

MEGMENTHETI-E A TÖRZSINJEKTÁLÁS A HÁZTÁJI DIÓTERMÉST?

Kiss Máté^{1} - Sörös Csilla² - Gutermuth Ádám³ - Szabó Árpád¹*

¹MATE, Növényvédelmi Intézet Rovartani Tanszék

*²MATE, Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet Élelmiszerkémia és
Analitika Tanszék*

³GreenUnit Kft.

*kissmate0816@gmail.com

Összefoglalás

A nyugati dióburok-fúrólégy (*Rhagoletis completa*) mára a közönséges dió legfőbb károsítójává vált Magyarországon is. E faj kártétele a dió termesztésének volumene (~6400 ha), és nagy háztáji hagyományai miatt különösen jelentős. Munkánk során törzsinjektálással történő kijuttatás mellett, az abamektin hatóanyag rovarölő (larvicid) hatását értékeltük, miközben mértük a hatóanyag különböző növényi szervekben kialakuló koncentrációját. Mindhárom vizsgálati évben, az abamektinnel végzett törzsinjektálás hatására, csökkent a kártétel mértéke a kontrollhoz képest. A fák törzsébe injektált hatóanyag mennyisége pozitívan korrelált a larvicid hatással. Az injektálásnak mérhető rovarölő hatása volt a második évben is, de ez minden esetben elmaradt az injektálás évében tapasztalt rovarölő hatástól, és egyszer sem tartotta a kártételt a gazdasági küszöbszint alatt. A hatóanyag HPLC-MS/MS, validált analitikai módszer szerinti mérésével megállapítottuk, hogy annak koncentrációja a diófa levelében, pericarpiumában és magjában a tenyészidő előrehaladtával csökkent. Legnagyobb

mennyiségben a levélben detektáltuk a hatóanyagot, a burokban az csak nagyságrendekkel kisebb koncentrációban jelent meg. Méréseink során sem a friss, sem a szárított dióbél nem tartalmazott a megengedett növényvédőszer-maradéknál (0,02 mg/kg) nagyobb hatóanyag mennyiséget. A technológia gyakorlatban való alkalmazhatóságához több paraméter, így főként a fa lombkoronájához igazított dózis és a kezelési idő hatását meg kell ismernünk.

Kulcsszavak: *Juglans regia*, törzsinjektálás, nyugati dióburok-fúrólégy, abamectin hatóanyag-maradék

Abstract

The walnut husk fly (*Rhagoletis completa*) has become the main pest of walnut in Hungary as well. The damage of this species is particularly significant due to the volume of walnut cultivation (~ 6400 ha) and its large traditions to planting in backyards. In the course of this work, the insecticidal (larvicidal) effect of the active ingredient abamectin by trunk injection has been evaluated, while the concentration of the active ingredient in various plant organs was also determined. In all three years of the study, the trunk injection with abamectin reduced the extent of damage compared to controls. The amount of active ingredient injected into the trunk of trees was positively correlated with the larvicidal effect. The injection also had a second-year insecticidal effect, but in all cases, it was less effective than in the year of the injection and never kept the damage below the economic threshold. HPLC-MS / MS a validated analytical measure showed that the concentration of the active ingredient in the leaf, husk and kernel decreased over time. The highest concentration of abamectin was detected in the leaf, while its amount was much lower in the husk. In the measurements, neither fresh nor dried walnut kernels contained more than the permitted amount of pesticide residue (0.02 mg/kg). In order

for the technology to be applicable in practice, it is necessary to know the effects of several parameters, e.g. the dose adjusted to the size of the canopy and the time of the treatment.

Keywords: *Juglans regia*, trunk injection, walnut husk fly, abamectin residue

Bevezetés

Hazánkban a közönséges dió (*Juglans regia*) a legnagyobb mennyiségben termelt héjas gyümölcs, melynek területe (~6400 ha, KSH 2020), illetve termésmennyiségének alakulása (~5500 t, KSH 2020) lehetővé teszi nemcsak a hazai igények kielégítését, hanem az exportálhatóságát is. Ugyanakkor az utóbbi években a hazai diótermesztés volumene, természetesen egyre inkább csökkenő tendenciát mutat, aminek hátterében több tényező is áll: így a klímaváltozás kedvezőtlen hatásai, főként pedig a nyugati dióburok-fürölégység (*Rhagoletis completa*, Fam.: *Tephritidae*) megjelenése, ami gyökeresen átalakította a dió növényvédelmi programját és a dió termesztésének közgazdasági viszonyait. Korábban, jelentős kártevőnek az almamoly (*Cydia pomonella*) számított, mára attól sokkal fenyegetőbbé vált a nyugati dióburok-fürölégység.

Ez utóbbi idegenhonos, invazív kártevő Magyarországon gyorsan elterjedt, napjainkra elérte az ország keleti határát is (Oláh et al., 2017). A Középnyugat-Amerikában és Északkelet-Mexikóban honos nyugati dióburok-fürölégységet Európában először Svájcban, az 1980-as évekből származó múzeumi példányok között találták meg (Chen et al., 2006; Merz, 1991; Smith and Bush, 2000). Ültetvényben először 1991-ben, Olaszországban azonosították (Duso, 1991).

