

DIPLOMADOLGOZAT

Gerbovits Bálint

2024



Magyar Agrár-és Élettudományi Egyetem

Kaposvári Campus

Növénytermesztési-tudományok Intézet

Agrármérnöki osztatlan képzés

**A VADGESZTENYE-LEVÉLAKNÁZÓMOLY (*CAMERARIA
OCHRIDELLA* DESCHKA & DIMIC,1986) LÁRVÁI ELLEN
CYAZYPYR HATÓANYAGGAL TÖRTÉNŐ VÉDEKEZÉS
MEGÍTÉLÉSE MODERN KÉPALKOTÓ ELJÁRÁSOK
SEGÍTSÉGÉVEL**

Témavezető: **Prof. Dr. Keszthelyi Sándor**, egyetemi tanár
Növénytermesztési-tudományok Intézet
Agronómia Tanszék

Témavezető: **Dr. Jócsák Ildikó**, egyetemi adjunktus
Növénytermesztési-tudományok Intézet
Agronómia Tanszék

Készítette: **Gerbovits Bálint**

**Kaposvár
2024**

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	1
2. CÉLKITŰZÉSEK	2
3. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	3
3.1. A vadgesztenye-levélaknázómoly rendszertana, morfológiája	3
3.2. A vadgesztenye-levélaknázómoly elterjedése	5
3.3. Biológiája és kártétele	7
3.4. A vadgesztenye-levélaknázómoly elleni gyakorlati védekezés lehetőségei	7
3.5. A szisztémikus növényvédőszer szerepe az aknázó rovarok visszaszorításában	9
3.5.1. Avermektinek, milbemicinek	9
3.6. Diamidok, mint perspektivikus kémiai eszközök a védekezésben	10
3.6.1. <i>Rynaxypyr®</i> , <i>klórántraniliprol</i>	10
3.6.2. <i>Cyazypyr®</i> , <i>ciántraniliprol</i>	11
3.6.3. Diamidok hatásmechanizmusa	12
3.6.4. A <i>cyazypyr®</i> hatóanyaghoz hasonló transzlokációjú vegyületek	13
3.7. Képkalkotó eljárások hatékonysága az inszekticides kezelések és a rejtett életmódú kártevők vonatkozásában	14
3.7.1. Röntgen képkalkotás	14
3.7.2. Biofoton kibocsátásra alapozott képkalkotás	15
4. SAJÁT VIZSGÁLATOK	17
4.1. ANYAG ÉS MÓDSZER	17
4.1.2. Kísérlet lebonyolításának metodikája	17
4.1.3. Akropetális, bazipetális, transzlamináris beállítás	17
4.1.4. Röntgen alapú képkalkotás metodikája	20
4.1.5. Biofoton emisszió alapú képkalkotás metodikája	22
4.1.6. Statisztikai elemzések	24
4.2. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	25
4.2.1. OD szuszpenzió felszívódása, területe	25
4.2.2. A különböző kezelések rovarmortalitást kiváltó időtartamának elemzése	26
4.2.3. Inszekticides kezelés hatására bekövetkező stresszélettani vizsgálatok eredményei	29
4.2.4. A <i>cyazypyr®</i> hatóanyag transzlokációjának megjelenítése röntgen-alapú képkalkotás segítségével	32
4.3. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	33
5. ÖSSZEFOGLALÁS	37
6. FELHASZNÁLT IRODALOM	40
7. TÁBLÁZATOK ÉS ÁBRÁK JEGYZÉKE	46
8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	48

1. BEVEZETÉS

A vadgesztenye-levélaknázómoly a globális éghajlatváltozás Európa kontinentális zónáját érintő rovarinvázió első hírnökének tekinthető. Az ezredfordulót megelőző évtizedekben a Balkánról északi irányú elmozdulásának köszönhetően elérte hazánk területét e faj. Az általa kialakított súlyos kártétel a lombhullató fák közül kiemelten a vadgesztenyét és másodsorban a különböző juharfajokat érinti. E káresemények a vadgesztenye esetében súlyos levélhullással, levélfelület nekrozissal jellemezhetők, mely az akkor vegetációs periódusának csúcsát élő növényegyed asszimilációs tevékenységében meghatározó növényegészségügyi aggályokat vet fel. Az ilyen jellegű kárt elszenvedett növény egyedek tartalék tápanyag beépülésének hiányában pár év alatt ki is pusztulhatnak. E kártevőhöz fűződő mérsékelt növényvédelmi kutatási és gyakorlati aktivitás a tápnövényfaj gazdasági súlyának hiányával magyarázható. Hiszen vizsgálatunk tárgyát is képező, sor,-és díszfaként ismert vadgesztenye mindenekelőtt esztétikai, mint minden évben realizálható gazdasági hasznot hajtó növényként ismert. Az ország több pontján megfigyelhető vadgesztenye fasor azonban nagymértékben emeli az egyes urbanizált területek (mint pl.: kastélyok, parkok, közterületek) vizuális, és kulturális értékét. Összességében úgy gondolom, hogy a kitűzött vizsgálati céljaink sikeres megvalósulása hozzájárulhat e szép és értékes fa növényegészségügyi állapotának megőrzéséhez. Mindamelllett a vizsgált hatóanyag, az alkalmazott kémiai módszer mindenképp eleme lehet a jövőben sor,-és díszfák védelmében alkalmazandó és elvárt fenntartható fejlődés és az integrált növényvédelem (IPM) sikeres megvalósulásának.

Laboratóriumi kísérleteink célja egy mindezidáig megnyugtatóan nem megoldott, rejtett életmódú, adventív faj elleni védekezés sikerességének feltérképezése volt. Egyedülálló módon a hagyományos toxicitási elemzések mellett olyan képalkotó eljárásokra kívántunk e vizsgálat sorozatot alapozni, amelyek roncsolásmentes kimenetekkel járnak hozzá a bemutatott tápnövény-herbivor kapcsolat ismeretanyagához. E tényezők összessége indokolta a vizsgálatok tárgyát képező vadgesztenye-levélaknázómoly kiválasztását. A faj biológiai (multivoltin jelleg) és ökológiai (számossága, Pannon-öko régióban megfigyelt elterjedtsége) sajátosságai kiválóan elemezhető fajt biztosított számunkra. Emellett a kártétel módja (aknakészítése) speciális növényvédelmi technikák kísérleti elemzését tette lehetővé.

Napjaink legperspektivikusabb hatóanyag csoportjának számító diamidok zászlós hajójának tekinthető *cyazypyr*® egyéb, engedélyokiratától eltérő területen történő alkalmazási lehetőségeit is feltérképezni kívántuk.

Egyben egy olyan inszekticid hatóanyagot vontunk vizsgálat alá, mely újszerű, többféle transzlokációs úttal rendelkezik, és még nem vizsgáltak dísz-, sorfák aknázó kártevőivel kapcsolatban.

Végül személyes indíttatás is a motivációk között szerepelt, mivel hatékony megoldást kívántam keresni a nyár közepére természetellenesen (e rovarkártevő tevékenységére visszavezethetően), őszi lombot őrő vadgesztenyefák végül végzetes lombvesztését kiváltó problémára. E tudományos dolgozatban a bemutatott gazda-herbivor kapcsolat fent vázolt növényvédelmi kérdéseire kerestük a választ.

2. CÉLKITŰZÉSEK

Vizsgálatunk célja a vadgesztenye komoly növényegészségügyi problémáját okozó, rejtett életmódú, vadgesztenye-levélaknázómoly ellen akropetális, bazipetális, valamint transzlamináris úton kijuttatott *cyazypyr*® hatóanyag hatékonyságának, idő függvényében mért mortalitásának objektív meghatározása.

