletet négy évben állítottunk be, összesen négy helyszínen (26. ábra) a 4. táblázatnak megfelelően. A III. kísérlet kivételével, sem a kísérletbe vont fákon, sem a környezetükben (a teljes ültetvényt tekintve) nem történt egyéb rovarölő szeres kezelés a teljes tenyészidőszakot lefedően. A III. kísérletet kereskedelmi célú üzemekben, a Nébih együttműködésével valósítottuk meg, itt az ültetvények szélében kaptunk erre helyet. A fák térállása 10×10 m volt, kivéve a III. helyszíneken, ahol az ültetvény fiatal kora miatt még kisebb térállást, 10×5 m-t használtak. A felhasznált növényvédő szereket kísérleti engedélyek birtokában, a kezelt fákról származó termékek élelmiszerként való felhasználásának tudatos mellőzésével vettük igénybe.

4. táblázat A kísérleti helyszínek és adataik.

| Helyszín | GPS koordináták | Kezelési időpont | Kísérlet sorszáma | Egyéb növényvédelmi kezelések | Fák kora (év) | Fajta |
|------------|--------------------------|---------------------|-------------------|-------------------------------|---------------|--------------------|
| Taksony | N47,306584 E19,083406 | 2019. június 8. | I. | nem | 10 | Alsószentiváni 117 |
| | | 2020. június 4. | II. | nem | 11 | Alsószentiváni 117 |
| Csipkerek | N47,064823 E16,927869 | 2021. június 11. | III/a. | igen | 8 | Milotai 10 |
| Felsőpáhok | N46,794717 E17,155021 | 2021. június 9. | III/b. | igen | 14 | Milotai 10 |
| Szelevény | N46,827162 E20,170184 | 2021. május 28. | IV. | nem | 28 | Milotai 10 |
| | | 2022. május 27. | V. | nem | 29 | Alsószentiváni 117 |
| | | 2022. június 2. | VI. | nem | 29 | Alsószentiváni 117 |

A kezelések a várható rajzáskezdet előtt mintegy 4-6 héttel, a fák intenzív növekedésének idején történtek. A rajzáskezdetet CSALOMON® PALz csapdákkal figyeltük meg.



26. ábra A kísérleti helyszínek felülnézeti képe A-Csipkerek, B-Felsőpáhok, C-Szelevény, D-Taksony

4.2 Felhasznált anyagok és eszközök

A növényvédő szer törzsbe injektálására két különböző, de alapjaiban hasonló elven működő eszközt alkalmaztunk. Mindkét eszköz közvetlenül csatlakozott az injektálás előtt kialakított furatba. Az injektálási pontok magassága a talaj felszíne fölött mintegy 20 cm-rel volt. Injektálás után a furatokat fagéllel (Fénylakk Kft.) zártuk le.

A Treenject (27. ábra) injektáló készülék használatához a törzs kerületének megfelelően, arányos elosztásban, a törzsmérettől függően 4-8 db 3,5 mm átmérőjű és 50 mm mélységű furatokat készítettünk. Az anyagbejuttatás a furatokba a törzs átellenes oldalain történt. Ez az eszköz legfeljebb 12,6 bar állandó nyomáson képes folyadékot préselni a fatestbe. Egy nyomásra 2,5 ml folyadék juttatható a furatba, ebből adódóan kisebb mennyiségek (max. 10-20 ml/furat) injektálására használható.



27. ábra Treenject típusú injektáló készülék balra (saját fotó, Taksony, 2021) és YnjectGO (latexcső) jobbra (saját fotó, Szelevény, 2022)

A másik alkalmazott eszköz egy többretegű latexcső és applikátor kombinációja (Ynject GO) volt (27. ábra). Ebben az esetben a törzs átellenes oldalain 4 darab, 6,5 mm átmérőjű, 50 mm mélységű furatokat készítettünk, melybe az applikátor segítségével csatlakoztattuk az eszközt. Ennek az eszköznek az előnye, hogy nagyobb mennyiségű (akár 50-60 ml/furat) folyadék injektálására is alkalmas, valamint nem igényel a felhasználótól fizikai erőfeszítést, ugyanis a latexcső önzugorodása végzi el az injektálást. Kisebb nyomás (3,5 bar) kialakítására képes, mint az előző eszköz, de a nyomás állandósága miatt több folyadékot képes bejuttatni, illetve kevésbé jól injektálható fák kezelésére is alkalmas.

Az injektáláshoz felhasznált növényvédő szerek egy részét kristályos formából állítottuk elő hazai növényvédő szer gyártónál. Másrészben kereskedelmi forgalomban kapható készítményekkel dolgoztunk (5. táblázat). A kísérleteink során a felhasznált hatóanyagokat (i) fizikai-kémiai paramétereik, valamint (ii) a szakirodalmi forrásokban fellelhető korábbi tapasztalatok alapján választottuk ki.

A 3. táblázatban a hatóanyag választás során figyelembe vett legfontosabb fizikai-kémiai paramétereket és értékeiket ismertettük, amelyek alapjaiban befolyásolják egy komponens toxikokinetikai viselkedését. A táblázat adatai és az irodalomban közölt vizsgálati eredmények alapján az alábbi megállapításokat feltételezzük a hatóanyag választással kapcsolatban:

1. **Vízoldhatóság:** a vízszállító rendszerbe közvetlenül bejuttatott hatóanyagoknak valamely mértékben vízoldhatónak kell lennie. Értéke 10 mg/l fölött előnyös, kisebb érték esetén nagy rezervoár hatás várható.

2. Koc (szerves szén adszorpciós koefficiens) a nagy érték általában erős kölcsönhatást mutat a xilém fala és a peszticid vegyület között. Azonban a talajra jellemző kelátképző kapacitás a xilém esetében nem jelentkezik, ezért néhány esetben a mérőszám nem releváns.

3. pKa (savi disszociációs koefficiens) alapvetően meghatározza a xilémben áramló peszticid mikrospeciesz formáját. A kationos forma gyengén/nem képes mozogni a xilém (rezervoár hatás), míg az anionok gyorsan mozognak. A semleges molekulák jól képesek mozogni, de a hidrogénhid kapacitásuk megváltoztathatják ezt. Az erős kation a legkevésbé mozgékony.

4. Molekulaméret: a xilém morfológiai átteresztőképességénél nagyobb méretű molekulák nem/lassan áramolnak a lombkorona irányába, ezért késleltetett hatás várható.

5. táblázat Az injektáláshoz igénybe vett készítmények listája.

| Rövidített név | Hatóanyag | Hatóanyag-tartalom | Készítmény | Gyártó/előállító |
|----------------|-------------------|--------------------|--|------------------------------|
| ABA | abamektin | 18 g/l | Vertimec® 1,8 EC | Syngenta, Basel, Switzerland |
| ABA | abamektin | 100 g/l | kísérleti célra előállított készítmény | |
| EMA | emamektin-benzoát | 95 g/l | kísérleti célra előállított készítmény | |
| ACE | acetamiprid | 200 g/l | Gilan® 20 SL | Luxembourg, Israel |
| FLU | flupiradifuron | 200 g/l | Sivanto Prime® | Bayer AG, Leverkusen |
| SPI | spirotetramát | 100 g/l | Movento® | Bayer AG, Leverkusen |

Fontos paraméter a vegyület hatásmódja. Feltételezésünk szerint a törzsinjektálással alkalmazott idegrendszeri, illetve lipid bioszintézis gátló peszticidek lehetnek alkalmasak a dió zöld burkában fejlődő nyugati dióburok-fürőlégylárvák fejlődését gátolni, mely mérgeknél a hatáskifejtés már a korai stádiumban megvalósul.

A törzskenésre ugyanazon készítményeket és hatóanyagait vizsgáltuk, melyeket injektálásra is (5. táblázat). A törzsre való felvitelre egyszerű pipaecsetet használtunk, amit a különböző hatóanyagoknál újra cseréltünk. A törzsön 50 cm-es magasságban egy 30-40 cm magas palástgyűrűnek megfelelő részt kentünk körbe a kívánt eleggyel (28. ábra).

A felhasznált segédanyagok a Pentra-Bark® (PB) és az Invazív® (I) készítmények voltak, melyek olyan hatásfokozó segédanyagok, amik egyes hatóanyagok esetében lehetővé teszik vagy növelik a kérogen keresztüli penetrációt.



28. ábra A törzskénés módja: flupiradifuron + Pentra-Bark balra és flupiradifuron + Invazív jobbra (saját fotó, Szelevény, 2022)

A Pentra-Bark[®] olyan nemionos felületaktív anyagokat (alkilfenol-etoxilát, poliéter polysziloxán kopolimer, propilén-glikol) tartalmazó készítmény, mely a vízben oldott rovarölő, gombaölő, gyomirtó, illetve egyéb növényi növekedést szabályozó anyagokat vagy műtrágyát a fa kérgéről annak szállító rendszerébe képes juttatni vagy ennek folyamatát elősegíteni, ahonnan az a lombzatba vagy a gyökerekbe kerül.

Az Invazív[®] 15-40 m/m% hidrogénezett ásványolaj párlat C₂₀-C₅₀ nehéz nafténbázisú és 10-30 m/m% hidrogénezett ásványolaj párlat C₁₅-C₃₀ könnyű nafténbázisú frakciók keveréke. Alkalmazásának elsődleges célja a glifozát és metszulfuron-metil hatóanyagú gyomirtó szerek hatásfokozása erdészeti felhasználásnál. Élénk kék színe könnyen felismerhetővé teszi a már kezelt egyedeket. Ezen segédanyagok használata, lehetővé teszi, hogy elkerüljük a lombzat permetezését, a talaj átítatását vagy a törzs megsértését. A kezeléseket a tápanyagforgalom megindulásától annak leálltáig lehet hatékonyan végezni.

A hatóanyag-maradékok detektálásához a HPLC-tisztaságú acetonitrilt a VWR biztosította (Debrecen, Magyarország). Az Alfa Aesar (Karlsruhe, Németország) készítette a vízmentes magnézium-szulfátot és a dinátrium-hidrogén-citrátot. A nátrium-klorid és a trinátrium-citrát szintén VWR-től származott. Az alkalmazott eszközök közül az 50 ml, illetve 15 ml térfogatú PP centrifugacsöveket, az extraktok tárolására használt mintatartó üvegcséket (vial), valamint a 0,22 mikronos PTFE szűrőket szintén a VWR gyártotta. A kromatográfiás elválasztáshoz felhasznált

hangyasavat a Merck KGaA (Darmstadt, Németország) gyártotta, az ammónium-acetátot a Thomaskasker & Chemiris Vegyszerbolt (Budapest, Magyarország) szolgáltatta. A PSA a Sigma Aldrich Kft.-től került megrendelésre. Az eluensként, valamint a hígításoknál oldószerként alkalmazott ionmentes vizet a Millipore MilliQ rendszer (Darmstadt, Németország) állította elő, a metanolt a VWR szállította.

A hatóanyag sztenderdek a Sigma-Aldrich (St. Louis, Egyesült Államok) cégtől lettek beszerezve, a 6. táblázat szerinti tisztasággal.

6. táblázat A hatóanyag sztenderdek tisztasága

| Hatóanyag | Tisztaság (%) |
|--------------------|---------------|
| Abamektin | 94,6 |
| Enamektin-benzoát | ≥80,0 |
| Acetamiprid | ≥98,0 |
| Flupiradifuron | ≥98,0 |
| Spirotetramát | ≥98,0 |
| Spirotetramát-enol | ≥95,8 |

4.3 Hatóanyag választás törzsinjektálásra

A biológiai eredményesség részletezése előtt a figyelmet a hatóanyagok viselkedésének megismerésére, ezáltal a technológiára való alkalmasságának bizonyítására helyeztük. Ehhez kémiai analitikai módszereket használtunk és azt vizsgáltuk, hogy vajon törzsinjektálást, valamint törzskénést követően a hatóanyag megjelenik-e releváns mennyiségben a diófa különböző részeiben (levél, burok, dióhéj).

A 7. táblázatban összefoglalt V. kísérleti beállítás célja tehát a fizikai-kémiai tulajdonságok alapján alkalmasnak vélt hatóanyagok, úgy, mint az ABA, az EMA, az ACE, a FLU és a SPI gyakorlati tesztelése volt. Az injektálást Ynject GO eszközzel végeztük és minden kezelés alkalmával egyforma térfogatú (200 ml/fa) oldatot juttatunk ki. Az injektáláshoz 100 g/l koncentrációjú ABA-t, 95 g/l koncentrációjú EMA-ot, 200 g/l koncentrációjú ACE-et és FLU-t, valamint 100 g/l koncentrációjú SPI-ot használtunk. Az egyes hatóanyagok formulációjában azonban voltak különbségek. Például SPI esetében a kiserelés szuszpenzió koncentrátum volt, ami törzsinjektálásra nem tekinthető előnyösnek. Ezért a növényvédő szert az előzetesen 25-50%-os etilén-glikol-monobutil-éter 2-butoxi-étanol oldattal hígítottuk, a hatóanyag oldódásának elősegítésére. Hasonlóan járunk el a többi készítménnyel is, bár azok eredeti formájukat tekintve is jól injektálhatók. Minden kezelés esetében három ismétlést alkalmaztunk. Az ismétlés az azonos módon kezelt fák számát jelöli. 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. A kontrollcsoportok szintén 3-3 fát tartalmaztak. A

kezelések hatékonyságát a kontrollcsoportok eredményei alapján értékeltük, így biztosítva a kísérlet objektivitását. A FLU és a SPI esetében kisebb és nagyobb dózisú kezelés is történt, mivel nem állt rendelkezésre irodalmi adat a hozzávetőleges dozírozáshoz.

A hatóanyag-tartalom mennyiségi meghatározásának céljából, a kezelést követő 47. napon levélmintákat gyűjtöttünk. A mintavételek alkalmával a fa lombkoronáját (gömb alak) égtájak szerint felosztva 4×15 db összetett levelet szedtünk az adott negyedből elszórta.

A kezelést követő 115. napon vett dióburok és a dióbél minták hatóanyag-tartalmát is meghatároztuk. Ehhez 100-150 db burokkal fedett termést gyűjtöttünk Raschel zsákokba, elszórta a lombkorona minden részéből. Az ezt követő analitikai mérésre a burok és a dióbél mintákat három egyenlő méretű részre (párhuzamos) osztottuk, melyre mérés technikai szempontok miatt volt szükség. A mennyiségi meghatározás célja a hatóanyagok növénybeni mozgásának megfigyelése, azok gyakorlati alkalmazhatóságának igazolása volt.

7. táblázat Az V. kísérletben végzett injektálások adatai. ABA: 100 g/l abamektin tartalmú készítmény, EMA: 95 g/l emamektin-benzoát tartalmú készítmény, ACE: 200 g/l acetamiprid tartalmú készítmény, FLU: 200 g/l flupiradifuron tartalmú készítmény, SPI: 100 g/l spirotetramát tartalmú készítmény. A hígításhoz etilén-glikol-monobutil-éter 2-butoxietanol oldatot használtunk. C_{aq.}: vízzel való injektálás, C_{no inj.}: nem történt injektálás és furatkészítés sem. DAT: kezelés után eltelt napok száma (days after treatment).

| Hatóanyag | Injektálás paraméterei | | | Mintavétel ideje (DAT) | |
|----------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|
| | Növényvédő szer (ml/fa) | Térfogat (hígított) (ml/fa) | Hatóanyag-tartalom (g/fa) | Levél | Dióburok és dióbél |
| ABA | 60 | 200 | 6 | | |
| EMA | 60 | 200 | 5,7 | | |
| ACE | 60 | 200 | 12 | | |
| FLU | 30 | 200 | 6 | | |
| FLU | 60 | 200 | 12 | | |
| FLU | 90 | 200 | 18 | 47 | 115 |
| SPI | 30 | 200 | 3 | | |
| SPI | 60 | 200 | 6 | | |
| SPI | 90 | 200 | 9 | | |
| C _{aq.} | - | 200 | - | | |
| C _{no inj.} | - | - | - | | |

4.4 Hatóanyag választás törzskenésre

A 8. táblázatban összefoglalt VI. kísérleti beállítás célja a törzskenéses technológia gyakorlati tesztelése és kémiai értékelése volt. Ezen kísérlet során is arra törekedtünk, hogy a kémiai analitikai módszerekkel kapott adatok alapján értékeljük a hatóanyagok mozgását és eloszlását a növényben, így bizonyítva a törzskenéses technológia alkalmasságát a gyakorlati alkalmazásra. Az összehasonlíthatóság érdekében ugyanazon hatóanyagokat (ABA, EMA, ACE, FLU és SPI) használtuk fel, mint a törzsinjektálásnál, azonban ebben a kísérletben a hatóanyagot

tartalmazó készítményekhez két hatásfokozó anyagot (PB és I) is hozzáadtunk. Mivel a PB-ot alacsonyabb koncentrációban kell használni, a maradék részt desztillált vízzel, míg SPI esetében, az oldódást elősegítvén, tetrahidrofurfuril-alkohollal egészítettük ki. Így minden kezelésnél 100 ml/fa oldatot juttatunk ki. A kísérleti beállítás, az ismétlésszám, a mintavételezés és a mérés módja a 4.3 fejezetben részletezettek szerint zajlott.

A hatóanyag-tartalom mennyiségi meghatározásához, a kezelést követő 41. napon levélmintákat, a 109. napon dióburok és a dióbél minták gyűjtöttünk.

8. táblázat A törzskenesés, VI. kísérlet részletes adatai. ABA: 100 g/l abamektin tartalmú készítmény, EMA: 95 g/l emamektin-benzoát tartalmú készítmény, ACE: 200 g/l acetamiprid tartalmú készítmény, FLU: 200 g/l flupiradifuron tartalmú készítmény, SPI: 100 g/l spirotetramát tartalmú készítmény, PB: Pentra-Bark; I: Invazív, *: a készítmény vízben való rossz oldhatósága miatt tetrahidrofurfuril-alkohollal hígítottuk. DAT: kezelés után eltelt napok száma (days after treatment).

| Növényvédő szer | | | Segédanyag | | Hígításra használt víz (*alkohol) ml/fa | Mintavétel ideje (DAT) | |
|-----------------|----------------------|----------------------------------|------------|----------------------|---|---------------------------|-----------------------|
| Hatóanyag | Mennyiség (ml/fa) | Hatóanyag- tartalom (g/fa) | Típus | Mennyiség (ml/fa) | | Levél | Dióburok és dióbél |
| ABA | 60 | 6 | PB | 5 | 35 | | |
| ABA | 60 | 6 | I | 40 | 0 | | |
| EMA | 60 | 5,7 | PB | 5 | 35 | | |
| EMA | 60 | 5,7 | I | 40 | 0 | | |
| ACE | 60 | 12 | PB | 5 | 35 | 41 | 109 |
| ACE | 60 | 12 | I | 40 | 0 | | |
| FLU | 60 | 12 | PB | 5 | 35 | | |
| FLU | 60 | 12 | I | 40 | 0 | | |
| SPI | 60 | 6 | PB | 5 | 35* | | |
| SPI | 60 | 6 | I | 40 | 0 | | |

4.5 Hatékonyság vizsgálat lárvicid hatás alapján

A hatékonyság vizsgálatot több helyszínen és különböző korú diófákon is elvégeztük, hogy átfogó képet kapjunk a törzsinjektálásos technológia lárvicid hatásáról. A rovarölő hatást a burokokban lévő lárvák, pontosabban az élő lárvával fertőzött burkok gyakorisága alapján értékeltük. Az értékelést ősszel, a dióburok természetes felrepedése idején végeztük.

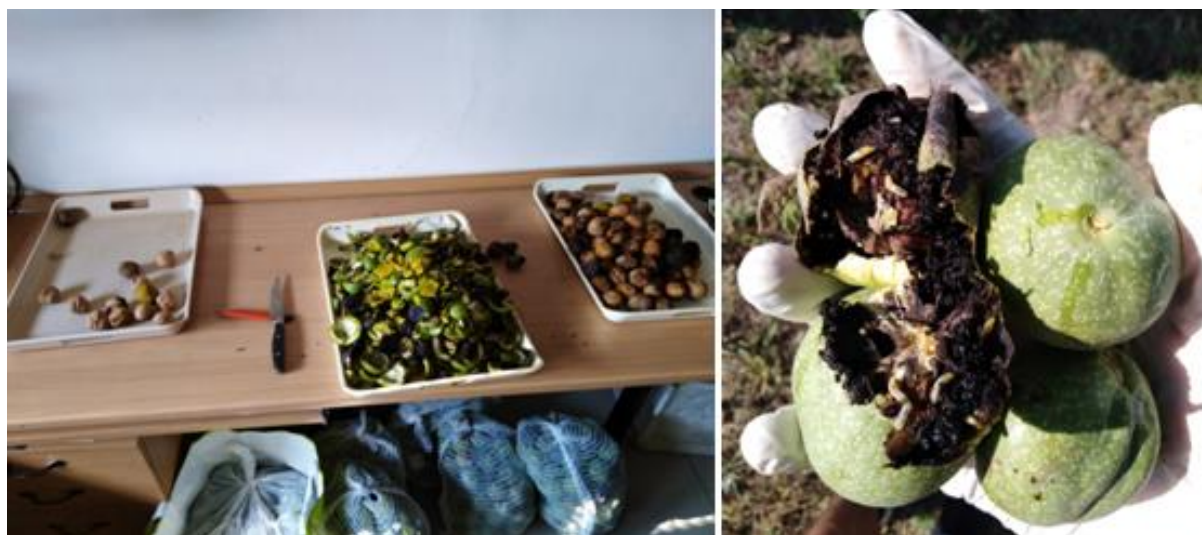
A 9. táblázatban részletezett I. kísérlet célja tehát a törzsinjektálás lárvicid hatásának értékelése volt a vadgesztenyénél már bevált növényvédelmi módszer adaptálásával. Ehhez 18 g/l ABA tartalmú készítményt használtunk, és az injektálást Treenject eszközzel hajtottuk végre. Az injektálásra használt térfogat 20 ml/fa volt, a szükséges kezeléseknél ezt desztillált víz hozzáadásával biztosítottuk. A kísérleti beállítás a korábbiakban részletezett módszertan szerint történt, azonban mivel ez egy előzetes vizsgálat volt, itt csak két ismétlést alkalmaztunk, a módszer elsődleges hatásosságának gyors felmérésére.

A táblázat csillaggal jelölt sorában, a korábban leírtaktól eltérően, magasabb injektálási pontot alkalmaztunk, azt a talajtól kb. 100 cm-es magasságban helyeztük el, melynek célja a hatékonyság injektálási magasságtól való függésének ellenőrzése volt.

9. táblázat Az I. kísérletben végzett injektálások adatai. ABA: 18 g/l abamektin tartalmú készítmény, *: a törzs felső harmadában (~100 cm) elhelyezett injektálási pont. A hígításhoz desztillált vizet használtunk. C_{aq.}: vízzel való injektálás, C_{no inj.}: nem történt injektálás és furatkészítés sem. DAT: kezelés után eltelt napok száma (days after treatment).

| Hatóanyag | Injektálás paraméterei | | | Mintavétel ideje (DAT) Dióburok és dióbél |
|----------------------|-------------------------|-----------------------------|---|--|
| | Növényvédő szer (ml/fa) | Térfogat (hígított) (ml/fa) | Bejuttatott hatóanyag mennyisége (g/fa) | |
| ABA | 10 | 20 | 0,18 | 89; 483 |
| ABA | 20 | 20 | 0,36 | |
| *ABA | 10 | 20 | 0,18 | |
| C _{aq.} | - | 20 | - | |
| C _{no inj.} | - | - | - | |

A mintavételezés alkalmával a kezelést követő 89. napon a zöld burkot még magán viselő terméseket gyűjtöttünk, szintén 100-150 db/fa mennyiségben. A termésburokokat a gyűjtést követő 1-2 napon belül megvizsgáltuk, azokat nyolc gömbcikkre vágva (29. ábra). A terméseket két csoportba osztottuk aszerint, hogy a burok tartalmazott-e élő lárvát vagy sem.



29. ábra A fertőzöttségi vizsgálat folyamata és néhány fertőzött diótermés (saját fotó, Budapest, Taksony, 2020)

Az így számolt fertőzöttségi arány a közvetlen rovarölő hatást jól jelzi, azonban nem azonos a diótermesztői szempontból fontosabb, gazdasági kártétel mértékével, hiszen a termésburokban esetleg fellelt kevésbé életképes nyű által okozott kismértékű burokelhalás nem

eredményez szükségszerűen piaci szempontból értéktelen termést. Ezért a biológiai hatás értékelését később kiegészítettük a gazdasági kár mértékére vonatkozó bonitált mérőszámmal.

A 10. táblázatban bemutatott IV. kísérleti beállításban három hatóanyagot alkalmaztunk a következő koncentrációjú készítmények felhasználásával: 18 g/l ABA, 95 g/l EMA, 200 g/l ACE. Minden kezelés esetében három ismétlést használtunk. A kísérleti beállítás a 4.3 fejezetben ismertetett módszer szerint történt, az injektáláshoz pedig – egy kezelés kivételével – az Ynject GO eszközt használtuk. Az injektálásra használt térfogat kezelésenként eltért (60-200 ml/fa), és a kívánt térfogatot szükség esetén desztillált víz hozzáadásával állítottuk be.

A lárvicid hatás értékelését a fentebb részletezett módon végeztük, a kezelést követő 111. napon gyűjtött termések átvizsgálása alapján, majd a dióburkok lárvicid hatásért felelős hatóanyag-tartalmát is kvantifikáltuk.

A statisztikai elemzéseket az IBM SPSS Statistics 29 és az Excel 2016 szoftverekkel hajtottuk végre. Mivel a varianciaanalízis feltételei a mintákban mért hatóanyag koncentrációkra nem teljesültek, az azonosan kezelt csoportok hatóanyag-tartalom szerinti összehasonlításához Kruskal-Wallis-próbát és Mann-Whitney tesztet végeztünk. Az élő lárvákkal fertőzött termések arányát az azonos kezelésben részesült fákról származó mintákból együttesen számoltuk, majd a különböző kezelésekből származó fák fertőzöttségének összehasonlítására Marascuilo tesztet alkalmaztunk (Marascuilo, 1966). Mivel a Marascuilo teszt a különböző csoportok arányainak összehasonlítására szolgál, az eredmények összevonásával szórásadatok nem képezhetők. Az ábrákat ezért a fák egyéni variabilitása alapján számolt standard hiba értékekkel egészítettük ki. Az eredményeket $p < 0,05$ esetén tekintettük szignifikánsnak.

10. táblázat A IV. kísérletben végzett injektálások adatai. Az injektálás Treenject (T) és Ynject GO (Y) eszközökkel történtek. ABA: 18 g/l abamektin tartalmú készítmény, EMA: 95 g/l emamektin-benzoát tartalmú készítmény, ACE: 200 g/l acetamiprid tartalmú készítmény. A hígításhoz desztillált vizet használtunk. C_{aq.}: vízzel való injektálás, C_{no inj.}: nem történt injektálás és furatkészítés sem. DAT: kezelés után eltelt napok száma (days after treatment).

| Hatóanyag | Injektálás paraméterei | | | | Mintavétel ideje (DAT) | | |
|----------------------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------|------------------------|-----------------------|-------|
| | Növényvédő szer (ml/fa) | Térfogat (hígított) (ml/fa) | Hatóanyag- tartalom (g/fa) | Eszköz | Levél | Dióburok és dióbél | Virág |
| ABA | 50 | 200 | 0,9 | Y | | | |
| ABA | 100 | 100 | 1,8 | T | | | |
| ABA | 100 | 200 | 1,8 | Y | | | |
| ABA | 200 | 200 | 3,6 | Y | | | |
| EMA | 20 | 60 | 1,9 | Y | 35; 71; 106 | 111 | 337 |
| EMA | 40 | 60 | 3,8 | Y | | | |
| EMA | 60 | 60 | 5,7 | Y | | | |
| ACE | 25 | 100 | 5 | Y | | | |
| ACE | 50 | 100 | 10 | Y | | | |
| C _{aq.} | - | 100 | - | Y | | | |
| C _{no inj.} | - | - | - | Y | | | |

4.6 A gazdasági kár értékelése

A gazdasági kárt az előbb bemutatott IV., valamint a III. kísérleti beállításokban (11. táblázat) értékeltük. A III. kísérlet során, a hatósággal együttműködve, két helyszínen, a dió kultúrában engedélyezett hatóanyag alkalmazásával végeztük el a kezeléseket, a hatósági előírásoknak megfelelően. Az injektálást Treenject eszközzel végeztük, a használt ACE koncentrációja 200 g/l volt. Az azonos kezelésben részesült fák, azaz az ismétlésszám négy volt, és a két kontrollcsoporthoz is 4-4 egyedet használtunk fel. Az injektálásra használt térfogat 50 ml/fa volt, és a kívánt térfogatot szükség esetén desztillált víz hozzáadásával értük el.

Mintavételt a kezelést követő 101. és 103. napon végeztünk a korábbiaknak megfelelően, melyekből a gazdasági kár meghatározása mellett szintén meghatároztuk a lárvicid hatást, illetve a hozzá tartozó burokból kialakult hatóanyagszintet.

11. táblázat A III/A. és III/B. kísérletekben végzett injektálások adatai. Az injektálás Treenject eszközzel történt. ACE: 200 g/l acetamiprid tartalmú készítmény. A hígításhoz desztillált vizet használtunk. C_{aq.}: vízzel való injektálás, C_{no inj.}: nem történt injektálás és furatkészítés sem. DAT: kezelés után eltelt napok száma (days after treatment).

| Kísérlet | Hatóanyag | Injektálás paraméterei | | | Mintavétel ideje (DAT) Dióburok és dióbél |
|----------|----------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|--|
| | | Növényvédő szer (ml/fa) | Térfogat (hígított) (ml/fa) | Hatóanyag-tartalom (g/fa) | |
| A | ACE | 2,5 | 50 | 0,5 | 101 |
| | ACE | 5 | 50 | 1 | |
| | ACE | 7,5 | 50 | 1,5 | |
| | ACE | 15 | 50 | 3 | |
| | ACE | 25 | 50 | 5 | |
| | ACE | 50 | 50 | 10 | |
| | C _{aq.} | - | 50 | - | |
| | C _{no inj.} | - | - | - | |
| B | ACE | 5 | 50 | 1 | 103 |
| | ACE | 25 | 50 | 5 | |
| | ACE | 50 | 50 | 10 | |
| | C _{aq.} | - | 50 | - | |
| | C _{no inj.} | - | - | - | |

A nyüvek károsítása következményeként kialakuló 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. Ezen módszert követve hat csoportot állítottunk fel és soroltuk be a vizsgált fák termését a károsítás mértékének megfelelően (12. táblázat). Alapoztuk ezt arra, hogy a nyugati dióburok-fúrólégy károkozása elsősorban a feldolgozhatóságot és a héjas termés minőségi mutatóit rontja, és csak kisebb mértékben befolyásolja a dióbél mennyiségi és minőségi paramétereit.