A nyugati dióburok-fürölégység imágók méretüket és szárnyrajzolatukat tekintve könnyen azonosíthatók szabad szemmel is. Az imágók nagyobbak a hozzá hasonló Magyarországon őshonos európai cseresznyelégynél (*Rhagoletis cerasi*), méretük 4,0-6,5 mm. Határozott

szárnyrajzolattal rendelkeznek, a szárny szélén található fordított V-alak nem ágazik el (Bodor, 2012; Voigt et al., 2014). Oligofág, obligát diapauzáló, jól repülő faj. Őshazájában több diófajon (*Juglans nigra*, *J. californica*, *J. microcarpa*, *J. hindsii* és *J. regia*) is kifejlődik (Khan et al., 2016). Európában veszélyt elsősorban a közönséges dióra (*Juglans regia*), másodsorban a fekete dióra (*Juglans nigra*) jelent, azonban a fajokon belül a fajták között is megfigyelhető jelentős érzékenységbeli különbség, részben a dió mezocarpiumának vastagsága, illetve az érési idő függvényében (Coates, 2005; Guillén et al., 2011; Shelton and Anderson, 1990). Az imágók Magyarországon zömmel július elejétől augusztus végéig rajzanak. Egnemzedékes faj, imágói hosszú életűek, 40 napig is élhetnek, közben mézharmattal és növényi nedvekkel táplálkoznak. A nőtények az érési táplálkozást, majd a párást követően, tojásaikat a dió zöld burkába (mezocarpium) süllyeszti. A tojásrakás időszaka általában másfél hónap (július legvége – szeptember közepe) (Tuba et al., 2012). Vizuális és kisebb mértékben, olfaktorikus ingerek segítik a nőtényeket tojásrakáskor (Cirio, 1972). A tojásrakás helyén nem feltűnő, kisebb elszíneződés, illetve bemélyedés figyelhető meg az exocarpiumon. Egy nőtény 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 fogyasztva egyidejűleg több nyú is növekedhet, de nagyobb egyedszám előfordulásakor akár a pericarpiumot is fogyasztják (Voigt and Tóth, 2013). A nyüvek növekedésével párhuzamosan egyre nagyobb, szabálytalan kiterjedésű, fekete foltok jelennek meg a dió burkán. A lárvák az időjárástól függően 3–5 hét alatt fejlődnek ki (Kenis, 2010), ekkor kb. 6–8 mm hosszúak, enyhén sárgás, piszkosfehér színűek. A kifejlett nyüvek a dió burkát elhagyva lehullnak a talaj felszínére, majd sekélyen a felszín alá húzódnak, és bábozódnak (Kenis, 2010; Tuba et al., 2012).

Egyes vizsgálatok szerint már két lárva kártétele esetén is képes a dióburok az egész felületre kiterjedően károsodni. A kártétel következtében 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 (Coates, 2005). A károsított dió idő előtti hullásával is számolhatunk, valamint a termések tömege, olaj- és fehérjetartalma is nagymértékben csökken (Baric et al., 2015).

A piacossági mutatókat (sötétebb színű dióbél) is kedvezőtlenül érinti a károsítás. A termés betakarítást követő kezelését is drágítja a károsított dió csonthéjára tapadt, rothadó, vagy rászáradt fekete burok, amelynek eltávolítása növeli a tisztítási költségeket (Duso and Dal Lago, 2006; Ohlendorf, 2000).

A törzsinjektálás története egészen Leonardo da Vinci koráig nyúlik vissza, de a legkorábbi tényleges fainjektálási kísérleteket csak a 20. század elején rögzítették (Costonis, 1981; Roach, 1939). Az 1970-es évektől a szilfavész betegség nagymértékben hozzájárult a törzsinjektálás elterjedéséhez, ugyanis a hagyományos permetezés hatástalan volt a betegséggel szemben (Jones and Gregory, 1971). A fainjektálást, mint lehetséges rovarirtó módszert az 1990-es évektől kezdték alkalmazni. Az injektálás elterjedéséhez a klímaváltozás is nagymértékben hozzájárult, az invazív fajok nagyszámú megjelenése által (Doccola and Wild, 2012). Napjainkban a törzsinjektálást elsősorban növényvédelmi célból, másodsorban tápanyagutánpótlásra, vagy fairtási célra, valamint termésmennyiség szabályozásra használják. Elsősorban az Amerikai Egyesült Államokban terjedt el, mint növényvédelmi módszer (Doccola and Wild, 2012).

A fásszárú növények törzsinjektálásának, mint növényvédelmi eljárásnak számos előnye van a hagyományos permetezéssel szemben, melyek nemcsak szakmailag támaszthatók alá, hanem társadalmi szempontból is értékesek. A módszer egyik legnagyobb előnye az ökotoxikológiailag kedvezőbb profil (nincs lemosódás, elsodródás, minden a célhelyre jut, a hasznos és közömbös szervezetek nem/alig találkoznak a hatóanyaggal, nem használ vizet a kijuttatáshoz). A dolgozók expozíciója kisebb a zárt rendszerű törzsinjektálásakor, így humántoxikológiai szempontból is kedvezőbb e módszer a permetezésnél (Acimovic, 2014). A

környezet kisebb terhelésén túl gazdaságilag is előnyös a módszer, hiszen a célzott felhasználás hosszú hatástartamot biztosít, ami akár több év is lehet (Wise et al., 2014), sőt a kijuttatás-technológia nem függ a faállomány méretétől sem. A törzsinjektálás egyik hátránya a fatörzs fűrásakor képződő seb kialakulása, amely kártételi kapu lehet egyes kórokozóknak. Doccola és munkatársai (2011) megállapították, hogy a sebek regenerálódásának és a fa károsodásának mértékét leginkább a kezelés időpontja, a felhasznált növényvédő szer típusa és a kezelés technikája befolyásolja. A technológia méhveszélyességének részletes megismerése céljából további kutatásokra van szükség (Doccola and Wild, 2012).