Az inszekticides kezeléseket követően a növényi stressz jelenségek biofoton alapú felmérését, valamint a hatóanyag növényben történő transzlokációját, komputer tomográfiai felvételekkel történő vizualizálását is célul tűztük ki. Így e modern képalkotó módszerekre alapozva elsőként kívántuk rögzíteni a vadgesztenye-levélaknázómollyal szemben a *cyazypyr*® hatóanyag alkalmazhatóságát, remélve ezzel egy az integrált növényvédelem (IPM) kritériumainak megfelelő védekezési gyakorlat sikeres megteremtését.

3. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. A vadgesztenye-levélaknázómoly rendszertana, morfológiája

A vadgesztenye-levélaknázómoly az ízeltlábúak törzsébe (Arthropoda), rovarok osztályába (Insecta), lepkék rendjébe (Lepidoptera), keskenyszárnyú molyfélék családjába (Gracillariidae), és a *Cameraria* nembe tartozik. Korábban a sátoraknás molyok (Lithocolletidae) családjába sorolták, azonban a jelenleg érvényben lévő nevezéktan szerint a Lithocolletinae, mint alcsaládnak tekinthető (Bodor, 2011). A faj morfológiai leírását 1986-ban Deschka és Dimič adta meg, tudományos nevét a felfedezésének helye után kapta *Cameraria ochridella* Deschka és Dimič, 1986. Az imágó 6-8 mm szárnyfesztávolságú, fején dús, ecsetszerű kitinszőrzetet viselő molylepke. Elülső szárnyai megnyúltak, keskenyek, a végükön kissé görbültek (Czencz és Bürgés, 1996).



1. ábra. A vadgesztenye-levélaknázómoly nemzője
(forrás: Hellers, 2017)

Színe aranybarna, melyen íves lefutású, fehér csíkok találhatók. Hátsó szárnyai hegyes, ék alakúak, ezüstszürkén pigmentálva. Csápja fonalas (Hellers, 2017). Az 1. ábrán vadgesztenye-levélaknázómoly imágó látható.

Tojásai víztiszták, ovális alakúak, főként a levelek felszínén, illetve a mellékereken ülve találhatók (Girardoz és mtsai, 2007). Lárvája lapos, feje háromszögletes. Testének hátoldalán barna színű, kitinmezők találhatók. Kúp alakú torlábuk, három pár haslábuk, illetve tolólábuk van (Hellers, 2017). A 2. ábra a vadgesztenye-levélaknázómoly lárváját mutatja, mely a levélaknában tartózkodik. Napfény felé fordított állásban történő felvételezéssel.



2. ábra. A vadgesztenye-levélaknázómoly lárvája az aknában (saját felvétel)

Lárvák fejlődése 25 - 35 napig tart, ez alatt 5 lárvastádiumot különböztetünk meg a lárvák fejtok szélessége alapján, L₁-L₅-ig (Skuhrový, 1998; Freise és Heitland, 1999). Az 1. táblázatban Czencz és Bürgés (1996) vizsgálatai szerint megállapított különböző lárvastádiumba tartozó lárvák fejtok szélesség, és hosszúság szerinti megkülönböztetése látható. Az L₅-ös stádiumú, bábkamrát készítő lárva L₄-nél kisebb fejtokszélessége abból adódik, hogy ebben a lárvastádiumban már nem alakul ki a jellegzetes, háromszögletes kitines fejtok (Czencz és Bürgés, 1996).

1. táblázat. A vadgesztenye-levélaknázómoly lárva stádiumai és azok méretei
(forrás: Czencz és Bürgés, 1996)

lárva stádium	fejtok-szélesség (mm)	fejtok hosszúság (mm)
L ₁	0,13-0,15	0,45-0,75
L ₂	0,22-0,26	0,88-1,32
L ₃	0,35-0,39	2,11-2,64
L ₄	0,52-0,57	2,86-4,62
L ₅	0,39-0,44	3,52-4,84

Bábja 3,5-3,8 mm hosszúságú, eleinte világos, majd barnán sötétedő színű. Potrohának végén két nagyobb szarvszerű dorsalis, és két kisebb ventralis dudor található (Freise és Heitland, 1999). Bábja fedett báb. A 3. ábrán a vadgesztenye-levélaknázómoly bábja látható, az aknából történő kibontást követően.

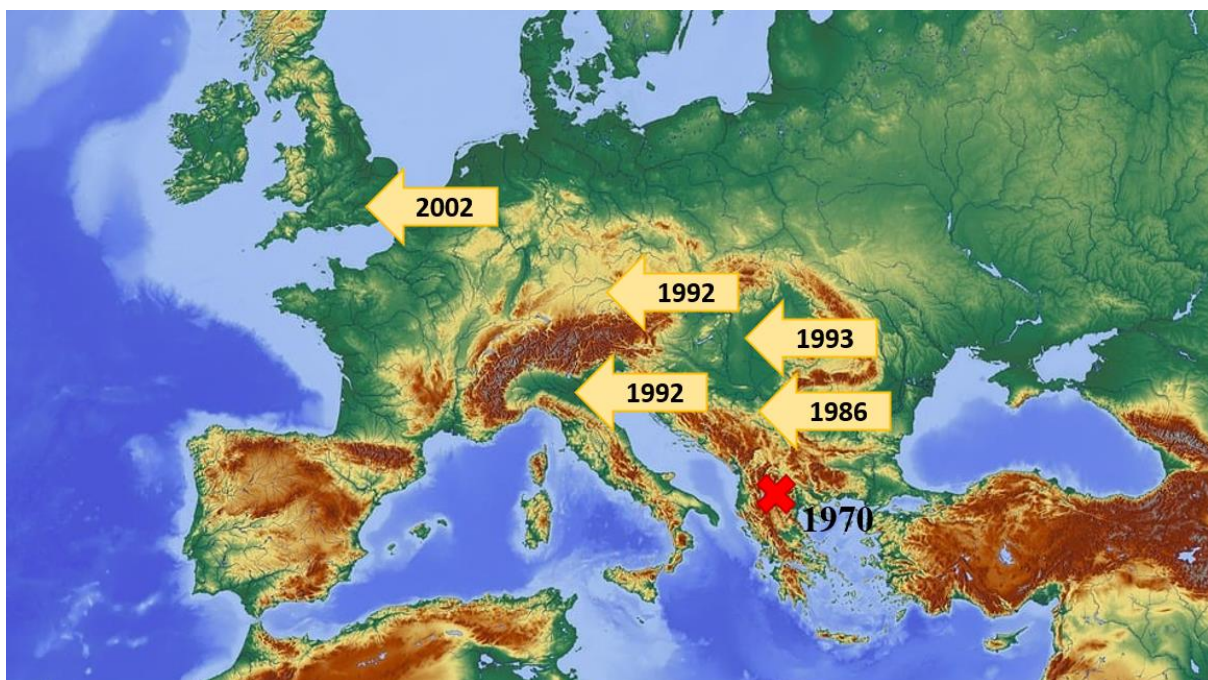


3. ábra. A vadgesztenye-levélaknázómoly bábja (forrás: Bodor, 2011)

3.2. A vadgesztenye-levélaknázómoly elterjedése

Kártételét az 1970-es években írták le elsőként Macedónia területén, ahonnan rohamos gyorsasággal terjedt tovább Európában (Tomiczek és Krehan, 1998). 1986-ban Szerbiában (Dimié és Mihajlovič, 1993), majd 1989-ben Horvátországban is megjelent (Maceljski és Bertić, 1995). Vélhetően emberi közvetítéssel jutott el ebben az évben Ausztria területére is (Puchberger, 1990). 1992-ben Észak-Olaszországban (Salleo és mtsai, 2003) és Dél-Németországban is leírták a faj jelenlétét (Tomiczek és Krehan, 1998). Hazánkban 1993-ban a Dunántúlon, majd 1995-ben Budapesten is megjelent és komoly károkat okozott. E faj elterjedése 1996-ban gyakorlatilag Németország teljes területét, Ausztria, Csehország, Magyarország, és Szlovákia teljes egészét magába foglalta (Szócs, 2018). 2002-ben a vadgesztenye-levélaknázómoly egyedeit, valamint károsításának következményeit Angliában és Dániában is megfigyelték (Szócs, 2018). A 4. ábra a vadgesztenye-levélaknázómoly elterjedési ütemét, terjedésének főbb irányait ábrázolja.