12. táblázat A gazdasági kár számszerűsítésére bevezetett bonitálás módja és mérőszámai

| | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|--------|--------|------|
| A foltos termések gyakorisága | 0% | 1-10% | 11-50% | 50-74% | 75-99% | 100% |
| Az egyedi termésen látható legnagyobb folt kiterjedése a burok felületének arányában | 0% | 1-10% | 11-50% | 50-74% | 75-89% | >90% |
| Bonitálási értékszám | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Gazdasági szempontú elfogadhatóság (Igen/Nem) | Igen | Igen | Igen | Nem | Nem | Nem |

4.7 Dózisbeállítás

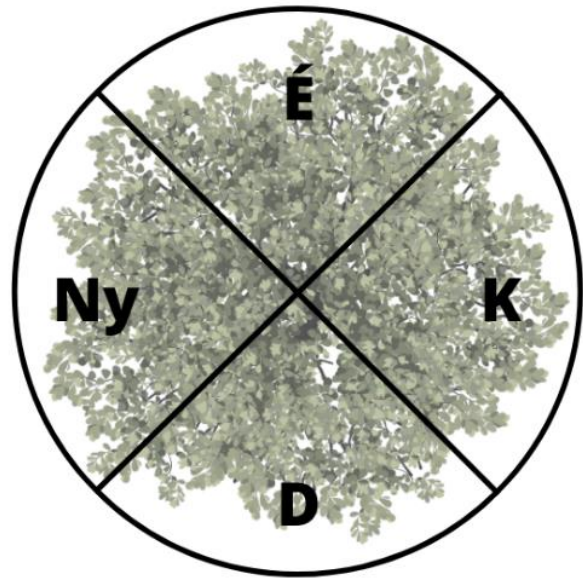
A kísérleti beállítások során a dózist kezelhetőség megkönnyítése miatt a helyszínen álló fák átlagos törzsátmérőjéhez igazítottuk. A dozírozás vizsgálatához használt fák törzsátmérőjét és a számított lombkorona térfogatát is feljegyeztük (IV. kísérlet). A törzsátmérőt a törzskerület mérését követően számítottuk ki, míg a lombkorona térfogatát a fa teljes és törzsmagasságának, valamint a lombkorona átmérőjének mérése után, a gömb térfogatának ($V = \frac{4 \cdot r^3 \cdot \pi}{3}$) számítási módszerével határoztuk meg.

A változók összefüggésének vizsgálatához a Spearman-, és a Pearson-féle rangkorrelációs módszereket alkalmaztuk. Az eredményeket $p < 0,05$ szintnél tekintettük szignifikánsnak. A technológiára javasolt hatóanyag mennyiség kiszámításához, az Abbott (1925) által kifejlesztett hatékonysági képletet használtuk, amely lehetővé tette számunkra a szükséges dózis pontos meghatározását a kívánt lárvicid hatás elérése érdekében.

4.8 A toxikokinetikai folyamatok bemutatása

4.8.1 Térbeli eloszlás vizsgálat

A IV. kísérletben, a korábbiakban ismertetett vizsgálatok mellett (10. táblázat) a hatóanyagok térbeli eloszlását is elemeztük. Ehhez a 30. ábrának megfelelően a lombkoronát égtájak szerint négy részre osztottuk és minden irányból, az adott gömbcikkéből elszórtan 15 db összetett levelet gyűjtöttünk. Ezzel az volt a célunk, hogy megtudjuk mennyire homogén a koronán belüli hatóanyag eloszlás, illetve, hogy az égtájaknak van-e hatása a napfénynek kitett oldal esetlegesen gyorsabb, míg az árnyékosabb oldal lassabb párologtatása következtében. Erre a levelek



30. ábra A lombkorona égtájak szerinti felosztása a mintavételi stratégiának megfelelően (felülnézet)

vizsgálatát találtuk ideálisnak, azok egész tenyészidőszakban való elérhetősége és általában nagyobb – így könnyebben mérhető – hatóanyag-tartalma miatt. Ebben a kísérletben három hatóanyag (ABA, EMA, ACE) különböző dózisait külön-külön teszteltünk, melynek során a kezelést követő három mintázási (35., 71. és 106. nap) időpontban határoztuk meg az aktuális hatóanyag koncentrációt. A kísérleti beállítás a 4.5 fejezetben foglaltaknak megfelelően zajlott.

Az égtájak hatását a hatóanyag eloszlására ismételt méréses varianciaanalízissel vizsgáltuk, amelyben két független változót használtunk (égtáj és dózis). A hibatagok eloszlását Shapiro-Wilk teszttel, míg a változók homogenitását Levene-teszttel ellenőriztük. A páronkénti összehasonlításokat Tukey-teszttel végeztük. Az eredményeket $p < 0,05$ érték esetén szignifikánsnak tekintettük.

4.8.2 Időbeli eloszlás vizsgálata

Az injektálást követően a vegetációs szezon alatt több időpontban levélmintákat gyűjtöttünk annak érdekében, hogy a három hatóanyag sorsát nyomon kövessük. EMA és ABA vizsgálatára a II. és a IV. kísérleti beállításokat, ACE vizsgálatára a IV. kísérleti beállítást használtuk fel.

A hatóanyag-tartalom időbeli alakulásának követése érdekében az injektálást követően a vegetációs időszak alatt több időpontban levélmintákat gyűjtöttünk a 4.8.1 fejezetben leírt módszerrel. Ehhez a vizsgálathoz a II. (13. táblázat) és IV. kísérletekből (10. táblázat) származó adatokat használtuk fel. A II. kísérletből – ahol az injektálás Treenject eszközzel, a kívánt térfogat elérése desztillált víz hozzáadásával történt – az 57., 108. és 138. kezelést követő napokon gyűjtöttünk mintákat az ABA és EMA hatóanyagok mennyiségi meghatározásához. A 138. napon EMA esetében összehasonlítottuk a sárguló és még zöld levelek hatóanyag koncentrációját, hogy megvizsgáljuk, a szenescenciához közelebb álló levelek hatóanyag-tartalma miként változik a még asszimiláló, zöld levelekhez képest.

13. táblázat A II. kísérletben végzett injektálások adatai. ABA: 18 g/l koncentrációjú abamektin tartalmú készítmény, EMA: 95 g/l emamektin-benzoát tartalmú készítmény. Az injektálás Treenject eszközzel történt. A hígításhoz desztillált vizet használtunk. C_{aq} : vízzel való injektálás, $C_{no\ inj.}$: nem történt injektálás és furatkészítés sem. DAT: kezelés után eltelt napok száma (days after treatment).

| Hatóanyag | Injektálás paraméterei | | | Mintavétel ideje (DAT) | | |
|----------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|-------|
| | Növényvédő szer (ml/fa) | Térfogat (hígított) (ml/fa) | Hatóanyag-tartalom (g/fa) | Levél | Dióburok és dióbél | Virág |
| ABA | 30 | 30 | 0,54 | - | 108 | - |
| ABA | 10 | 20 | 0,18 | 57; 108; 138 | | |
| ABA | 20 | 20 | 0,36 | 57; 108; 138; | 108; 483 | 348 |
| EMA | 5 | 10 | 0,475 | 138; | | |
| EMA | 10 | 10 | 0,95 | 348; | | |
| C_{aq} | - | 10 | - | 463; 483 | | |
| $C_{no\ inj.}$ | - | - | - | | | |

A IV. kísérletben három hatóanyagot (ABA, EMA, ACE) és azok különböző dózisait vizsgáltuk, melynek során a kezelést követő három mintázási időpontban (35., 71. és 106. nap) határoztuk meg az aktuális hatóanyag koncentrációt. Az injektálást itt Ynject GO eszközzel végeztük, a kívánt térfogatot desztillált víz hozzáadásával biztosítva. A három mintavételi

időpontban mért hatóanyag-tartalmat ezután az idő múlásának függvényében elemeztük. A változók összefüggésének vizsgálatához a Spearman-, és a Pearson-féle rangkorrelációs módszereket alkalmaztuk. Az eredményeket $p < 0,05$ szintnél tekintettük szignifikánsnak.

4.9 Toxikológiai kérdések

4.9.1 A dióbél élelmiszer-biztonsági szempontú értékelése

A hatóanyag választás során (4.3 fejezet) különös figyelmet fordítottunk a dióbél esetleges hatóanyagmaradék-tartalmára. Azon komponensek, melyek átlépték a maximálisan megengedett koncentrációt és nem mutatkozott lehetőség alacsonyabb, de még kellő mortalitással bíró dózis használatára, azt a további vizsgálatainkból kizártuk.

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

A mintagyűjtés és feldolgozás a 4.3 fejezetben leírtak alapján zajlott.

4.9.2 A virágzat szennyezettsége

2021 és 2022 tavaszán az előző évben injektált fák (II. és IV. kísérlet) közül azokat a kezeléseket, amelyek biológiai hatás szempontjából sikeresnek bizonyultak, további vizsgálatoknak vetettük alá. Minden egyes fáról kb. 500 gramm virágzatot gyűjtöttünk, amelyet később mérés-technikai okokból három egyenlő részre osztottunk a hatóanyag-tartalom meghatározása érdekében. A mintavételt a II. kísérlet beállítását követő 348. napon, illetve a IV. kísérlet beállítását követő 337. napon végeztük. A hím virágzatokat a fa lombkoronájának minden részéről, elszórtan gyűjtöttük be.

Az értékelés során arra voltunk kíváncsiak, hogy a hatóanyag megjelenik-e a virágzatban, és ha igen, milyen mennyiségben. A különböző dózisu kezeléseket hatásukat hatóanyagoként kétmintás t-próbával, több dózis esetén varianciaanalízissel elemeztük, az eredményeket $p < 0,05$ érték esetén tekintettük szignifikánsnak.

Eredményeinket az adult méhekre (*Apis mellifera* L. 1758) jellemző toxicitási értékszámokkal vetettük össze.

4.10 Hatástartam, második éves hatás

A hatástartam vizsgálathoz két vegetációs időben mintáztuk és követtük nyomon a különböző növényi szervekben (levél, burok) kialakult (ABA és EMA) hatóanyag koncentrációkat, illetve a lárvicid hatást (13. táblázat). Az injektálás Treenject eszközzel végeztük mindkét helyszínen. A levelekből mintát vettünk az injektálást követő 57., 108., 138., 348., 463. és 483. napon, a 4.3 fejezetben leírt módszer alapján. A dióburokból a kezelést követő 108. és 483.

napon vettünk mintát és mértük fel az élő lárvával fertőzött burkok arányát a 4.5 fejezetben bemutatott módszernek megfelelően.

Az élő lárvákkal fertőzött termések arányát az azonos kezelésben részesült fákról származó mintákból együttesen számoltuk, majd a különböző kezelésekből származó fák fertőzöttségének összehasonlítására Marascuilo tesztet alkalmaztunk (Marascuilo, 1966). Az eredményeket $p < 0,05$ esetén tekintettük szignifikánsnak.

4.11 Az injektálási időpont megválasztása, időzítése

Az injektálási időpont megválasztására 2 időpontban (21 nap eltéréssel) 3 különböző dózisú ABA-nel elvégzett kezelések lárvicid hatását, illetve a hozzá kapcsolódó burokban kialakult hatóanyag koncentrációt vizsgáltuk a II. kísérlet alapján (13. táblázat).

4.12 Mintaelőkészítés analitikai mérésre

A hatóanyag-tartalom mérését megelőzően a mintákat a mintaelőkészítés megkezdéséig – 80°C-on tároltuk a bomlás megelőzése céljából. A termésekből fagyasztás nélkül is tároltunk diókat, melynek célja a hagyományos diófeldolgozás és tárolás imitálása volt. A betárolás és további feldolgozás (törés) előtt a természetők 8-12%-os nedvességtartalomra szárítják a felszedett diót a penészedés és avasodás elkerülése céljából, mely történhet gépi, de természetes úton is. Ennek megfelelően mi szobahőmérsékleten, légjárta helyiségben, kiterítve szárítottuk és tároltuk ezen mintákat.

A hatóanyag-tartalom mérésére a mintákat növényi eredetű élelmiszermintákhoz kifejlesztett (EN 15662:2018), citrát-pufferelt QuEChERS módszer alapján készítettük elő (European Standard—EN 2018), melynek főbb lépéseit a különböző növényi részekre használt kisebb eltéréseket is mutató 10.6 melléklet szemlélteti.

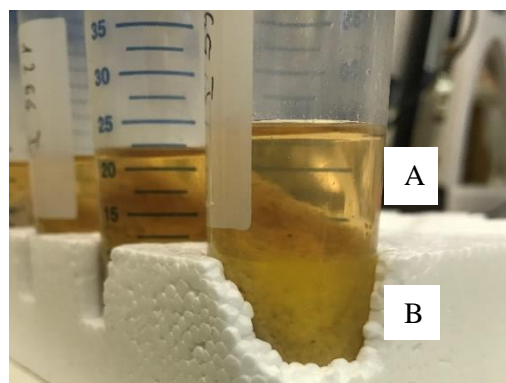
A szermaradék méréshez használt vegyszereket Kmellár et al. (2010) ismerteti. A módszer során acetonitriles extrakciót – abamektin tartalom meghatározása esetén SPE tisztítást (31. ábra) is – végeztünk, mely lehetővé tette a folyadékkromatográfiával kapcsolt elektropray ionizációs tandem tömegspektrometria. (UHPLC-ESI-MS/MS) segítségével a peszticid szermaradékok meghatározását. A dióbél minták esetében egy zsírtalanítási lépést is



31. ábra SPE; szilárdfázisú extrakciós torony (saját fotó, Budapest, 2020)

beépítettünk az eljárásba, amely kifagyasztást és C18 szorbenssel való diszperzív SPE tisztítást foglalt magába (32. ábra).

A mintákat elektromos daráló segítségével homogenizáltuk, majd analitikai mérlegen (0,01 g pontossággal) a dióbélből, a diólevélből és a virágzatból 5-5 g-ot, a dióburokból 10 g-ot egy 50 ml-es PP centrifugacsőbe bemértünk. Továbbá a mintákhoz 100 µl 50 µg/ml trifenil-foszfátot (TPP) adtunk, amely kísérő sztenderdként a mérés technika kontrollálására szolgált. A levél és virágzat mintákhoz 10 ml acetonitrilt és 10 ml vizet adtunk, majd 1 percig kézi összerázást végeztünk annak érdekében, hogy az extrahálószer jól elegyedhessen a mintával. A szabvány 5 g beméréshez



32. ábra A dióbél minták első centrifugálását követően az acetonitriles felülúszó (A) és a diótermésből kivont zsíradékok (B) elkülönülése (saját fotó, Budapest, 2020)

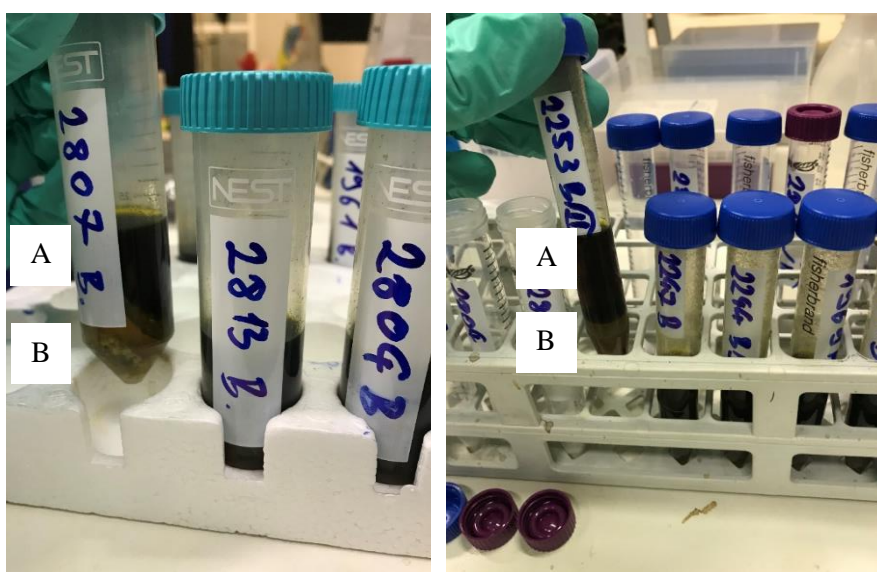
10 ml víz hozzáadását írja, azonban a dióbél minták esetén 5 ml víz is elégségesnek bizonyult. A kisózást mintánként 4 g hevített magnézium-szulfát és 2,5 g puffer-só mix (1 g nátrium-klorid, 1 g trinátrium-citrát, 0,5 g dinátrium-hidrogén-citrát) adagolásával végeztük el, amit szintén 1 perces intenzív összerázás követett. A vizes és a szerves oldószeres fázis szétválasztása érdekében a mintákat 6000 rpm fordulatszámra beállított centrifugába helyeztük 5 percig. A fázisok szétválását követően (centrifuga lejárta után) a felülúszó szerves fázisból 6 ml kipipettázásra került egy 15 ml-es PP centrifugacsőbe (33. ábra), amelybe előzőleg kimértünk 900 mg MgSO₄ sót a szerves fázisban maradt víz eltávolítása érdekében, illetve 150 mg primer-szekunder-amint (PSA) és 125 mg C18-ot, amelyek a szerves savak és lipidek megkötésére szolgáltak. Mivel a dió termékek igen nagy zsírtartalmúak, ezért ezen extraktumokat egy éjszakára -20 °C-on mélyfagyasztóban

tároltuk, a lipidek kifagyasztása érdekében (32. ábra). A szerves fázist tartalmazó centrifugacsövet 0,5 perc kézi rázást követően ismét 5 perc 6000 rpm fordulatszámú centrifugálás követte. A felülúszó szerves fázisból 4 ml-t pipettáztunk át egy 4 ml térfogatú üvegcsébe, majd a kipipettázott oldatot 40 µl 5% hangyasav (HCOOH) tartalmú acetonitrillel savanyítottuk a célkomponensek stabilizálása érdekében.

Az elkészült oldatokat a mérést megelőzően oly módon hígítottuk, hogy a szerves és vizes fázis aránya megegyezzen a mátrixra illesztett kalibráció egyes pontjainak szerves-vizes fázis arányával, valamint a mátrix mennyisége is megegyezzen a mintaoldatok és a kalibráló oldatok esetében. Ez biztosítja, hogy a mátrixhatás a kalibrálópontokban is ugyanazon súllyal jelenjen meg, mint ahogy a mintákban jelen van. A mintaelőkészítés utolsó lépéseként pedig az oldatokat 0,22 µm pórusméretű hidrofíl PTFE szűrőn szűrtük át. Az így elkészített minták közvetlen mérésre alkalmasak lettek. A savanyított kivonatokat az esetleges ellenőrző mérésekhez a bennük lévő peszticidek bomlásának az elkerülésére –80 °C hőmérsékleten tároltuk.

4.13 Méréstechnika

Az UHPLC-ESI-MS/MS rendszeren történő méréshez kétféle eluensre volt szükség, egy „A” és egy „B” eluensre. Az „A” eluens 5 mmol LC-MS/MS tisztaságú ammónium-formiátot,



33. ábra A centrifugálásokat követően a felülúszó szerves fázis (A) és a vizes (a felesleges só is tartalmazó) fázis (B) szétválik (saját fotó, Budapest, 2020)

valamint 0,1% hangyasavat tartalmazott, melyet az alábbiak szerint készítettünk el; az analitikai mérlegen bemérő csónakba 157,6 mg szilárd, LC-MS tisztaságú ammónium-formiátot mértünk be, majd pár ml ultratiszta vízzel főzőpohárba átmostuk, a só teljes feloldásáig kevergettük, majd 0,45 µm pórusméretű cellulóz acetát fecskendőszűrőn átszűrtük egy 500 ml-es mérőlombikba, ezt követően hozzáadtunk 500 µl tömény hangyasavat. A hangyasav hozzáadását követően Milli Q

szűrővel tisztított vízzel jelre állítottuk és homogenizáltuk. A „B” eluens 5 mmol LC-MS tisztaságú ammónium-formiátot és 0,1% hangyasavat tartalmazó metanol volt. Elkészítése megegyezett az „A” eluens elkészítésével, annyi különbséggel, hogy víz helyett UHPLC tisztaságú metanol alkalmaztunk. Mivel a só metanolban nehezebben oldódik, így az oldatot ultrahangos vízfürdőbe helyeztük, segítve ezzel a jobb oldódását. Az elkészült eluenseket folyadéküvegekbe töltöttük, majd pár percre az oldatban keletkező gázok kihajtása érdekében ultrahangos vízfürdőbe helyeztük.

A hatóanyag-tartalomra vonatkozó méréseket Agilent Ultivo típusú, hármas 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 folyadékkromatográfiás elválasztáshoz alkalmazott UHPLC rendszer egy nagynyomású pumpa, egy automata mintaadagoló (autosampler) és egy oszloptermosztát egységből épült fel. Méréseinket fordított fázisú Agilent ZORBAX RRHD Eclipse Plus C18 (1,8 µm, 2,1 x 50 mm) oszlopon végeztük. Az MS detektor ionforrásaként ESI ionforrást (Electrospray Ionization) alkalmaztunk pozitív MRM módban.

A mérési paraméterek tekintetében az Európai Közösség Referencia Laboratóriuma által közzétett „Abamectin V1” számú módszert alkalmaztuk (SANTE 2021). A mintákban lévő komponenseink tartalmának számszerűsítésére mátrix-illesztett kalibrációs módszert használtunk. A mintákban lévő kis mennyiségű hatóanyag-tartalomra számítva a módszer validálását elvégeztük a kimutatási határ (DL), a kvantifikációs határ (QL), a linearitás és a mátrix hatás tekintetében. A módszerek validálása minden esetben a SANTE (2021) iránymutatásai szerint történt. A DL értékek a hatóanyagtól és a növényi anyagtól függően eltérőek voltak (14. táblázat). A kalibrációs görbék linearitását és a Matuszewski-egyenlet felhasználásával számított mátrixhatást a 14. táblázatban foglaltuk össze (Matuszewski et al., 2003).

14. táblázat A validálási teljesítményjellemzők: kimutatási határ (DL), linearitás, mátrixhatás. ABA: abamectin, EMA: emamectin-benzoát, ACE: acetamiprid, FLU: flupiradifuron, SPI: spirotetramát.

| Hatóanyag | DL: virág, levél, dióbél (ng/g) | DL: burok (ng/g) | Linearitás (ng/ml) | Mátrixhatás (%) |
|--------------------|------------------------------------|------------------|-----------------------|--------------------|
| ABA | 2,4 | 1,2 | 1000 | 61-95 |
| EMA | 0,2 | 0,1 | 1880 | 70-120 |
| ACE | 0,5 | 0,25 | 1880 | 70-120 |
| FLU | 0,4 | 0,2 | 1000 | 70-117 |
| SPI és metabolitja | 5 | 2,5 | 1150 | 82-110 |

5 EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

5.1 Hatóanyag választás törzsinjektálásra

A törzsinjektálásra alkalmazott valamennyi hatóanyag (ABA, EMA, ACE, FLU, SPI) kimutatható volt a levélben és a burokban, bár a koncentrációk között nagyságrendi különbségek mutatkoztak (15. táblázat). A legnagyobb hatóanyag koncentrációk a levelekben alakultak ki, míg a burok és a dióbél rendre kisebb hatóanyag-tartalmat mutatott. A SPI esetében a levélben mért koncentrációk, a többi hatóanyagnál tapasztaltakkal ellentétben, fordított dóziszválaszt eredményeztek, azaz a nagyobb dózisú kezelések kisebb detektált hatóanyag-tartalommal jártak.

A 15. táblázat legfontosabb adata, hogy az ABA és az EMA hatóanyagok a dióbélben nem voltak kimutathatók, míg az ACE, a FLU és a SPI nem elhanyagolható mennyiségben jelentek meg benne. Az ACE esetében a dióbélben mért maradékérték kissé meghaladta az Európai Unió által előírt maximálisan megengedett szermaradék-határértéket (MRL=70 ng/g), míg a FLU legkisebb dózisa is jelentősen túllépte az előírt határértéket (MRL=20 ng/g). A SPI dióbélben kimutatott szermaradék mennyisége az EU-s előírásoknak megfelelő tartományban maradt (MRL=500 ng/g).

15. táblázat A kiválasztott hatóanyagok növényi szervekben mérhető koncentrációi, törzsinjektálást követően, V. kísérletből (Szelevény) származó adatok. Injektált készítmények (hatóanyag-tartalmuk): ABA (100 g/l abamektin), EMA (95 g/l emamektin-benzoát), ACE (200 g/l acetamidrid), FLU (200 g/l flupiradifuron), SPI (100 g/l spirotetramát), DAT: kezelés után eltelt napok száma (days after treatment), DL: kimutatási határ

* Az európai szabványnak megfelelően a spirotetramát és annak elsődleges metabolitját a spirotetramát-enol összmennyiségét reprezentálja.

| Hatóanyag | Injektált hatóanyag mennyiség (g/fa) | A levelek átlagos hatóanyag-tartalma DAT 47 (ng/g \pm SE) | A burok átlagos hatóanyag-tartalma DAT 115 (ng/g \pm SE) | A dióbél átlagos hatóanyag-tartalma DAT 115 (ng/g \pm SE) |
|-----------|--------------------------------------|---|--|---|
| ABA | 6 | 163 \pm 22,2 | <DL | <DL |
| EMA | 5,7 | 14534 \pm 2890 | 64,1 \pm 4,59 | <DL |
| ACE | 12 | 58440 \pm 6558 | 176 \pm 25,5 | 84,5 \pm 20,4 |
| FLU | 6 | 29524 \pm 4070 | 97,8 \pm 18,9 | 156 \pm 25,8 |
| | 12 | 64512 \pm 2129 | 139 \pm 18,1 | 206 \pm 71,2 |
| | 18 | 65327 \pm 4863 | 425 \pm 53,8 | 481 \pm 217 |
| SPI* | 3 | 1325 \pm 127 | 708 \pm 179 | 460 \pm 153 |
| | 6 | 592 \pm 136 | 184 \pm 14,8 | 157 \pm 18,4 |
| | 9 | 278 \pm 34,3 | 152 \pm 15,6 | 109 \pm 29,5 |

A fizikai-kémiai paraméterek alapján alkalmasnak vélt peszticidek gyakorlati tesztelése során mindegyik bebizonyította, hogy felhasználhatóak törzsinjektálásra, azaz képesek az anyagáramlás segítségével eljutni a lombkoronába. Az egyes hatóanyagok formulációjában

azonban voltak különbségek, ami az eredményekben is megmutatkozott. A SPI esetében az SC (szuszpenzió koncentrátum) formuláció alacsony oldhatóságot mutatott, ami csökkentette a hatóanyag transzlokációját. Ennek következményeként a nagyobb dózis nem eredményezett arányosan nagyobb hatóanyagkoncentrációt a levelekben, ami toxikokinetikai problémákra utalhat. A növényvédő szerhez, az oldhatóság elősegítése érdekében adott 25-50%-os etilén-glikol-monobutil-éter 2-butoxi-tanol oldat segítette a hatóanyag és a segédanyagok oldódását, de mint az eredmények mutatták, csak korlátozott mennyiségben.

A SPI esetében az injektált oldatok túltelítettsége, valamint a hatóanyag oldódási nehézségei korlátozhatták az anyagáramlást a növényben. Ehhez hasonló jelenségről tanúskodik Takai és munkatársainak (2001) vizsgálata is, ahol négyéves cserepekben termesztett japán fekete fenyőt (*Pinus thunbergi* Parl., 1868) mesterséges nematóda (*Bursaphelenchus xylophilus* Steiner & Buhner, 1934) beoltás után két féle EMA-ot tartalmazó készítménnyel kezeltek, ahol a nem vízoldható (SC) készítmény 40%-ban, míg a vízoldható (SL) forma 100%-ban megvédte a fákat a hervadásos tünetektől. Az oldhatósági nehézségek mellett, egy másik lehetséges magyarázat, hogy minél nagyobb dózisú keveréket használtunk, az injektálás egyre nagyobb toxikokinetikai nehézségekbe ütközött. Ez adódhatott abból, hogy a szilárd szuszpenzióban kisserelt SPI injektálásakor, az újból vizes közegbe kerülő részecskék kikristályosodtak és eltömíthették a sejtfalak járatait és megakadályozhatták a hatóanyag áramlását. A szemcsék ennél fogva fizikai akadályt jelenthettek a transzlokációban.

A kísérleti adatok alapján élelmiszerbiztonsági szempontból legkedvezőbbnek az ABA és az EMA hatóanyagokat tekintettük, ugyanis a dióbélben nem jelentek meg detektálható mennyiségben. Az ACE, de még inkább a FLU dióbélben mért koncentrációja viszont kérdéseket vet fel a technológia további alkalmazhatóságát illetően. Az Európai Unió vonatkozó rendeletei (Reg. (EU) 2019/88; Reg. (EU) 2022/1324) alapján a különböző gyümölcsök esetében eltérő határértékeket határoznak meg. Például alma vagy cseresznye esetében a megengedett maradék ACE koncentráció (MRL) 400 és 1500 ng/g, amely jóval nagyobb, mint dió esetén. Emiatt a munkánk során mért szermaradék koncentráció adatok releváns korlátozó tényezői a technológia megítélésének.

A következő fejlesztési lépés a dóziscsökkentés lehetne, azonban a FLU esetében korlátozó tényezőként jelentkezik, hogy a dióbélben mért koncentráció rendre meghaladta a burokban mért értékeket, ami kevésbé biztató a hatóanyag további felhasználhatóságát illetően. ACE hatóanyagnál ez nem állt fenn, így ezzel a komponenssel ezt a lehetőséget a következő részben vizsgáltuk.

A SPI élelmiszer-biztonsági szempontból ugyan jól vizsgázott (MRL=500 ng/g), azonban az elérhető készítmény oldhatósági problémái miatt szintén nem volt preferencia a további

felhasználhatóságot vizsgáló kísérletekben. Hozzáteve azt, hogy maga a hatóanyag kedvezőbb környezetben (formulában) alkalmas lehet injektálásra, bár a dióbélben való megjelenése aggodalomra adhat okot. Ezen tényezők feltérképezésére további vizsgálatok elvégzését javasoljuk.

A kísérlet összegzéseként megállapítható, hogy a gyakorlati felhasználhatóságot és az élelmiszerbiztonságot szem előtt tartva az ABA, az EMA és kevésbé az ACE hatóanyagok bizonyultak a legalkalmasabbnak a dió endoterápiás kezelésére. Hogy mennyi az elegendő hatóanyag koncentráció a dióburokban, az nagyban függ az egyes hatóanyagok biológiai aktivitásától, melyet az 5.3 és a 6. fejezetekben részletezünk.

5.2 Hatóanyag választás törzskénésre

A kísérlet során alkalmazott törzskénés technológia eredményeit a 16. táblázat összegzi. A vizsgált hatóanyagok közül az ACE és a FLU mutatott figyelemre méltó penetrációt, amely arra utal, hogy ezek a hatóanyagok képesek a kergén keresztül a xilémbe jutni, majd onnan a lombzat irányába transzlokálódni. Az avermektinek esetében nem volt detektálható hatóanyag-tartalom a levelekben, ami feltételezhetően a nagy molekulaméretből adódó korlátozott mobilitásuknak tudható be. A SPI minimális mennyiségben volt kimutatható a levélzetben, amely arra utal, hogy a hatóanyag alacsony vízdoldhatósága gátolhatta a penetrációt.

A vizsgálat során két kergén keresztüli felszívódást segítő adalékot alkalmaztunk, azonban a statisztikai elemzés nem mutatott jelentős eltérést a hatékonyságukban, sem a levelekben (Mann–Whitney $U = 44$, $z = 0,310$, $p = 0,796$), sem a burokokban mért hatóanyag koncentrációk alapján (Mann–Whitney $U = 48$, $z = 0,662$, $p = 0,546$).

A törzskénés kezelés hatékonysága szoros összefüggést mutatott ugyanakkor a hatóanyagok fizikai-kémiai tulajdonságaival. Az ACE és a FLU alacsonyabb molekulamérete, valamint kedvező szisztemikus tulajdonságai lehetővé tették a kellő mértékű transzlokációt, amely a technológia potenciális alkalmazhatóságát mutatja. Hasonló eredményekről számolt be Cowles (2010), aki a fatörzs 25 cm-es sávján dinotefurán hatóanyagú törzskénés kezelést alkalmazva sikeresen kimutatta a hatóanyag lombzatba történő transzlokációját és jó rovarirtó hatását, ezzel igazolva a kergén keresztül megvalósult hatóanyag penetrációt. Ez a dinotefurán kis Koc értékének és kiváló vízdoldékonyságának (3. táblázat) köszönhető, amely kulcsfontosságú a hatékony transzlokáció szempontjából. A dinotefurán alapú kéregpermet kiválóan alkalmas volt a természetes ellenségekkel való integrációra is a karácsonyfa-ültetvények (*Abies fraseri* Lindl., 1833) pajzstetvek (*Fiorinia externa* Ferris, 1942, *Aspidiotus cryptomeriae* Kuwana, 1902) elleni kezelése során. A dinotefurán kéreg-permetezése olyan hatékonyságot és szelektivitást ért el

karácsonyfa-ültetvényeken pajzstetvek ellen, amelyet addig semmilyen más rovarirtó-stratégiával nem sikerült megközelíteni (Cowles, 2010).