A törzsinjektálásra többféle módszer ismert, abban azonban hasonlóak, hogy általában a vízszállító rendszert (faedények) célozzák, majd az oda bejuttatott hatóanyag ezen rendszer segítségével jut el a hatáskifejtés helyére (Doccola and Wild, 2012; Prasad and Travnick, 1973). A törzsinjektálás viszonylag lassan terjedő technológia, hiszen alkalmazása előtt számos kérdést csak alapos kutatómunkával lehet megválaszolni, illetve a növényvédő szer engedélyezési eljárása sem igazodik e technológiához. A fa faja, a farész szöveti felépítése, a fa mérete, egészségi állapota, az injektáláskori időjárás és napszak, a hatóanyag és a kiszereelt készítmény fizikai-kémiai tulajdonságai, illetve az injektálási módszer mind befolyásolhatja a biológiai hatást (Doccola and Wild, 2012; Zamora and Escobar, 2000). Általában lombfakadás idején az oldott anyagok terjedése a növényben egyenletesebb és gyorsabb, mint a nyár végén vagy nyugalmi állapotban, ami a párologtatás miatti negatív xylem nyomással magyarázható (Brown, 1978). A fainjektálást akkor lehet a leghatékonyabban végezni, amikor a fák párologtatnak, ez persze számos tényezőtől függ (talaj- és léghőmérséklet, relatív páratartalom, talajnedvesség, napszak, fenofázis).

Az injektált növényvédő szerek hatékonysága függ a hatóanyag abszorpciójától, az injektálás helyétől, a célíg történő transzlokációtól, a peszticidek oldhatóságától, a szállítószövetek egészségétől és a fafajoktól (Tattar et al., 1998). A hatékony transzlokáció becsléséhez

ismernünk kell a hatóanyag számos tulajdonságát (vízoldékonyság (mg/l), szerves szén-víz megoszlási hányados (K_{oc} =ml/g), formuláció, sav-bázis karakter, hidrolitikus stabilitás, növényvédő szer/növényi mátrix kölcsönhatása) (Kiss et al., 2021).

Az egyes fajok túlnyomóságuk alapján öt csoportba sorolhatók, az 5 ml víz fába préseléséhez szükséges időtartam alapján (Gutermuth 2017). A főbb csoportok a következők: teljesen injektálhatatlan, alig injektálható, nehezen injektálható, injektálható (30-60 sec.) és könnyen injektálható (<30 sec.). A fekete dió (*Juglans nigra*) injektálható, míg a közönséges dió (*Juglans regia*) a könnyen injektálható kategóriába tartozik, ahogyan a legtöbb vizsgált faj (Gutermuth, 2017).

Anyag és módszer

Diófa törzsinjektálást három évben (2019-2021) végeztünk, két különböző helyszínen. 2019-ben és 2020-ban Taksonyban, míg 2021-ben Szelevény településen állítottunk be kísérleteket (1. táblázat). Az értékelések nem csupán az injektálás évében történtek, hanem a több éves tartamhatás feltárása miatt második évben is. Minden helyszínen rovarölő szeres kezelés nélkül történt a diótermesztés, nemcsak az injektált fákra vonatkozóan, hanem az egész ültetvényt érintően is. A növényvédő szer törzsbe juttatása, két különböző, de alapjaiban hasonló elven

működő készülékkel történt. A Treenject típusú injektáló készülék (1. ábra) legfeljebb 12,6 bar állandó nyomáson képes folyadékot préselni a fatestbe. Egy nyomásra 2,5 ml folyadék juttatható a furatba. A törzs kerületét arányosan



1. ábra Treenject típusú injektáló készülék (Gutermuth, 2017)

elosztva átellenesen végeztük az injektálást, 3,5 mm átmérőjű, 50 mm mélységű furatokba. A másik alkalmazott eszköz (2. ábra) egy nyomásálló gumitasak volt. Ebben az esetben a törzs átellenes oldalain négy darab, 6,5 mm átmérőjű, 50 mm mélységű furatot készítettünk, melybe egy applikátor segítségével csatlakoztattuk az eszközt. Az injektálási pontok magassága a talaj felszíne fölött körülbelül 20 cm-rel volt.



2. ábra Túlnyomásos injektáló gumitasak

Az injektáláshoz 18 g/l koncentrációjú, abamektin hatóanyagú inszekticid készítményt használtunk. A vizsgálatokhoz két különböző kontroll faegyedet jelöltünk ki, így a vizes kontroll egyednél elvégeztük az injektálást, de csak vízzel, míg a másik kontroll egyednél nem történt injektálás. Az azonos helyszíneken lévő diófák azonos korúak voltak, átlagos törzsátmérőjük 18 ± 2 cm (Taksony) és 30 ± 2 cm (Szelevény) volt. Az egyes diófák megkülönböztetése egyedi sorszámok fatörzsekre rögzítésével történt. Minden injektált fa esetén feljegyeztük a furatok számát, a furatonként bejuttatott növényvédő szer mennyiségét, továbbá az injektálás módszerét

és idejét. A fák lombkoronájának térfogatáról is gyűjtöttünk adatokat.

Az élő lárvák előfordulási gyakoriságának értékelését ősszel végeztük a dióburok természetes felrepedése előtt. A fákról legalább 100-150 db termésburokkal fedett termést gyűjtöttünk Raschel zsákokba. A gyűjtést követően, 1-2 napon belül megvizsgáltuk a burkokat egy éles kés segítségével 8 darabra vágva. Az értékelés szerint a fedett terméseket két csoportba válogattuk, ennek alapján megkülönböztettük az élő lárva tartalmozó és az élő lárvától mentes, ép terméseket. A hatóanyag-tartalom alakulásának nyomon követése céljából, egyes fákról levélmintákat is gyűjtöttünk. A vizsgált fákról három időpontban, 4x10 darab összetett levelet szedtünk.