A rendkívüli gyors ütemben történő terjedésének háttérében a kedvező környezeti adottságok mellett az emberi tényezők játszanak döntő szerepet (Kerényiné, 1997). Mivel az egyes országok kötött megnövekedett (kereskedelmi, turisztikai célzattal történő) forgalom a 80'-90'-es évek óta szárazföldön, légi,-vízi úton történő közlekedéssel, teret nyitott a kártevők, kórokozók természetes terjedési ütemének felgyorsításához (Kerényiné, 1997). A vadgesztenye-levélaknázómoly rohamos, és intenzív ütemben történő elterjedése is ezt bizonyítja, mivel jelenlegi megjelenési területének döntő többsége lakott területeken, parkokban, fasorokban tapasztalható.



4. ábra. Vadgesztenye-levélaknázómoly megjelenésének időpontjai különböző területeken
(forrás: Hans, 2016 térképe nyomán, saját szerkesztés)

3.3. *Biológiája és kártétele*

Általában áprilistól május végig számíthatunk a kártevő tömeges rajzására, ha a napi átlaghőmérséklet eléri a 10 C°-ot (Szabóky és Vas, 1997). Az éghajlati viszonyokat figyelembe véve évente 2-4 nemzedéke fejlődik ki, az egyes nemzedékek rajzásának csúcsa különböző időpontokban történik, mely szerint május dekádján, június közepén, és augusztus elején lehet magasszintű az észlelés (Kerényiné, 1997). A bábok a lehullott növényi maradványokban telelnek. Czencz és Bürgés (1996) megállapításai szerint 100 avarlevélre vetítve tavasszal átlagosan 96,7 imágó jött elő. Párosodásukat követően a nőtény imágó 180db tojást helyez a levél színére (Girardoz és mtsai, 2007). A peteállapot 2-3 hétig tart, míg a lárvák kifejlődéséhez nyáron 3, ősszel 5 hétre van szükség. A rovar által készített aknák, melyekben a lárvák fejlődnek, főként két oldalér között helyezkednek el. Levélként mintegy 30 darab lárvá fejlődhet ki. A bábozódás az aknákon belül, selymes kokonban, burokokban történik. A bábstádium ideje 2 hét, az áttelelő generáció esetében 6-7 hónap (Czencz és Bürgés, 1996).

Elsősorban vadgesztenye (*Aesculus hippocastanum* L.) a tápnövénye, mely kedvelt dísznövény városok, parkok területén. Korábban monofág fajnak tartották, azonban hazánkban a hegyi juharon (*Acer pseudoplatanus* L.) is megjelentek az aknái (Bodor, 2011). Bodor (2011) megállapításai szerint, abban az esetben, amikor a vadgesztenyefák szomszédságában hegyi juharfák álltak, a nőtények nagyszámú tojást raktak a juharra is. Azonban a lárvák nagy része elpusztult már az első két stádiumban. Kártételének következményeként a vadgesztenye levéllemezén szétterülő és száradó levélaknák jelennek meg, melyben a rovar lárvái fejlődnek. Imágóvá válásukat követően a sérült levelek lehullanak a fáról, így egy tömeges felszaporodást követően teljes lombveszteség mutatkozhat nyár dekádjára (Salleo és mtsai, 2003). A károsított levelek asszimilációs felülete a lárvák fejlődése, táplálkozása következtében csökken, továbbá egészségi állapotuk is romlik. Kártételét fokozza az a növényi stresszjelenség, amelyet a guignardiás levélfoltosság [*Guignardia aesculi* (Peck) Stewart] egyidejű fellépése vált ki a vadgesztenye leveleken (Nowinszky és Puskás, 2014).

3.4. *A vadgesztenye-levélaknázómoly elleni gyakorlati védekezés lehetőségei*

Napjainkban alapvetően három védekezési eljárás meghatározó, mely szerint lehet kémiai, biológiai, és mechanikai úton történő védekezési módszer. A mechanikai védekezési eljárás gyakorlati lényege, hogy az ősz folyamán lehullott lombozat megsemmisítésre kerüljön, melynek hatására a következő vegetációs periódusban a növény fertőzöttségi szintje jóval alacsonyabb lesz (Kerényiné, 1997). Az eljárás kialakítását azon tényre alapozva dolgozták ki,

miszerint a vadgesztenye-levélnázómoly egyedeinek bábállapotban történő telelése, a lehullott levelekben történik. Czencz és Bürgés (1996) vizsgálataival megállapításra került, hogy adott évben 100 darab avarra hullott levélben átlagosan 163,7 darab bábkamra volt, melynek 72,1%-ában mutatkoztak egészségesnek a bábok. E vizsgálati tény megfelelően alátámasztja azt a felvetést, mely szerint, ha a lehullott leveleket összegyűjtés után megsemmisítik a következő évben kikelő nemzedék, és az általa okozott fertőzöttségi szint jelentősen mérsékelhető. Azonban a levelek gyűjtésével és megsemmisítésével nem csupán az említett kártevőt pusztítjuk el, hanem esetenként hasznos szervezeteket, valamint a vadgesztenye-levélnázómoly parazitoidjait (pl. *Chrysocharis nephereus* Walker, és *Chrysocharis pentheus* Walker) is. Tény azonban, hogy e kártevő ellen a természetes ellenségek alkalmazásának nincs gyakorlati jelentősége, ugyanis a kártevő és az őshonos parazitoid darazsak életformája nem szinkronizált. Jelen álláspont szerint a madarak nagyobb jelentőségű ellenségei ennek az adventív fajnak, mint az ízeltlábú ragadozók (Vuts és mtsai, 2013).

A faj szex-feromon kémiai szerkezetének meghatározásával lehetőség nyílt feromoncsapdák alkalmazására, mely a biológiai védekezés alapját képezi (Szócs és mtsai, 2011). A hatékony feromoncsapdák kialakításához ismerni kell a fajra jellemző, napszaknak megfelelő repülési ritmust. A vadgesztenye-levélnázómoly hím ivarú egyedei döntően a dél előtti órákban, tehát 6-és 13 óra között repülnek, míg a nőstény egyedek főként a délutáni órákban repkednek a fák körül (Vuts és mtsai, 2013). A feromoncsapdák alkalmazásával egyúttal lehetőség nyílik előre jelezni az kémiai kezelések szükségességének idejét is. Ugyanis, ha az első nemzedék tömeges rajzásának kezdetén hajtjuk végre a védekezést, akkor nagy valószínűséggel egyetlen kezeléssel egész évre megakadályozható a súlyos kár kialakulása (Szócs és mtsai, 2011). A rajzás fölfelé ívelő szakaszában már megindul a tömeges tojásrakás, melynek következtében a védekezés hatásossága az idő előrehaladtával rohamosan csökken (Vuts és mtsai, 2013).

A különböző készítmények kijuttatásához a fák mérete miatt a hagyományos növényvédőszer kijuttató berendezések nem megfelelőek. E helyett szabályozott cseppméretű permetezési technológia alkalmazása szükséges (Bürgés és Szidonya, 2000), amely képes a növényvédőszert a koronaszintbe is eljuttatni. A kémiai védekezés másik lehetséges és alkalmazandó módszerének számít a fák injektálása.