16. táblázat A kiválasztott hatóanyagok növényi szövetekben mérhető koncentrációi, törzskénést követően, VI. kísérletből (Szelevény) származó adatok. Injektált készítmények (hatóanyag-tartalmuk): ABA (100 g/l abamektin), EMA (95 g/l emamektin-benzoát), ACE (200 g/l acetamiprid), FLU (200 g/l flupiradifuron), SPI (100 g/l spirotetramát), PB: Pentra-Bark; I: Invazív. DAT: kezelés után eltelt napok száma, DL: kimutatási határ.

* Az európai szabványnak megfelelően a spirotetramát és annak elsődleges metabolitját a spirotetramát-enol összmenyiségét reprezentálja.

| Hatóanyag | Felhasznált mennyiség (g/fa) | A levelek átlagos hatóanyag-tartalma DAT 41 (ng/g \pm SE) | A burok átlagos hatóanyag-tartalma DAT 109 (ng/g \pm SE) | A dióbél átlagos hatóanyag-tartalma DAT 109 (ng/g \pm SE) |
|-----------|------------------------------|---|--|---|
| ABA+PB | 6 | <DL | <DL | <DL |
| ABA+I | 6 | <DL | <DL | <DL |
| EMA+PB | 5,7 | <DL | <DL | <DL |
| EMA+I | 5,7 | <DL | <DL | <DL |
| ACE+PB | 12 | 82 \pm 25 | 5,6 \pm 1,2 | 2,5 \pm 0,5 |
| ACE+I | 12 | 51 \pm 12 | 1,7 \pm 0,4 | 2,8 \pm 0,2 |
| FLU+PB | 12 | 72 \pm 18 | 5,7 \pm 0,9 | 1,7 \pm 0,8 |
| FLU+I | 12 | 812 \pm 204 | 27 \pm 5,6 | 5,2 \pm 1,8 |
| SPI+PB* | 6 | 12 \pm 1,3 | 3,3 \pm 3,0 | <DL |
| SPI+I* | 6 | 18 \pm 3,7 | <DL | <DL |

A SPI minimális mennyiségben jelent meg a levélzetben, melynek magyarázata lehet, hogy a SPI propeszticidnek az ABA-hoz hasonlóan rossz a vízőldékonysága, de míg az ABA-t emulzióvá formulálják, ezáltal folyékony állapotban diszpergált, addig az SPI-ot szilárdan, szuszpenzióvá. A szemcsék ennél fogva fizikai akadályt jelenthetnek a penetrációban, ez lehet az oka, hogy nem jutott a xilémbe elégséges hatóanyag (16. táblázat). Formuláció-váltással ez a hátrányos tulajdonság talán kiküszöbölhető.

A két alkalmazott segédanyag hatékonyságában a statisztikai teszt nem eredményezett különbséget azonban fontosnak tartjuk megemlíteni azon megfigyelésünket, miszerint a vastagabb, erőteljesebben barázdált kérgű fákön a törzskénéssel felvitt hatóanyagok általánosan alacsonyabb szermaradvány értékeket szolgáltattak, ahogyan ezt korábban McCullough és munkatársai (2006) is megfigyelték. Bár erre célzott vizsgálatot nem végeztünk, a simább felszínű, vékonyabb kéreggel rendelkező fák esetében a penetráció valószínűleg könnyebben megvalósult,

mely magyarázat lehet a koncentrációkban tapasztalt nagy eltérésekre (16. táblázat), valamint a két segédanyag általi hatásfokozás statisztikai egyezőségére.

Ezek az eredmények rámutatnak arra, hogy a törzskenesés kezelése során figyelembe kell venni a hatóanyagok fizikai-kémiai sajátosságait, valamint a kéreg struktúrális sajátosságait. További vizsgálatok szükségesek a formulációs fejlesztések és a kezelési módszerek optimalizálására.

5.3 Hatékonyság vizsgálat lárvicid hatás alapján

A rovarölő szerrel injektált fákön a lárvicid hatás első jeleit a nyár folyamán, a még érésben lévő zöld dió burkán a tojásrakási helyek szemrevételezésekor, illetve mikroszkópi átvizsgálásakor tapasztaltuk. Ezen előzetes szemrevételezés alkalmával az 1-2 mm átmérőjű, száraz, feketedő foltokban, az epidermisz alatt, nagyon fiatal állapotukban elpusztult lárvákat, pontosabban már csak kiszáradt lárvatetemeket találtunk (35. ábra).

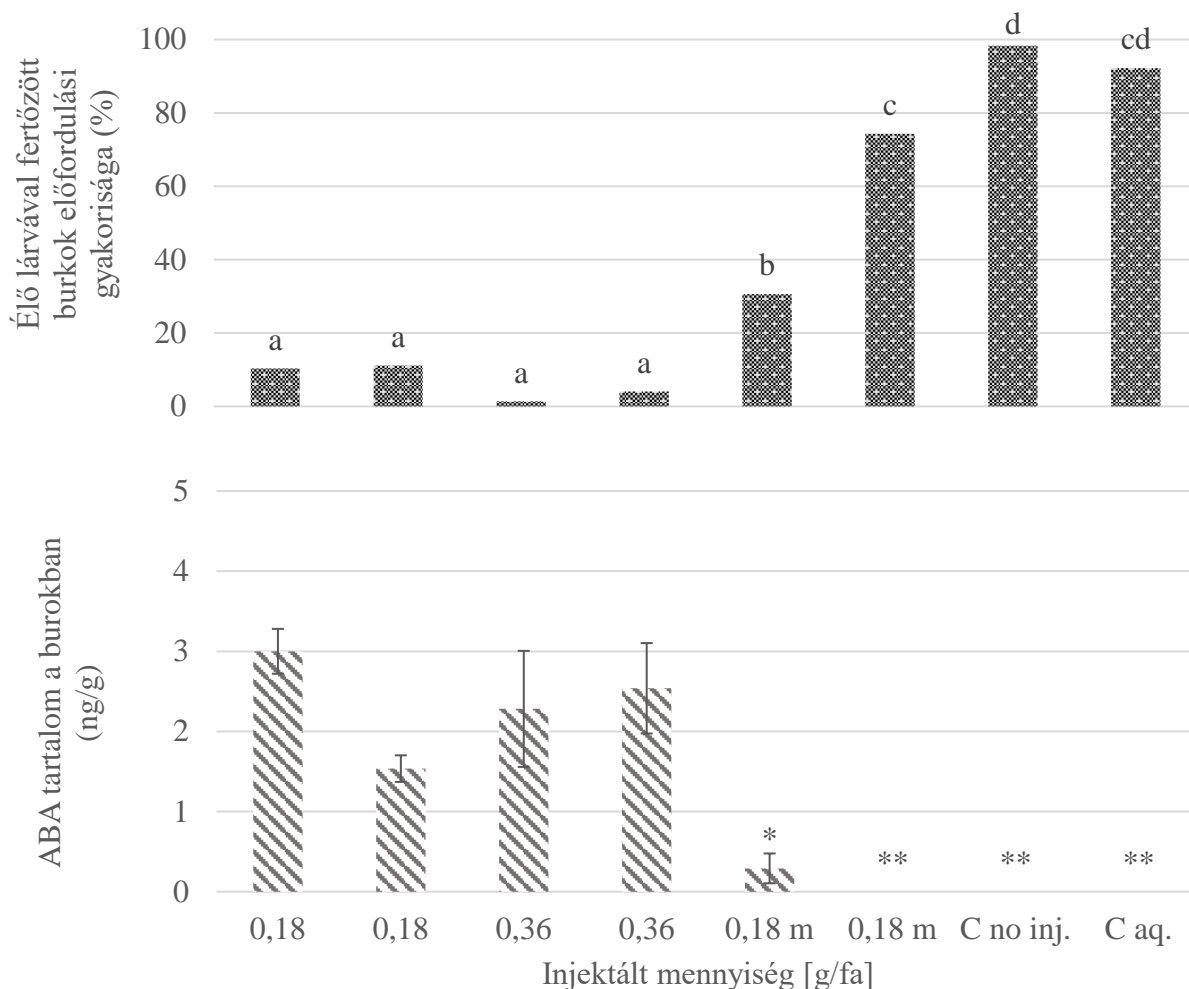
Az injektálással kezelt fákön a tojásrakás feltételezhetően ugyanolyan módon és mértékben lezajlott, mint a védelem nélküli kontroll diófákön, repellens hatást nem tapasztaltunk. Ugyanakkor a lárvák kelését követően az injektált fákról származó burkokban, a tojásrakási helyeken kialakult foltokban megtalálhatóak voltak az elpusztult nyüvek. A kártétel ezen formája minimálisnak tekinthető, ugyanis a zöld burok csak kisebb mértékben sérült és később sem tapasztaltunk felülfertőződést.



34. ábra A tojásrakási helyekben tapasztalt lárva pusztulás (Szabó, 2019)

A 36. ábrán a legelső injektálásos előkísérletünk (I. kísérlet) eredményeit mutatjuk be. A 18 g/l ABA hatóanyag-tartalmú növényvédő szer endoterápiás felhasználása mellett, az élő lárvaival fertőzött burkok aránya számottevő eltérést mutatott a kontrollhoz képest. A kontroll fák esetében erős kártételt észleltünk, míg a kezelt fákön – az 5. - 6. oszlop (0,18 m) kivételével – ez elenyésző volt. Fertőzöttség szempontjából az 1., 2. (0,18 g/fa) és 3., 4. (0,36 g/fa) fákön tapasztalt kártétel statisztikailag nem különbözött, ezek fertőződtek a legkisebb mértékben. Ellenben az 5. és 6. fán – ahol szintén 0,18 g hatóanyagot injektáltunk, de magasabb injektálási pontokat alkalmazva – szignifikáns különbség adódott az előzőekhez és egymáshoz képest is. A kezelt fák

esetében a burkok átlagos ABA tartalma 0,29 és 3,00 ng/g között alakult, a 6. fa kivételével, ahol a kontroll fákkal megegyezően az ABA a detektálási határt nem érte el, ennél fogva nem volt kimutatható (36. ábra). Az átlagos ABA értékek negatív korrelációt mutattak az élő lárvák előfordulási gyakoriságának értékeivel ($r_s = -0,878$, $p = 0,004$).

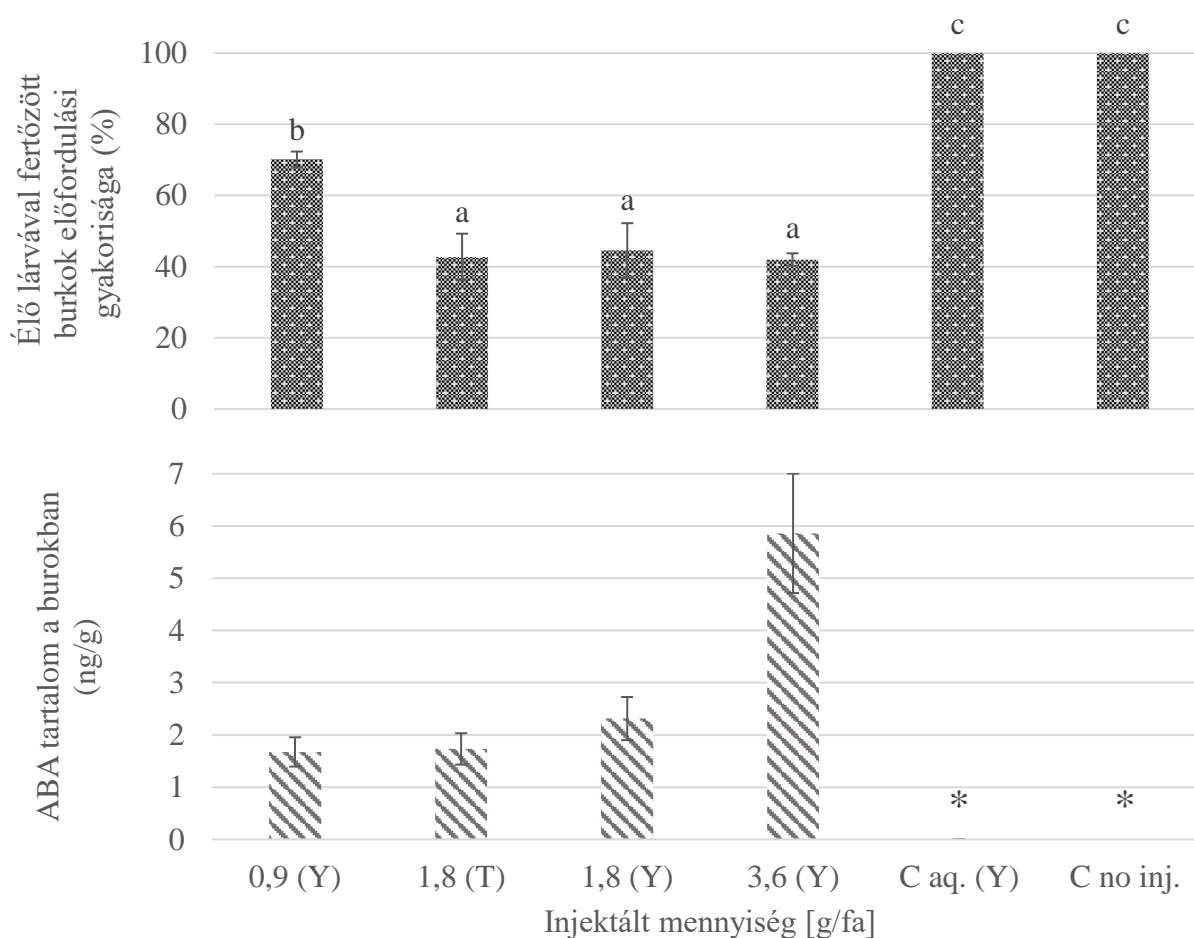


35. ábra Az I. kísérletből (Taksony) származó injektált fák fertőzöttsége (felül) és a burokokban jelenlévő hatóanyag-tartalom (ABA = abamektin) (alul) (átlag \pm SE) a betakarítás idején. Az azonos betűvel jelölt oszlopokban a Marascuilo-összehasonlítás alapján a fertőzöttség nem tért el szignifikánsan ($p > 0,05$). C aq.: vízzel való injektálás, C no inj.: nem történt injektálás és furatkészítés sem. * nyomnyi (nem meghatározható) mennyiség, **DL (kimutatási határ): 1,2 ng/g

Eredményeinkből a szakirodalommal megegyezően (Fishel, 2018; Wang et al., 2020) megállapítottuk, hogy az injektálási pont magassága fontos szerepet játszik a kezelés sikerében. A törzs alsó harmadában injektált fák esetében a kezelés hatékonyabb volt (a fertőzöttség aránya 11% alatt maradt) és ennek megfelelően nagyobb hatóanyag-tartalmat mértünk, mint a törzs felső régiójában injektáltaknál (36. ábra). Ahhoz, hogy a teljes lombkoronában homogén és megfelelő hatóanyag-szintet érjünk el, kellően alacsony injektálási magasságot kell alkalmazni. Ez esetben a hatóanyagoknak elegendő idejük van a xilémkötegek mentén szétszóródnia, mielőtt elérnék az első ágak szintjét.

Habár csak két ismétléssel állítottuk fel az első szabadföldi kísérletünket, de az eredményekből arra következtettünk, hogy a választott hatóanyag mindkét dózisa megfelelő biológiai hatást adott.

A dózis-válasz vizsgálatok pontosításához és újabb hatóanyagok tesztelésére további kísérleteket állítottunk be (III., IV.). A IV. kísérletben 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 $p = 0,138$) (37. ábra). A burokból lévő átlagos ABA hatóanyag-tartalom 1,67 és 5,86 ng/g között volt, melyek nem eredményeztek szignifikáns különbséget az eltérő dózisu kezeléseket között (Kruskal–Wallis $H = 3,00$, $df = 3$, $p = 0,392$).



36. ábra A burok fertőzöttsége (felül) és a hatóanyag-tartalom (alul) (átlag ± SE) a különböző dózisu ABA (abamektin) törzsinjektálás hatására (T=Treenject, Y=Ynject GO) (IV. kísérlet). Az azonos betűvel jelölt oszlopokban végzett kezeléseknél a Marascuilo-összehasonlítás alapján a fertőzöttség nem tér el szignifikánsan ($p > 0,05$). C aq.: vízzel való injektálás, C no inj.: nem történt injektálás és furatkészítés sem. * DL (kimutatási határ): 1,2 ng/g.

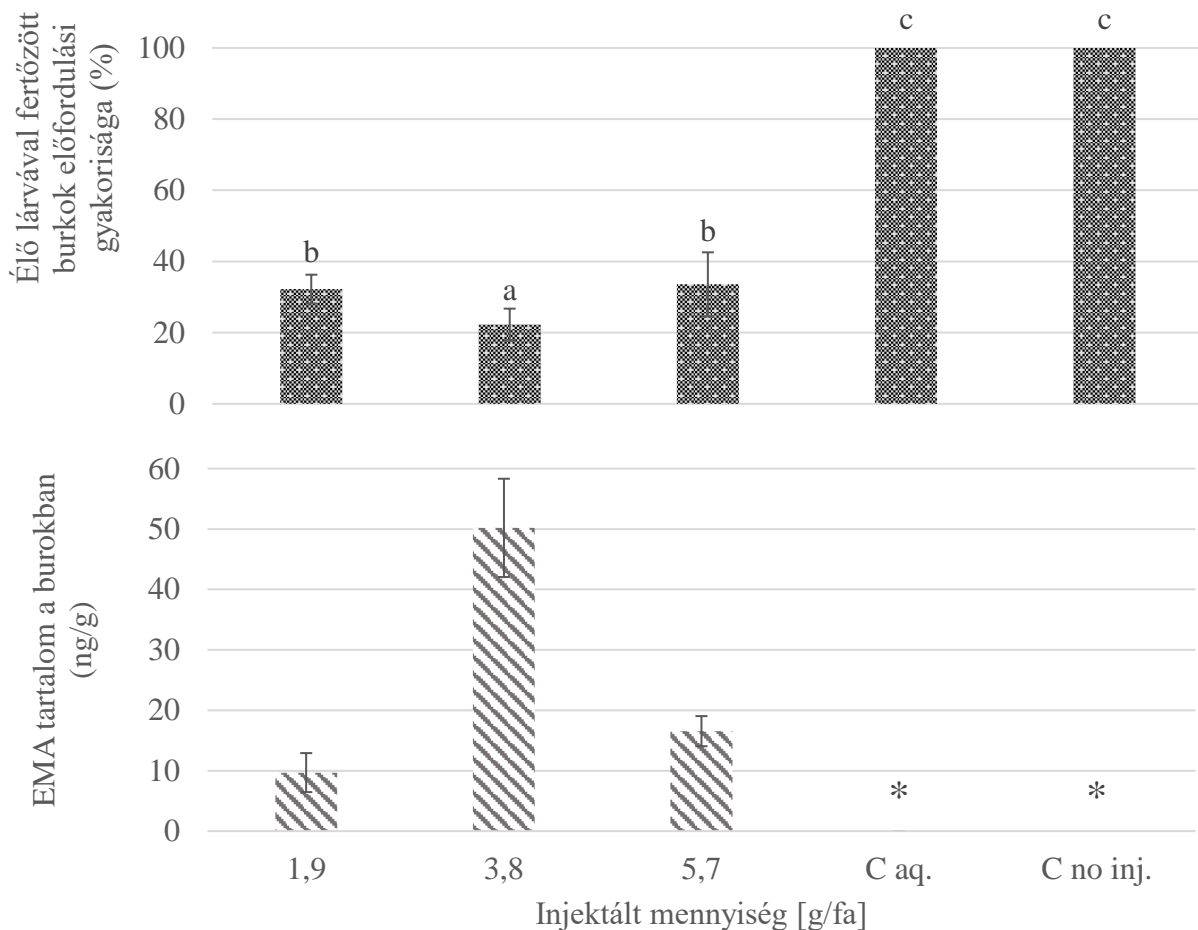
A kontroll kezelésben a lárvával fertőzött burokok aránya elérte a 100%-ot, addig a különböző kezeléseket esetén ez jóval kisebb volt: 0,9 g/fa esetén 70%, míg 1,8 g/fa és 3,6 g/fa esetén 45% alatti, de hasonló nagyságrendű fertőzést mértünk fel. Tehát a legkisebb dózisu ABA

kezelés eredményezte a leggyengébb rovarölő hatást, míg szignifikánsan jobb lárvicid hatást tapasztaltunk a növelt dózisú ABA hatóanyaggal kezelt fákon.

A kétféle injektáló eszköz nem eredményezett szignifikáns különbséget sem az élő lárvákat tartalmazó dióburok gyakorisága, sem a dióburok hatóanyag-tartalma között. A levelek hatóanyag-tartalmában azonban a latexcső (Ynject GO) mindhárom mintavételi időpontban jelentősen nagyobb koncentrációt eredményezett (melyet az 5.5.2 fejezetben részletezünk, 48. ábra). Ez utóbbi módszernek az az egyik legnagyobb előnye, hogy az injektálási sebességet állandósítja és így a peszticidek egyenletesebb eloszlását teszi lehetővé. Másrészt, mivel nagyobb térfogatú folyadékot is kényelmesen bejuttathatunk vele, amely amellet, hogy jobb hatékonyságot biztosít (Byrne et al., 2020), elkerülhető, hogy a növényvédő szerek esetlegesen túl nagy koncentrációja helyileg károsítsa a fa törzsét.

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 ($r_s = 0,316$, $p = 0,407$) (38. ábra). A burokban lévő átlagos hatóanyag-tartalom a kezeléseken 9,69 és 50,19 ng/g között volt, melyek szignifikánsan nem különböztek egymástól (Kruskal–Wallis $H = 5,067$, $df = 2$, $p = 0,079$). A legkisebb és a legnagyobb dózis rovarölő hatásában sem tapasztaltunk szignifikáns eltérést. EMA alkalmazása során nemcsak a fertőzöttség volt kisebb, mint ABA és ACE esetén, hanem a szélső dózisokhoz tartozó hatáskülönbség is.

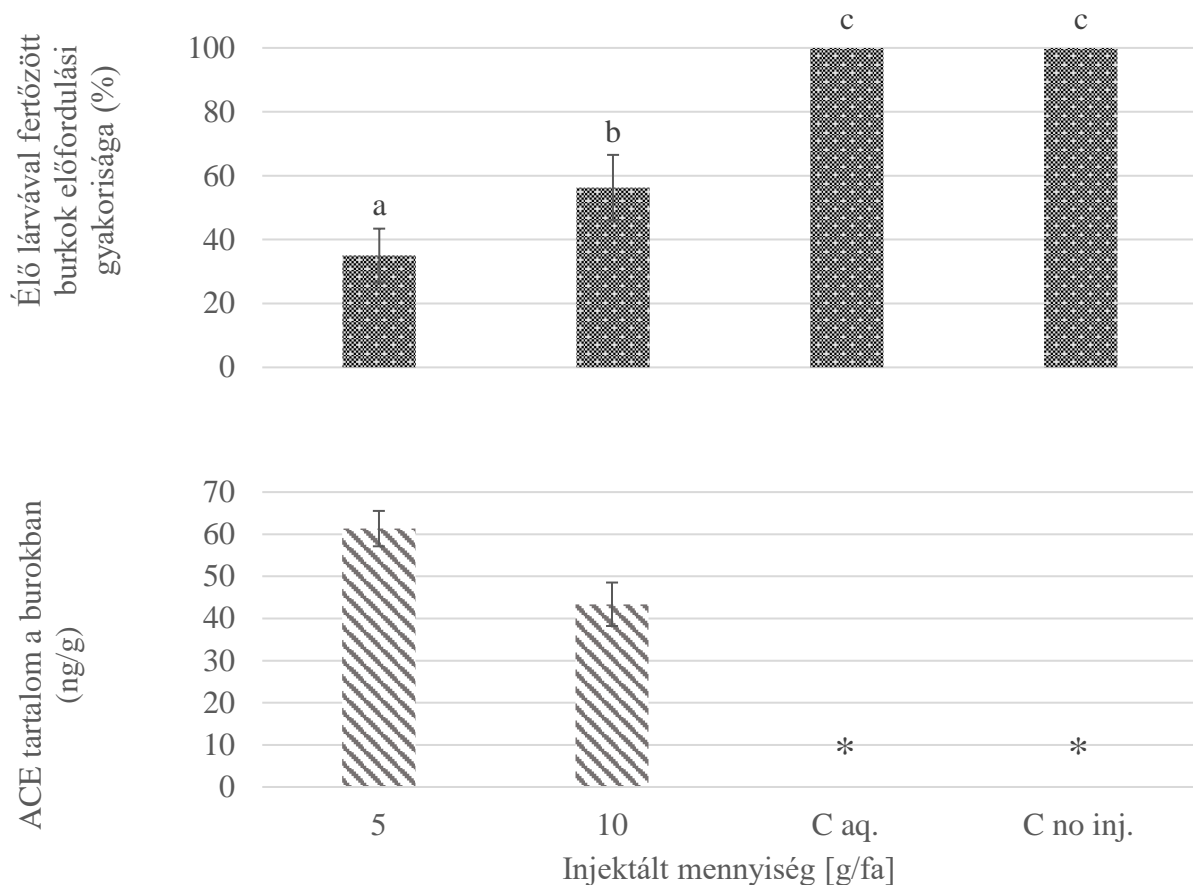
A kontrollban tapasztalt 100%-os fertőzöttséghez képest mindhárom dózis jelentősen csökkentette a lárvával fertőzött burkok számát (38. ábra).



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

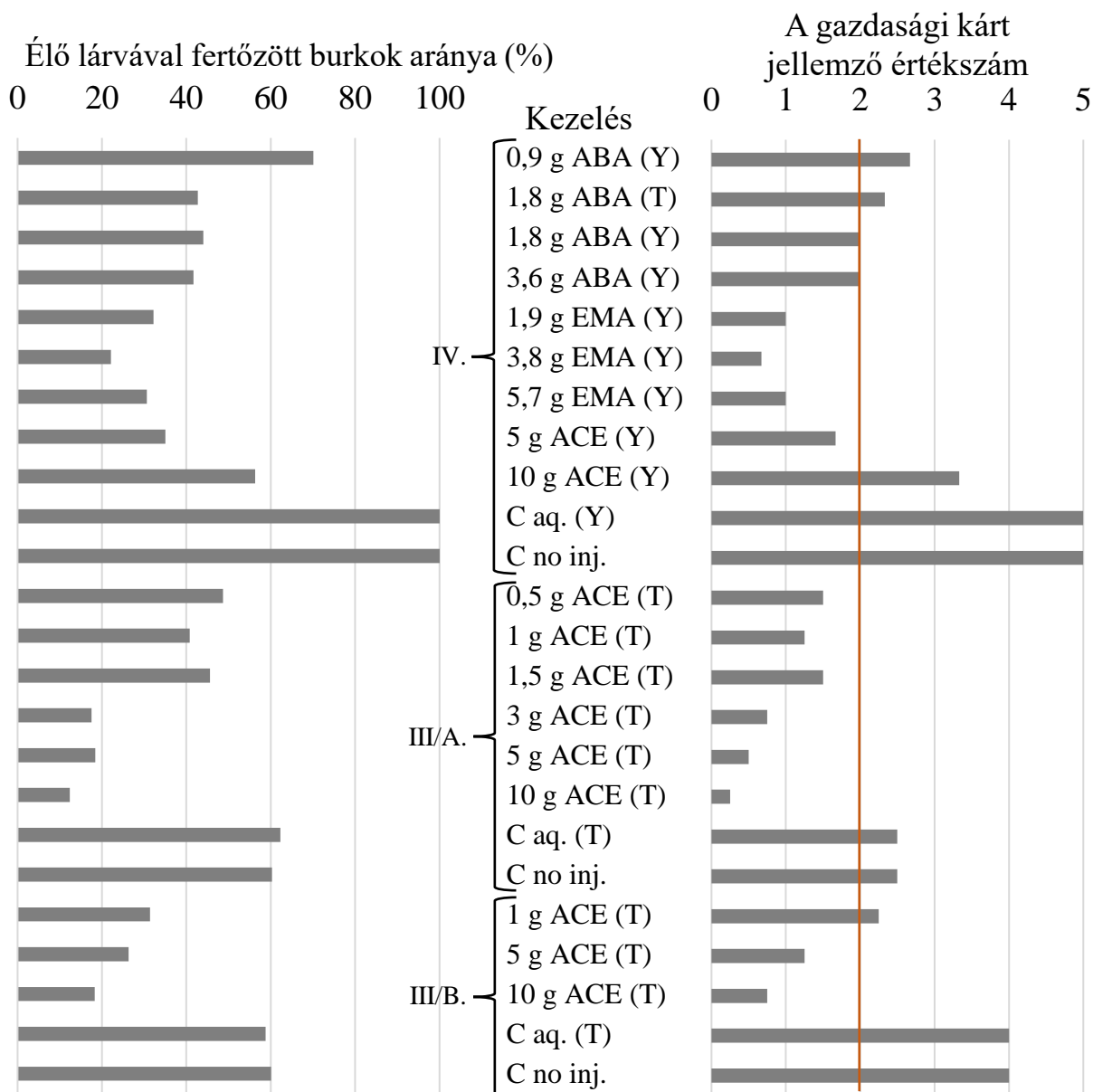
ACE esetében negatív korrelációt ($r_s = -0,829$, $p = 0,042$) tapasztaltunk a burok hatóanyag-tartalma és a fertőzöttség között, de nem tapasztaltunk szignifikáns korrelációt az injektált hatóanyag mennyisége és a hatóanyag-maradék tartalom között ($r_s = -0,488$, $p = 0,326$) (39. ábra). A burokban lévő átlagos hatóanyag-tartalom 43,37 és 61,34 ng/g között volt. A két kezelés által a burokban kialakult hatóanyag-tartalom itt sem eredményezett szignifikáns különbséget (Mann–Whitney $U = 2$, $z = -1,091$, $p = 0,4$).

Mindkét dózis csökkentette a lárvával fertőzött burkok mértékét. A kontrollban tapasztalt 100%-os gyakorisághoz képest 5 g/fa injektált hatóanyag esetén 31%, 10 g/fa esetén 56% volt az élő lárvával fertőzött burkok előfordulási gyakorisága. ACE esetében a fertőzöttség tehát köztes értékeket vett fel és az ABA-nél látott egyértelmű dóziszválasszal ellentétben, itt a nagyobb dózisú kezelés kisebb hatékonyságot eredményezett.



38. ábra A burok fertőzöttsége (felül) és a hatóanyag-tartalom (alul) (átlag \pm SE) a különböző dózisú ACE (acetamidrid) törzsinjektálás hatására (IV. kísérlet). Az azonos betűvel jelölt oszlopokban végzett kezeléseknél a Marascuilo-összehasonlítás alapján a fertőzöttség nem tér el szignifikánsan ($p > 0,05$). C aq.: vízzel való injektálás, C no inj.: nem történt injektálás és furatkészítés sem. * DL (kimutatási határ): 0,25 ng/g.

A III. kísérlet eredményeiből jól kitűnik a dóziszválasz; a nagyobb injektált koncentráció jobb eredménnyel párosult, így negatívan korrelált a fertőzés mértékével ($r_s = -0,680$, $p = 0,015$ és $r_s = -0,789$, $p = <0,001$) (40. ábra). Azonban a kontroll kezelések esetében sem alakult ki a korábbihoz hasonló erős kártétel, amely a kísérleti területünk szomszédságában végzett csalétkes rovarölőszeres kezelések mellékhatásaként adódhatott. Ennek háttérében az a gyakorlatban már ismert jelenség állhat, hogy a nyugati dióburok-fúrólegyet a csalétek akár 100 méter távolságból is képes bevonítani. Mindezek alapján a kezeléseink eredményét csak korlátozottan vehetjük figyelembe a hatás értékelésekor.