1. táblázat Diófák injektálásának paraméterei (2019-2021)

Faazonosító	Hely	Ideje	Módszer	Furatok száma	Összes bejuttatott szer mennyiség
				(db)	(ml/fa)
1	Taksony	2019.07.08.	Treenject	4	10
2				4	10
3				4	10
4				4	20
5				4	20
6 (kontroll)				4	10 (víz)
7(kontroll)		-	0		
8(kontroll)		-	0		
9(kontroll)		4	10 (víz)		
10		2020.06.04.	Treenject	4	10
11	4			10	
12	4			20	
13	4			20	
14	4			20	
15	10			50	
16	10	50			
17	10	50			
18	10	100			
19	Szelevény	2021.05.28.	Treenject	10	100
20			Treenject	10	100
21			Gumitasak	4	100
22			Gumitasak	4	100
23			Gumitasak	4	100
24			Gumitasak	4	200
25			Gumitasak	4	200

26	Gumitasak	4	200
27(kontroll)	Gumitasak	4	100 (víz)
28(kontroll)	-	0	0

A hatóanyag-tartalom mérésére a mintákat növényi eredetű élelmiszermintákhoz kifejlesztett, magyar szabványként is használt, citrát-pufferelt QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe) módszer alapján készítettük elő (MSZ EN 15662:2018). A módszer során acetonnitriles extrakciót és SPE tisztítást végeztünk, mely lehetővé tette az HPLC-MS/MS kapcsolt technika segítségével a peszticid szermaradékok meghatározását. 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 oszloptermostát egységből épül fel. Méréseinket fordított fázású Agilent ZORBAX RRHD Eclipse Plus C18 (1,8 μ m, 2,1 x 50 mm) oszlopon végeztük. Az MS detektor ionforrásaként ESI ionforrást (Electrospray Ionization) alkalmaztunk.

A több dózisban részesített kísérleti helyszínről (Szelevény) származó dióburok minták abamektin koncentrációjában mutatkozó különbségeket egytényezős, teljes véletlen elrendezésű varianciaanalízissel (ANOVA) teszteltük. Shapiro–Wilk tesztet alkalmaztunk a hibatagok normalitásának vizsgálatára, a különböző csoportok szóráshomogenitását pedig Levene-teszt alkalmazásával ellenőriztük. A többszörös, páronkénti összehasonlítást Tukey-HSD-vel végeztük. A statisztikai elemzést az IBM SPSS Statistics 27 és az Excel 2016 szoftverekkel hajtottuk végre.

Eredmények



3. ábra A tojásrakás helye abamektinnel injektált dió zöld burkán (Szabó, 2019. augusztusa)

A 2019-ben, Taksonyban végzett törzsinjektálás értékelését 2019. szeptember 20-án végeztük. A kedvező biológiai hatásra utaló első jelet már nyáron, a még érésben lévő zöld dió burkán megjelenő tojásrakási helyek mikroszkópi átvizsgálásakor tapasztaltuk (3. ábra). Az injektálással kezelt fákon a tojásrakás ugyanolyan módon és mértékben lezajlott, mint a védelem nélküli diófákon, tehát repellens hatást nem

tapasztaltunk. Tapasztalatunk szerint a tojásrakás helyén a tojásokból kikelő nyüvek táplálkozni kezdtek, 1-2 mm átmérőjű fekete foltok itt kialakultak, azonban az exocarpium alatt táplálkozó nyüvek nagyon fiatal állapotukban el is pusztultak (4. ábra). A kártétel ezen formája olyan minimális volt, hogy a diótermesztés eredményességét semmilyen formában nem befolyásolta, a zöld burok kívülről alig sérült (5. ábra).



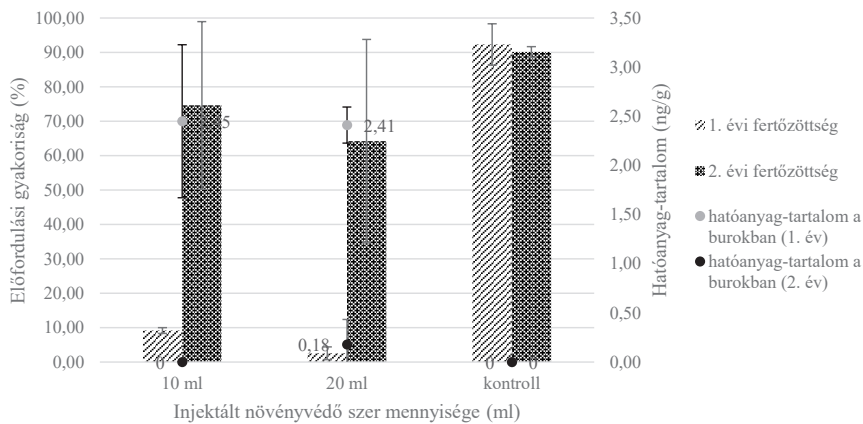
4. ábra Abamektinnel injektált diófa termésének mezocarpiumában elpusztult fiatal légylárvák (Szabó, 2019. augusztusa)



5. ábra Abamektinnel injektált diófa termésének mezo- és exocarpiuma metszetben a tojásrakási helynél (Kiss, 2019. szeptember)

A 2019-ben, Taksonyban végzett törzsinjektálás hatására, az injektálás évében mindkét vizsgált dózissal sikerült megvédeni a termést a nyüvek kártételétől. A kisebb dózis (10 ml/fa) 10 % alatt, a nagyobb dózis (20 ml/fa) 3% alatt tartotta az élő lárvák előfordulási gyakoriságát (6. ábra). A kontroll fák, annak változataitól függetlenül az élő lárvák előfordulási gyakorisága a 90%-ot is meghaladta. Az abamektinnel injektált fák az injektált szer mennyiségétől függetlenül a pericarpiumban kimutatható volt a hatóanyag,