3.5. A szisztémikus növényvédőszer szerepe az aknázó rovarok visszaszorításában

3.5.1. Avermektinek, milbemicinek

A növényvédelemben elsősorban az e hatóanyagcsoport tagjai, mint rovar-és atkaölő szerek ismertek. Emellett készítményeik széles spektrumban, hatásosan alkalmazható növényi, állati és humán vonatkozású kártevők,- valamint parazitákkal szemben. Hatásos vegyületek fonálférgekre, atkákra, lepkékre, de akár szipókások ellen is kiemelkedő hatékonyságot képesek biztosítani (Keszthelyi, 2019). Gyomor mérgek közé tartozó vegyületek, azonban kontakthatás is jellemző rájuk. A növényben történő szisztémikus tulajdonságok korlátozott, azonban jó transzlamináris képességgel rendelkeznek. E tulajdonságai miatt mélyhatású, lokoszisztémikus vegyületként a levél fonákán is képes elpusztítani a kártevőket. Legismertebb hatóanyaguk az *abamektin*, mely 1985 óta van forgalomban (Keszthelyi, 2019). Hatáskifejtésük során blokkolják az ingerület átadását, az elektromos vezetőképesség blokkolásán keresztül a terminális idegsejt-végződés és az izmok motoros idegvégződéseinek találkozásánál (Fisher és Mrozik, 1989). A glutamát neurotransmitter allosztérikus kötődési helyéhez kötődve a klorid-ioncsatornák nyitását váltják ki, valamint megakadályozzák a glutamát kötődését, miközben a sejt citoplazmájába klorid ionok áramlanak be, ennek hatására még negatívabb lesz a sejt belseje, és hiperpolarizáció következik be (Fisher és Mrozik, 1989). A membrán hiperpolarizációja a gerinctelen szervezetekben bénuláshoz vezet. A glutamát-függő klorid – ioncsatornák csak a gerinctelen rendszertani kategóriáknál találhatók meg, tehát melegvérűekre, emlősökre egyáltalán nincs hatással (Keszthelyi, 2019). Az *abamektin* hatóanyag felhasználható fába történő injektálással. 1999-ben Keszthelyen végzett vizsgálati eredmények szerint, a kezelések az első nemzedék lárváira nem gyakoroltak hatást, viszont a második nemzedék lárváinak 75%-át L₂-L₃ lárvastádiumban, míg a harmadik nemzedék lárváit teljes hatékonysággal elpusztították (Bürgés és Szidonya, 2000). A feromoncsapdák alkalmazása és használata ajánlott az injektálás megfelelő időzítése érdekében. Lassú transzlokációja következtében, késői kijuttatás esetén (pl. nyár közepe) nem képes időben eljutni a célszervezethez. Vizsgálatok bizonyítják, hogy a késői kijuttatás esetén, a növényvédőszer hatáskifejtésének idejére az asszimilációs terület 50%-a is károsodhat (Nowinszky és Puskás, 2014). Injektálás célzattal történő kijuttatás legmegfelelőbb időpontja tehát április végére, illetve rajzás csúcsára tehető.

3.6. Diamidok, mint perspektivikus kémiai eszközök a védekezésben

A vegyületcsoport rovarok halandóságát kiváltó tulajdonságát elsőként a japán Nihon Nohayaku növényvédőszer kutató és fejlesztő cég írta le 2007-ben, a *flubendiamid* hatóanyag rovarölő hatásának bizonyításán keresztül (Keszthelyi, 2019). Az elsődleges célkártevők, zöldség, gyümölcs, valamint szójabab kultúrákban károsító lepke hernyók voltak (Dong és mtsai, 2017). E hatóanyagcsoport felhasználásának fellendülését azonban a rokonvegyületek felfedezése váltotta ki. Ugyanis az FMC által bevezetett *rynaxypyr*® (*klórantraniliprol*) és *cyazypyr*® (*ciántraniliprol*) hatóanyagok jelentették a fellendítést és áttörést a fenntartható szemléletű rovarölő szeres kezelések vonatkozásában. A diamidok sikerességét szemlélteti, hogy rövid idő elteltével a világ egyik legnagyobb mennyiségben eladott inszekticid hatóanyagcsoportjává nőttek ki magukat (Keszthelyi, 2019). Az antranilsav-származék diamid hatóanyagok az egyik legkorszerűbb, specifikus célhelyi aktivitással rendelkező rovarölő készítmények. Szisztémikus tulajdonságúak, széles kártevőspektrummal rendelkeznek, és emellett kedvező toxikológiai profillal bíró vegyületek (Jones és mtsai, 2017). Rianodin receptorok (RyRs) receptorok aktiválásán keresztül fejtik ki hatásukat. A RyRs nevét *Ryania speciosa* (M. Vahl) növényről kapta, mely szöveteiben speciálisan termelt enzimek rovarölő hatással rendelkeznek (Lahm és mtsai, 2009). A *Ryania* kivonatok inszekticid tulajdonságát lepkék vonatkozásában már 1946-ban megfigyelték (Jeanguenat, 2013).

3.6.1. Rynaxypyr®, klórantraniliprol

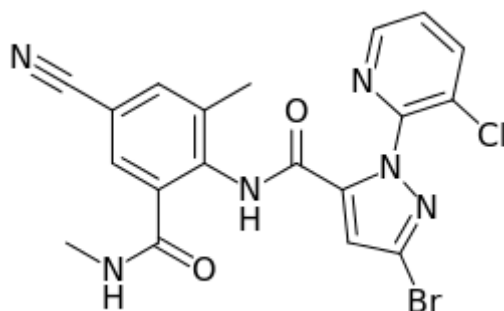
A *rynaxypyr*® volt az első diamidok csoportjában lévő, kereskedelmi forgalomban is kapható hatóanyag (Wang és mtsai, 2019). Kiemelkedő hatékonysággal rendelkezik számos bogár,- illetve lepke fajjal szemben (Keszthelyi, 2019), emellett biztosan alkalmazható más inszekticid hatóanyagok esetében kialakult rezisztens populációk leküzdésére (Jones és mtsai, 2017). Szinte az összes gazdaságilag fontosnak vélt Lepidoptera, Diptera, Hemiptera ízeltlábú kártevő vonatkozásában, kiemelkedő hatékonysággal rendelkezik kertészeti és szántóföldi kultúrákban egyaránt. Transzlaminaritás azonban nem jellemzi (Keszthelyi, 2019). Keszthelyi és munkatársai (2016) kukorica állományában végzett több éves vizsgálatai szerint, már alacsony dózisban felhasználva is hatékonyságot mutat kukoricamoly (*Ostrinia nubilalis* Hbn., 1796) és gyapottok-bagolylepke (*Helicoverpa armigera* Hbn., 1805) lárváival szemben. Jelentős rovarölő tulajdonsága mellett elenyésző jelentőséggel bír a célszervezetnek nem minősülő ízeltlábúkkal szemben, mindemellett emlősökre és madarakra gyakorolt toxicitása rendkívül

alacsony. (Wang és mtsai, 2019). Megbízhatósága és alacsony toxicitási mutatói miatt jól beilleszthető az integrált növényvédelem (IPM) ismérveihez (Keszthelyi és mtsai, 2016).