39. ábra A III. (Csipkerek és Felsőpáhok) és a IV. kísérleti (Szelevény) beállítások alatt használt injektálási dózisok (kezelés), az azok következtében kialakult fertőzöttség és a becsült gazdasági kár egymáshoz viszonyulása. ABA: abamektin, EMA: emamektin-benzoát, ACE: acetamidrid, C aq.: vízzel való injektálás, C no inj.: nem történt injektálás és furatkészítés sem

5.4 Gazdasági kár értékelése

Az előző fejezetben láthattuk, hogy a kezelésben részesített fákban a dióburokban előforduló élő nyüvek száma szignifikánsan kevesebb volt, mint a kontroll kezelésekben. Ha a fertőzöttségi adatokat jobban szemügyre vesszük, felmerülhet bennünk a kérdés, hogy egy 30-40%-os fertőzöttséget eredményező növényvédelmi kezelés valóban eredményesnek mondható-e. Az adatok ilyen irányú mérlegelésekor érdemes figyelembe venni az alkalmazott biológiai értékelési módszer szigorúságát is, mivel a burok fertőzöttsége nem feltétlenül jelenti azt, hogy a termés sérült és ebből kifolyólag hátráltatja a feldolgozást vagy eladhatatlan. Ha csak kevés lárva marad,

mely a legtöbb esetben még gyenge egyedfejlődéssel is párosul a kezelés szubletális hatásának köszönhetően, a burok mutathat sérülést, de ebben az esetben a gazdasági kár csekélyebb, és a termés, akár héjas dióként is megőrzi piacosságát. A 40. ábra alapján megállapíthatjuk, hogy 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.

Tehát, mivel a fertőzöttség, nem azonos a dió burok állapotával, ezért fontosnak tartottuk kifejezni a gazdasági kártétel mértékét is. Kísérleteink értékelésekor sokszor előfordult, hogy egy-egy nyű túlélte a kezelést, de az okozott kár mértéke messze elmaradt a kontroll burokban tapasztalt kártételtől (41. ábra). Az előfordulási gyakoriságot az el nem pusztult, a szubletális dózisonak kitett nyüvek jelenléte ugyan növelte, de a gazdasági kárt alig.

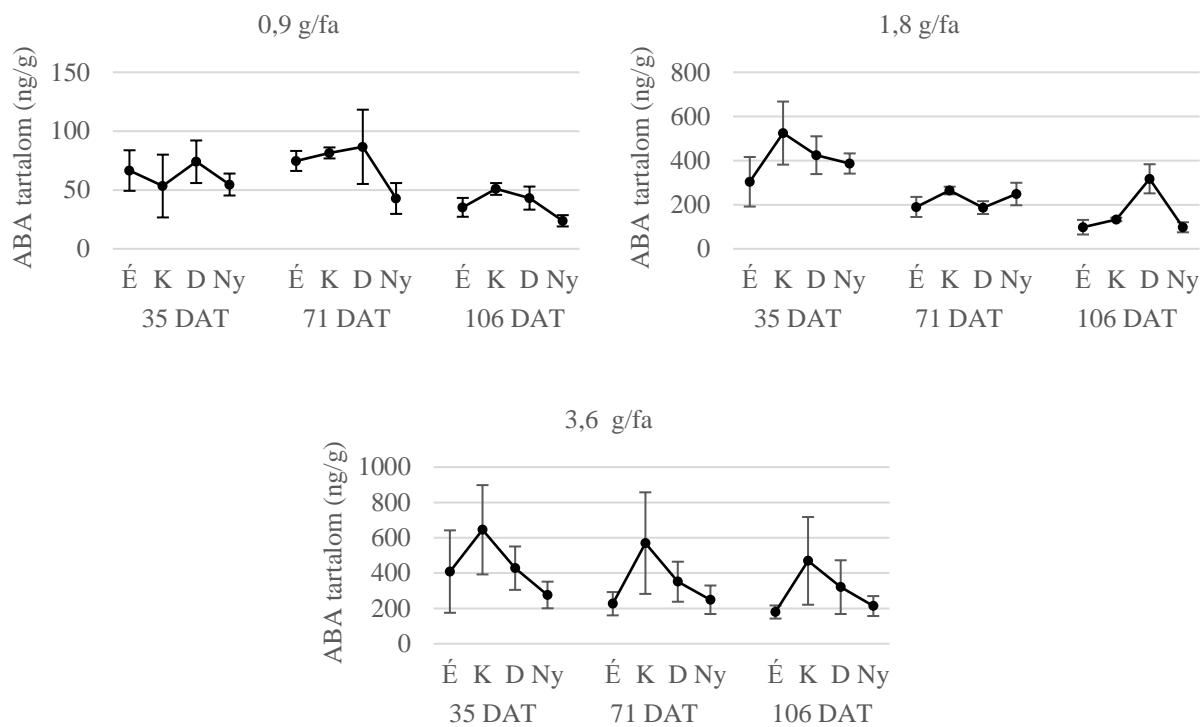


40. ábra A szubletális dózis hatására életben maradó, de kevésbé életképes lárvák által ejtett sebek a dió burkán (pericarpiumában) (A). Az EMA kezelésekből származó termések (B) és burkok állapota (C) (saját fotó, Budapest, 2021).

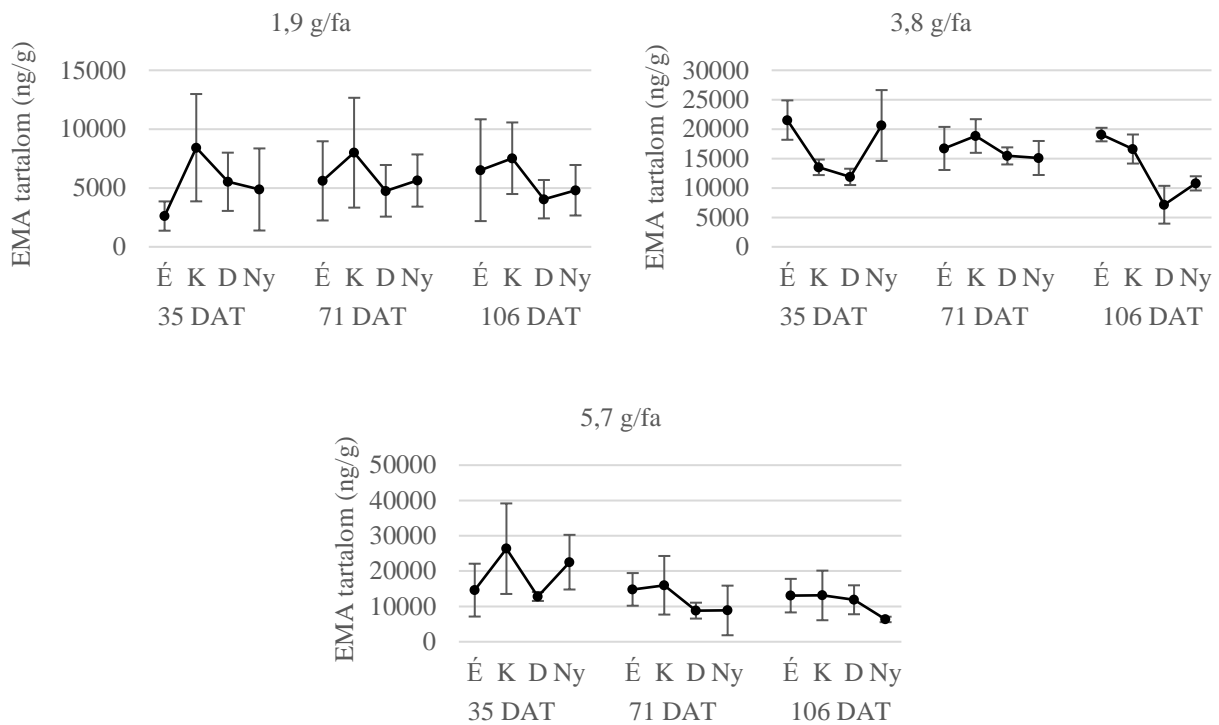
5.5 A toxikokinetikai folyamatok bemutatása

5.5.1 Térbeli eloszlás vizsgálat

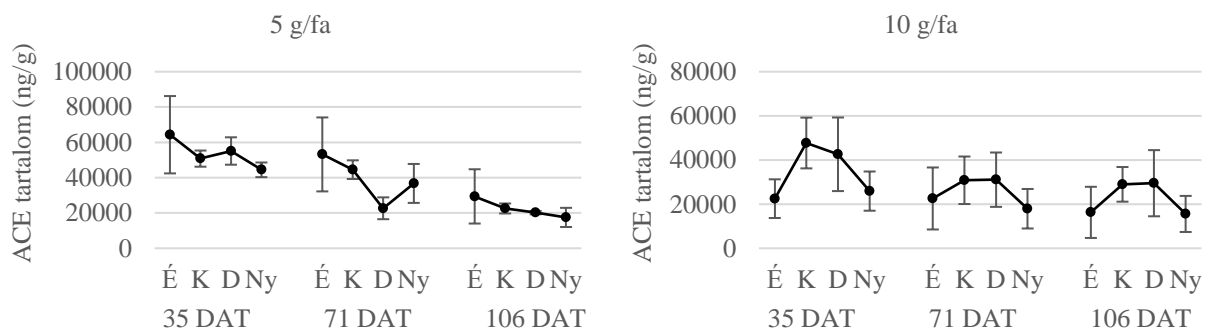
A homogenitási vizsgálataink eredményét a vizsgált hatóanyagoknak megfelelően, a 42-44. ábrákon foglaltuk össze. Az ismételt méréses varianciaanalízis nem mutatott szignifikáns hatást az égtájak és a hatóanyag-tartalom között egyik vizsgált hatóanyag (ABA, EMA, ACE) esetében sem $F(3, 24) = 0,391$, $p = 0,761$, $\eta^2 = 0,47$; $F(3, 24) = 0,750$, $p = 0,533$, $\eta^2 = 0,86$; $F(3, 16) = 0,741$, $p = 0,543$, $\eta^2 = 0,122$. Ez azt jelenti, hogy az égtájak nem befolyásolták jelentősen a kezelések hatására kialakult hatóanyag-tartalmat a lombkoronában.



41. ábra A lomb ABA (abamektin) koncentrációja a négy égtáj irányában mintázva 35, 71 és 106 nappal a különböző dózisú (0,9, 1,8 és 3,6 g/fa) kezelést követően a IV. kísérletben (Szelevény). A kísérlethez 100 g/l abamektin tartalmú készítményt használtunk. A grafikonon látható pontok a három ismétlésből vett minták átlagait (\pm SE) jelölik.



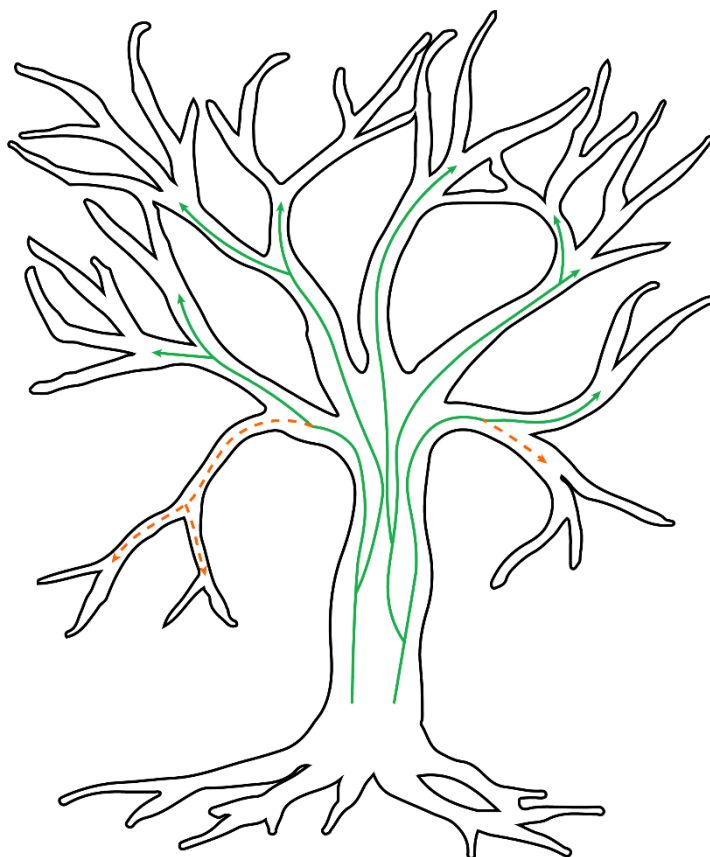
42. ábra A lomb EMA (emamektin-benzoát) koncentrációja a négy égtáj irányában mintázva 35, 71 és 106 nappal a különböző dózisu (1,9, 3,8 és 5,7 g/fa) kezelést követően a IV. kísérletben (Szelevény). A kísérlethez 95 g/l emamektin-benzoát tartalmú készítményt használtunk. A grafikonon látható pontok a három ismétlésből vett minták átlagait (\pm SE) jelölik.



43. ábra A lomb ACE (acetamiprid) koncentrációja a négy égtáj irányában mintázva 35, 71 és 106 nappal a különböző dózisu (5 és 10 g/fa) kezelést követően a IV. kísérletben (Szelevény). A kísérlethez 200 g/l acetamiprid tartalmú készítményt használtunk. A grafikonon látható pontok a három ismétlésből vett minták átlagait (\pm SE) jelölik.

A 45. ábrán a növény szállítószövetében mozgó növényvédő szer feltételezett útját vázoltuk sematikusán. A kísérleteink során erre külön vizsgálatot ugyan nem végeztünk, de mint tapasztalat, és az inhomogenitás magyarázataként érdemes megemlíteni, hogy a talaj felé erősen, a vízszint alá lehajló szaggatott vonallal jelölt ágrészekbe csak kisebb mennyiségben, esetleg egyáltalán nem jutott a hatóanyagból, ezért itt a növényvédelmi hatékonyság lecsökkenhet. Szerencsés módon a lombkorona felsőbb részein, szintén a vízszintes alá hajló, de fiatalabb gallyaknál ez már kevésbé jelentkezik. Az intenzív ültetvényekben – a rendszeres metszés és a

koronaforma miatt – ez kevésbé jellemző, de az extenzívebb kertekben, több évre metszés nélkül hagyott fákon gyakran megfigyelhető jelenség, mellyel kalkulálni szükséges injektációs technológia használata esetén.



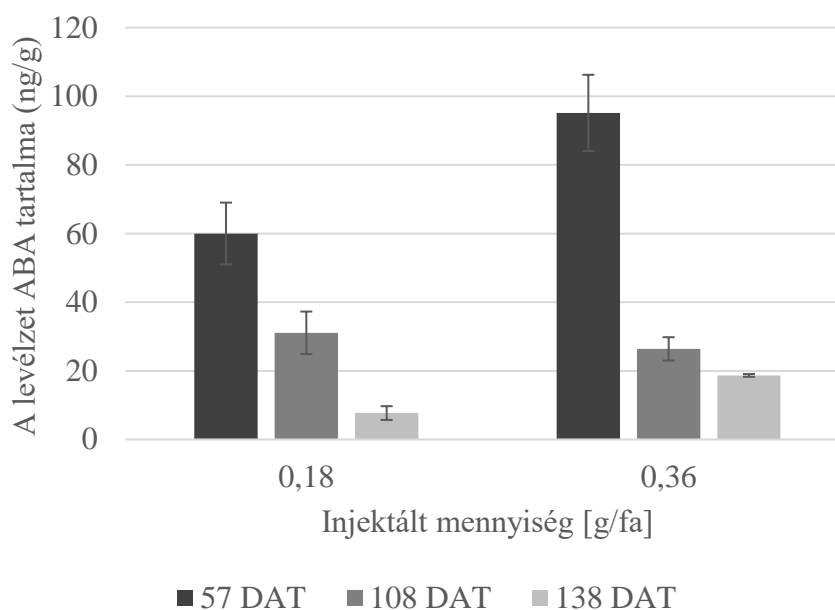
44. ábra A beinjektált vegyületek valószínűsíthető mozgási útvonala a növény xilém rendszerében

Ezen inhomogenitást látva, nem meglepő a dióburok átlagos hatóanyag-tartalmának erős szórása sem, ahogyan azt korábban a 36. ábrán, illetve a levelekben mért koncentrációk égtájak szerinti felosztásánál (42-44. ábra) láttuk, és amely felelőssé tehető a szubletális hatás kialakulásáért is. A szubletális hatás elkerülésére válasz lehetne a nagyobb dózisú kezelés, de mint azt a 41. ábrán láthatjuk, az 1,8 ABA és 3,6 ABA kezelések esetében, a dózis megduplázása sem segített a lárvák előfordulási gyakoriságát jelentősen csökkenteni. Az inhomogenitás lecsökkentésére szintén lehetőséget ad a több injektálási pont alkalmazása, mégis előnyös ez utóbbit elkerülni a törzs egészségének megőrzése érdekében (Doccola és Wild, 2012; Coslor et al., 2019b; Berger és Laurent 2019).

Megítélésünk szerint, mind az inhomogenitás, mind az ezzel járó szubletális hatás elkerülhető hígított, de egyben nagyobb mennyiségű elegy bejuttatásával, amit már Byrne és munkatársai (2020) is javasoltak.

5.5.2 Időbeli eloszlás vizsgálata

A rövidtávú, egy vegetációs periódust átfogó (II.) kísérlet során az injektált mennyiség és a levelekben később visszamért ABA tartalom között pozitív korrelációt találtunk az 57. ($r_{xy} = 0,549$, $p = 0,028$) és a 138. napon ($r_{xy} = 0,653$, $p = 0,006$), de nem volt szignifikáns kapcsolat a 108. napon ($r_{xy} = -0,174$, $p = 0,519$) (46. ábra). A levélmintákban detektált hatóanyag-tartalom az idő múlásával csökkenő tendenciát mutatott.

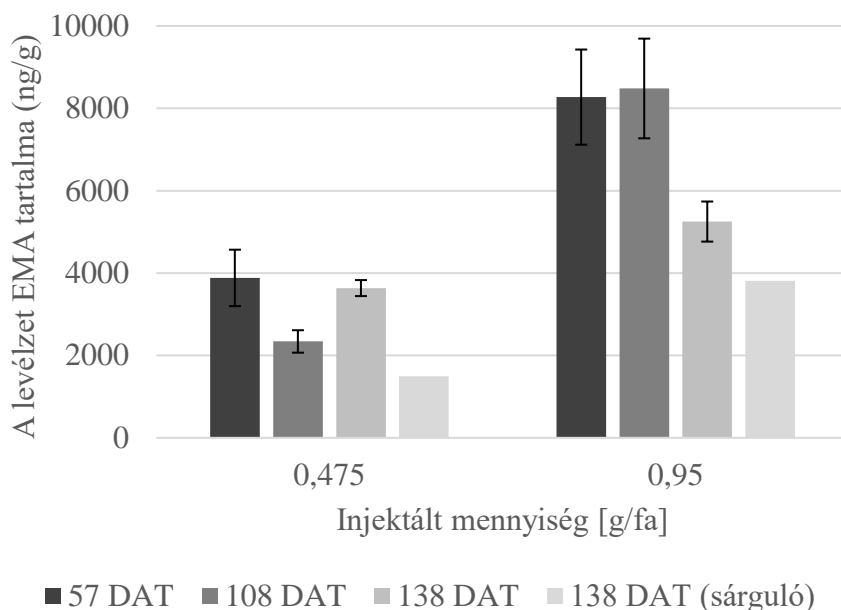


45. ábra A II. kísérleti (Taksony) beállításból származó, különböző időpontokban (DAT: a kezelés után eltelt napok száma) vett levelek ABA (abamektin) koncentrációja.

Ugyanitt az injektált EMA mennyisége pozitívan korrelált a levélben megjelenő hatóanyag mennyiséggel mindhárom időpontban: ($r_s = 0,651$, $p = 0,006$) az 57. napon, ($r_s = 0,705$, $p = 0,002$) ($r_s = 0,705$, $p = 0,002$) a 108. napon és ($r_s = 0,705$, $p = 0,002$) a 138. napon (47. ábra). Mindamelllett a hatóanyag-tartalom időszakos ingadozása volt megfigyelhető mindkét dózis esetén. Az őszi, levélhullás idején járó, elszíneződött levelek hatóanyag-tartalma, az ugyanakkor gyűjtött, de még asszimiláló, zöld levelek hatóanyag-tartalmától is kevesebb volt, ami a transzspiráció csökkenő mértékével hozható összefüggésbe (47. ábra).

Feltételezésünk szerint a levelek hatóanyag-tartalmának ingadozása mögött, két tényező áll; (i) a fatörzsben lévő hatóanyag rezervoár mérete és (ii) a szállított víz mennyisége. Ha a törzsben nagy felületű rezervoár képződik, akkor az egységnyi szállított folyadék nagyobb koncentrációban tartalmazhat hatóanyagot. Másrészt azonos méretű rezervoárok esetén a szállított víz mennyisége is eredményezhet különbséget, ugyanis a zöld növényi részekben a víz elpárolog, de a hatóanyag bizonyos ideig felhalmozódhat. Egységnyi mennyiségű hatóanyag injektálási hely környékéről való felszabaduláshoz, egységnyi mennyiségű víz transzportálására van szükség. Az

időszakos ingadozás tehát abból adódhatott, hogy a nagyobb dózisok, nagyobb tartalékot is képeztek a xilém elemek mentén, így egységnyi víz átfutása után, a lombkoronaszintet elérő folyadék nagyobb koncentrációban tartalmazhatott hatóanyagot.

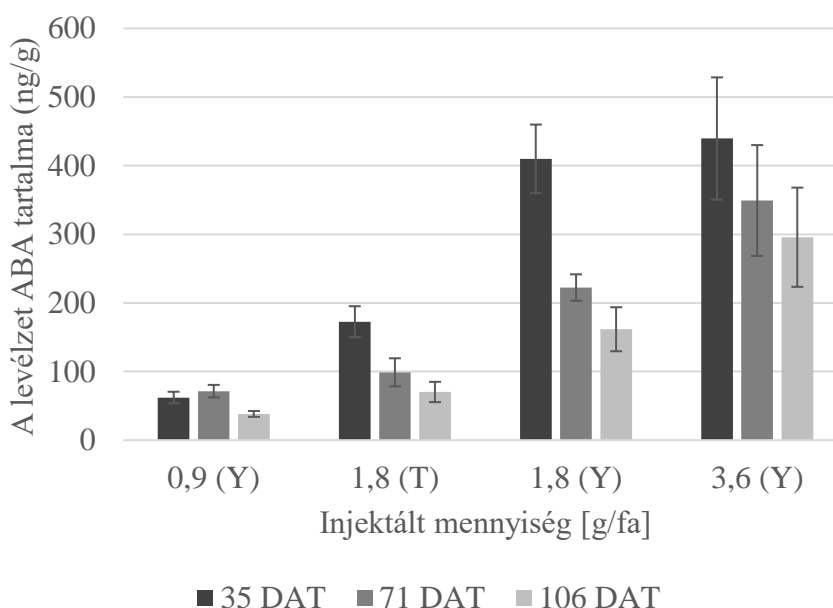


46. ábra A II. kísérleti (Taksony) beállításból származó, különböző időpontokban (DAT: a kezelés után eltelt napok száma) vett levelek EMA (emamektin-benzoát) koncentrációja. Az utolsó oszlopok a már sárguló őszi levelek hatóanyag-tartalmát hivatottak jelezni ugyanazon a napon vett zöld levélmintákkal szemben.

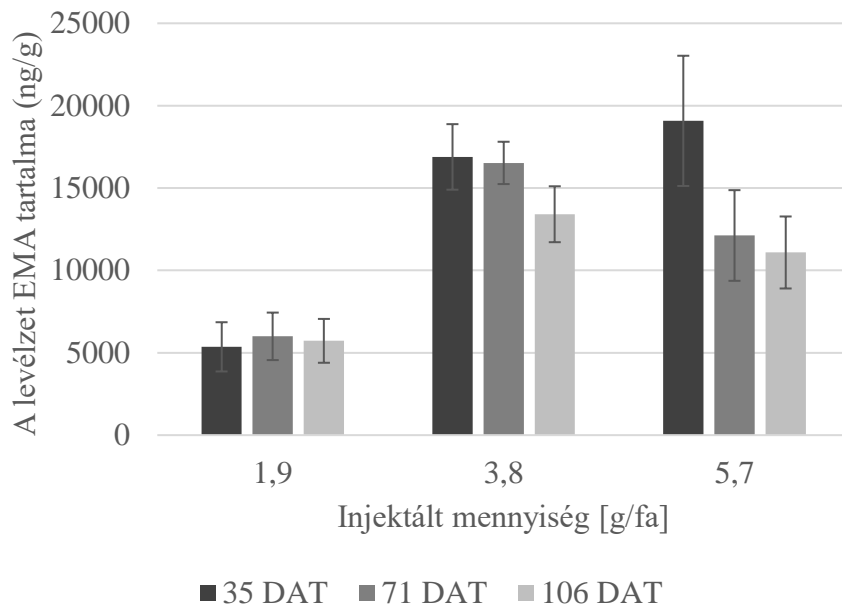
Ha a standard hiba értékeket szemügyre vesszük a 46-47. ábrákon relatív nagy értékeket látunk, mely a hatóanyag lombkoronában kialakult inhomogén eloszlása okozza. Az injektálást más növényvédelmi megoldásokkal összehasonlítva az inhomogenitást illetően nem láttunk nagy különbséget. Ambrus (2000) beszámolt arról, hogy a ködképzéssel kezelt egyes fejessaláták hatóanyag-tartalma között akár 200-szoros eltérés is előfordulhat. Hasonlóan nagy variációs együtthatót tapasztalt a permetezéssel kezelt almaültetvényekben a lombkoronában kialakult klórpírifosz-metil eloszlásában, amely 40% és 110% között mozgott. Paradicsom kultúrában a zineb és a mankoceb eloszlása hasonlóan jelentős variációt mutatott, 38% és 64% közötti értékekkel. A klórpírifosszal kezelt burgonya gumóiban ugyanez a mutató 66%-nak adódott (Juraske et al., 2011), míg a kaptánnal kezelt almaterméseknél 50% és 60% között változott (Xu et al., 2008). A permetezéssel elért homogenitást leginkább a kezelt növényállomány habitusa és így a növényfaj befolyásolja (Ambrus, 2000), ami az injektálás esetében is hasonlóképpen befolyásoló tényező, de a kezelés módszere és a felhasznált hatóanyag szintén jelentős hatással bír (Acimovic, 2014, Byrne et al., 2020).

A IV. kísérletben az ABA-es kezelést követően mindhárom időpontban pozitív korreláció állt fenn a dózis és a levélben megjelenő hatóanyag mennyiség között; ($r_s = 0,819$, $p = 0,001$) a 35. napon, ($r_s = 0,785$, $p = 0,002$) a 71. napon és ($r_s = 0,853$, $p < 0,001$) a 106. napon (47. ábra).

EMA esetén bár kissé gyengébb, de szignifikáns korreláció állt fent a 35. napon ($r_s = 0,685$, $p = 0,042$), de a 71. és a 106. napon ez a logikusnak tűnő kapcsolat az injektált és a levélzet átlagos maradék EMA tartalma között már nem volt szignifikáns ($r_s = 0,422$, $p = 0,258$) és ($r_s = 0,580$, $p = 0,102$) (48. ábra). A két nagyobb koncentrációnál a 71. és 106. napon már nem találtunk kapcsolatot az injektált koncentráció és az átlagos hatóanyag-maradék tartalom között, melynek okát a következő (5.6.) fejezetben részletezzük.

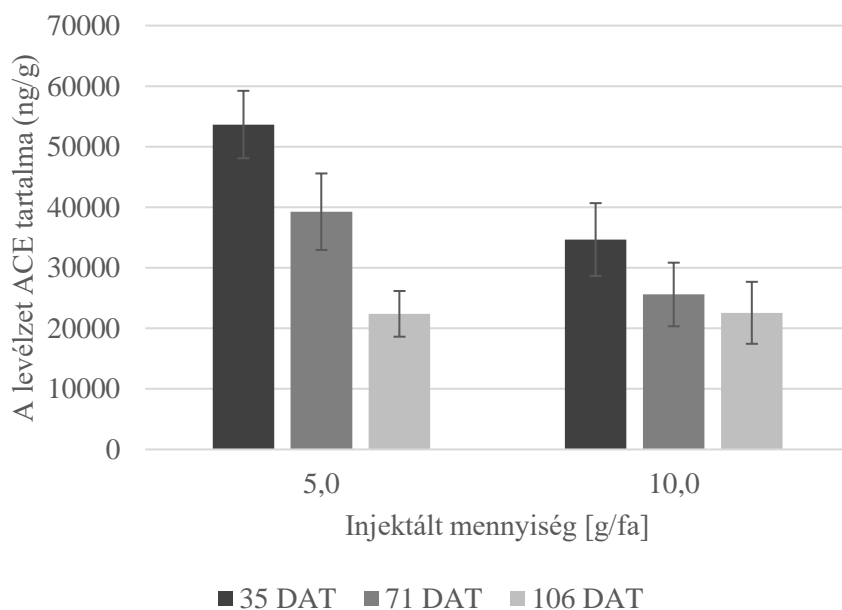


47. ábra A IV. kísérletből (Szelevény) származó, különböző időpontokban (DAT: a kezelés után eltelt napok száma) vett levelek ABA (abamektin) tartalma. A zárójelekben az alkalmazott eszközök jelölése; Y: Ynject GO és T: Treenject.



48. ábra A IV. kísérletből (Szelevény) származó, különböző időpontokban (DAT: a kezelés után eltelt napok száma) vett levelek EMA (emamektin-benzoát) tartalma.

Az ACE hatóanyagú kezelések nem adtak szignifikáns eredményt az injektált mennyiség és a levelekben később visszamért hatóanyag koncentrációt illetően egyik időpontban sem ($r_s = -0,683$, $p = 0,135$), ($r_s = -0,683$, $p = 0,135$), ($r_s = -0,098$, $p = 0,854$). Sőt, amint azt az 50. ábra is szemlélteti, a várakozással ellentétes irányú összefüggésre utaló mintázatot figyeltünk meg, amely megegyezik a burokból tapasztaltakkal, az 5.3. fejezetben leírtak szerint. Az idő múlásával azonban itt is csökkenő hatóanyag-tartalmat mutattunk ki.



49. ábra A IV. kísérletből (Szelevény) származó, különböző időpontokban (DAT: a kezelés után eltelt napok száma) vett levelek ACE (acetamiprid) tartalma.

A levélmintákban detektált hatóanyagok (ABA, EMA, ACE) mennyisége a mintavételi alkalmak során általában csökkenő tendenciát mutatott (48., 49., 50. ábrák). Kivételt képezett ez alól a legkisebb injektálási mennyiség, ahol a 71. napon vett minták hatóanyag-tartalma ABA és EMA esetében némileg nagyobb volt, mint a 35. napon gyűjtött mintáké. Ezt a jelenséget azzal indokolhatjuk, hogy a kisebb koncentráció miatt a lombkoronáig való eljutás is hosszabb időt vett igénybe, így a hatóanyag lombkoronában elért maximum koncentrációja valahol 35 és 71 nap közé eshetett. Mindamellett, az adatok inhomogenitásának csökkentése szintén pontosabb eredményeket adhat, így a nagyobb mintaelemszám használata is pontosítana ezen az eredményen.

5.6 A dózis beállításának lehetőségei

EMA és ACE hatóanyaggal végzett kísérleteink során a biológiai hatás néhány esetben nem mutatott összefüggést az injektált növényvédő szer mennyiségével (38., 39. ábra). Ugyanakkor a burokra jellemző hatóanyag-tartalom minden esetben negatívan korrelált az élő lárvákat tartalmazó burkok előfordulási gyakoriságával (5.3 fejezet). Ez az eltérés abból adódhatott, hogy az injektálandó dózis meghatározásakor nem a fánként egyedileg mért törzsátmérőt vettük figyelembe, hanem a kísérletbe bevont fák törzsátmérőjének átlagos értékével számoltunk. Ebből kifolyólag az alkalmazott növényvédő szer mennyisége és a fa törzsátmérőjének, illetve lombkoronájának egymáshoz viszonyított aránya eltérőnek adódott. Ahol nem volt ilyen eltérés, azaz a kísérletbe bevont fák törzsátmérője és lombkorona mérete azonos volt (II., III/A., III/B.), ott az injektált mennyiség és a fertőzöttség minden esetben szignifikánsan negatív korrelációt eredményezett (5.3 fejezet).