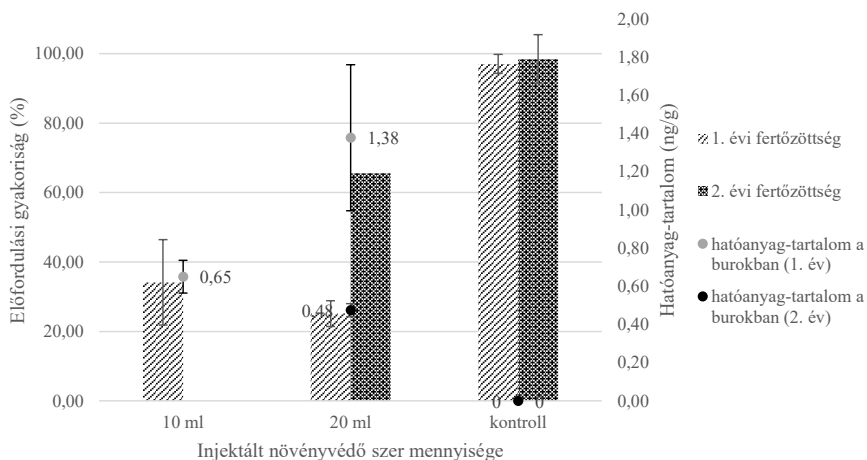
aminek átlagos mennyisége 2,45 ng/g (szórás: 31,8%) (10 ml/fa), illetve 2,41 ng/g (szórás: 7,46%) (20 ml/fa) volt (6. ábra).



6. ábra Az élő lárvák előfordulási gyakorisága és a hatóanyag koncentrációja az 1;2;3;4;5;6;7 fákra származó burokban, 2019-ben, Taksonyban injektált fák esetében, az injektálás és az azt követő (2020) évben. (Az analitikai módszer kimutatási határa (DL) 0,15 ng/g)

A 2019-ben végzett törzsinjektálás biológiai hatásáról a következő évben, 2020-ban azt tapasztaltuk, hogy volt még ugyan rovarölő hatás, de az élő lárvák előfordulási gyakorisága (64% és 75%) alig maradt el a kontrolltól (90%) (6. ábra).

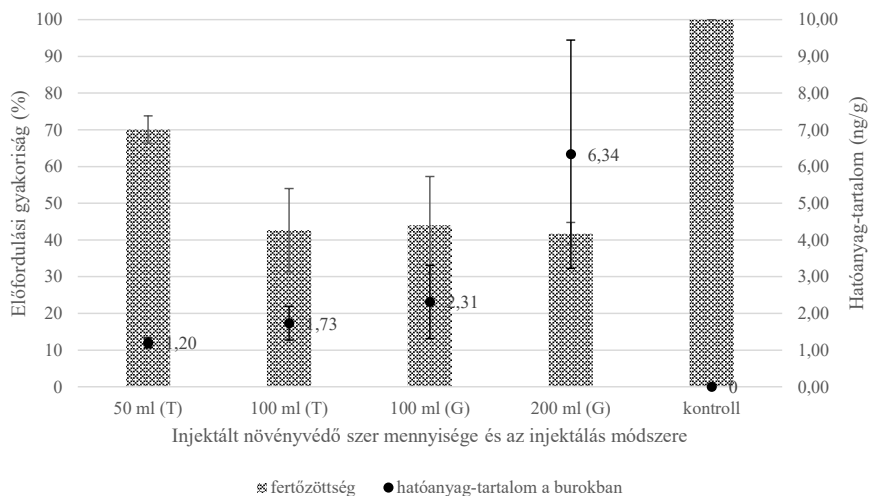
2020-ban Taksonyban, az előző évi kísérletet addig kezeletlen fákon megismételve ugyancsak azt tapasztaltuk, hogy az abamektinnel kezelt fákon az élő lárvák előfordulási gyakorisága kisebb volt a kontrollhoz viszonyítva (7. ábra). A kisebb dózis esetén 35%, a nagyobb dózis esetében 25% volt a mértéke, szemben a kontrollban mért 97%-os előfordulási gyakorisággal. Az injektálás a második évben (2021-ben) is kifejtett rovarölő hatást, de csak kisebb mértékben az első évhez képest, az élő lárvák előfordulása ugyanis az injektálás utáni második évben a 20 ml-rel injektált fák esetében már 65%-os volt, míg a kontrollban 98%.



7. ábra Az élő lárvák előfordulási gyakorisága és a hatóanyag koncentrációja a 8;9;10;11;12;13;14 fákról származó burokban, 2020-ban, Taksonyban injektált fák esetében, az injektálás és az azt követő évben (A 2. évben csak a magasabb dózisú fák hatóanyag-tartalmát vizsgáltuk). (Az analitikai módszer kimutatási határa

(DL) 0,15 ng/g)

2021-ben, immár harmadszorra is beállítottuk a kísérletet az addig kezeletlen fákon Szelevényben, ahol az alkalmazott három különböző dózis mindegyikénél rovarölő hatást mutattunk ki (8. ábra). A fák lombkorona-térfogatának és törzskeresztmetszetének megfelelően alkalmazott, korábbiakhoz képest nagyobb abamektin dózissal az élő lárvák előfordulási gyakorisága 40% és 70% között alakult az injektált fákon, szemben a kontrollban tapasztalt 100%-os gyakorisághoz képest. A dió pericarpiumában mért hatóanyag-maradék pozitívan korrelált az injektált hatóanyag mennyiségével.