3.6.2. *Cyazypyr®*, *ciántraniliprol*

A *cyazypyr®* hatóanyag ideg- és izomműködést befolyásoló zoocid hatóanyagok közé tartozik (Lahm és mtsai, 2009; Jeanguenat, 2013). Kiváló hatékonysággal rendelkezik rágó (bogár,-és lepke lárvák) valamint a szipókás kártevők (tripszek, levéltetvek) ellen egyaránt. A növénybe felszívódó, szisztémikus jellegű vegyület, melyet kiváló transzlokációs képesség, és egyben jó transzlaminaritás is jellemez (Keszthelyi, 2019). Növénybe felszívódva hosszan képes megőrizni biológiai aktivitását, mely által hosszú hatásspektrumot képes biztosítani. Növényen belüli szállítódása mind akropetális, bazipetális, és transzlamináris úton megvalósul (Pes és mtsai, 2020). E többféle módon létrejövő transzlokációnak köszönhetően hatékonyan képes eljutni a célszervezethez. A *cyazypyr®* kijuttatást követően szinte azonnal megakadályozza a kárképek kifejlődését (Pes és mtsai, 2020). Kedvező ökotoxikológiai tulajdonsággal rendelkezik, kíméli a célszervezetnek nem minősülő ízeltlábú, hasznos élő szervezeteket, pollinátorokat. Csekély mértékű toxicitást mutat gerincesekre, földigilisztákra, valamint mikroorganizmusokra. Környezetbe kijuttatva a növényi szöveteken kívül gyorsan bomlik másodlagos anyagcseretermék,-és hatóanyag felhalmozódás nélkül (Tiwari és mtsai, 2013). E hatóanyag kiterjesztése az egyéb szántóföldi, kertészeti és erdészeti állományokban áttörést jelenthet jelen korunk ízeltlábú kártevői ellen végzett, fenntartható szemléletű védekezésében.

A *cyazypyr®* hatóanyag egyéb diamidokhoz képest jobb transzlokációs tulajdonsága miatt, az edénynyalábokban jobban szállítódik, mint pl. a *rynaxypyr®*. Ennél fogva szisztémikus vetőmagcsávázó szerként kiváló hatékonyságot mutat fiatal kártevőkkel szemben (Keszthelyi, 2019). Molnár és munkatársai (2015) szabadföldi vizsgálatai során megállapították, hogy a kis káposztalégy (*Delia radicum* L.) általi gyökérvégkártétel lényegesen alacsonyabb volt e hatóanyaggal történő vetőmagcsávázás következtében a kezeltlen, kontroll táblákhoz képest. Emellett a *cyazypyr®* hatóanyagot magasabb koncentrációban alkalmazva jó védelmet nyújtott a nagy repcebolha (*Psylliodes chrysocephala* L.) és a keresztesek földibolhái (*Phyllotreta* spp.) ellen egyaránt. E hatóanyag hatásmechanizmusa révén, fontos eszközei közé tartozik a rezisztens biotípusok kialakulásának megelőzése,- valamint a már kialakult egyéb hatóanyaggal szembeni rezisztencia leküzdésében (Keszthelyi, 2019). Az 5. ábra jellemzi a tárgyalt inszekticid szerkezeti ábrázolását.

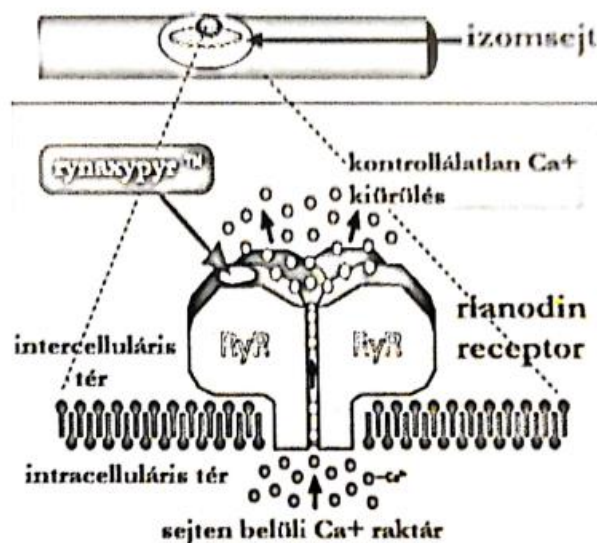


5. ábra. A cyazypyr® (ciantraniliprol) szerkezeti képlete
(forrás: Pubmed, 2022)

Hazánkban jelenleg a Benevia®, az Exirel® és a Verimark® (eseti engedéllyel) márkanevű készítmények rendelkeznek hatályban lévő, inszekticid engedélykivarratall. Emellett a Lumiposa® ismert a növényvédőszer szortimentben, mint csávázószer. Külföldön e hatóanyaggal, az Mainspring GNL®, a Pestrong® és a Spinner® terméknévvvel ellátott készítményekben találkozhatunk még (Keszthelyi, 2019).

3.6.3. Diamidok hatásmechanizmusa

Az antranilsav-származék diamidok aktiválják a rovarok rianodin receptorait, melyek fő szerepet töltenek be az izmok működésében. Mindazonáltal az izmok összehúzódásához szabályozott kalcium kibocsátásra van szükség a sejten belüli térből a sejt citoplazmájába (Keszthelyi, 2019). A diamid molekulák hozzákötődnek a rianodin receptorokhoz, mely hatására szabályozatlan kalcium kibocsátást eredményeznek (Lahm és mtsai, 2009). Így meggáltolja az izmok összehúzódását, és egyúttal leállítja a rovarok mozgását, táplálkozását (Jones és mtsai, 2017). Ennek köszönhetően szinte azonnal megakadályozza a kártételt, és egyúttal a szipókás kártevők által vektorizált növényi vírusok átvitele is ellehetetlenül (Keszthelyi, 2019). E hatóanyagcsoportba tartozó vegyületek elsősorban lárva alakok ellen hatásosak, de emellett tojásölő hatással is rendelkeznek (Hardke és mtsai, 2011; Tiwari és Stelinski, 2013), viszont báb formában lévő rovarok ellen hatástalanok (Mandal 2012; Dong és mtsai, 2017). Hatékonyságának egyértelmű feltétele a célzott, előrejelzésre alapozott kijuttatás, az ingerált növényvédelemnek megfelelően, mellyel biztosítható, hogy a kártevő érzékeny megjelenési formája (lárva, imágó) találkozzon a biológiailag aktív hatóanyaggal (Keszthelyi, 2019). A 6. ábra szemlélteti az ideg- és izomműködést befolyásoló inszekticid készítmények hatásmechanizmusát a rynaxypyr® példáján keresztül.



6. ábra. A diamidok hatásmechanizmusa a ryanaxypyr® példáján keresztül
(forrás: DuPont 2016)

3.6.4. A cyazypyr® hatóanyaghoz hasonló transzlokációjú vegyületek

Tetronik és tetramik sav származékok közé tartozó *spirotetramát* az acetil-Koa karboxiláz enzim gátlásán keresztül fejti ki hatását, mely zsírsav bioszintézis gátlásban érvényesül (Keszthelyi, 2019). Különösen a rovarok korai fejlődési stádiumában hatékonyak. Jellemző tünetként érvényesül, hogy a lárvák nem képesek mozogni a vedlés után, melyet gyors kiszáradás követ (Nauen és mtsai, 2008). A *spirotetramát* hasonlóan a *cyazypyr®*-hoz felszívódó tulajdonságú vegyület. Emellett kétirányú, akropetális és bazipetális aktivitással rendelkezik. Ennél fogva kijuttatást követően az egyirányban felszívódó inszekticidekkel ellentétben, e hatóanyag a fejlődő leveleket és gyökereket is egyaránt képes hatékonyan megvédeni az ízeltlábú károsítóktól (Keszthelyi, 2019). Így kiválóan alkalmazható a rejtett életmódú kártevőkkel szemben. Széles hatásspektrumú és hosszú hatástartamú készítmény (Nauen és mtsai, 2008). Lárva elleni hatása jóval kifejezettebb, határozottabb és rövidebb idő alatt érvényesül, mint az imágók esetében (Keszthelyi, 2019). Hasznos élő szervezetekkel szembeni szelektivitása lehetővé teszi, hogy a biológiai növényvédelmi szemlélettel és megoldásokkal kombináltan is felhasználható legyen (Keszthelyi, 2019).