A dózis beállításának két módszerét, azaz a lombkorona térfogatához vagy a törzsátmérőhöz igazított dozírozást, mindhárom előzőleg részletezett hatóanyag esetében összevetettük (17. táblázat). Ehhez elvégeztük a fertőzöttségnek és a burokban mért hatóanyag-tartalomnak a Spearman-féle rangkorrelációját a beinjektált hatóanyag mennyiségével, illetve a két származtatott változóval (ml/cm DBH és ml/m^3), annak tükrében, hogy korábban már (5.3 fejezet) láthattuk, a fertőzöttség és a burokban lévő hatóanyag koncentráció egyértelmű negatív korrelációját. Ugyan nem minden eredmény volt szignifikáns (pl.: ACE-nél), de a tendenciák nagyon egybevágtak. Az ABA és EMA hatóanyagok esetén a burokban mért hatóanyag-tartalom és a lombkorona térfogatához arányított hatóanyag mennyiség mutatott szignifikáns összefüggést ($r_s = 0,594$, $p = 0,042$ és $r_s = 0,833$, $p = 0,005$).

17. táblázat A burokból mért hatóanyag-tartalom (ABA: abamektin, EMA: emamektin-benzoát, ACE: acetamiprid) és a törzsátmérőhöz, illetve a lombkorona térfogatához arányított hatóanyag mennyiségének korrelációja.

| | ABA tartalom a burokból | Élő lárvét tartalmazó burokok aránya |
|-------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| ABA g/fa | 0,478 (p = 0,116) | -0,580 (p = 0,048) |
| ml/cm DBH | 0,501 (p = 0,097) | -0,567 (p = 0,054) |
| ml/m ³ | 0,594 (p = 0,042) | -0,594 (p = 0,042) |

| | EMA tartalom a burokból | Élő lárvét tartalmazó burokok aránya |
|-------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| EMA g/fa | 0,316 (p = 0,407) | -0,158 (p = 0,685) |
| ml/cm DBH | 0,417 (p = 0,265) | -0,300 (p = 0,433) |
| ml/m ³ | 0,833 (p = 0,005) | -0,567 (p = 0,112) |

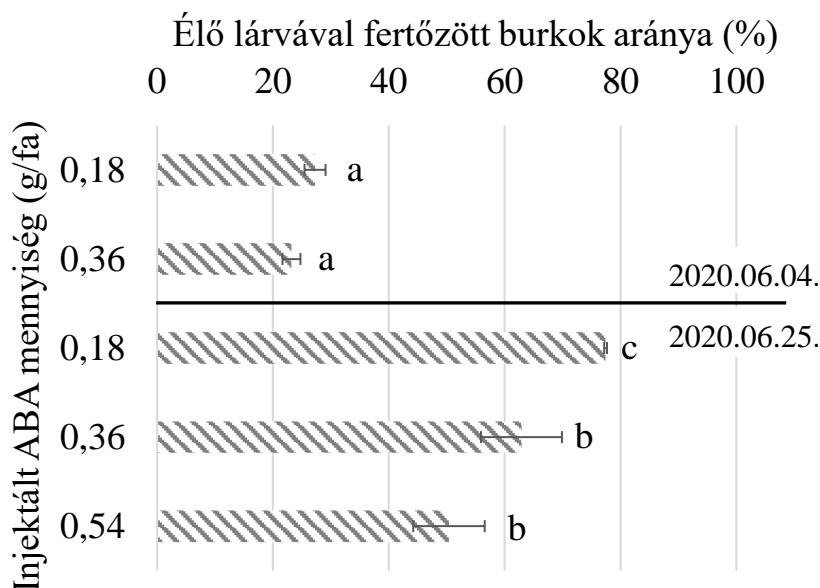
| | ACE tartalom a burokból | Élő lárvét tartalmazó burokok aránya |
|-------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| ACE g/fa | -0,488 (p = 0,326) | 0,683 (p = 0,135) |
| ml/cm DBH | 0,315 (p = 0,544) | -0,257 (p = 0,623) |
| ml/m ³ | 0,771 (p = 0,072) | -0,771 (p = 0,072) |

A gyártók a fák 130-cm-es magasságában mért törzsátmérőjéhez egyedileg ajánlják a dózist alakítani (Schulte et al., 2006; Smitley et al., 2010), mely ennek a problémának a kiküszöbölését hivatott szolgálni. Ezen viszonyszám ideális esetben jól alkalmazható, de esetenként pontatlan dozírozáshoz is vezethet. A törzs átmérőjének növekedése, ugyanis nem mindig áll egyenes arányban a dózisznöveléssel. Ilyen eset lehetséges, hogy a védendő lombkorona és a törzs keresztmetszetének viszonya változik, amennyiben már nem egy-egy különálló fáról beszélünk, hanem azok sort vagy sorokat alkotnak, esetleg periodikusan fenntartó metszésben is részesülnek, továbbá a már alacsonyan elágazó, vagy ültetvények esetében a tőpusztulások mellett magányosan álló, illetve a szélső sorokban lévő nagyobb lombkoronával rendelkező faegyedek esetében eredményezhet hibás dozírozást. Ennek elkerülése érdekében pontosabb dozírozást eredményezne a fák lombkorona térfogatát is figyelembe venni (17. táblázat), ahogyan azt Takai és munkatársai (2001) is tették, amikor a fenyőfák injektálásakor nem a törzsátmérőhöz, hanem a lombkorona becsült térfogatához igazított dózist használtak. Ez azonban a kivitelezéskor több időt, valamint ennek gyors, terepi felmérésére alkalmas eszközt igényel.

5.7 Az injektálási időpont megválasztása, időzítése

Az 51. ábra az általunk optimálisnak vélt, illetve 21 nappal később végzett ABA-es kezelések eredményeit mutatja. A 21 nappal később végzett ABA-es kezelések még nagyobb koncentráció használata mellett is gyengébb biológiai hatást adtak (51. ábra). A hatóanyagoknak a kívánt hatás eléréséhez ugyanis a tojásból való kikelés időpontjában már jelen kell lennie a

megfelelő koncentrációban, mert csak a fiatal lárvák ellen érhetünk el jó eredményt. Az őszi időszak (azaz lombhullást követően) ennek tudatában szintén lehetőséget adna a kezelés elvégzésére és a következő évi kártétel elkerülésére, mint ahogyan azt Coslor és munkatársai (2019a) almafákon végzett korábbi vizsgálatait is alátámasztják, azonban erre irányuló előkísérleteinkben azt tapasztaltuk, hogy az előző év őszi ABA hatóanyaggal kezelt (89%) három-három fa átlagában, az értékelés évében a fertőzöttség nem tért el a kontrolltól (94%).



50. ábra Az időpont megválasztásának hatása a II. kísérletben végrehajtott ABA (abamektin) kezelésekre hatásfokára. Az azonos betűvel jelölt oszlopokban a Marascuilo-összehasonlítás alapján a fertőzöttség nem tért el szignifikánsan ($p > 0,05$).

Az injektálás hatásosságát számos tényező befolyásolja (Doccola 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, ami a párologtatás miatti negatív xilém nyomással magyarázható. Ezért a fainjektálást akkor lehet a leghatékonyabban végezni, amikor a fák párologtatnak (Li és Nangong, 2022). Dió esetében a párologtatás meglehetősen inkább hangsúlyos, hiszen a lombfakadást megelőző időszakban a fatörzs – víztelítettsége miatt – alig injektálható.

Az időzítés fontosságát hangsúlyozták Kou és munkatársai (2021) is az almán károsító levéltetű faj (*Aphis citricola* Patch, 1914) elleni permetezéssel és törzsinjektálásos védekezés összehasonlításakor. Értékelésük során a levelek tiametoxam tartalmának időbeli lefutását követték. A növényvédelmi hatékonyságot mindkét módszer esetében megfelelőnek vélték, azzal a különbséggel, hogy a permetezés gyorsabban (7 nap után) fejtette ki maximális hatását, míg az injektálás 14 napot követően érte el a maximumot. Ez a megfigyelés tudatosítást érdemel, mert

megkésett kezelés során a hatóanyag egyenletes eloszlásának, illetve kellő mértékű transzlokációjának időszükséglete kockázatot rejt a megfelelő biológiai hatás kialakítására nézve.

Az időzítésnél ugyanakkor magát a felhasználni kívánt hatóanyagot is figyelembe kell venni. Byrne és munkatársai (2012) vizsgálataiban az abamektin felvétele, ellentétben a neonikotinoidokkal, nagyon lassú és ennek következtében hatástalan volt az avokádó tripszekkel (*Scirtothrips perseae* Nakahara, 1997) szemben, mely feltehetőleg a hatóanyagok különböző fizikai-kémiai tulajdonsági miatt alakulhatott így (3. táblázat). A dió és a nyugati dióburok-fürölég vonatkozásában azonban ezen hatóanyagok közötti hatékonyságbeli különbségek másként alakultak, ahogyan a két kártevő életmódja is eltérő.

5.8 Toxikológiai kérdések

5.8.1 A dióbél élelmiszer-biztonsági szempontú értékelése

Az ACE (MRL: 70 ng/g), a FLU (MRL: 20 ng/g) és a SPI (MRL: 500 ng/g) esetében a hatóanyag-maradék viszonylag nagy mennyiségben volt kimutatható mind a szárított, mind a friss dióbél mintákban (18-20. táblázat). A legtöbb vizsgálatban az injektált hatóanyag mennyisége és a növényi részekben mért hatóanyagmaradék mennyisége között pozitív dóziszválaszt figyelhattunk meg (19-21. táblázat). Az ACE (19. táblázat, IV. kísérlet) és a SPI (21. táblázat) esetében azonban fordított dóziszválaszt mértünk, illetve az ACE-et illetően egy nagyságrendnyi eltérés adódott a hatóanyag-maradék mennyiségekben ugyanazon injektált mennyiségek között.

Az injektált fák termésének 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 dózisu kezelés után a hatóanyag-maradék 0,5 ng/g volt (II. kísérlet), de még ez is nagyságrenddel kisebb volt, mint az MRL (5 ng/g) érték.

Az ACE hatóanyag-tartalomban tapasztaltakra az 5.6 fejezetben leírtak adnak magyarázatot, mely leginkább az ültetvények kora közötti eltérésnek és az ültetvényen belüli változatos lombkorona térfogatnak tulajdonítható. A SPI esetében mért negatív dóziszválasz az alkalmazott készítmény oldhatósági problémáira vezethető vissza, melyről részletesen az 5.1 fejezetben esett szó.

18. táblázat Az ACE (acetamiprid) hatóanyag-maradékok megjelenése a dióbél mintákban. Vastag betűvel szedve az MRL értéket (70 ng/g) meghaladó mennyiségek. n. a.: nincs adat, PB: Pentra-Bark, I: Invazív.

| Kísérlet száma | Kezelés | Injektált hatóanyag mennyiség (g/fa) | Maradék hatóanyag (ng/g) friss | Maradék hatóanyag (ng/g) száraz |
|----------------|---------|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| III/a. | ACE | 0,5 | 21,1 | n. a. |
| | ACE | 1,0 | 14,9 | n. a. |
| | ACE | 1,5 | 17,7 | n. a. |
| | ACE | 3,0 | 74,5 | n. a. |
| | ACE | 5,0 | 141,9 | n. a. |
| | ACE | 10,0 | 559,5 ±40,2 | 780,2 |
| III/b. | ACE | 1 | <5 | n. a. |
| | ACE | 5 | 29,0 | n. a. |
| | ACE | 10 | 74,4 ±9,7 | 61,0 |
| IV. | ACE | 5 | 320,0 ±3,8 | 317,7 |
| | ACE | 5 | 117,0 ±11,7 | 140,4 |
| | ACE | 5 | 106,60 ±9,6 | 80,9 |
| | ACE | 10 | 79,0 ±1,1 | 94,8 |
| | ACE | 10 | 56,9 ±1,1 | 54,1 |
| | ACE | 10 | 130,7 ±3,5 | 158,6 |
| V. | ACE | 12 | 84,5 ±20,4 | n. a. |
| VI. | ACE+PB | 12 | 2,5 ±0,5 | n. a. |
| | ACE+I | 12 | 2,8 ±0,2 | n. a. |

19. táblázat A FLU (flupiradifuron) hatóanyag-maradékok megjelenése a dióbél mintákban. Vastag betűvel szedve az MRL értéket (20 ng/g) meghaladó mennyiségek. PB: Pentra-Bark, I: Invazív.

| Kísérlet száma | Kezelés | Injektált hatóanyag mennyiség (g/fa) | Maradék hatóanyag (ng/g) friss |
|----------------|---------|--------------------------------------|--------------------------------|
| V. | FLU | 6 | 156,2 ±25,8 |
| | FLU | 12 | 206,0 ±71,2 |
| | FLU | 18 | 481,2 ±217,0 |
| VI. | FLU+PB | 12 | 1,7 ±0,8 |
| | FLU+I | 12 | 5,1 ±1,8 |

20. táblázat A SPI hatóanyag-maradékok megjelenése a dióbél mintákban. Vastag betűvel szedve MRL értéket (500 ng/g) meghaladó mennyiségek.

| Kísérlet száma | Kezelés | Injektált hatóanyag mennyiség (g/fa) | Maradék hatóanyag (ng/g) friss összes metabolit | Maradék hatóanyag (ng/g) friss spirotetramát + enol |
|----------------|---------|--------------------------------------|---|---|
| V. | SPI | 3 | 593,1 ±241,1 | 461,1 ±153,5 |
| | SPI | 6 | 184,1 ±22,2 | 157,0 ±18,4 |
| | SPI | 9 | 124,0 ±30,9 | 109,2 ±29,5 |

Azon tapasztalataink, miszerint egyes növényvédelmi célú vegyületek endoterápiás alkalmazását követően a gyümölcsben csak elenyésző hatóanyag-maradék található, egybevágnak Ferreira és munkatársai (2022) által kókuszdió mintákban visszamért ciprokonazol hatóanyag-maradék értékekkel. A kókuszlében és a kókuszpépben talált maradék értékek az analitikai módszer mérési határa alá, és ezzel a maximális maradékanyag határérték alá estek. Az eredmények alapján a gyümölcsbe irányuló transzlokáció hiányát három hipotézissel illették, melyek esetünkben is némi magyarázattal szolgálhatnak. (i) A kókuszpálma törzsének szállítószövet kötegeiben nagy mennyiségű víz transzlokálódik, így az egy-egy edénnyalábba bejuttatott vegyületek felhígulnak mire átjutnak a környező kötegekbe. (ii) A ciprokonazol nem éri el a kókuszpálma termését, mert a gyümölcsüreget és az embriózsákot kitöltő nedv a szállító nyalábok egyetlen kötegén keresztül halad, ezáltal csak kis mennyiségű hatóanyag juthat el a gyümölcsbe. (iii) A ciprokonazol fizikai-kémiai tulajdonságaiból eredően (log Kow 2,9, nem sav, nem bázis) csak gyengén xilém-szisztémikus, ezáltal a transzport önmagában is kis hatásfokú.

Ugyancsak magyarázat lehet, hogy a gyümölcsök és a levelek a zöldfelületük nagyságának függvényében különböző számú sztómával rendelkeznek, és bennük különböző típusú és hosszúságú élettani folyamatok játszódnak le (Blanke és Lenz, 1989). Ez utóbbi különösen a transzspiráció miatt fontos. Az alma gyümölcsében például már bizonyított, hogy 10-100× kisebb a sztóma gyakorisága, mint a levelekben (Blanke és Lenz, 1989), továbbá a sztómák száma a gyümölcs méretének növekedésével fokozatosan csökken, és egy részük lenticellává alakul át a gyümölcs ontogenetikus fejlődése során. Ez azt jelenti, hogy az alma gyümölcse sokkal kisebb intenzitással párologtat, mint a levelek és ez csökkentheti az injektált vegyületek felhalmozódási sebességét a gyümölcsökben. Ez előnyös tulajdonságként értelmezhető növényvédelmi szempontból, főleg akkor, ha a cél nem a gyümölcs-, hanem a levélkárosítók elpusztítása.

A gyümölcsben kimutatható hatóanyag-maradéokra az injektálásra felhasznált vegyületek fizikai-kémiai tulajdonságai, valamint a xilémben és a floémben megvalósuló transzport folyamatok, illetve a gyümölcsfejlődés sajátosságai is önálló magyarázattal szolgálhatnak (Turgeon, 2010; Berger és Laurent, 2019; Shang et al., 2024). A dió gyümölcs fejlődésének előrehaladtával egyre inkább felhasználó szervként viselkedik, aminek során a dióbél a szimplaszt rendszerben (melynek a floém is tagja) megvalósuló transzport folyamatok eredményeként növekedik, ellentétben a zöld burokkal, mely az apoplasztikus rendszeren keresztül táplált (Wu et al., 2004). Eközben a zöld burok ugyan csökkenő aktivitással, de párologtatást is végez (Liu et al., 2020), ami a xilémben megvalósuló transzport folyamatokhoz kapcsolódik. Ezt elősegítheti a dió azon tulajdonsága is, hogy az endocarpiumban (csonthéj) nincs vaszkularizáció, azaz nincs a héjon áthaladó transzport folyamat, így az kialakulását és megszilárdulását követően egyfajta „szigetelő réteggént” viselkedik (Wu et al., 2009). Mivel sem az ABA, sem az EMA nem tud hatékonyan a

floém rendszerben közlekedni, így ez lehet az oka, hogy ezen hatóanyagok nem dúsultak fel a dióbélben.

Érdemes megemlíteni, hogy a tengerentúlon engedélyezett készítmények (pl.: Ima-Jet; imidaklorid, Retriever; ACE) okiratában a felhasználás a hétköznapi értelemben vett gyümölcsökre nem terjed ki, de a díszfák és az örökzöldek mellett, a héjas gyümölcsökre engedélyezett. Habár a mi esetünkben ezen típusú hatóanyagok nagy mennyiségben voltak kimutathatóak a növény fogyasztásra szánt részében, ez is azt sejteti, hogy a héjas gyümölcsök esetében fennáll az a kedvező tulajdonság miszerint nem, vagy csak kisebb mennyiségű hatóanyag jelentkezik a gyümölcsben, melyet hozzánk hasonlóan Liang és munkatársai (2024) pekándión (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K.Koch, 1869) EMA végzett endoterápiás vizsgálatai is megmutattak.

5.8.2 A virágzat szennyezettsége

Vizsgálataink során az előző évben (2020) injektált fákról gyűjtött valamennyi virágmintában az ABA koncentrációja a detektálási határ alatt volt, míg az EMA hatóanyagot csak nagyon kis mennyiségben tudtuk kimutatni (II. kísérlet). A különböző dózisu kezelésekk között nem találtunk különbséget ($t(2) = 0,089$, $p = 0,468$), mindkét kezelés hasonló koncentrációt eredményezett a virágzatban (21. táblázat). A IV. kísérlet virágmintáinak ABA tartalma az injektálást követő év (2022) tavaszán az előzőhöz hasonlóan szintén a kimutatási határ alatt volt, az EMA hatóanyag-maradék megint csak kis mennyiségben volt kimutatható. Az eltérő dózisu kezelésekk között nem találtuk szignifikáns különbséget ($F(2, 6) = 1,044$, $p = 0,408$), ahogyan azt a 21. táblázat is szemlélteti. A virágzat ACE tartalma ugyanebben a kísérletben lényegesen magasabbnak bizonyult, azonban méhveszélyességi szempontból nem tekinthető aggasztónak, mivel az ACE a "méhekre nem jelölésköteles" kategóriába tartozik. Az eltérő dózisu kezelésekk ebben az esetben sem eredményeztek szignifikáns különbséget a virágzatban mért hatóanyag mennyiségben ($t(4) = 0,017$, $p = 0,493$).

Az avermektin típusú hatóanyagok (ABA és EMA) méhveszélyességi besorolása kifejezetten kockázatos. Ennek oka, hogy a rövid távú (akut) és hosszú távú (krónikus, 10 napos) expozíciójuk rendkívül alacsony koncentrációnál is (néhány ng) káros hatásokat okozhat (22. táblázat). Ezzel szemben az ACE méhveszélyességét tekintve a nem jelölésköteles kategóriába sorolják, ugyanis toxikus tüneteket csak nagyobb koncentrációnál figyelhetünk meg. Azonban, ha a viráglátogató rovarok több peszticid együttes expozíciójának vannak kitéve, az összeadóó negatív hatások felerősíthetik egymást, így a vegyületenként egyébként hatástalannak tartott koncentrációk is toxicitást kiváltó potenciális források lehetnek (Prado et al., 2019).

21. táblázat A virágzatban kimutatott hatóanyag koncentrációk (átlag±SE) az injektálást követő év tavaszán. ABA: abamektin, EMA: emamektin-benzoát, ACE: acetamiprid, <DL: kimutatási határ alatt.

| Kísérlet | Kezelés | Injektált hatóanyag mennyiség (g/fa) | A virág maradék hatóanyag-tartalma (ng/g) (±SE) |
|----------|---------|--------------------------------------|---|
| II. | ABA | 0,18 | <DL |
| | ABA | 0,18 | <DL |
| | ABA | 0,36 | <DL |
| | ABA | 0,36 | <DL |
| | EMA | 0,475 | 1,46±0,00 |
| | EMA | 0,475 | 2,31±0,06 |
| | EMA | 0,95 | 1,84±0,01 |
| | EMA | 0,95 | 2,01±0,07 |
| V. | ABA | 0,9 | <DL |
| | ABA | 0,9 | <DL |
| | ABA | 0,9 | <DL |
| | ABA | 1,8 | <DL |
| | ABA | 1,8 | <DL |
| | ABA | 1,8 | <DL |
| | ABA | 1,8 | <DL |
| | ABA | 1,8 | <DL |
| | ABA | 1,8 | <DL |
| | ABA | 1,8 | <DL |
| | ABA | 3,6 | <DL |
| | ABA | 3,6 | <DL |
| | ABA | 3,6 | <DL |
| | EMA | 1,9 | 0,73±0,09 |
| | EMA | 1,9 | <DL |
| | EMA | 1,9 | 0,39±0,12 |
| | EMA | 3,8 | 1,46±0,14 |
| | EMA | 3,8 | 0,64±0,06 |
| | EMA | 3,8 | 1,21±0,11 |
| | EMA | 5,7 | 1,63±0,07 |
| EMA | 5,7 | 1,61±0,07 | |
| EMA | 5,7 | 0,28±0,01 | |
| ACE | 5 | 76,18±8,49 | |
| ACE | 5 | 101,93±4,03 | |
| ACE | 5 | 21,73±6,05 | |
| ACE | 10 | 71,75±7,62 | |
| ACE | 10 | 13,15±0,05 | |
| ACE | 10 | 12,48±7,34 | |

Ha összevetjük az általunk mért hatóanyag-maradékokat a 22. táblázat értékszámaival, láthatjuk, hogy függetlenül az alkalmazott dózistól, mindhárom hatóanyag virágzatban mért mennyisége alulmaradt a káros hatást kiváltó koncentrációktól. A dió virágzatban általunk kimutatott értékek hasonlóak a Coslor és munkatársai (2019a) által az almanektárban és pollenben talált szintekhez, mely koncentrációk ígéretesnek mondhatóak, mivel arra engednek következtetni,

hogy az injektálás minimális hatással volt a növényvédő szer maradványok jelenlétére a virágzatban. A peszticidek maradványainak megítélése azonban nem egyszerű feladat. A viráglátogató rovarokra gyakorolt teljes hatásuk feltérképezése a jövőben komplex tesztek igényel (Prado et al., 2019).

22. táblázat A virágzatból kimutatott hatóanyagok (ABA: abamektin, EMA: emamektin-benzoát, ACE: acetamiprid) toxicitását jellemző értékszámok adult méhekre (*Apis mellifera*). n. a.: nincs adat, 1 ng/méh ~ 10 ppb

Források: <https://www.mda.state.mn.us/protecting/bmps/pollinators/beetotoxicity>, <https://cfpub.epa.gov/ecotox/>, Ulziibayar et al., 2022 nyomán.

| Hatóanyag | LD ₅₀ vagy LC ₅₀ érintkezés útján (ng/méh) | LD ₅₀ vagy LC ₅₀ szájon át (ng/méh) | NOAEL (ng/méh) | NOAEC (ng/g) | LOAEL (ng/méh) |
|-----------|--|---|-------------------|-----------------|-------------------|
| ABA | 2,3 | 4,4 | 1,66 | 5,2 | 3,59 |
| EMA | 0,2 | 3,5 | 0,8 | n. a. | n. a. |
| ACE | 8100 | 15100 | n. a. | 5000 | n. a. |

5.8.3 Fitotoxikus mellékhatások

Az 52. ábrán egy injektálásra kifejlesztett, valamint két levélpermetként forgalmazott, a kísérleteink során használt növényvédő szerek injektálás utáni tüneteit láthatjuk az injektálási pontok körül. A képeken jól látható, hogy míg a levélpermet formulával kezelt fa törzsén (52/B., 52/D. ábrák) nagy kiterjedésű fitotoxicitást tapasztaltunk, addig semmilyen tünetet nem véltünk felfedezni a törzsinjektálásra fejlesztett növényvédő szer (52/A., 52/C. ábrák) használatából eredően. A kezelést követő második évben ugyanezen fitotoxikus tünet eltűnt (B), de a sebzáródás módja és mértéke nem volt ideális, ellentétben a törzsinjektálásra készített szerrel (A).

Ehhez hasonló tapasztalatokról számolt be Archer és Albrecht (2023) injektálással kezelt narancsfák (*Citrus × sinensis* Osbeck, 1757) sebzáródásának vizsgálatakor, ahol szintén egy lombpermetezésre szánt növényvédő szer került felhasználásra. Tapasztalataik alapján a legnagyobb hangsúly a törzsbe juttatott anyagokon, az injektálási pont elhelyezésén, valamint a kezelés elvégzésének időpontján volt. A tavaszi, erős párologtatás során végzett injektálásoknak nem csak a hatásfoka volt jobb, de a sebzáródás is jóval kevesebb időt vett igénybe. Ezek alapján elmondható, hogy a törzsinjektálásra szánt készítmény formulációja – az alkalmazott segédanyagok által – relevánsan befolyásolja egy endoterápiás kezelés sikerességét és a sebgyógyulás mikéntjét.



51. ábra Egy injektálásra kifejlesztett emamektin-benzoát tartalmú (A, C), valamint két levélpermetként alkalmazott abamektin (B), illetve acetamiprid (D) tartalmú növényvédő szer injektálás utáni tünetei az injektálási pontok körül (saját fotó, Taksony, Szelevény, 2020-2023).

Az injektálás leginkább megkérdőjelezhető és sokat vitatott velejárója, hogy a legtöbb eljárási módszer során a fatörzsön, technológiától függően, kisebb-nagyobb sérülések keletkeznek. Ebből adódóan sok kutatás született és születik nap mint nap ezen hátrányos tényező hatásainak megismerésére (Perry et al., 1991; Mota-Sanches et al., 2009; Docola et al., 2011; Montecchio, 2013; Bálint, 2022). Ezek a tanulmányok leginkább a keletkezett sebek gyógyulási folyamataira fókuszálnak, illetve, hogy ez később hogyan befolyásolja a fa élettevékenységét, teljesítményét és egészségi állapotát.

A sebzáródás elősegítésére ugyan számos különféle gombaölő hatású, kőolaj alapú termék elérhető a tengerentúli piacon, melyeket kifejezetten sérülések utáni sebzáródás fokozására, javítására ajánlanak, azonban kevés a gyakorlatban is alátámasztott információ ezekről (Archer és Albrecht, 2023). Pedig egy megfelelő összetételű hatásos sebgyógyító anyag a sebzéssel járó injektálásos technológiának a legsarkalatosabb pontjára adhatna megoldást, mellyel

mindenképpen foglalkozni kell ahhoz, hogy nagyobb területen (pl.: ültetvények) általánosan alkalmazott növényvédelmi technológiává válhasson.

Horner (2018) megfigyelésével ellentmondóan a törzskenesés kezeléseket esetünkben nem jártak semmiféle kívülről megfigyelhető kéregelhalással. A többéves eredményeink alapján megfontolandó a törzskeneséssel is foglalkozni a jövőben, mivel ezzel a nem invazív megoldással lehetőség van a fatörzs károsítását elkerülni, még akkor is, ha hatástartama elmarad a klasszikus törzsinjektálástól.

A fitotoxicitás jelensége nem csak a törzsön, de a leveleken is jelentkezhet (Wang et al., 2020), ahogyan azt a flupiradifuron legnagyobb dóziséval kezelt fa lombzatán tapasztaltuk (53. ábra). E kedvezőtlen tünet kialakulásáért nem feltétlenül a hatóanyag tehető felelőssé, előfordulhat, hogy valamely segédanyagoknak tudható be.



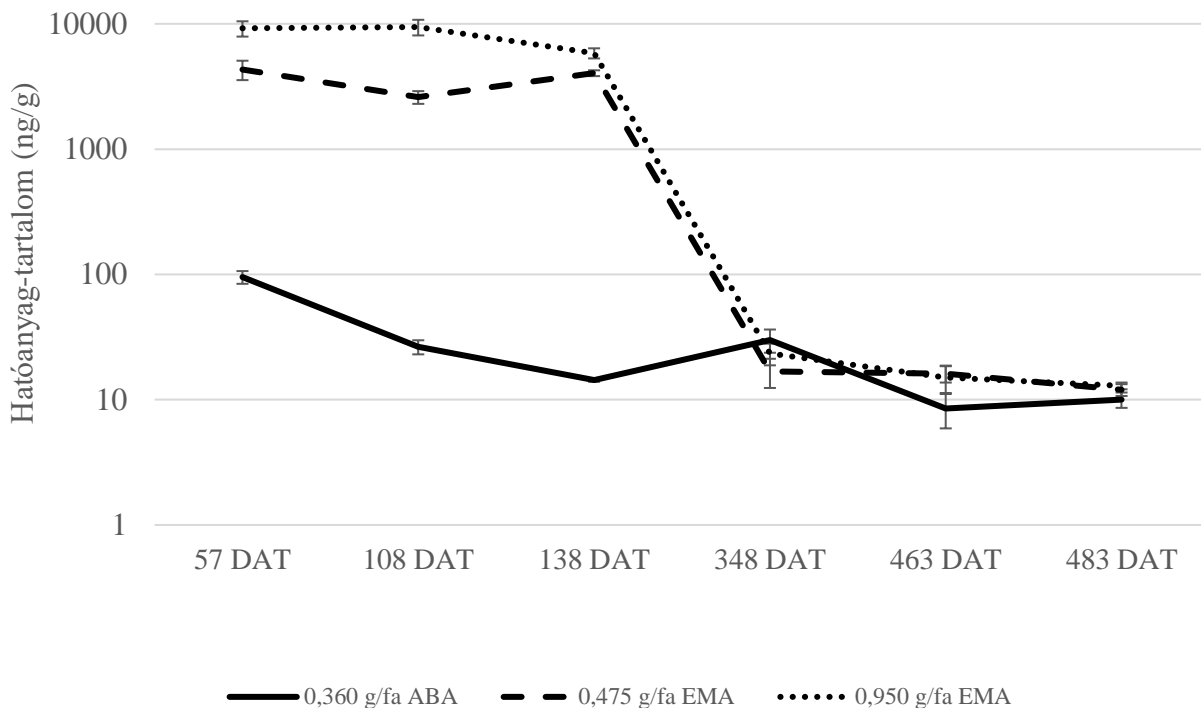
52. ábra A levélzeten jelentkező perzseléses tünet Sivanto Prime (flupiradifuron) injektálását követően (saját fotó, Szelevény, 2022. augusztus 17.)