8. ábra Az élő lárvák előfordulási gyakorisága és a hatóanyag koncentrációja a 15;16;17;18;19;20;21;22;23;24;25;26;27;28 fájáról származó burokban, 2021-ben Szelevény településen injektált fák esetében, az injektálás évében. Az injektálásokat két féle módon, a Treenject (T) és a gumi tasakos (G) készülékekkel végeztük, ahogyan az a táblázatban (1. táblázat) látható. (Az analitikai módszer kimutatási határa (DL) 0,15 ng/g)

A különböző dózissal kezelt fák, az élő lárvák előfordulási gyakorisága szerint szignifikánsan eltértek egymástól ($F(4;10) = 29,499$, $P < 0,001$). Míg a kontroll fákat illetően 100%-ot tapasztaltunk, addig az élő lárvák előfordulási gyakorisága a kezelt fákon jóval kisebb volt. 50

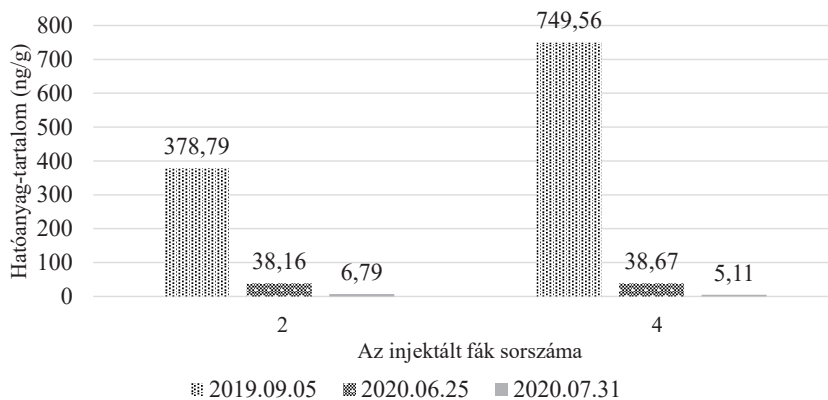
ml esetén 70%, míg 100 ml és 200 ml esetén 45% alatti, de hasonló nagyságrendű előfordulási gyakoriságot mértünk fel. A burokból lévő átlagos hatóanyag-tartalom 1,20 ng/g és 6,34 ng/g között alakult.

A kétféle injektáló eszköz alkalmazása és az élő lárvák előfordulási gyakorisága között nem találtunk szignifikáns különbséget.

A dióbél hatóanyag-tartalma minden esetben a kimutatási határ (0,0003 mg/kg) alatt maradt.

Egyes, 2019-ben injektált diófák levelének hatóanyag-tartalmát nyomon követve azt tapasztaltuk, hogy a fába injektált abamektin legalább két évig megjelenik a növény leveleiben, bár az injektálást követő évben már nagyságrenddel kisebb mennyiségben (9. ábra).

A fába injektált hatóanyagmennyiség pozitívan korrelált a levélben megjelenő hatóanyag mennyiséggel, de csak az injektálás évében.



9. ábra A 2019-ben Taksonyban injektált 2. és 4. sorszámú fáról származó levelek abamektin hatóanyag-tartalma. Az analitikai módszer kimutatási határa (DL) 0,3 ng/g

Eredmények értékelése

Az abamektinnel végzett törzsinjektálás hatására a hatóanyag megjelent a zöld növényi részekben, így a levélben és a termésburokban. A burokból helyezett tojásokat a hatóanyag nem

pusztította, de a tojásból kikelő és táplálkozó lárvákat igen. Ezeket az elpusztult, összeszáradt nyüveket, illetve a tojáshéjat sikerült megtalálnunk az exocarpium alatt. Ha mégis túlélő lárvá maradna a burokban, akkor az abamektin szubletális hatása érvényesülhet, azaz a nyű fejlődése lelassul, így gazdasági kárt nem okoz. A törzsinjektálással természetesen csak a táplálkozó lárvák kártételét akadályoztuk meg, az imágók pusztítása nem lehetséges ekképpen, így a tojásrakás sem elkerülhető.

A 2020-ban Taksonyban injektált diófák nyugati dióburok-fúrólégy lárvák előfordulási gyakorisága meghaladta az első évben tapasztalt kimagaslóan jó értékeket. Ennek oka megítélésünk szerint a két évben tapasztalt jelentősen eltérő csapadékmennyiség és -eloszlás lehetett. Emellett az eredmények megítélésénél figyelembe kell vennünk az általunk alkalmazott értékelési mód rendkívüli szigorúságát. Azaz a jelentősnek tűnő, 30% körüli előfordulási gyakoriság a gyakorlatban kedvezőbb megítélés alá esne: az ilyen termés burkában ugyanis csak kis számban, vagy gyengén fejlődő lárvákat találtunk, ezáltal az okozott kártétel mértéke is jóval alacsonyabb volt és a termés piacosságát ettől még megtartotta.

Ahhoz, hogy kedvező rovarölő hatást érijünk el törzsinjektálással, nagyon fontos tényező a hatóanyag egyenletes és kielégítő mértékű transzlokációja. Ezen paraméterek felderítésében további célkitűzéseink vannak.

Az injektálást követő második évben tapasztalt magasabb előfordulási gyakoriságból arra lehet következtetni, hogy a sikeres védekezéshez az általunk alkalmazott injektálással, abamektin hatóanyaggal, minden évben szükséges az egyes diófákat kezelni. Eredményeink alapján ugyan volt különbség a másodéves injektált egyedek és a kontroll minták között, azonban az egy évvel korábbi kezelés hatásfoka a növényvédelmi gyakorlat számára nem kielégítő. A másodéves hatással kapcsolatban a szakirodalmi adatokkal összevetve ellentétes eredményeket tapasztaltunk, jóllehet dió és abamektin vonatkozásában elsőként közöltünk adatokat (Holderness, 1992; Percival and Boyle, 2005). Valójában nem vagy alig összevethető az

injektálás hatása szempontjából az egyes fajok, ugyanígy a hatóanyagok sem (Eisenbach et al., 2014; Wang et al., 2020). A második évben tapasztalt hatáscsökkenést jól magyarázza a levelekben mért hatóanyag mennyisége, évenkénti csökkenésének üteme (9. ábra).