3.7. Képkalkotó eljárások hatékonysága az inszekticides kezelések és a rejtett életmódú kártevők vonatkozásában

Számos olyan rejtett életmódú kártevő létezik, melyek szabad szemmel észrevehetetlenül, a növényi szövetekben, a külvilágtól elzárva végzik élettevékenységüket, miközben komoly,-és súlyos károsítást végeznek termesztett haszon-, kultúr-, és dísznövényeinken. Különböző rendszertani kategóriákba tartozó szántóföldi, kertészeti, és erdészeti kártevő rendelkezik e tulajdonsággal. Ilyen rejtett életmódú kártevők közé tartozik például a kukoricamoly (*Ostrinia nubilalis*), az almamoly (*Cydia pomonella* L.), a repceszár-ormányos (*Ceutorhynchus pallidactylus* Marsham, 1802) (Keszthelyi és mtsai, 2020b), vagy akár a vizsgálatunk tárgyát is képező vadgesztenye-levélaknázómoly. Az ízeltlábú élőlények szempontjából a rejtett életmód számos előnnyel jár. Egyrészt védelmet biztosít számukra a különféle ragadozókkal, parazitoidokkal szemben, másrészt fejlődési stádiumuk teljessége alatt elegendő táplálék áll rendelkezésükre, harmadrészt a fajra jellemző, megfelelő abiotikus körülmények biztosítottak, mint a páratartalom, hőmérséklet, és pH (Keszthelyi és mtsai, 2020a). Mivel a rejtett életmódú kártevők a növényi szöveteken belül fejlődnek, élettevékenységükkel a növény számára különféle biológiai zavarokat okoznak. A szárban fejlődő rovarok zavarják a növényi transzspirációt, a gyökérben élő fajok a víz,-és ásványianyag szállításának zavarását, a magokban fejlődő fajok pedig károsítják az endospermiumot, melynek hatására embriópusztulást idéznek elő (Porca és mtsai, 2003).

A modern képkalkotó technológiák (Röntgen képkalkotás, komputer tomográfia, biofoton emisszió detektálása) felhasználásával, roncsolás nélkül bizonyosodhatunk meg a vizsgálni kívánt faj élettevékenységéről, illetve az ezzel együtt járó stressz élettani következményekről. Ezen vizuális technológiai módszerek segítségével hozzájárulhatunk az integrált növényvédelem által támasztott követelmények és kritériumok megvalósításához a gyakorlati növényvédelemben (Keszthelyi és mtsai, 2020a).

3.7.1. Röntgen képkalkotás

A röntgen képkalkotás az orvosi, gyógyászati vonatkozásban a leggyakrabban használt képkalkotó technika, amely kétdimenziós ábrázolást biztosít a vizsgálni kívánt szervezetről, tárgyról. A vizualizációt röntgensugarak biztosítják, melyet a készülék röntgenforrása bocsát ki, és a röntgendetektor pedig detektálja a beérkező információt (Keszthelyi és mtsai, 2020b). A felvétel rövid időtartamú, általában fél másodpercnél rövidebb ideig tart (Bushberg, 2002). A mintába jutó röntgensugarak homogén eloszlását befolyásolja, hogy a szóródás és az abszorpció

milyen mértékben csillapítja a sugarakat. A csillapítás mértéke függ a vizsgálat tárgyától, mivel a szövetek úgy, mint csont-, lágy szövet tulajdonságai egymástól teljesen eltérőek, amely a mintából származó sugárzás heterogén eloszlását eredményezi (Goldman, 2008). A radiográfiai kép ezen röntgensugárzás által kiváltott impulzusok detektálásának vizualizációja. A röntgenvizsgálatok során használt detektor lehet fényképeszeti, vagy elektronikus detektorrendszer, vagyis digitális radiográfia (Bushberg, 2002).

3.7.2. Biofoton kibocsátásra alapozott képalkotás

Az élőlényekben számos fonton kibocsátáshoz vezető kémiai reakció megy végbe, amelyeket összefoglaló néven biolumineszcenciának nevezünk (Radotic és mtsai, 1998). Számos luciferáz,-és luciferin enzim kofaktorként ionokat, ATP-t, valamint oxigént igényel. A biolumineszcencia széles körben fordul elő tengeri gerinctelenekben, gerincesekben, illetve néhány gomba-, és mikroorganizmus fajban. Szárazföldi állatok esetében a szentjánosbogaraknál (Lampirida) figyelhető meg e jelenség (Hideg és Inaba, 1991). Általánosságban elmondható, hogy a biolumineszcencia oxidációs folyamat, melyben specifikus enzimek pl. luciferáz, luminol, difenil-oxalát (Lente, 2018) és fénykibocsátó molekulák pl. luciferin, furamazine, coelenterazine (Mezzanotte és mtsai, 2017) vesznek részt (Keszthelyi és mtsai, 2020a). Kemilumineszcenciának nevezzük a biolumineszcencia mellett azt a másik típusú fény kibocsátást, mely szintén kimutatható az élő szervezetekben, illetve a növényekben is. Intenzitása nagyságrendekkel kisebb a biolumineszcenciánál. A spontán kemilumineszcencia nem igényel semmilyen külső gerjesztést, vagy kemilumineszcensz készítmények felhasználását (Lukács és mtsai, 2022). Ultragyenge intenzitásuk miatt azonban mind a biolumineszcencia, mind a kemilumineszcencia szabad szemmel láthatatlan (Wilson és Hastings, 1998). Azonban megfelelő érzékenységgel ellátott kamera által érzékelhető (Jócsák és mtsai, 2020).

A növények a II. fotorendszerben (photosystem II - PSII) az elektrontranszport láncában fel nem használt felesleges energiát a hőkibocsátás mellett fotonkibocsátás formájában is leadhatják (Lukács és mtsai, 2022). Amennyiben a növény sötétadaptációs körülmények közé kerül, megszűnik a fotonok általi gerjesztés és a fotoszintetikus elektrontranszport lánc elektronjainak egy része visszaáramlik a reakcióközpontba, ahol a klorofill molekulák gerjesztett állapotba kerülnek, majd fotonokat bocsátanak ki a vörös hullámhossz tartományban. E jelenséget késleltetett fluoreszcenciának (delayed fluorescence - DF) nevezzük, amely a fotoszintetikus apparátus állapotát tükrözi. A DF csupán a fotoszintetikus szövetekben

fordul elő ezredmásodperces időtartamtól egészen néhány percig terjedő lecsengési idővel (Gerhardt és Bodemer, 2000). Vizsgálatok bizonyítják továbbá, hogy a növényi foton emisszió egy része az oxidatív folyamatokhoz köthető; főként a lipioxidációs mechanizmusok eredményeként reaktív oxigén formák termelődéséből és egymásba történő átalakulásából származik, amely során szintén spontán fotonkibocsátás történik (Duran és Cadenas, 1987). Ennél fogva a késleltetett fluoreszcencia mértéke és lecsengésének dinamikája, illetve az oxidatív folyamatok során bekövetkező biofoton kibocsátás egyaránt alkalmas növényi stresszreakciók felmérése (Lukács és mtsai, 2022).

A rejtett életmódú ízeltlábú kártevők élettevékenysége, és egyúttal károsítása által a növényben okozott stresszjelenség spontán biolumineszcencia formájában is megnyilvánul (Lukács és mtsai, 2022; Pónya és mtsai, 2022), melyet az erre alkalmas berendezés képes detektálni. Mivel a spontán növényi biolumineszcencia intenzitása rendkívül alacsony, így kimutatása speciális és érzékeny műszerezettséget igényel. Általában fénysokszorozó csöveket és fotonszámláló eszközöket alkalmaznak erre a célra (Kobayashi és mtsai, 2014).