Az irodalomban egyelőre kevés fellelhető információ van ennek kapcsán. Ehhez hasonló fitotoxikus tüneteket korábban csak uborkanövényeken (*Cucumis sativus* L., 1753) figyeltek meg, amikor az általunk is alkalmazott készítményt talajbeöntözésre használták a foltos uborkabogár (*Diabrotica undecimpunctata* subsp. *howardi* Barber, 1947) kártevő ellen (Fleischer et al., 2019).

5.9 Hatástartam, második éves hatás

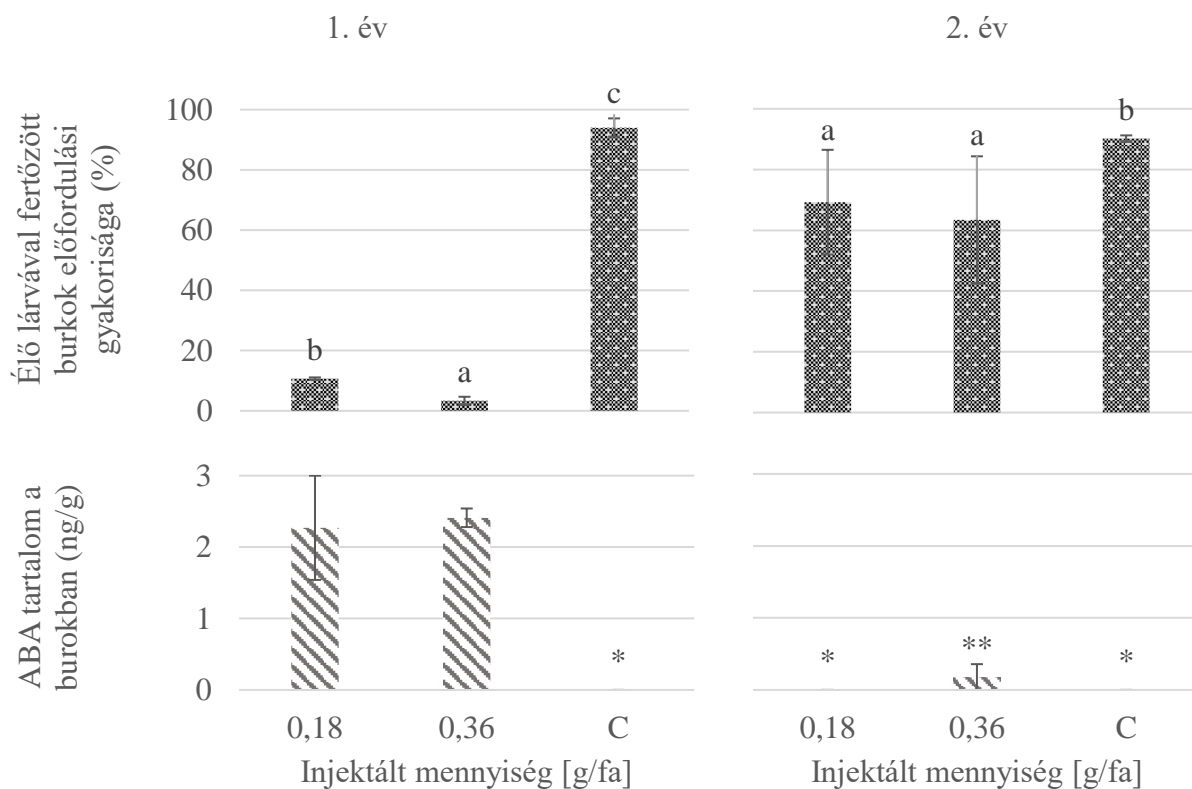
A II. kísérletben injektált diófák levelének hatóanyag-tartalmát két vegetációs időszakban (57-483 DAT) nyomon követve azt tapasztaltuk, hogy a fákba injektált ABA és EMA a második évben is megjelenik a növény leveleiben, bár ekkor már nagyságrenddel kisebb mennyiségben (54. ábra). Ezen hosszabb távú monitorozás alkalmával kirajzolódott, hogy az injektált hatóanyag mennyiségek csak az injektálás évében korreláltak pozitívan a levélben megjelenő hatóanyag mennyiséggel. A visszamért hatóanyagok átlagos 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 az idő előrehaladtával jóval lassabb volt. Ezzel szemben az EMA mindkét dózisa nagyobb koncentrációt tudott kialakítani a kezelés évében a levelekben, de a 2. vegetációs periódusra – a dózistól függetlenül – ennek mértéke mégis az ABA hatóanyaghoz hasonló szintre csökkent, amint azt az 54. ábrán a 138. napot követő nagymértékű csökkenés is szemléltet. Ennek következtében a kezelést követő évben a két hatóanyag levelekben mérhető koncentrációja között nem volt számottevő különbség.

A kezelés évében mutatott különböző koncentrációk oka a két hatóanyag vízoldhatóságában 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.



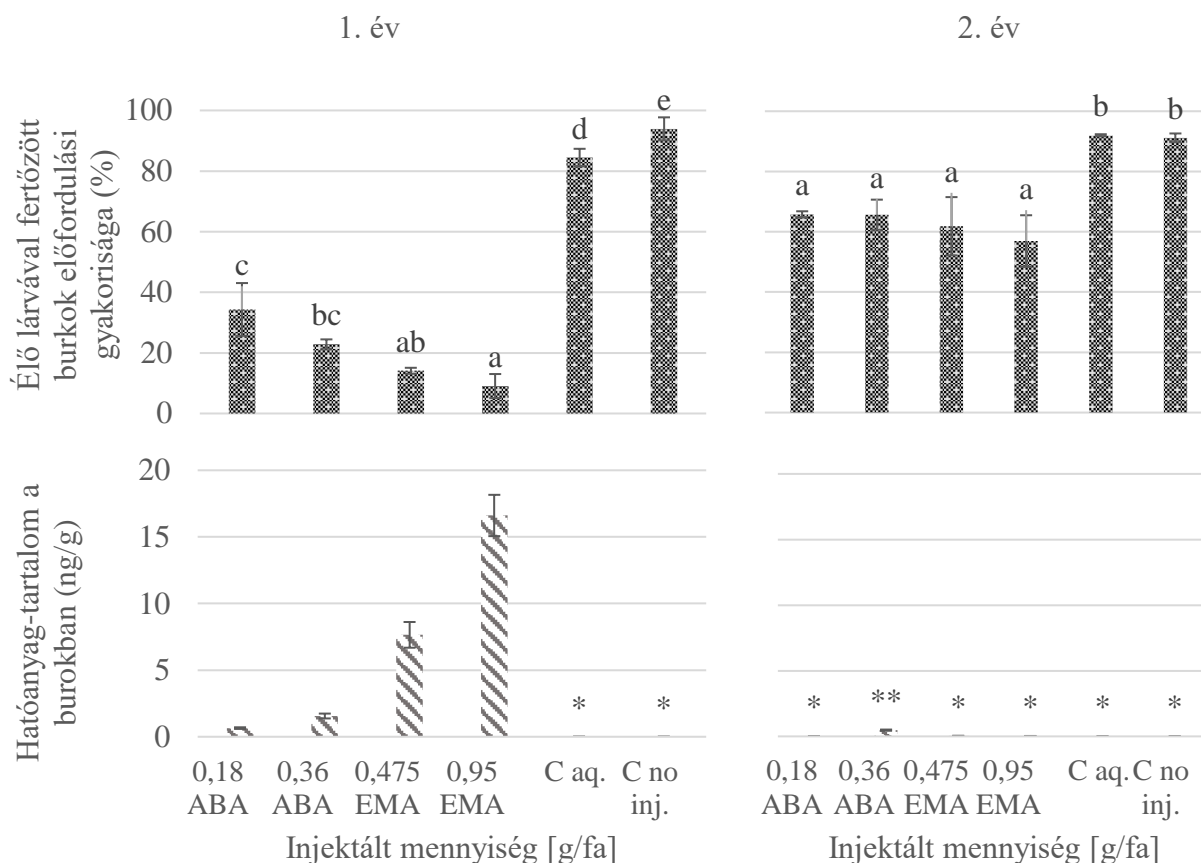
53. ábra A levelek hatóanyag-tartalom csökkenése a II. kísérletben két év távlatában, DAT: kezelés után eltelt napok száma, ABA: abamektin, EMA: emamektin-benzoát

A 2019-ben, Taksonyban végzett törzsinjektálással (I. kísérlet), az injektálás évében mindkét vizsgált dózissal sikerült megvédeni a termést a nyugati dióburok-fürölégnyüveinek kártételétől (55. ábra). Az első évben mindkét dózis ('a' és 'b' csoport) szignifikánsan kevesebb lárvával fertőzött burkot eredményezett, mint a kontroll ('c' csoport). Az ABA-nel injektált fákön a hatóanyag a pericarpiumban kimutatható volt, aminek átlagos mennyisége 2,27 ng/g (0,18 g/fa), illetve 2,41 ng/g (0,36 g/fa) volt (55. ábra). 2020-ban ugyanitt azt tapasztaltuk, hogy volt még ugyan értékelhető rovarölő hatás az injektálást követő évben, de a fertőzés mértéke (64-75%, 'a' csoport) már csak kismértékben maradt el a kontrolltól (90%, 'b' csoport), míg a burok hatóanyag-tartalmát már csak a 0,36 g/fa kezelés esetében sikerült detektálnunk (0,18 ng/g). Ez a lecsökkent hatás már kevésnek bizonyult a gazdasági kárt megakadályozni.



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

2020-ban, Taksonyban (II. kísérlet) az addig kezeletlen fákon, ugyancsak azt tapasztaltuk, hogy a kezelt fákon az injektálás évében a nyugati dióburok-fűrólégy által fertőzött termékek száma szignifikánsan alacsonyabb volt a kontrollhoz viszonyítva (56. ábra). A kisebb dózisú ABA kezelés esetén 35%, a nagyobb dózis esetében 25% volt annak mértéke, szemben a kontrollokban tapasztalt 85 és 93%-os értékekkel. A pericarpiumban visszamért ABA hatóanyag-tartalom 0,65 és 1,56 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 és 16,61 ng/g visszamért hatóanyagot tartalmaztak.



55. ábra A II. kísérletről származó burkok fertőzöttségének és hatóanyag-tartalmának (átlag ± SE) alakulása a különböző dózisu 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.: vízzel való injektálás, C no inj.: nem történt injektálás és furatkészítés sem. DL_{ABA} (kimutatási határ): 1,2 ng/g, DL_{EMA} : 0,2 ng/g, *: <DL, **: nyomnyi mennyiség.

Bár számos kutatás szól az injektálás több évig tartó kielégítő hatásáról, de általános következtetést nem vonhatunk le csupán irodalmi adatokból, mivel a különböző gazda és károsító fajok nagyon eltérő módon viselkedhetnek (Eisenbach et al., 2014, Wang et al., 2020). Esetünkben az injektálás a második évben (2021-ben) is kifejtett rovarölő hatást mindkét hatóanyagot illetően, de az csak kisebb mértékben volt eredményes az első évhez képest. A fertőzöttség ugyanis az injektálás utáni második évben ABA hatóanyaggal injektált fák esetében már 65% volt, EMA esetében 60 %, míg a kontrollban 92%. Ezt támasztotta alá a burkok hatóanyag-tartalma is, mely az előző évhez képest nagymértékű csökkenést szenvedett.

A 2. évben az 55. és az 56. ábra csillaggal jelölt értékei alapján arra következtethetünk, hogy a burokokban a kimutatási határt el nem érő koncentrációknak is szignifikáns hatása volt a nyüvekre, mert ezek az inszekticides kezelések nagyobb mortalitási értékeket eredményeztek, mint a kontroll kezelések.

6 KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A törzsinjektálást követően a vizsgált hatóanyagok transzportja megvalósult, azok mindegyike (ABA, EMA, ACE, FLU, SPI) megjelent az injektálási ponttól távol eső szervekben, így a zöld növényi részekben, tehát a levélben és a termésburokban, továbbá némelyik a bélben és a virágzatban is. A törzskénéssel kijuttatott egyes hatóanyagok (ACE, FLU, SPI) ugyancsak megjelentek a levélben és a dióburokban, viszont a két makrociklusos lakton feltehetőleg nem hatolt át a kérgen, még az adjuvánsok felhasználásával sem. A törzskénéses technológia ígéretes lehet, de szűkebb a felhasználható hatóanyagok köre, akárcsak – a fakéreg szerkezete miatt – az alkalmas növényfajok száma.

Az ACE viselkedését megvizsgálva a növényi szállítórendszer és a hatóanyag fizikai-kémiai karakterisztikája vonatkozásában megállapíthatjuk, hogy a zöld növényi részeken túl a dióbélben is jelentős, MRL érték feletti koncentrációban jelenik 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-fúrólégy lárváin mortalitást okoztak. A tojásrakás az injektált fákon éppen úgy, mint a kontroll kezeléseknél is megtörtént. A kezelések mortalitását a tojásból kikelő és táplálkozásukat megkezdő L1-es lárvákon észleltük. Az elpusztult, összeszáradt nyüveket, illetve a tojáshéjakat sikerült megtalálnunk az exocarpium alatt. A tojásrakási hely körül, a táplálkozni kezdő nyüvek a burkon jól látható, apró fekete, száraz foltokat okoztak (57. ábra), de ez nem eredményezett minőségromlást sem a héjas diót, sem a dióbelet tekintve.

Miután az injektált hatóanyag mennyisége nem minden esetben korrelált a mortalitással, ezért azt javasoljuk, hogy a jövőben a dózis meghatározásakor elsősorban a burok hatóanyag-tartalmát kell figyelembe venni, hiszen az mindig egyértelmű korrelációt mutatott a mortalitással. Ennek biztosítása érdekében a helyes dózis meghatározásakor jelentős szerepe van a lombtömegnek is, nem csak a törzsátmérőnek. Amennyiben egy homogén – intenzíven művelt – ültetvény fáira számolunk dózist, abban az esetben elegendő lehet a törzsátmérőt, de egy idősebb ültetvény, vagy szoliterként álló fák esetében érdemes a lombkorona térfogatát is figyelembe venni, mert a vizsgálataink szerint eltérő lehet a dióburok hatóanyag-

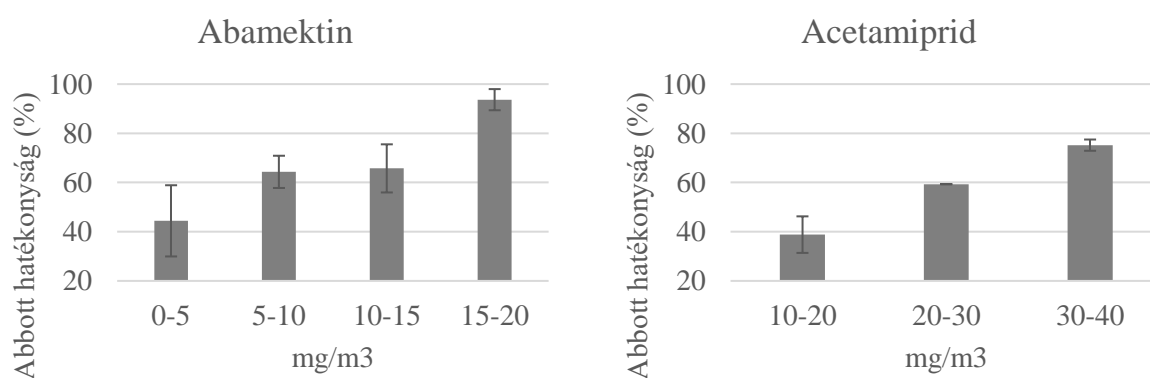


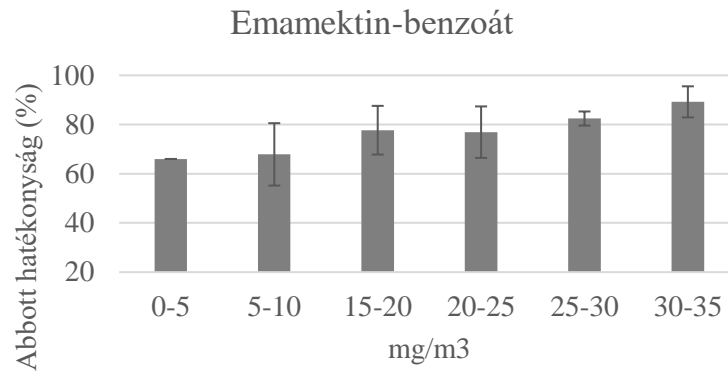
56. ábra A tojásrakás helye körüli apró fekete, száraz foltok a kikelő nyüvek kezdeti táplálkozása nyomán (Kiss, 2021)

tartalma, és ennek következtében a mortalitás mértéke az azonos törzsátmérőjű, de különböző lomtömegű fákon.

Még a minden körülményt figyelembe vevő, megfelelően beállított dózis is eredményezhet inhomogenitást a lombkorona hatóanyag-eloszlását illetően. Ahhoz, hogy a lombkoronában a lehető leghomogénebb eloszlást érhessük el, kellően alacsony injektálási pont szükséges, hogy a hatóanyag az egymás mellett elhelyezkedő xilém nyálábokon képes legyen átdiffundálni a környező elemekbe mire eléri az első vázágak szintjét, így mindenütt kellő mértékben jelen legyen. Ezzel egyidejűleg az alkalmazott növényvédő szer kémiai tulajdonságainak optimalizálása is elengedhetetlen fontosságú (Doccola és Wild, 2012; Acimovic, 2014; Ferreira et al., 2023; Kiss et al., 2023).

Kísérleti eredményeinkre támaszkodva, a megfelelő dózis beállítására ABA esetén: 15-20 mg/lombkorona m³ aktív hatóanyag, EMA esetében 30-35 mg/lombkorona m³ aktív hatóanyag javasolható, melyek használata mellett 90%-os hatékonyságot várhatunk el (58 ábra). ACE esetében ezt a hatékonyságot nem sikerült elérni, de az élelmiszerbiztonsági kockázata miatt, egyébként sem releváns hatóanyag. Ennélfogva a technológiára nem ajánljuk. 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. Itt szeretnénk azonban visszautalni arra a megjegyzésre, hogy a hatékonyságot itt 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 (40. ábra).





57. ábra A feltüntetett hatóanyagok dózisa a lombkorona-térfogatához történő dozírozás esetén.

Ez a jelenség abból adódott, hogy amennyiben mégis túlélő lárva maradt a burokban, mint, ahogyan a legtöbb növényvédelmi módszer, az injektálás sem pusztítja el a károsítók 100%-át, akkor a kezelések szubletális hatása a legtöbb esetben még érvényre jutott, azaz a nyű fejlődése olyannyira lelassult, hogy számottevő gazdasági kárt már nem volt képes okozni. Ily módon, a törzsinjektálással természetesen csak a táplálkozó lárvák kártételét akadályozhatjuk meg, az imágók elpusztítása nem lehetséges, ahogyan a tojásrakás sem elkerülhető.

Az injektálást követő második évben tapasztalt kisebb hatékonyságból arra következtetünk, hogy a sikeres védekezéshez az általunk alkalmazott injektálással, ABA és EMA hatóanyagokkal, minden évben szükséges az egyes diófákat kezelni. Bár a szakirodalom más növényfajok endoterápiás kezelésénél sok esetben többéves, kielégítő hatásról számol be (Holderness, 1992; Percival és Boyle, 2005; Anulewicz et al., 2009; Wheeler et al., 2020), ám a mi vizsgálataink alapján csak egy vegetációs időszakban adott védelmet a nyugati dióburok-fúrólégy ellen. Fontos kihangsúlyozni, hogy az injektálás eredményességét tekintve nem vagy alig összevethető az egyes fajok és ugyanígy a hatóanyagok sem (Eisenbach et al., 2014; Wang et al., 2020). A második évben tapasztalt hatáscsökkenést jól magyarázza a levelekben és a burokban mért hatóanyag alacsony koncentrációja, évenkénti csökkenésének üteme.

Megítélésünk szerint az endoterápiás növényvédelmi technológia alkalmazásával elérhető nem csak a nyugati dióburok-fúrólégy elleni megfelelő védelem, de a dió többi fontos kártevője elleni védettség is. Ugyan hosszadalmas vizsgálatokat nem végeztünk az almamolyt (*Cydia pomonella*) tekintve, annak csak jelenlétét felvételeztük, de említésre méltó, hogy a kísérletek értékelésénél az EMA-tal kezelt fák termésében egyetlen darab almamoly lárva vagy annak kártételre utaló jelet sem találtunk. Ehhez hasonlóan a levelekben lévő ABA, a levéllemezben károsító dió szemölcsös gubacsatka (*Aceria tristriata*) népességét is korlátozta.

Ezen túlmenően nem csak a kártevő rovarok ellen, de megfelelő növényvédő szer kombinációt alkalmazva, akár a gombás és baktériumos eredetű fertőzések ellen is védekezhetünk, ahogyan azt már számos kísérlet bizonyította (3.4.7 fejezet).

Ahhoz, hogy az injektálás sikeres növényvédelmi technológiává válhasson, elsőként minimalizálni kell az injektálás okozta sebzés következtében kialakuló baktériumos és gombás felülfertőzés kockázatát, valamint ezzel egyidejűleg fel kell gyorsítani a sebek regenerálódásának folyamatát. Ehhez a fába kerülő eszközök fertőtlenítése mellett a furat átmérőjének és mélységének csökkentésére kell törekedni a hatékonyság megtartása mellett. A regenerálódás elősegítésére célszerű lehet megfelelő mennyiségű növényi növekedést szabályozó anyagot is a növényvédő szerhez adni. 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. Ugyanakkor, a dió esetében ez a paraméter nehezen befolyásolható, hiszen a lombfakadást megelőző időszakban a fatörzs – víztelítettsége miatt – alig injektálható, egy megkésett védekezés pedig a hatóanyag egyenletes eloszlásának időszükséglete miatt rejt kockázatot. Az általunk optimálisnak vélt időszak május vége, június eleje (BBCH 65-73). Emellett az injektáláskori aktuális időjárás is befolyásoló tényező: a növény párologtatását segítő minden körülmény javítja a kezelés hatékonyságát.

Inhomogén növényállományban végzett kísérleteink során, sokszor tapasztaltunk szórásnövekedést mind a mortalitási értékekben, mind a hatóanyag-maradék vonatkozásában, amelyet következtetésünk szerint többnyire a fák földre lógó ágainak csökkent hatóanyag transzportja eredményezett.

Az injektálásos növényvédelmi technológiával hasonló növényvédelmi hatékonyság érhető el, mint a modernebb üzemekben már idehaza is sikerrel alkalmazott – gyakran légi úton, csalétkes módszerrel végzett – lombpermetezési technológiával. Ez utóbbi módszerrel a kezelések száma azonban normál évjáratban 4-5 db-ra tehető, ami igencsak megnöveli a diótermesztés költségeit és a technológia szintjétől függően az ültetvények peszticid terhelését is, a kijuttatás időzítésében rejlő kockázatok mellett. Az injektálásos módszer gépesítése, ezáltal ültetvényi alkalmazása még nem kidolgozott, de 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 termelt dió növényvédelmére az üzemi diósokhoz hasonló védekezési módszer nem használható. Az injektálás éppen ezért ezekre a célterületekre ajánlható.

7 ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- Elsőként igazoltuk, hogy az abamektin és emamektin-benzoát endoterápiás felhasználásával a nyugati dióburok-fúrólégy (*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-fúrólégy 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.

8 ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban a törzsinjektálást elsősorban növényvédelmi célra, másodsorban tápanyag-utánpótlásra, valamint a termésmennyiség szabályozására alkalmazzák. A törzsinjektálás, mint növényvédelmi módszer leginkább az Amerikai Egyesült Államokban terjedt el, ezért a legtöbb szolgáltatás, kereskedelmi készítmény és eszköz is itt lelhető fel. Magyarországon az injektálás gyakorlata kizárólag a közterületekre korlátozódik, és leggyakrabban a vadgesztenye aknázómoly elleni védelemben használják.

Az endoterápia, mint növényvédelmi technika gyors, hatékony és precíz módszert kínál a peszticidek közvetlenül a fa szállítórendszerébe juttatására. Ez kétségtelenül új utakat nyitott a dísz- és gyümölcsfákat sújtó kártevők és kórokozók leküzdésére, melyet számtalanszor ígéretesnek találtak a korábbi vizsgálatok során. Azonban a jelentős éghajlati eltérések, valamint a fafajok és a kártevők/kórokozók különböző régiókban jellemző egyedisége miatt a külföldön megismert technológiákat számos paraméter mentén adaptálni kell a hazai viszonyokra. Az általunk végzett előzetes hatóanyag értékelésről bebizonyosodott, hogy a gyakorlat számára is hasznos, ugyanis jó pontossággal meg lehet jósolni az injektálásra alkalmas hatóanyagok körét. Ezért a fizikai-kémiai paraméterek előzetes vizsgálata mindenképpen javasolt.

Vizsgálatainkban ötféle rovarölő hatóanyag törzsinjektálással és törzskénéssel történő felhasználásának lehetőségeit, az eredményes kezelések lárvicid hatását értékeltük a nyugati dióburok-fürőlég ellen. Ezen hatóanyagok toxikokinetikai viselkedésének vizsgálatára a biológiai hatékonyság értékelése mellett, kémiai szermaradvány-meghatározást is végeztünk. A lárvicid hatást az élő lárvával fertőzött dióburok gyakorisága alapján, az okozott gazdasági kár mértékét bonitálás úján értékeltük.

A kutatásunk összefoglalásával kész technológiai javaslatot fogalmazunk meg az abamektin és emamektin-benzoát hatóanyagok felhasználásával a nyugati dióburok-fürőlég okozta növényvédelmi probléma kezelésére. A fák törzsébe injektált és a lombkoronában, illetve a burokban megjelenő hatóanyag mennyisége pozitívan korrelált a lárvicid hatással. Az injektálásnak mérhető rovarölő hatása volt a második évben is, de ez minden esetben elmaradt az injektálás évében tapasztalt nagyon kedvező rovarölő hatástól, és nem tartotta a kártételt a gazdasági küszöbszint alatt. A technológia gyakorlatban való alkalmazhatóságához több paramétert, így a fa lombkoronájához és törzsátmérőjéhez igazított dózis módszereit, valamint a virágzatban megjelenő hatóanyagokat, mint a méheket potenciálisan veszélyeztető tényezőt is értékeltük. A kísérleteink során figyelemmel kísértük a fa egészségi állapotára gyakorolt hatást, melynek kiküszöbölését nagyon fontosnak tartjuk. Erre a sebet gyorsan regeneráló adalékanyagoknak vagy egyfajta kanülös rendszer telepítésének is lehet pozitív hatása. Az

időszakosan végrehajtott injektálásokból eredő sebzés elkerülése lehetne a technológia továbbfejlesztésének következő nagyobb lépése, melyhez a törzskönyvben rejlő lehetőségeket is részletesebben meg kell vizsgálni.

A hatóanyagok növényi szövetekben kialakult mennyiségét UHPLC-ESI-MS/MS, validált analitikai módszerek szerint detektáltuk, melyek a kihívást jelentő növényi mátrixból való kimutatásához nagyon érzékeny módszereket dolgoztunk ki. Legnagyobb mennyiségben a levélben detektáltuk a hatóanyagokat, a burokban azok csak nagyságrendekkel kisebb koncentrációkban jelentek meg. A dió mint egészséges táplálkozásban fontos élelmiszer-növény, a betakarítás időpontjában nem tartalmazhat a megengedett mennyiséget meghaladó növényvédőszer maradvékot. Ezt természetesen az injektálásos növényvédelmi technológiánál is mindenekelött figyelembe kell venni. A kísérleteknek ezért fontos része volt a dióbél hatóanyag-maradványának feltérképezése. Abamektin (MRL=0,01 mg/kg) és emamektin-benzoát (MRL=0,005 mg/kg) hatóanyagok injektálását követően sem a friss, sem a szárított dióbél nem tartalmazott a megengedett növényvédőszer maradvékot meghaladó hatóanyag mennyiséget (Reg. (EC) No 2018/685; Reg. (EC) No 2021/2202), amely jelzi a technológia biztonságosságát. Az eredményeink bizonyítják, hogy a törzsinjektálás eredményesen és biztonságosan alkalmazható módszer a dió fő kártevőinek kontrollálására.

Kutatásunk betekintést nyújt abba, hogy a törzsinjektálási technológia hogyan tudja megvédeni a diót a nyugati dióburok-fúrólégy (*Rhagoletis completa*) károsításától, a dió legfontosabb kártevőjétől. Ezen túlmenően, rávilágít a törzsinjektálási technológiában rejlő lehetőségekre és gyakorlati útmutatást ad annak növényvédelmi célú használatához elsősorban dió, de más gyümölcskultúrában is.

9 SUMMARY

Nowadays, trunk injection is primarily used for plant protection purposes, followed by nutrient supplementation and yield control. As a plant protection method, it has spread mostly in the United States, therefore, most services, commercial products, and equipment can be found there. In Hungary, the application of this technique is limited to public areas, where it is commonly used against the horse chestnut leaf-miner (*Cameraria ohridella*).

Endotherapy offers a fast, efficient, and precise method for delivering pesticides directly into the tree's vascular system. Undoubtedly, this has opened new ways for combating pests and pathogens affecting ornamental and fruit trees, which have been found promising in numerous previous studies. However, due to significant climate differences and the unique characteristics of tree species and pests/pathogens occurring in different geographical areas, methods that seem efficient abroad, need to be adapted to local conditions along various parameters. Our preliminary evaluation of the active ingredients has confirmed the practical usefulness, as it can accurately predict the range of substances suitable for trunk injection. Therefore, a preliminary examination of physical-chemical properties is highly recommended.

In our study, we evaluated the potential application of five insecticidal active ingredients using trunk injection and basal bark spray, as well as the larvicidal effects of successful treatments against the walnut husk fly. To investigate the toxicokinetic behavior of these active ingredients, we conducted chemical residue analysis in addition to assessing biological efficacy. The larvicidal effect was evaluated based on the occurrence of walnut husks infested with live larvae, while the extent of economic damage was assessed through visual scoring.

In summary, our research proposes a complete technological solution for the management of the walnut husk fly using the active ingredients abamectin and emamectin benzoate. The quantity of these pesticides injected into the tree trunk and appearing in the canopy and husks positively correlated with larvicidal efficacy. While measurable insecticidal effects persisted in the second year of injection, they consistently fell short of the highly favourable impact observed in the injection year and did not keep pest damage below economic threshold levels.

To assess the practical applicability of the technology, we evaluated several parameters, including the dose-response adjusted to the tree canopy and trunk diameter, as well as the potential risk of the active ingredients appearing in the flowers to bees. Our evaluation also took into consideration the impact of the treatment on the overall health of the tree, which we reckon crucial to address. This could be mitigated by the rapid regeneration of wounds by additives or the installation of a cannula system. Avoiding injury resulted from periodically conducted injections

could be the next significant advancement in the development of this technology. For this purpose, we recommend a more detailed examination of the possibilities in basal bark spray applications.

The quantities of active ingredients present in plant tissues were detected using validated analytical methods with UHPLC-ESI-MS/MS (ultrahigh performance liquid chromatography–electrospray ionization tandem mass spectrometry), which were developed to detect them in challenging plant matrices with high sensitivity. The highest concentrations were detected in the leaves, while significantly lower concentrations were found in the husks. Measuring the residues of abamectin (MRL=0.01 mg/kg) and emamectin benzoate (MRL=0.005 mg/kg), neither fresh nor dried walnut kernels contained quantities exceeding the permitted maximum pesticide residue levels (Reg. (EC) No 2018/685; Reg. (EC) No 2021/2202), indicating the safety of the technology. Our results demonstrate that trunk injection is a safe method for controlling the main pests of the English walnut (*Juglans regia*).

This research provides insight into how trunk injection technology can protect walnuts from damage caused by the walnut husk fly (*Rhagoletis completa*), the most important pest of Central European walnuts. Furthermore, it sheds light on the opportunities of this method and provides practical guidance for its use in plant protection, primarily in walnut cultivation but also in other fruit crops.