Az injektálás hatásosságát rengeteg tényező befolyásolja (Brown, 1978; Doccola et al., 2011), amelyek közül véleményünk szerint nagy jelentőségű az injektálás időpontjának megválasztása. Dió esetében ez a paraméter nehezen befolyásolható, hiszen a lombfakadást megelőző időszakban a fatörzs – víztelítettsége miatt – alig injektálható, később pedig a hatóanyag egyenletes eloszlásának időszüksége rejt kockázatot. Az általunk optimálisnak vélt időszak május vége, június eleje. Ősszel, a fa kisebb víztartalmánál szintén végeztünk injektálást, de azok nem voltak rovarölő hatásukat tekintve eredményesek, az élő lárvák előfordulási gyakorisága azonos szintű volt a kontroll fákon tapasztaltakkal. A kedvező rovarölő hatást nem csak a bejuttatott hatóanyag mennyiségével lehet összefüggésbe állítani, hanem a dió pericarpiumának hatóanyag-mennyiségével is, ami támpontot ad a hatóanyagtranszport eredményességéről (Kiss et al., 2021). Munkánk során egyértelmű, negatív korrelációt mutattunk ki a burkokban tapasztalt élő lárvák előfordulási gyakorisága, és az injektált hatóanyag-mennyiség, illetve a dióburokban mért hatóanyag-tartalom között.

A dióbélben mért hatóanyag-maradék értékek egy esetben sem haladták meg az EU peszticid adatbázisában a dióra (dióbélre) vonatkozó MRL (Maximum Residue Limit) értéket (0,02 mg/kg), tehát az általunk végzett törzsinjektálás élelmiszer-biztonsági szempontból megfelelő. Törzsinjektálásos növényvédő szer kijuttatással a hagyományos lombpermetezési technológiával analóg növényvédelmi hatást értünk el. A dióültetvények hagyományos eljárással történő védelmekor a nyugati dióburok-fúrólégy kártételének elhárítása miatt általában 4-5 kezelés szükséges, ami jelentősen megnöveli a diótermesztés költségeit és az ültetvények peszticidterhelését. Hazai diótermelésünk számottevő része szórvány diósokból és

háztáji diófákról származik. Az itt termett dió megvédésére jelenleg kevés a lehetőség, de megítélésünk szerint a törzsinjektálás, mint alternatíva megmentheti a jövőben ezt a szegmenst. A nyugati dióburok-fúrólégy elleni védelem megoldható törzsinjektálással, azonban a védekezésnek ezen módszere további fejlesztést kíván. Érdeemes volna más hatóanyagok hatását is felderíteni, sőt a dió más jelentős kártevője elleni hatást is vizsgálni.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti Dabasi Zoltán Növényorvos MSc hallgatót az adatok értékelésében végzett munkájáért, Gyuris Rita PhD hallgatót a kísérletek beállításában és a mintagyűjtésekben nyújtott segítségéért. Külön köszönet illeti a dióskertek tulajdonosait, Farkas Jánost és Dr. Kakuk Ilonát, akik készségesen rendelkezésünkre bocsátották kertjeiket a kísérlet idejére.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap (ESZA) társfinanszírozásával valósult meg (a támogatási szerződés száma: EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00005).

Irodalom

Acimovic, S.G. 2014. Disease management in apples using trunk injection delivery of plant protective compounds. Michigan State University. Plant Pathology. <https://doi.org/10.13140/2.1.2252.38>

Barić, B., Pajač Živković, I., Matošević, D., Šubić, M., Voigt, E. and 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.

Bodor J. 2012. A hazai dióburoklégy kártétele. *Kertészet és Szőlészet* **44**. 16-17.

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

- Brown, R. D. and M. T. AliNiasee. 1977. Synchronization of adult emergence of the western cherry fruit fly in the laboratory. *Ann. Entomol. Soc. Am.* **70**. 678-680.
- Chen, Y.H., Opp, S.B., Berlocher, S.H. and 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.
- Cirio, U. 1972. Osservazioni sul comportamento di ovideposizione della *Rhagoletis completa* Cresson (Diptera: Tephritidae) in laboratorio. *Atti IX Congresso Nazionale Italiano di Entomologia*. **1**. 99-117.
- Coates, William W. 2005. Walnut Husk Fly: Varietal Susceptibility and Quality Observations. Walnut Research Reports – 2004, Walnut Marketing Board, Sacramento, CA. 179-181.
- Costonis, A. C. 1981. Tere Injection: Perspective macro-injection/micro-injection. *Journal of Arboriculture*. **7**. (10).
- Doccola, J. J., Smitley, D. R., Davis, T. W., Aiken, J. J. and Wild, P. M. 2011. Tree wound responses following systemic injection treatments in Green ash (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh) as determined by destructive autopsy. *Arboriculture & Urban Forestry*. **37**(1). 6-12.
- Doccola, J.J. and Wild, P.M. 2012. Tree injection as an alternative method of insecticide application. Insecticides-basic and other applications. InTech, Rijeka, Croatia 61–78.
- Duso, C. 1991. Sulla comparsa in Italia di un Tefritide neartico del nocce: *Rhagoletis completa* Cresson (Diptera: Tephritidae). *Bollettino di Zoologia Agraria e di Bachicoltura*. **23**. 203–209.
- Duso, C. and Dal Lago, G. 2006. Life cycle, phenology and economic importance of the walnut husk fly *Rhagoletis completa* Cresson (Diptera: Tephritidae) in northern Italy. *Ann. soc. entomol. Fr.* **42**(2). 245–254.
- Eisenbach, B. M., Salom, S. M., Kok, L. T. and 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.