A töltéscsatolt eszközök mellett komplementer fém-oxid félvezető érzékelőket is használnak. Ezeknek a technológiáknak közös jellemzője, hogy a fotonokat egy érzékelő rögzíti, amely a detektort érő fény hullámhosszúságának megfelelő töltést vesz fel. Majd e jeleket felerősítik, szűrik, továbbítják, illetve javítják (Kobayashi és mtsai, 2014). A folyamat végén pedig kép készül a mérésről, melyet az erre alkalmas szoftver segítségével kerül kiértékelésre. A spontán lumineszcencia detektálása lehetővé teszi, hogy roncsolásmentes módszerrel állapítsuk meg a rejtett életmódú, ízeltlábú kártevők által kiváltott növényi, stresszélettani, genetikai elváltozásokat (Keszthelyi és mtsai, 2020a).

4. SAJÁT VIZSGÁLATOK

4.1. ANYAG ÉS MÓDSZER

A különböző úton kijuttatott *cyazypyr*® hatóanyag mortalitást kiváltó hatásának vizsgálatához peszticid mentes környezetből gyűjtöttünk be vadgesztenye-levélaknázómoly által károsított leveleket. A gyűjtés 2022. szeptember elején történt Karád térségében (Magyarország, Somogy megye, GPS koordináták: 46°69'07.60" N 17°84'13.60" E). Olyan sérült levelek képezték vizsgálatunk tárgyát, amelyek belsejében élő lárvát találtunk. A károsított, jól látható levélaknát tartalmazó leveleket a fény felé fordítva bizonyosodtunk meg a lárvák életképességéről mozgásuk, helyzetváltoztatásuk, tapasztalt vagilitásuk-szeszilitásuk alapján. A 7. ábra mutatja a lárvák életképességét.



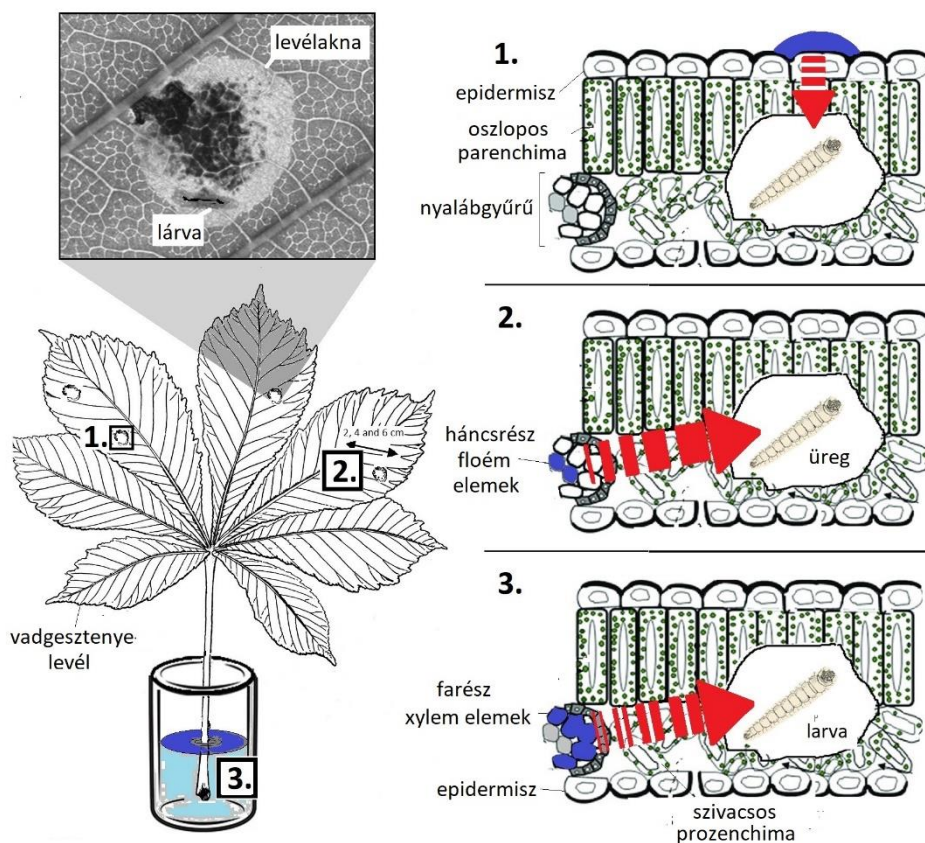
7. ábra. Vadgesztenye-levélaknázómoly lárvá életképesség vizsgálatának objektív meghatározása (saját felvétel)

4.1.2. Kísérlet lebonyolításának metodikája

4.1.3. Akropetális, bazipetális, transzlamináris beállítás

Az összegyűjtött leveleket vízzel átitatott itatópapír közé helyeztük Petricsészékbe, majd a mintákat azonnal kísérleti kezelésnek vetettük alá. A *cyazypyr*® hatóanyagot [ciántraniliprol 100 OD] (olaj diszperzió)] három különböző koncentrációban teszteltük: 5,10 és 30 ml a.i. ha⁻¹.

Mindegyik koncentrációt vizsgáltuk transzlaminárisan (közvetlenül az aknában lévő lárvára cseppentve), bazipetálisan (a levél felületére cseppentve aknától meghatározott: 2, 4 és 6 cm távolságra), és akropetálisan (levélnyéllel az előkészített különböző töménységű oldatba helyeztük 3 órára) (8.ábra). A cseppek méretét e célnak megfelelő, laboratóriumi pipettával állítottuk be és egalizáltuk.



8. ábra. *Cyazypyr*® különböző alkalmazási módjainak vázlata vadgesztenye-levélaknázmollyal szemben Ustin és Jacquemound 2000 munkája alapján

1. transzlamináris, 2. bazipeális, 3. akropetális szállítódási mód. Kék: inszekticid szuszpenziója, Piros: inszekticid transzlokáció helye, Piros nyilak: a transzlokáció iránya (saját illusztráció)

A kezeletlen kontrollok mellett a különböző alkalmazási módok mindegyikét, mind a 3 hatóanyagkoncentrációban, hat ismétléssel állítottuk be. Ezt követően a kiváltott mortalitást 10 órán keresztül óránként, majd az inszekticid kezelés után 2 napon keresztül 3 óránként értékeltük. Ahogy azt a 9. ábra mutatja, a mortalitást levélaknák boncolásával, és lárva mozgásképtelenségével, teljes szesszilitás elvesztésével határoztuk meg.



9. ábra. Vadgesztenye-levélaknázómoly lárvá mortalitás meghatározás (saját felvétel)

A kísérleti kiértékelések között a mintákat inkubátorba helyeztük. Az inkubátorban beállított feltételek (25°C hőmérséklet, 60%-os relatív páratartalom és 15L:9D fotoperiódus) biztosították az arra időszakra Magyarországra jellemző szezonális környezeti viszonyokat. Ezzel párhuzamosan laboratóriumi körülmények között mértük a kezelt és a kezeletlen minták biofoton emisszióját az említett expozíciós idők alatt a növényi stresszjelenségek meghatározásához. Végül egy héttel e kezeléseket követően a különböző módon alkalmazott cyazypyr® hatóanyag koncentrációk transzlokációját a levélben vizuálisan is leképeztük. Kontrasztanyag [Iomeron 350 mg l ml⁻¹, *jomeprol* hatóanyagot tartalmazó oldat] hozzáadásával Röntgen felvételeket készítettünk további új, egészséges levelek bevonásával. A 10. ábra mutatja a transzlamináris és bazipetális kísérleti beállítást laboratóriumi körülmények között.