10 MELLÉKLETEK

10.1 Irodalomjegyzék

- Abbott, W. S. (1925): A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18 (2), 265-267. p.
- Acimovic, S. G. (2014): Disease management in apples using trunk injection delivery of plant protective compounds. Michigan State University, East Lansing. Doctoral dissertation.
- Albrecht, U., Archer, L. (2021): Principles and risks of trunk injection for delivery of crop protection materials. *Citrus Industry Magazine*, 102 (5), 14-17. p.
- Albrecht, U. (2022): Citrus trunk injection research update. University of Florida/IFAS Southwest Florida Research and Education Center, Immokalee. Virtual Seminar, 2022. 07. 22. Elérhető: https://crec.ifas.ufl.edu/media/crecifasufledu/citrus-research/images/presentations/Albrecht_presentation.pdf Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: citrus trunk injection. Lekérdezés időpontja: 2024.08.11.
- Ambrus, A. (2000): Within and between field variability of residue data and sampling implications. *Food Additives & Contaminants*, 17 (7), 519-537. p.
- Archer, L., Albrecht, U. (2023): Wound reaction to trunk injection of oxytetracycline or water in huanglongbing-affected sweet orange (*Citrus sinensis*) trees. *Trees*, 37 (5), 1483-1497. p.
- Aluja, M., Guillén, L., Rull, J., Höhn, H., Frey, J., Graf, B., Samietz, J. (2011): Is the alpine divide becoming more permeable to biological invasions?—Insights on the invasion and establishment of the walnut husk fly, *Rhagoletis completa* (Diptera: Tephritidae) in Switzerland. *Bulletin of Entomological Research*, 101 (4), 451-465. 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.
- Arbabafti, R., Sheikhiarjan, A., Gharalari, A., Damghani, R. (2014): Effects of adjuvants on the efficacy of certain insecticides against *Ommatissus lybicus* Bergevin (Hem.: Tropiduchidae) in Iran. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 10 (3), 526-533. p.
- Archer, L., Crane, J. H., Albrecht, U. (2022): Trunk injection as a tool to deliver plant protection materials – An overview of basic principles and practical considerations. *Horticulturae*, 8 (6), 552.
- Bálint, E. (2022): Fainjektálás okozta sérülések nyomon követése vadgesztenyén (*Aesculus hippocastanum* L.) Fakopp ArborElectro Impedancia Tomográf készülékkel. Magyar Agrár- és

Élettudományi Egyetem, Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet, Budapest.
Szakdolgozat.

Bai, S., Chaney, W. R., Qi, Y. (2005): Wound closure in trees affected by paclobotrazol. *Journal of Arboriculture*, 31 (6), 273-279. p.

Bai, S. H., Ogbourne, S. (2016): Eco-toxicological effects of the avermectin family with a focus on abamectin and ivermectin. *Chemosphere*, 154, 204-214. p.

Bandi, A. (2015): Magyar diófajták és erdélyi diószelekciók termésmorfológiai sajátosságainak és xantomonaszos betegséggel szembeni ellenállóságának összehasonlító értékelése a fenolos vegyületekkel összefüggésben. Budapesti Corvinus Egyetem, Gyümölcsstermő Növények Tanszék, Budapest. Doktori értekezés.

Barić, B., Pajač Živković, I., Matošević, D., Šubić, M., Voigt, E., Tóth, M. (2015): *Rhagoletis completa* (Diptera; Tephritidae) distribution, flight dynamics and influence on walnut kernel quality in the continental Croatia. *Poljoprivreda*, 21 (1), 53-58. p.

Berger, C., Laurent, F. (2019): Trunk injection of plant protection products to protect trees from pests and diseases. *Crop Protection*, 124, 104831.

Blanke, M. M., Lenz, F. (1989): Fruit photosynthesis. *Plant, Cell & Environment*, 12 (1), 31-46. p.

Bodor, J. (2012): A hazai dióburoklégység kártétele. *Kertészet és Szőlészet*, 44, 16-17. p.

Boyce, A.M. (1934): Bionomics of the walnut husk fly, *Rhagoletis completa*. *Hilgardia*, 8 (11), 363-579. p.

Burkhard, R., Binz, H., Roux, C. A., Brunner, M., Ruesch, O., Wyss, P. (2015): Environmental fate of emamectin benzoate after tree micro injection of horse chestnut trees. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 34 (2), 297-302. p.

Buchholz, A., Trapp, S. (2016): How active ingredient localisation in plant tissues determines the targeted pest spectrum of different chemistries. *Pest Management Science*, 72 (5), 929-939. p.

Brück, E., Elbert, A., Fischer, R., Krueger, S., Kühnhold, J., Klueken, A. M., Nauen, R., Niebes, J. F., Reckmann, U., Schnorbach, H. J., Steffens, R., Waetermeulen, X. (2009): Movento®, an innovative ambimobile insecticide for sucking insect pest control in agriculture: biological profile and field performance. *Crop Protection*, 28 (10), 838-844. p.

Byrne, F. J., Almanzor, J., Tellez, I., Eskalen, A., Grosman, D. M., Morse, J. G. (2020): Evaluation of trunk-injected emamectin benzoate as a potential management strategy for kuroshio shot hole borer in avocado trees. *Crop Protection*, 132, 105136.

- Byrne, F. J., Urena, A. A., Robinson, L. J., Krieger, R. I., Doccola, J., Morse, J. G. (2012): Evaluation of neonicotinoid, organophosphate and avermectin trunk injections for the management of avocado thrips in California avocado groves. *Pest Management Science*, 68 (5), 811-817. p.
- Chemjet (2022): Tree Injector, Elérhető: <https://chemjettreeinjector.com/tree-injection-orchard-crops/>
Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: tree injection for orchard crops. Lekérdezés ideje: 2024.08.11.
- Chen, Y. H., Opp, S.B., Berlocher, S. H., Roderick, G. K. (2006): Are bottlenecks associated with colonization? Genetic diversity and diapause variation of native and introduced *Rhagoletis completa* populations. *Oecologia*, 149, 656-667. p.
- 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.
- Chihaoui-Meridja, S., Harbi, A., Abbes, K., Chaabane, H., La Pergola, A., Chermiti, B., Suma, P. (2020): Systematicity, persistence and efficacy of selected insecticides used in endotherapy to control the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790) on *Phoenix canariensis*. *Phytoparasitica*, 48, 75-85. p.
- Christenson, L. D., Foote, R. H. (1960): Biology of fruit flies. *Annual Review of Entomology*, 5 (1), 171-192. p.
- Cirio, U. (1972): Osservazioni sul comportamento di ovideposizione della *Rhagoletis completa* Cresson (Diptera: Tephritidae) in laboratorio. In: Atti IX. Congresso Nazionale Italiano di Entomologia, (9.)(1972)(Siena). Bertelli e Piccardi, Firenze, 1, p. 99-117.
- Coates, W. W. (2004): Walnut husk fly: Varietal susceptibility and quality observations. In: Walnut Research Reports (2005). Walnut Marketing Board, Sacramento, p. 179-181.
- Coley, D. (2020): Spotted Lanternfly Control Program in the Mid-Atlantic Region, North Carolina, Ohio and Kentucky. United States Department of Agriculture, Riverdale. Environmental Assessment, 2020.06. Elérhető: <https://aglaw.psu.edu/wp-content/uploads/2021/09/Environmental-Assessment-June-2020-Spotted-Lanternfly-Control-Program.pdf> Keresőprogram: Google Scholar. Kulcsszavak: spotted lanternfly control program. Lekérdezés időpontja: 2024.08.11.
- Copping, L. G., Duke, S. O. (2007): Natural products that have been used commercially as crop protection agents. *Pest Management Science*, 63 (6), 524-554. p.
- Coslor, C. C., Vandervoort, C., Wise, J. C. (2019a): Insecticide dose and seasonal timing of trunk injection in apples influence efficacy and residues in nectar and plant parts. *Pest Management Science*, 75 (5), 1453-1463. p.

- Coslor, C. C., Vandervoort, C., Wise, J. C. (2019b): Control of insect pests using trunk injection in a newly established apple orchard. *International Journal of Fruit Science*, 19 (2), 151-164. p.
- Costonis, A. C. (1981): Tree Injection: Perspective macro-injection/micro-injection. *Journal of Arboriculture*, 7 (10), 275-277. p.
- Cowles, R. S., Montgomery, M. E., Cheah, C. J. (2006): Activity and residues of imidacloprid applied to soil and tree trunks to control hemlock woolly adelgid (Hemiptera: Adelgidae) in forests. *Journal of Economic Entomology*, 99 (4), 1258-1267. p.
- Cowles, R. S. (2010): Optimizing a basal bark spray of dinotefuran to manage armored scales (Hemiptera: Diaspididae) in christmas tree plantations. *Journal of Economic Entomology*, 103 (5), 1735-1743. p.
- Cserép, C. (2013): Molekuláris jelátviteli útvonalak a fejlődő idegsejthálózatok GABAerg és glutamaterg szinapszisaiban. Semmelweis Egyetem, Szentágotthai János Idegtudományi Doktori Iskola, Budapest. Doktori értekezés.
- Dalakouras, A., Jarausch, W., Buchholz, G., Bassler, A., Braun, M., Manthey, T., Krczal, G., Wassenegger, M. (2018): Delivery of hairpin RNAs and small RNAs into woody and herbaceous plants by trunk injection and petiole absorption. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1253.
- Doccola, J.J., Wild, P.M. (2012): Tree injection as an alternative method of insecticide application. 61-78. p. In: Soloneski, S., Larramendy, M. (eds.): *Insecticides, Basic and Other Applications*. Rijeka: InTech, 268 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.
- Duso, C. (1991): Sulla comparsa in Italia di un Tefritide neartico del noce: *Rhagoletis completa* Cresson (Diptera: Tephritidae). *Bollettino di Zoologia Agraria e di Bachicoltura*, 23, 203-209. p.
- Duso, C., Dal Lago, G. (2006): Life cycle, phenology and economic importance of the walnut husk fly *Rhagoletis completa* Cresson (Diptera: Tephritidae) in northern Italy. *Annales de la Société entomologique de France*, 42 (2), 245-254. p.
- Dybas, R. A. (1989): Abamectin use in crop protection. 287-310. p. In: Campbell, W.C. (ed.): *Ivermectin and abamectin*. New York: Springer, 363 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.

- El-Deen, E. M. A. Z., Attia, M. F., EL-Hamied, S. A. (2018): Response of pear (Le Conte cv.) trees grown in calcareous soil to trunk injection and foliar application of some micronutrients. *Alexandria Science Exchange Journal*, 39 (11-12), 747-761. 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.
- Escalada, J. P., Gianotti, J., Pajares, A., Massad, W. A., Amat-Guerri, F., García, N. A. (2008): Photodegradation of the acaricide abamectin: a kinetic study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (16), 7355-7359. p.
- Ferracini, C., Alma, A. (2008): How to preserve horse chestnut trees from *Cameraria ohridella* in the urban environment. *Crop Protection*, 27 (9), 1251-1255.
- Ferreira, J. A., Fassoni, A. C., Ferreira, J. M. S., Lins, P. M. P., Bottoli, C. B. G. (2022): Cyproconazole translocation in coconut palm tree using vegetative endotherapy: Evaluation by LC-MS/MS and mathematical modeling. *Horticulturae*, 8 (12), 1099.
- Ferreira, J. A., Esparraguera, L. B., Queiroz, S. C. N., Bottoli, C. B. G. (2023): Vegetative endotherapy—advances, perspectives, and challenges. *Agriculture*, 13(7), 1465.
- Fettig, C. J., Grosman, D. M., Munson, A. S. (2013): Efficacy of abamectin and tebuconazole injections to protect lodgepole pine from mortality attributed to mountain pine beetle (Coleoptera: Curculionidae) attack and progression of blue stain fungi. *Journal of Entomological Science*, 48 (4), 270-278. p.
- Fishel, F. M. (2018): Pesticide injection and drenching. University of Florida/IFAS Agronomy Department, Gainesville. 2018 (1) 4 p. Elérhető: <https://journals.flvc.org/edis/article/view/105048> Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: pesticide drenching. Lekérdezés időpontja: 2024.08.13.
- Fleischer, S., Uribe, L. M., Lingbeek, B., Echevarría, R. G. (2019): Early draft report, control of cucumber beetle. North Carolina State University, Raleigh. 17 p. Elérhető: https://ir4.cals.ncsu.edu/fooduse/IS_FinalReport/IS00327-19-PA01.pdf Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: cucumber beetle, flupiradyfurone. Lekérdezés időpontja: 2024.08.13.
- FAOSTAT (2023): Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crops and livestock products. Elérhető: <https://www.fao.org/faostat/en> Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: food and agriculture organization. Lekérdezés időpontja: 2023.01.07.
- FRAC (2022): Fungicide Resistance Action Committee. Elérhető: <https://www.frac.info/> Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: FRAC. Lekérdezés időpontja: 2022.03.30.

- FruitVeb (2019): Diópiaci helyzetkép. <https://fruitveb.hu/diopiaci-helyzetkep/> Keresőprogram: Google.
Kulcsszavak: diópiac. Lekérdezés időpontja: 2022.03.30.
- Fu, B., Qiu, H., Li, Q., Tang, L., Zeng, D., Liu, K., Gao, Y. (2020): Flower injection of imidacloprid and spirotetramat: a novel tool for the management of banana thrips *Thrips hawaiiensis*. *Journal of Pest Science*, 93, 1073-1084. p.
- Georgia Tech Biological Sciences (2024): Sugar Transport in Plants: Phloem. Elérhető:
<https://organismalbio.biosci.gatech.edu/nutrition-transport-and-homeostasis/plant-transport-processes-ii>
Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: plants, transport. Lekérdezés időpontja: 2024.06.13.
- Gierer, F., Vaughan, S., Slater, M., Thompson, H. M., Elmore, J. S., Girling, R. D. (2019): A review of the factors that influence pesticide residues in pollen and nectar: Future research requirements for optimising the estimation of pollinator exposure. *Environmental Pollution*, 249, 236-247. p.
- Gill, S., Jefferson, D. K., Reeser, R. M., Raupp, M. J. (1999): Use of soil and trunk injection of systemic insecticides to control lace bug on hawthorn. *Journal of Arboriculture*, 25, 38-42. p.
- Guillén, L., Aluja, M., Rull, J., Höhn, H., Schwizer, T., Samietz, J. (2011): Influence of walnut cultivar on infestation by *Rhagoletis completa*: behavioural and management implications. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 140 (3), 207-217. p.
- Gutermuth, Á. J. (2017): Lombosfák injektálhatósága. Szent István Egyetem, Kertészettudományi Kar, Budapest. Szakdolgozat.
- Heller, S., Joshi, N. K., Chen, J., Rajotte, E. G., Mullin, C., Biddinger, D. J. (2020): Pollinator exposure to systemic insecticides and fungicides applied in the previous fall and pre-bloom period in apple orchards. *Environmental Pollution*, 265, 114589.
- Helson, B. V., Lyons, D. B., Wanner, K. W., Scarr, T. A. (2001): Control of conifer defoliator with neem-based systemic bioinsecticides using a novel injection device. *The Canadian Entomologist*, 133 (5), 729-744. p.
- Hernández, A.F., Gil, F., Lacasaña, M. (2017): Toxicological interactions of pesticide mixtures: an update. *Archives of Toxicology*, 91, 3211-3223. p.
- Heukelekian, H., Waksman, S. A. (1925): Carbon and nitrogen transformations in the decomposition of cellulose by filamentous fungi. *Journal of Biological Chemistry*, 66 (1), 323-342. p.
- Hislop, R., Riedl, H., Joos, J. (1981): Control of the walnut husk fly with pyrethroids and bait. *California Agriculture*, 35 (9), 23-26. p.
- 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.

- Horner, I. (2018): Trunk sprays and lower phosphite injection rates for kauri dieback control—brief update October 2018. The New Zealand Institute for Plant & Food Research, Auckland. 6 p. Elérhető: <https://www.kauriprotection.co.nz/assets/Research-reports/Controlling-the-disease/Part-3-Phosphite-Research-Trunk-Sprays-and-Lower-Injection-Rates/TRUNKS2.PDF> Keresőprogram: Google Scholar. Kulcsszavak: trunk spray, kauri dieback. Lekérdezés időpontja: 2024.08.13.
- Hu, J., Jiang, J., Wang, N. (2018): Control of citrus huanglongbing via trunk injection of plant defense activators and antibiotics. *Phytopathology*, 108 (2), 186-195. p.
- IRAC (2022): Insecticide Resistance Action Committee. Elérhető: <http://www.iraac-online.org>. Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: IRAC. Lekérdezés időpontja: 2022.03.30.
- Jansson, R. K., Dybas, R. A. (1998): Avermectins: biochemical mode of action, biological activity and agricultural importance. 152-170. p. In: Ishaaya, I., Degheele, D. (eds.): *Insecticides with novel modes of action*. Heidelberg: Springer Berlin, 289 p.
- Jeschke, P., Nauen, R., Gutbrod, O., Beck, M. E., Matthiesen, S., Haas, M., & Velten, R. (2015): Flupyradifurone (Sivanto™) and its novel butenolide pharmacophore: Structural considerations. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121, 31-38. p.
- Jones, T. W., Gregory, G. F. (1971): An apparatus for pressure injection of solutions into trees. USDA Forest Service research paper NE-233. Northeastern Forest Experiment Station. Upper Darby. 7 p. Elérhető: https://books.google.hu/books?id=bQ5DEIRAphUC&printsec=frontcover&hl=hu&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false Keresőprogram: Google Scholar. Kulcsszavak: pressure injection apparatus. Lekérdezés időpontja: 2024.08.13.
- Juraske, R., Vivas, C. S. M., Velásquez, A. E., Santos, G. G., Moreno, M. B. B., Gomez, J.D., Binder, C. R., Hellweg, S., Dallos, J. A. G. (2011): Pesticide uptake in potatoes: model and field experiments. *Environmental Science & Technology*, 45 (2), 651-657. p.
- Kalmár, K., Bujdosó, G. (2023): Precíziós növényvédelmi technológia a nyugati dióburok-fúrólégy ellen. *Mezőhír*, 27(5), 32-34. p.
- Kasana, A., Aliniaze, M. T. (1995): Ovipositional preferences of the walnut husk fly, *Rhagoletis completa* (Diptera: Tephritidae) on various fruits, vegetables and varieties of walnuts. *Journal of the Entomological Society of British Columbia*, 92, 3-8. p.
- Kenis, M. (2010): *Rhagoletis completa* Cresson, 1929 - Walnut husk fly (Diptera: Tephritidae). *BioRisk Biodiversity & Ecosystem Risk Assessment*. 4, 918-919. p.
- Khan, A. A., Hussain, S. D., Shah, M. A., Mohi-ud-Din, S., Majid, S. (2016): Insect pests of walnut and their management. 307-355. p. In: Pandey, A. k., Mall, P. (eds.): *Insect Pest Management of Fruit Crops*. New Delhi: Biotech, 703 p.

- Kiss, M., Hachoumi, I., Nagy, V., Ladanyi, M., Gutermuth, A., Szabo, A., 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.
- 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.
- Kmellár, B., Abrankó, L., Fodor, P., Lehotay, S. J. (2010): Routine approach to qualitatively screening 300 pesticides and quantification of those frequently detected in fruit and vegetables using liquid chromatography tandem mass spectrometry (LC-MS/MS). *Food Additives & Contaminants*, 27 (10), 1415-1430. p.
- Kobza, M., Juhássová, G., Adamcikova, K., Onruskova, E. (2011): Tree injection in the management of horse-chestnut leaf miner. *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae). *Gesunde Pflanzen*, 62, 139-143. p.
- Koehler, T., Wankmüller, F. J., Sadok, W., Carminati, A. (2023): Transpiration response to soil drying vs. increasing vapor pressure deficit in crops—physical and physiological mechanisms and key plant traits. *Journal of Experimental Botany*, 74 (16), 4789-4807. p.
- Kou, H., Sun, Y., Dong, Z., Zhang, Z. (2021): Comparison between sustained effects of spray and injection thiamethoxam on apple aphids and non-target insects in apple orchard. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 207, 111307.
- Kreutzweiser, D. P., Good, K. P., Chartrand, D. T., Scarr, T. A., Thompson, D. G. (2008): Are leaves that fall from imidacloprid-treated maple trees to control asian longhorned beetles toxic to non-target decomposer organisms?. *Journal of Environmental Quality*, 37 (2), 639-646. p.
- KSH (2023): Központi Statisztikai Hivatal. Elérhető: <https://www.ksh.hu/> Keresőprogram: Google.
Kulcsszavak: KSH. Lekérdezés időpontja: 2023.02.07.
- Láng, F. (szerk.) (1998): Növényélettan, a növényi anyagcsere. Budapest: ELTE Eötvös Kiadó, 998 p.
- Lasota, J. A., Dybas, R. A. (1991): Avermectins. a novel class of compounds: implications for use in arthropod pest control. *Annual Review of Entomology*, 36, 91-117. p.
- Lawson, A. B., Dahlsten, D. L. (2003): Evaluation of systemic insecticides as a treatment option in integrated pest management of the elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* (Müller) (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Economic Entomology*, 96 (5), 1455-1462. 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.

- Li, J., Kolbasov, V. G., Pang, Z., Duan, S., Lee, D., Huang, Y., Wang, N. (2021): Evaluation of the control effect of SAR inducers against citrus huanglongbing applied by foliar spray, soil drench or trunk injection. *Phytopathology Research*, 3 (1), 1-15. p.
- Liang, Z., Zhou, X., Li, Y., Zhou, M., Yang, X., Zhang, S., Zhang, L. (2024): Distribution, residue dynamics, and insecticidal efficacy of trunk-injected emamectin benzoate in pecan trees. *Forests*, 15 (3), 535.
- Liu, Y., Sun, M., Zhao, S., Qi, G., Zhang, X., Guo, S. (2020): Visualization of water transport pathways in various organs on the fruit-bearing shoot of walnut trees. *Bosque*, 41 (2), 193-201. p.
- Mach, B. M., Bondarenko, S., Potter, D. A. (2018): Uptake and dissipation of neonicotinoid residues in nectar and foliage of systemically treated woody landscape plants. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37 (3), 860-870. p.
- Mashal, M. M., Obeidat, B. F. (2019): The efficacy assessment of emamectin benzoate using micro injection system to control red palm weevil. *Heliyon*, 5(6), e01833.
- Maso, E., Linaldeddu, B. T., Fanchin, G., Faccoli, M., Montecchio, L. (2019): The potential for pesticide trunk injections for control of thousand cankers disease of walnut. *Phytopathologia Mediterranea*, 58 (1), 73-79. p.
- Matuszewski, B. K., Constanzer, M. L., Chavez-Eng, C. M. (2003): Strategies for the assessment of matrix effect in quantitative bioanalytical methods based on HPLC– MS/MS. *Analytical Chemistry*, 75 (13), 3019-3030. p.
- Marascuilo, L. A. (1966): Large-sample multiple comparisons. *Psychological Bulletin*, 65 (5), 280-290. p.
- McClean, A. E., Sudarshana, P., Kluepfel, D. A. (2008): Enhanced detection and isolation of the walnut pathogen *Brenneria rubrifaciens*, causal agent of deep bark canker. *European Journal of Plant Pathology*, 122, 413-424. p.
- McCullough, D. G., Cappaert, D. A., Poland, T. M., Lewis, P., Molongowski, J., Mastro, V., Parra, G. (2006): Evaluation of neo-nicotinoid insecticides applied as non-invasive trunk sprays. In: Emerald Ash Borer and Asian Longhorned Beetle Research and Technology Development Meeting (4.)(2006)(Cincinnati). Forest Health Technology Enterprise Team. Morgantown, p. 52-54.
- McCullough, D. G., Poland, T. M., Anulewicz, A. C., Lewis, P., Cappaert, D. (2011): Evaluation of *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) control provided by emamectin benzoate and two neonicotinoid insecticides. one and two seasons after treatment. *Journal of Economic Entomology*, 104 (5), 1599-1612. p.
- McCullough, D. G., Poland, T. M., Tluczek, A. R., Anulewicz, A., Wieferich, J., Siegert, N. W. (2019): Emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae) densities over a 6-yr period on untreated trees and trees

- treated with systemic insecticides at 1-, 2-, and 3-yr intervals in a Central Michigan Forest. *Journal of Economic Entomology*, 112 (1), 201-212. p.
- Medic, A., Hudina, M., Veberic, R., Solar, A. (2022): Walnut husk fly (*Rhagoletis completa* Cresson), the main burden in the production of common walnut (*Juglans regia* L.). 15 p. In: Kumar, S. (ed.): *Advances in Diptera-Insight, Challenges and Management Tools*. London: IntechOpen, 104 p.
- Merz, B. (1991): *Rhagoletis completa* Cresson und *Rhagoletis indifferens* Curran zwei wirtschaftlich bedeutende nordamerikanische Fruchtfliegen, neu für Europa (Diptera: Tephritidae). *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, 64, 55-57. p.
- Mohapatra, S., Deepa, M., Jagadish, G. K. (2012a): An efficient analytical method for analysis of spirotetramat and its metabolite spirotetramat-enol by HPLC. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 88, 124-128. p.
- Mohapatra, S., Deepa, M., Lekha, S., Nethravathi, B., Radhika, B., Gourishanker, S. (2012b): Residue dynamics of spirotetramat and imidacloprid in/on mango and soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 89, 862-867. p.
- Mokhtaryan, A., Sheikhiharjan, A., Arbab, A., Mohammadipour, A., Ardestanirostami, H. (2021): The efficiency of systemic insecticides and complete fertilizer by trunk injection method against leopard moth in infested walnut trees. *The Journal of Basic and Applied Zoology*, 82, 55.
- Montecchio, L. (2013): A venturi effect can help cure our trees. *Journal of Visualized Experiments*, 2013 (80), e51199.
- Monteys, V. S., Ribes, A. C., Savin, I. (2021): The invasive longhorn beetle *Xylotrechus chinensis*, pest of mulberries, in Europe: Study on its local spread and efficacy of abamectin control. *PLOS ONE*, 16 (1), e0245527.
- Morse, J., Byrne, F., Toscano, N., Krieger, R. (2005): Evaluation of systemic chemicals for avocado thrips and avocado lace bug management. In: *Proceedings of the California Avocado Research Symposium (2006)(Riverside)*. California Avocado Commission, Irvine, p. 25-41.
- Mota-Sanchez, D., Cregg, B. M., McCullough, D. G., Poland, T. M., Hollingworth, R. M. (2009): Distribution of trunk-injected 14C-imidacloprid in ash trees and effects on emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae) adults. *Crop Protection*, 28 (8), 655-661. p.
- Nauen, R., Reckmann, U., Thomzik, J., Thielert, W. (2008): Biological profile of spirotetramat (Movento®)—a new two-way systemic (ambimobile) insecticide against sucking pest species. *Bayer CropScience Journal*, 61 (2), 245-278. p.

Nauen, R., Jeschke, P., Velten, R., Beck, M. E., Ebbinghaus-Kintscher, U., Thielert, W., Wölfel, K., Haas, M., Kunz, K., Raupach, G. (2015): Flupyradifurone: a brief profile of a new butenolide insecticide. *Pest Management Science*, 71 (6), 850-862. p.

Nébih – Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal; Növényvédő szerek adatbázisa Elérhető: <https://novenyvedoszer.nebih.gov.hu/Engedelykereso/kereso> Keresőprogram: Google. Nébih, szerjegyzék. Lekérdezés időpontja: 2024.09.07.

Nickel, J. L., Wong, T. T. (1966): Control of the walnut husk fly, *Rhagoletis completa* Cresson. with systemic insecticides. *Journal of Economic Entomology*, 59 (5), 1079-1082. p.

Nomoto, R. M., Coates, W. W., Hasey, J. K., Elkins, R. B., Grant, J. A., Van Steenwyk, R. A., Zolbrod, S. K. (2009): Walnut husk fly control with reduced risk insecticides. In: VI International Walnut Symposium (4.)(2010)(Melbourne). *Acta Horticulturae* 861, p. 375-382.

Ohlendorf, B. (2000): Walnut husky fly: Integrated pest management in the home garden. *Pest Notes*, 90, 626-634. p.

Oláh, R., Véték, G., Orosz, Sz. (2017): A nyugati dióburok-fúrólégy (*Rhagoletis completa* Cresson, 1929) Magyarországi elterjedése (2012-2017). *Növényvédelem*, 78 (53), 513-518. p.

Orosz, P. (2015): Könyv a dióról. 218 p. Elérhető: <https://dioskonyv.hu/> Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: diós könyv. Lekérdezés időpontja: 2024.08.13.

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.

Perry, T. O., Santamour, F. S., Stipes, R. J., Shear, T., Shigo, A. L. (1991): Exploring alternatives to tree injection. *Journal of Arboriculture*, 17 (8), 217-226. p.

Prado, A., Pioz, M., Vidau, C., Requier, F., Jury, M., Crauser, D., Alaux, C. (2019): Exposure to pollen-bound pesticide mixtures induces longer-lived but less efficient honey bees. *Science of the Total Environment*, 650, 1250-1260. p.

Prasad, R., Travnick, D. (1973): Translocation of benomyl in elm (*Ulmus americana* L.) V. Distribution patterns in mature trees following trunk-injection under high pressures. Information Report, Chemical Control Research Institute. Ottawa, CC-X-53, 28 p. Elérhető:

<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19750629085> Keresőprogram: Google Scholar.

Kulcsszavak: Ulmus, trunk injection. Lekérdezés időpontja: 2024.08.20.

Raese, J. T., Parish, C. L., Staiff, D. C. (1986): Nutrition of apple and pear trees with foliar sprays, trunk injections or soil applications of iron compounds. *Journal of Plant Nutrition*, 9 (3-7), 987-999. p.

Ramos, E. D. (1998): Walnut Production Manual. Oakland: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources Publications. 320 p.

Raven, P. H., Evert, R. F., Curtis, H. 1981: *Biology of Plants* (3rd edition). New York: Worth Publishers. 686 p.

Reg. (EC) No 2018/685; Regulation (EC) No 396/2005 of the European Parliament and of the Council as regards maximum residue levels for abamectin, beer, fluopyram, fluxapyroxad, maleic hydrazide, mustard seeds powder and tefluthrin in or on certain products. (Text with EEA relevance). Elérhető: <https://eurlex.europa.eu/search.html?scope=EURLEX&text=2018%2F685&lang=en&type=quick&qid=1648636986231>. Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: 2018/685 regulation. Lekérdezés időpontja: 2022.03.30.

Reg. (EC) No 2021/2202; Regulation (EC) No 396/2005 of the European Parliament and of the Council as regards maximum residue levels for acequinocyl, Bacillus subtilis strain IAB/BS03, emamectin, flutolanil and imazamox in or on certain products. (Text with EEA relevance). Elérhető: <https://eurlex.europa.eu/search.html?scope=EURLEX&text=2021%2F2202&lang=en&type=quick&qid=1648637488554>. Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: 2021/2202 regulation. Lekérdezés időpontja: 2022.03.30.

Reg. (EU) 2019/88; Regulation (EC) No 396/2005 of the European Parliament and of the Council as regards maximum residue levels for acetamiprid in certain products (Text with EEA relevance). Elérhető: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0088>. Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: 2019/88 regulation. Lekérdezés időpontja: 2023.09.18.

Reg. (EU) 2022/1324; Regulation (EC) No 396/2005 of the European Parliament and of the Council as regards maximum residue levels for benzovindiflupyr, boscalid, fenazaquin, fluazifop-P, flupyradifurone, fluxapyroxad, fosetyl-Al, isofetamid, metaflumizone, pyraclostrobin, spirotetramat, thiabendazole and tolclofos-methyl in or on certain products (Text with EEA relevance). Elérhető: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R1324&qid=1695059682925>. Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: 2022/1324 regulation. Lekérdezés időpontja: 2023.09.18.

Richter, H. G., Dallwitz, M. J. (2000 (onwards)): *Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval*. Version: June 25, 2009. Elérhető: <https://www.delta-intkey.com/>. Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: diameter of tracheids, Juglandaceae. Lekérdezés időpontja: 2024.03.18.