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. Available from <https://standards.cen.eu/>. Accessed 7. July 2020.

Guillén, L., Aluja, M., Rull, J., Höhn, H., Schwizer, T. and Samietz, J. 2011. Influence of walnut cultivar on infestation by *Rhagoletis completa*: behavioural and management implications. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. **140**. 207–217.

Gutermuth Á. J. 2017. Lombosfák injektálhatósága. Szent István Egyetem, Kertészettudományi Kar, Budapest.

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 Protect.* **11**. 141–147. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(92\)90097-O](https://doi.org/10.1016/0261-2194(92)90097-O)

Jones, T. W. and 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, PA. 9.

Kenis, M. 2010. *Rhagoletis completa* In Roques, A., Kenis, M., Lees, D., Lopez-Vaamonde, C., Rabitsch, W., Rasplus, J.Y. and Roy, D.B. (ed.): BioRisk Biodiversity & Ecosystem Risk Assessment, Alien Terrestrial Arthropods of Europe. Pensoft Publishers, Sofia, 918–919.

Khan, A. A., Hussain, S. D., Shah, M. A., Mohi-ud-Din, S. and Majid, S. 2016. Insect Pest Management of Fruit Crops. 327-330.

Kiss, M., Hachoumi, I., Nagy, V., Ladanyi, M., Gutermuth, A., Szabo, A. and 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.

- Központi Statisztikai Hivatal 2020. A fontosabb gyümölcsfélék termesztése és felhasználása. https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0025.html
- 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.
- Ohlendorf, B. 2000. Walnut husky fly: Integrated Pest Management in the home garden. Pest Notes, Publication 7430. Davis CA, Univer): *Aganaspis alujai* (Hymenoptera: Figitidae: Eucoilinae), a new species attacking *Rhagoletis* (Diptera: Tephritidae) in the neotropical region. *Florida Entomologist*. **90**. 626–634.
- Oláh R., Véték G. és Orosz Sz. 2017. A nyugati dióburok-fúrólégy (*Rhagoletis completa* Cresson, 1929) magyarországi elterjedése (2012-2017). *Növényvédelem*. **78**(53). 11.
- Percival, G. C. and Boyle, S. 2005. Evaluation of microcapsule trunk injections for the control of apple scab and powdery mildew. *Ann. Appl. Biol.* **147**. 119–127. <https://doi.org/10.1111/1/j.1744-7348.2005.00019.x>
- Prasad, R. and Travnick, D. 1973. Translocation of benomyl in elm (*Ulmus americana* L.) Distribution patterns in mature trees following trunk injection under high pressures. Can. Dep. Enviroment. *Chemistry Control Res. Inst. Report*. **114**. 18.
- Regulation (EC) No 396/2005 of the European Parliament and of the Council of 23 February 2005 on maximum residue levels of pesticides in or on food and feed of plant and animal origin and amending Council Directive 91/414/EEC (Text with EEA relevance) Text with EEA relevance. Available from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1582307395827&uri=CELEX:32005R0396>. Accessed 7. July 2020.
- Roach, W. A. 1939. Plant injection as a physiological method. *Ann. Bot.* **3**. 155–226.
- Shelton, M. D. and I. L. Anderson. 1990. Walnut cultivars: evidence for differential susceptibility to insect pests. *Fruit Varieties*. **44**(4). 179-182.

- Smith, J. and Bush, G.L. 2000. Phylogeny of the subtribe Carpomyina (Trypetinae), emphasizing relationships of the genus *Rhagoletis*. In Aluja, M. and Norrbom, A. (ed) Fruit Flies (Tephritidae): Phylogeny and Evolution of Behavior. Boca Raton, FL, USA, CRC Press, 187–217.
- Tattar, T. A., Dotson, J. A, Ruizzo, M. S. and Steward, V. B. 1998. Translocation of imidacloprid in three tree species when trunk- and soil-injected. *Journal of Arboriculture*. **24**(1). 54-56.
- Tuba K., Schuler H., Stauffer Chr. és Lakatos F. 2012. A nyugati dióburok-furólégy (*Rhagoletis completa* Cresson 1929 – Diptera: Tephritidae) megjelenése Magyarországon. *Növényvédelem*. **48**(9). 419–423.
- Voigt E. és Tóth M. 2013. Dió buroklégy magyarországi elterjedése 2013 tavaszán. *Növényvédelem* **49**(8).
- Voigt E., Tóth M., Subic M., Baric B. és Živković I. P. 2014. Megfigyelések a dióburok furólégy 2013. évi rajzásával, elterjedésével és kártételével kapcsolatban. *Agrofórum Extra*. **53**. 48- 52.
- Wang, J-H., Che, S-C., Qiu, L-F., Li, G., Shao, J-L., Li, Z., Zhang, G-F. and 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.
- Wise, J. C., VanWoerkom, A. H., Acimovic, S. G., Sundin, G. W., Cregg, B. M. and Vandervoort, C. 2014. Trunk injection: a discriminating delivering system for horticulture crop IPM. *Entomology, Ornithology & Herpetology*. **3**(2). 1
- Zamora, M. A. S. and Escobar, R. F. 2000. Injector-size and the time of application affects uptake of tree trunk-injected solutions. *Scientia Horticulturae*. **84**. 163-177.