Roach, W. A. (1939): Plant injection as a physiological method. *Annals of Botany*, 3 (9), 155-226. p.

Romero, M. A., González, M., Serrano, M. S., Sánchez, M. E. (2019): Trunk injection of fosetyl-aluminium controls the root disease caused by *Phytophthora cinnamomi* on *Quercus ilex* woodlands. *Annals of Applied Biology*, 174 (3), 313-318. p.

Rosenberg, O., Almqvist, C., Weslien, J. (2012): Systemic insecticide and gibberellin reduced cone damage and increased flowering in a spruce seed orchard. *Journal of Economic Entomology*, 105 (3), 916-922. p.

SANTE (2021): Guidance SANTE 11312/2021 – Analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues analysis in food and feed. Elérhető: <https://ec.europa.eu/>.
Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: pesticide residues method validation. Lekérdezés időpontja: 2023.03.30.

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.

Schutte, G. C., Botha, T., Bezuidenhout, J. J., Kotzé, J. M. (1988): Distribution of phosphite in avocado trees after trunk injection with phosphorous acid and its possible response to *Phytophthora cinnamomi*. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 11, 32-34. p. Elérhető: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=3def9e4f15c0c06946dc072853dc63730e14cc30>. Keresőprogram: Google Scholar. Kulcsszavak: *Phytophthora cinnamomi*, avocado, trunk injection. Lekérdezés időpontja: 2024.08.20.

Seyahooei, M. A., Bagheri, A., Morshedi, S., Fallahzadeh, M., Amiri, S., Shahi, M. (2019): Trunk injection a promising approach for long-lasting suppression of mango leaf hopper, *Idioscopus clypealis*. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, F. Toxicology & Pest Control*, 11 (1), 123-129. p.

Shang, Q., Lu, H., Yang, M., Wu, Y., Chen, Q. (2024): The advancement and prospects of the tree trunk injection technique in the prevention and control of diseases and pests. *Agriculture*, 14 (1), 107.

Shearer, B. L., & Fairman, R. G. (2007): A stem injection of phosphite protects *Banksia* species and *Eucalyptus marginata* from *Phytophthora cinnamomi* for at least four years. *Australasian Plant Pathology*, 36 (1), 78-86. p.

Shelton, M. D., Anderson, L. (1990): Walnut cultivars: evidence for differential susceptibility to insect pests. *Fruit Varieties Journal*, 44 (4), 179-182. p.

Shomer, I., Novacky, A. J., Pike, S. M., Yermiyahu, U., Kinraide, T. B. (2003): Electrical potentials of plant cell walls in response to the ionic environment. *Plant Physiology*, 133 (1), 411-422. p.

Simon, G., Bujdosó, G., Cvetkovic, M., Tefvik Alp, O., Kithi, L., Oláh, R., Ficzek, G., Végvári, G. (2023): Responses of persian walnut on foliar applications of different biostimulants. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1263396.

Simpson, A., J. (2002): Determining the molecular weight, aggregation, structures and interactions of natural organic matter using diffusion ordered spectroscopy. *Magnetic Resonance in Chemistry*, 40 (13), 72-82. p.

Smith, J. J., Bush, G.L. (1999): Phylogeny of the subtribe Carpomyina (Trypetinae), emphasizing relationships of the genus *Rhagoletis*. 205-236. p. In: Aluja, M., Norrbom, A. (eds.): *Fruit Flies (Tephritidae)*. Boca Raton: CRC Press, 984 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.
- Solar, A., Jakopic, J., Miklavc, J., Stampar, F., Veberic, R., Trdan, S. (2019): Walnut husk fly substantially affects sensory attributes and phenolic contents of the kernels in common walnut. *Scientia Horticulturae*, 247, 17-26. p.
- Szentiványi, P. (1976): Dió. 9-83. p. In: Szentiványi, P., Pejovics, B., Horn, E. (szerk.): *Dió, Mandula, Mogoró, Gesztenye*. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó, 342 p.
- Takai, K., Soejima, T., Suzuki, T., Kawazu, K. (2001): Development of a water-soluble preparation of emamectin benzoate and its preventative effect against the wilting of pot-grown pine trees inoculated with the pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. *Pest Management Science*, 57 (5), 463-466. p.
- Tattar, T. A., Dotson, J. A., Ruizzo, M. S., Steward, V. B. (1998): Translocation of imidacloprid in three tree species when trunk- and soil-injected. *Arboriculture & Urban Forestry*, 24 (1), 54-56. p.
- Toolir, J. F., Mozaffari, M. (2020): Morphological study of some persian walnut genotypes and commercial cultivars cultured in Kerman Region in Southeast of Iran. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 85 (2), 123-137. p.
- Tóth, M., Nagy, A., Szanyi, Sz., Kiss, O. M., Voigt, E. (2021): A nyugati dióburok-fúrólég (*Rhagoletis completa* Cresson) (Diptera: Tephritidae) szintetikus feromoncsalétkének szabadföldi vizsgálata három *Rhagoletis* fajon. *Növényvédelem*, 82 (5), 201-207. p.
- Tuba, K., Schuler, H., Stauffer, C., Lakatos, F. (2012): A nyugati dióburok-fúrólég (*Rhagoletis completa* Cresson, 1929 – Diptera: Tephritidae) megjelenése Magyarországon. *Növényvédelem*, 48 (9), 419-423. p.
- Tuba, K. (2018): A nyugati dióburok-fúrólég kártétele és a védekezés lehetőségei. *Agrofórum*, 29 (8), 56-59. p.
- Turgeon, R. (2010): The puzzle of phloem pressure. *Plant physiology*, 154 (2), 578-581. p.
- Travlos, I., Cheimona, N., Bilalis, D. (2017): Glyphosate efficacy of different salt formulations and adjuvant additives on various weeds. *Agronomy*, 7 (3), 60.
- Ugine, T. A., Gardescu, S., Hajek, A. E. (2013): The within-season and between-tree distribution of imidacloprid trunk-injected into *Acer platanoides* (Sapindales: Sapindaceae). *Journal of Economic Entomology*, 106 (2), 874-882. p.
- Uhl, P., Brühl, C. A. (2019): The impact of pesticides on flower-visiting insects: A review with regard to European risk assessment. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 38 (11), 2355-2370. p.

- Ulziibayar, D., Begna, T., Bisrat, D., Jung, C. (2022): Longevity-enhancing effects of rosmarinic acid feeding on honey bees (*Apis mellifera* L.) after exposure to some pesticides used in strawberry greenhouse. *Journal of Apiculture*, 37 (2), 135-141. p.
- US EPA (2010): U.S. Environmental Protection Agency. Elérhető: <https://www.epa.gov>. Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: US EPA. Lekérdezés időpontja: 2022.03.30.
- Van Steenwyk, R. A., Choi, J., Kim, A. (2019): Control of walnut husk fly in walnut, 2018. *Arthropod Management Tests*, 44 (1), 022.
- Végh, A., Borsos, G., Tenorio-Baigorria, I., Bujdosó, G., Izsépi, F., Palkovics, L. (2015): Bark canker disease on walnut in Hungary. In: II International Workshop on Bacterial Diseases of Stone Fruits and Nuts (2.)(2016)(Izmir), *Acta Horticulturae* 1149, p. 47-52.
- Verhaeghe, A., Chalaye, C., Weydert, C. (2009): Control of walnut husk fly using alternative methods. Walnut husk fly control with reduced risk insecticides. In: VI International Walnut Symposium (4.)(2010)(Melbourne). *Acta Horticulturae* 861, p. 395-398.
- Verheggen, F., Verhaeghe, A., Giordanengo, P., Tassus, X., Escobar-Gutiérrez, A. (2017): Walnut husk fly, *Rhagoletis completa* (Diptera: Tephritidae), invades Europe: invasion potential and control strategies. *Applied Entomology and Zoology*, 52, 1-7. p.
- Vizkievicz, A. (2018): Növényi szövetek. Elérhető: <https://bioszfera.com/downloads/3.4.1.Anovenyekszovetei-szervei-eletmukodese.pdf> Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: növények szövetei xylém. Lekérdezés időpontja: 2024.08.11.
- Voigt, E., Tóth, M. (2013): Dió buroklégy magyarországi elterjedése 2013 tavaszán. *Növényvédelem*, 49 (8), 341-345. p.
- Voigt, E., Tóth, M., Subic, M., Baric, B., Živkovič, I. P. (2014): Megfigyelések a dióburok fűrőlégy 2013. évi rajzásával, elterjedésével és kártételével kapcsolatban. *Agrofórum Extra*, 53, 48-52. p.
- Walczak, U., Giertych, M. J., Baraniak, E. (2024): Persistence of imidacloprid in trunk injected horse chestnut and its impact on *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae). *Applied Entomology and Zoology*, 59 (2), 203-210. p.
- Wallace, D. R. (2014): Acetamiprid. 30-32. p. In: Wexler, P. (ed.): *Encyclopedia of Toxicology (3rd edition)*. San Diego: Academic Press, 5220 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.

- Werrie, P. Y., Burgeon, C., Le Goff, G. J., Hance, T., Fauconnier, M. L. (2021): Biopesticide trunk injection into apple trees: A proof of concept for the systemic movement of mint and cinnamon essential oils. *Frontiers in Plant Science*, 12, 650132.
- Wheeler, C. E., Vandervoort, C., Wise, J. C. (2020): Organic control of pear psylla in pear with trunk injection. *Insects*, 11 (9), 650.
- Wise, J. C., VanWoerkom, A. H., Acimovic, S. G., Sundin, G. W., Cregg, B. M., Vandervoort, C. (2014): Trunk injection: a discriminating delivering system for horticulture crop IPM. *Entomology. Ornithology & Herpetology*, 3 (2), 126.
- Wróblewska, M. M. (2015): The progressive and ancestral traits of the secondary xylem within Magnolia clad-the early diverging lineage of flowering plants. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 84 (1), 87-96. p.
- Wu, G. L., Liu, Q. L., Da Silva, J. T. (2009): Ultrastructure of pericarp and seed capsule cells in the developing walnut (*Juglans regia* L.) fruit. *South African Journal of Botany*, 75 (1), 128-136. p.
- Wu, G. L., Zhang, X. Y., Zhang, L. Y., Pan, Q. H., Shen, Y. Y., Zhang, D. P. (2004): Phloem unloading in developing walnut fruit is symplasmic in the seed pericarp and apoplasmic in the fleshy pericarp. *Plant and Cell Physiology*, 45 (10), 1461-1470. p.
- Wu, S., He, M., Xia, F., Zhao, X., Liao, X., Li, R., Li, M. (2022): The cross-resistance pattern and the metabolic resistance mechanism of acetamiprid in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). *International Journal of Molecular Sciences*, 23 (16), 9429.
- Xu, X. M., Murray, R. A., Salazar, J. D., Hyder, K. (2008): The temporal pattern of captan residues on apple leaves and fruit under field conditions in relation to weather and canopy structure. *Pest Management Science*, 64 (5), 565-578. p.
- Yamada, T., Takashi, H., Hatano, R. (1999): A novel insecticide, acetamiprid. 149-176. p. In: Yamamoto, I., Casida, J.E. (eds.), *Nicotinoid insecticides and the nicotinic acetylcholine receptor*. Tokyo, Springer, 300 p.
- Yang, C., Powell, C. A., Duan, Y., Shatters, R., Zhang, M. (2015): Antimicrobial nanoemulsion formulation with improved penetration of foliar spray through citrus leaf cuticles to control citrus huanglongbing. *PLOS ONE*, 10 (7), e0133826.
- Ying, W., Yu, Z., Tang, G., Peng, S., Zhai, M. (2014): Control of fruit pests and diseases of walnut with trunk injection. *Journal of Fruit Science*, 31 (3), 454-459. p.
- Zamora, M. A. S., Escobar, R. F. (2000): Injector-size and the time of application affects uptake of tree trunk-injected solutions. *Scientia Horticulturae*, 84 (1-2), 163-177. p.

10.2 A jelentősebb korábbi injektálásos és törzskenesés/-permetezési kísérletek áttekintő táblázata a növénypatogén kórokozók ellen, kronológiai sorrendben felsorolva

| Kórokozó | Növény | Hatóanyag | Alkalmazott eszköz | Helyszín | Szerző és publikáció éve |
|--|--|--|--|--------------------------|-------------------------------------|
| <i>Phytophthora palmivora</i> Butler, 1919 | <i>Theobroma cacao</i> L., 1753 | kálium-foszfonát (Fosject 200) | Chemjet Tree Injector | Keravat, Pápua Új-Guinea | Holderness, 1992 |
| <i>Venturia inaequalis</i> Winter, 1875 | <i>Malus domestica</i> cv. Crown Gold | penkonazol (Topas), propikonazol (Tilt), triadimefon (Systrex), miklobutanil (Systane), karbendazim (Tripart Defensor FL), tiabendazol (Storite Clear), foszetil-Al (Aliette), pirifenox (Dorado) | Mikroinjectors | Berkshire, Anglia | Percival és Boyle, 2005 |
| <i>Phyllactinia</i> sp | <i>Quercus robur</i> L., 1753 | | | | |
| <i>Erwinia amylovora</i> Winslow et al., 1920, <i>V. inaequalis</i> | <i>Malus domestica</i> Borkh., 1803 | kálium-foszfonát (PHOSPHO- jet), acibenzolar-S-metil (Actigard), oxitetraciklin- hidroklorid (Arborbiotic) kasugamicin hidroklorid (Kasumin), streptomycin szulfát (Agrimycin) | Mauget Tree Injection Capsules, Tree IV Micro- infusion System és Viper Micro-infusion System | Fennville, MI, USA | Acimovic, 2014 |
| <i>Phytophthora agathidicida</i> B.S.Weir et al., 2015 | <i>Agathis australis</i> Lindl., 2010 | foszforosav (AgriFos 600) | - Pentra-Bark | Araphoue, Új-Zéland | Horner, 2018 |
| <i>Phytophthora cinnamomi</i> Rands, 1922 | <i>Quercus ilex</i> L., 1753 | foszetil-Al (Aliette) | Ynject GO | Huelva, Spanyolország | Romero et al., 2019 |
| Citrusfélék zöldülése (<i>Candidatus Liberibacter asiaticus</i> Jagoueix, Bové, & Garnier, 1994 + <i>Diaphorina citri</i> Kuwayama, 1908) | <i>Citrus × sinensis</i> Osbeck, 1757 | szalicilsav, aszkorbinsav, oxálsav, β-amino- vajsav, acibenzolar-S-metil, kálium- foszfonát (Actigard %0 WP), benzilpenicillin, streptomycin, oxitetraciklin-hidroklorid, imidakloprid (AmiTide 2F) | Tree IV Micro- infusion System | FL, USA | Hu et al., 2018; Li et al., 2021 |

10.3 A jelentősebb korábbi injektálásos és törzskénéses/-permetezéssel kísért kísérletek áttekintő táblázata a növénykártevők ellen, kronológiai sorrendben felsorolva

| Kártevő | Növény | Hatóanyag | Alkalmazott eszköz | Helyszín | Szerző és publikáció éve |
|--|---|---|---|-----------------------|---|
| <i>Corythucha cydoniae</i> Fitch, 1861 | <i>Crataegus viridis</i> L., 1753 | imidakloprid (Pointer & Merit 75 WP), abamektin (Greyhound) | Wedgle Direct-Injection System | Sandy Spring, MD, USA | Gill et al., 1999 |
| <i>Bursaphelenchus xylophilus</i> Steiner & Buhner, 1934 | <i>Pinus thunbergii</i> Parl., 1868 | emamektin-benzoát | egyéb: műanyag pipettahegy | Japán | Takai et al., 2001 |
| <i>Xanthogaleruca luteola</i> O.F.Müller, 1766 | <i>Ulmus sp.</i> | abamektin (Vivid II), imidakloprid (Imicide) | Mikroinjectors Mauget Tree Injection Capsules | Sacramento, CA, USA | Lawson és Dahlsten, 2003 |
| <i>Tessarotoma papillosa</i> Drury, 1770 | <i>Litchi chinensis</i> Sonn., 1782 | azadirachtin (NeemAzal U) | egyéb: infúziós műanyag cső | Chiang Mai, Tájföld | Schulte et al., 2006 |
| <i>Agrilus planipennis</i> | <i>Fraxinus sp.</i> | imidakloprid (Imicide) | Mauget Tree Injection Capsules | Holly, MI, USA | McCullough et al., 2006; Anulewicz et al., 2009 |
| <i>Cameraria ohridella</i> Deschka & Dimić, 1986 | <i>Aesculus hippocastanum</i> L., 1753 | imidakloprid (Merit Green), abamektin (Vertimec EC) | dinotefurán (Safari 20 SG), imidakloprid (Macho 2F) egyéb: műanyag zacskó (abszorpció) egyéb: nagy nyomású módszer egyéb: 'Arbosan' (alacsony nyomású) módszer | Turin, Olaszország | Ferracini és Alma, 2008 |
| <i>Agrilus planipennis</i> Fairmaire, 1888 | <i>Fraxinus americana</i> , L., 1753 <i>Fraxinus pennsylvanica</i> , Marshall, 1785 | imidakloprid (Imicide) | Mauget Tree Injection Capsules | Lansing, MI, USA | Mota-Sanches et al., 2009 |

| | | | | | |
|---|---|--|-----------------------------------|--|------------------------|
| <i>Fiorinia externa</i> Ferris, 1942, <i>Aspidiotus</i> <i>cryptomeriae</i> Kuwana, 1902 | <i>Abies fraseri</i> Lindl., 1833 | dinotefuran (Safari 20 SG) | Pentra-Bark | Berlin, CT, USA | Cowles, 2010 |
| <i>Agrilus planipennis</i> | <i>Fraxinus</i> <i>pennsylvanica</i> | emamektin-benzoát (Tree-äge) | Tree IV Micro-infusion System | Troy, East Lansing, Adrian, MI, USA | Smitley et al., 2010 |
| <i>Cameraria ohridella</i> | <i>Aesculus</i> <i>hippocastanum</i> | abamektin (Vivid II) | Mikroinjectors | Szlovákia | Kobza et al., 2011 |
| <i>Scirtothrips perseae</i> Nakahara, 1997 | <i>Persea americana</i> 'Hass' | dinotefurán (AJ-F-08), acefát (ACE-jet), imidakloprid (IMA-jet), abamektin (AJ-6600) | Quick-Jet Micro | Temecula, CA, USA | Byrne et al., 2012 |
| <i>Megastigmus</i> <i>strobilobius</i> Ratzeburg, 1848 <i>Scolytinae</i> | <i>Picea abies</i> (L.) H. Karst., 1881 | bifentrin, deltametrin, abamektin (Greyhound), imidakloprid (Pointer) | Wedgle Direct-Injection System | Ålbrunna, Svédország | Rosenberg et al., 2012 |
| <i>Anoplophora</i> <i>glabripennis</i> Motschulsky, 1854 | <i>Pinus contorta</i> Douglas ex Loudon, 1838 | abamektin (Abacide 2) + tebukonazol (Tebuject 16) | Tree IV Micro-infusion System | Heber-Kamas, UT, USA | Fettig et al., 2013 |
| <i>Adelges tsugae</i> Annand, 1924 | <i>Acer platanoides</i> L., 1753 | imidakloprid | - | Worcester, MA, USA | Ugine et al., 2013 |
| <i>Phyllonorycter</i> <i>blancardella</i> Fabricius, 1781, <i>Empoasca fabae</i> Harris, 1841 | <i>Tsuga canadensis</i> (L.) Carrière, 1855 | imidakloprid (Imicide) | Mauget Tree Injection Capsules | Marion, VA, USA | Eisenbach et al., 2014 |
| <i>Malus domestica</i> 'Redmax McIntosh' | | imidakloprid (IMA-jet), emamektin-benzoát (Tree-äge) | Quick-Jet Micro | Fennville, MI, USA | Wise et al., 2014 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|----------------------------------|--|
| <i>Phyllonorycter blaucardella</i> , <i>Dysaphis plantaginea</i> Passerini, 1860, <i>Aphis pomi</i> DeGeer, 1773, <i>Choristoneura rosaceana</i> Harris, 1841, <i>Empoasca fabae</i> , <i>Cydia pomonella</i> L., 1758 | <i>Malus domestica</i> 'Red Delicious' | emamektin-benzoát (A16297A), imidakloprid (IMA-jet), dinotefuran (Venom 70 SG), spinozád (Entrust 80 WP & Entrust SC,), klórantraniliprol (XCL-r8), abamektin (AgriMek 0,15 EC) | Tree IV Micro-infusion System | Fennville, MI, USA | Coslor et al., 2019b |
| <i>Rhynchophorus ferrugineus</i> Olivier, 1790 | <i>Phoenix dactylifera</i> 'Berhi' | emamektin-benzoát (Revive I & Revive II) | Syngenta Tree Micro-Injection (TMI) System | Jordánia | Mashal és Obeidat, 2019 |
| <i>Agrilus planipennis</i> | <i>Fraxinus pennsylvanica</i> | imidakloprid (Imicide), emamektin-benzoát (Tree-äge) dinotefurán (Safari 20 SG), imidakloprid (Macho 2F) | Mauget Tree Injection Capsules Quick-Jet Micro Pentra-Bark | Jasper Township, MI, USA | McCullough et al., 2019 |
| <i>Idioscopus clypealis</i> Lethierry, 1889 <i>Euwallacea whitfordiodendrus</i> Hopkins, 1915, <i>Euwallacea kuroshio</i> Smith, 2019 | <i>Mangifera indica</i> L., 1753 <i>Persea americana</i> Mill., 1768 | imidakloprid, acetamiprid, dimetoát emamektin-benzoát (TREE-äge) | egyéb: tömlős, gravitációs Quik-Jet Air | Egyiptom Santa Paula, CA, USA | Seyahooei et al., 2019 Byrne et al., 2020 |
| <i>Rhynchophorus ferrugineus</i> | <i>Phoenix canariensis</i> hort. ex Chabaud, 1882 | tiametoxam (Synara 25 WG), emamektin benzoate (Revive I & Proact 50 EC), imidakloprid (Confidor 200 SL) | ENDOplant | Megrine, Tunézia | Chihaoui-Meridja et al., 2020 |
| <i>Thrips hawaiiensis</i> Morgan, 1913 | <i>Mimosa nana</i> Benth., 1841, <i>Musa sp.</i> | spirotetramát, imidakloprid | egyéb: specifikus fecskendő (Shenzhen Noposion Agrochemicals Co.) | Chengmai és Lingao, Kína | Fu et al., 2020 |

| | | | | | |
|---|--|--|-------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| <i>Anoplophora glabripennis</i> | <i>Salix matsudana</i> f. <i>pendula</i> C.K.Schneid. ex Rehder, 1927 | emamektin-benzoát (Tree-äge, Tree-äge R10) | egyéb: kúpos műanyag tubus | Beiqijia, Kína | Wang et al., 2020 |
| <i>Cacopsylla pyricola</i> Foerster, 1848 | <i>Pyrus communis</i> 'Bartlett' | azadirachtin (Azasol), abamektin (Agri-Mek) | Tree IV Micro-infusion System | Fennville, MI, USA | Wheeler et al., 2020 |
| <i>Aphis citricola</i> Patch, 1914 | <i>Malus domestica</i> 'Guoguang' | tiametoxam | - | Beijing, Kína | Kou et al., 2021 |
| <i>Zeuzera pyrina</i> L., 1761 | <i>Juglans regia</i> L., 1753 | tiametoxam (Actara DF 250), imidakloprid (Confidor 350 SC), oxidemeton-metil (Metasystox R EC 250), műtrágyák (Nutreeno) | - | Chubin Dar, Irán | Mokhtaryan et al., 2021 |
| <i>Xylotrechus chinensis</i> Fabricius, 1787 | <i>Morus</i> sp. | abamektin (Vertimec 1,8 EC) | ENDOplant | Barcelona, Spanyolország | Monteys et al., 2021 |

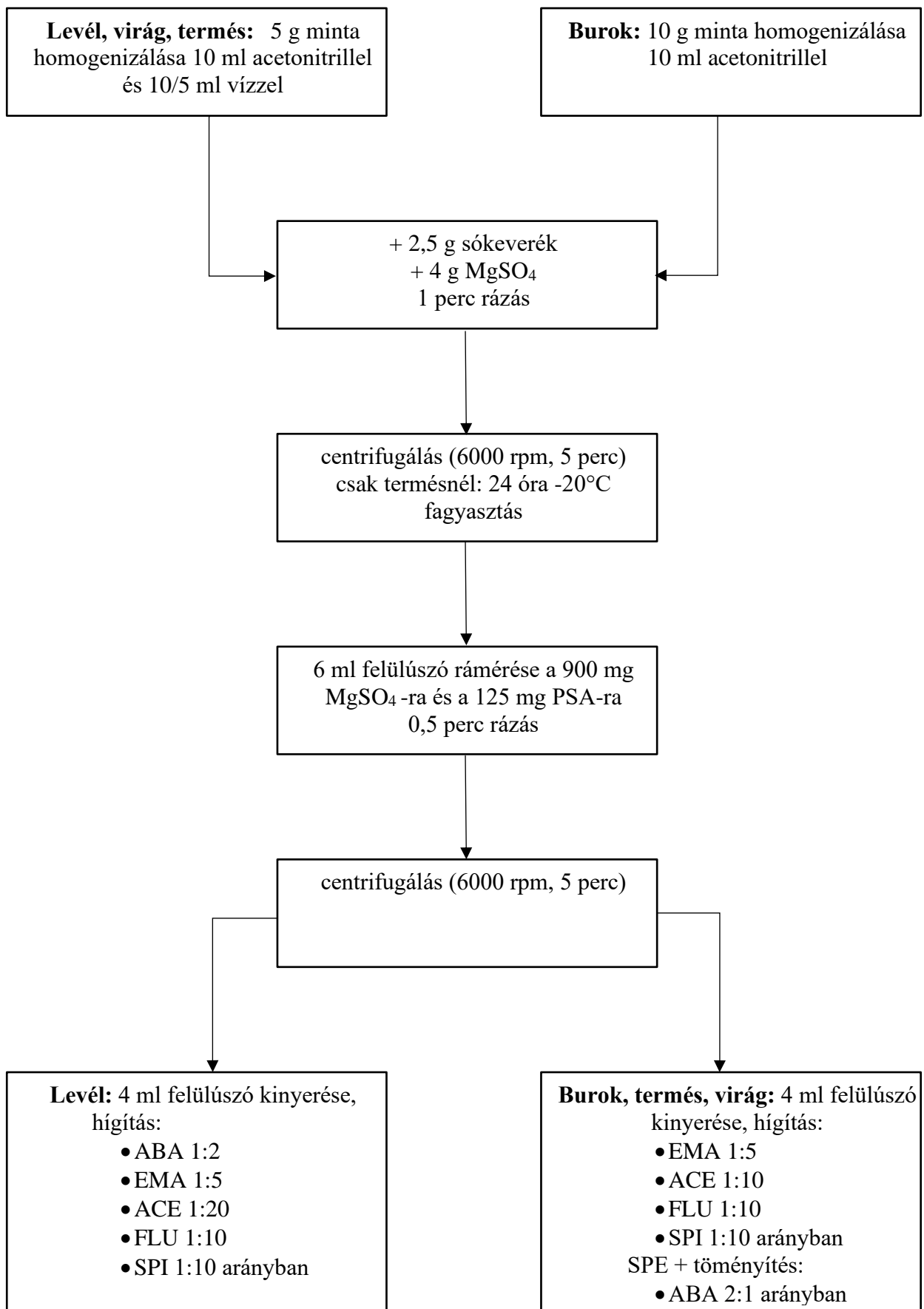
10.4 A jelentősebb korábbi injektálásos kísérletek áttekintő táblázata a növénypatogén kórokozók és a fertőzésüket elősegítő, illetve a terjesztésükben szerepet játszó vektorszervezetek ellen, kronológiai sorrendben felsorolva

| Kórokozó és vektora | Növény | Hatóanyag | Alkalmazott eszköz | Helyszín | Szerző és publikáció éve |
|--|---|--|----------------------------------|--|---------------------------------|
| <i>Scolytinae</i> | <i>Pinus contorta</i> Douglas ex Loudon, 1838 | abamektin (Abacide 2) + tebukonazol (Tebuject 16) | Tree IV Micro-infusion System | Heber-Kamas, UT, USA | Fettig et al., 2013 |
| <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (Penz.) Penz. & Sacc., 1927 | <i>Juglans sp.</i> | tebukonazol | - | Kína | Ying et al., 2014 |
| <i>Atrijuglans hetaohei</i> Yang, 1977 | | imidaklopid, emamektin-benzoát | | | |
| <i>Geosmithia morbida</i> M.Kolařík et al., 2010 | <i>Juglans nigra</i> L., 1753 | prokloráz + tetrakonazol (Binal Pro), tiabendazol (Sportak 45 EW) | BITE Tree Infusion | Montecchio Precalcino, Olaszország | Maso et al., 2019 |
| <i>Pityophthorus juglandis</i> Blackman, 1928 | | abamektin (Vertimec EC) | | | |

10.5 A jelentősebb korábbi injektálásos kísérletek áttekintő táblázata növénykondicionálásra, kedvezőtlen abiotikus tényezők okozta elváltozások, illetve tüneteinek mérséklése érdekében, kronológiai sorrendben felsorolva

| Alkalmazás célja | Növény | Hatóanyag | Alkalmazott eszköz | Helyszín | Szerző és publikáció éve |
|--|---|---|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| klorózis csökkentésére | <i>Malus domestica</i> Borkh., 1803, <i>Pyrus communis</i> Morog, 1881 | műtrágyák: vas-szulfát (Agri-Plex & Metalosate) | - | WA, USA | Raese et al., 1986 |
| növényi immunitás fokozása | <i>Malus domestica</i> , <i>Vitis vinifera</i> L., 1753 | GFP hpRNA (BASF), 22-nt siRNA (Metabion) | egyéb: inzulin fecskendő | Neustadt, Németország | Dalakouras et al., 2018 |
| növényi immunitás és termés mennyiség fokozására | <i>Malus domestica</i> 'Jonagold' | fodormenta (57,8% karvon, 25,8% limonén) és fahéj illóolajok (91,2% fahéjaldehid) | egyéb: csepegtető zacskó (Baxter) | Gembloux, Belgium | Werrie et al., 2021 |
| tápanyag utánpótlás meszes talajon | <i>Pyrus communis</i> | műtrágyák (Fe, Zn, Mn EDTA) | - | El-Hamam, Egyiptom | El-Deen, et al., 2018 |

10.6 QuEChERS mintaelőkészítés és extrakció lépéseinek sematikus ábrázolása



11 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Elsősorban szeretném megköszönni konzulenseimnek Marczika Andrásné dr. Sörös Csillának és dr. Szabó Árpádnak, akik a kezdetektől fogva bíztattak és segítettek ezen kutatás megvalósítását.

Köszönöm a Rovartani Tanszék, valamint az Élelmiszerkémia és Analitika Tanszék minden egykori és mai munkatársának, PhD hallgatóinak, akikhez mindvégig bizalommal fordulhattam kérdéseimmel és kéréseimmel.

Szeretném megköszönni a GreenUnit Kft.-nek a kutatás szabadföldi megvalósításában nyújtott anyagi és tárgyi támogatását, kiemelve dr. Gutermuth Ádámot, aki vállalati szakértőként járult hozzá e dolgozat elkészítéséhez.

A statisztikai elemzések elkészítése során nyújtott segítségéért külön köszönettel tartozom dr. Ittész Andrásnak.

Köszönöm az ültetvények tulajdonosainak: Farkas Jánosnak, dr. Kakuk Ilonának és a Vasi Dióbirtok Kft.-nek, hogy lehetővé tették számomra a kísérletek beállítását, valamint megköszönöm a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal együttműködését is.

Továbbá hálával tartozom családomnak és barátnőmnek, Camila-nak, amiért mindvégig támogattak és lehetőséget adtak kutatómunkám folytatásához, PhD értekezésem elkészítéséhez.