10. ábra. Transzlamináris,-és bazipetális kísérleti beállítás (saját felvétel)

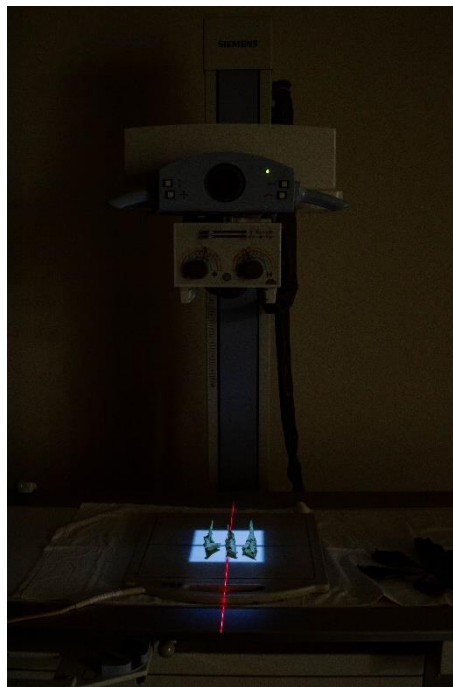
4.1.4. Röntgen alapú képalkotás metodikája

Az aknával károsított levelek mellett ép, egészséges leveleket is bevontunk a Röntgen alapú képalkotáshoz. Az objektív transzlokáció vizualizálása érdekében elsőként a kontrasztanyaggal kapcsolatban végeztünk méréseket, különböző töménységekben. Eszerint: kontroll, 25%, 50%, 100% Iomeron 350 mg l ml⁻¹. Előzetes vizsgálataink rámutattak arra, hogy a felvétel számára az 50%-os kontrasztanyag koncentráció a legoptimálisabb választás, mivel a megfelelő denzitást hozzárendelve, legjobban követhető az akropetális haladás. Ezt követően kevertük a kontrasztanyaghoz a cyazypyr® -hatóanyagot, majd a beállítást követően fél órával felvételeket készítettünk.

A Röntgen felvételeket egy Siemens Multix Select DR digitális Röntgen (Siemens Health Care, Erlangen, Németország) berendezéssel készítettük. Az összes felvétel azonos beállítással készült: 50 kV csőfeszültség, 4 ezredmásodperces expozíciós idő, 341 mA röntgenső áram. Az elkészült képek pixelmérete 2540×2315 mm, melyek felbontása 0,139×0,139 mm volt. A levelek vizsgálatához különböző koncentrációjú Iomeron 350 mg l ml⁻¹ (100ml-ben 35g jódot 71,44g jomeprolt tartalmaz) oldatot használtunk. A vizsgálatok közben a detektor a vizsgáló asztalon vízszintesen feküdt, erre helyeztük el vékony nedvszívó papírlapon a mintát (11. ábra). A sugárforrást függőlegesen a detektortól 1 méter távolságra állítottuk be. A vizsgálatot szakképzett személyzet végezte. A kollimátort a legnagyobb levél méretéhez igazítottuk (12. ábra).



11. ábra. Siemens Multix Select DR digitális Röntgen berendezés (saját felvétel)



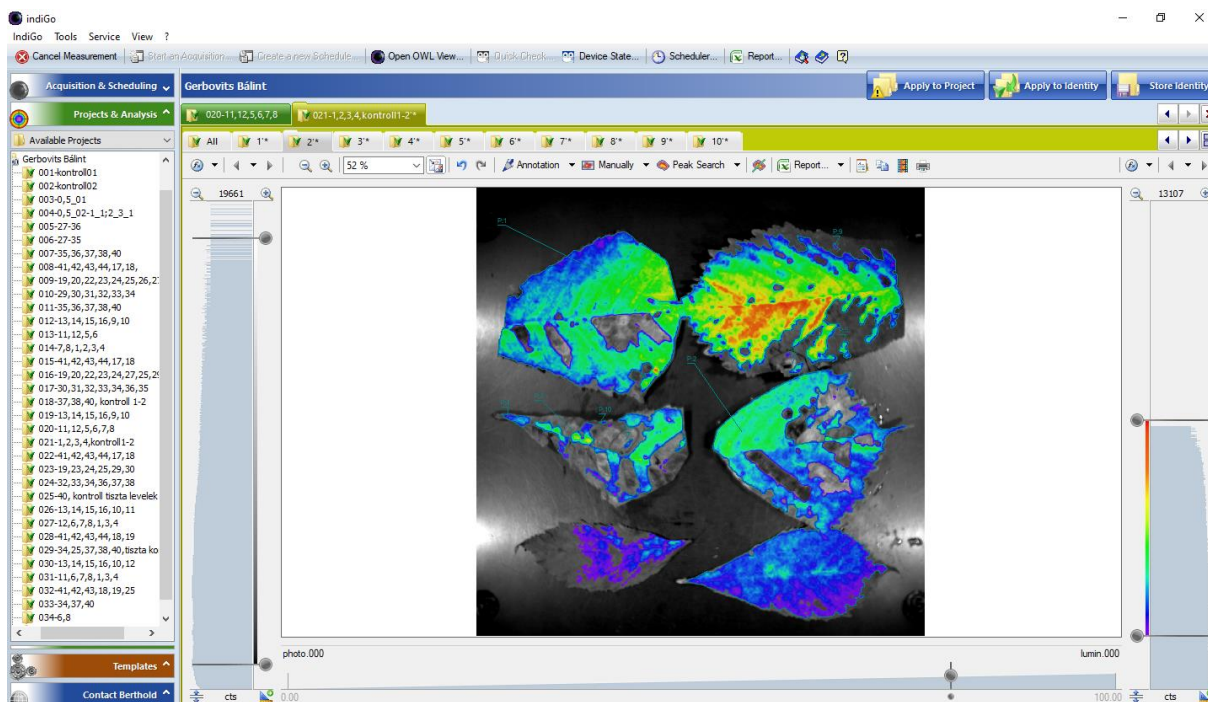
12. ábra. Röntgen alapú felvételezés vadgesztenye levelén
(saját felvétel)

4.1.5. Biofoton emisszió alapú képalkotás metodikája

A biofoton emisszió méréséhez, detektálásához a NightShade LB 985 *in vivo* növényi képalkotó rendszert (Institute Berthold Technologies Bioanalytical Instruments, Calmbacher Strasse 22, D-75323 Bad Wildbad, Németország) használtunk. A biolumineszcencia méréséhez kifejlesztett berendezés érzékeny, lassú pásztázású, termoelektromos Peltier hűtésű NighOwlcam CCD eszközzel (Charge Coupled Device) rendelkezik. Kameráját a csillagászatban is alkalmazzák, mely képes 10km távolságból egy gyertya fényét is kiszűrni. E berendezést az IndiGo™ 2.0.5.0 szoftver vezérli (14. ábra). A kamera által rögzített és a szoftver által elmentett képeken pixelintenzitás csúcsokat lehet elkülöníteni, melyek a kiértékelés folyamán a lumineszcencia mértékét fogják meghatározni. Mivel a beállítási paraméterek állandóak voltak, a kapott relatív pixelintenzitások változásai tükrözték az adott kezelést, illetve az eltérő hőmérsékleti viszonyok által generált fotonkibocsátás mértékét, amelynek értékét „count per second (cps)”-be konvertáltuk az elemző szoftver segítségével. Az integrálási időt 60 másodpercre állítottuk, 4×4 képpontos pixelösszekapcsolással. A képek készítésének ideje alatt egyidejűleg megtörtént a „háttérkorrekció” és a kozmikus sugárzás tompítása „nem megfelelő” nagy intenzitású gamma-sugárzás kiküszöbölésének érdekében. A sötétkamrába helyezést követően a levelek biolumineszcencia mérése azonnal elkezdődött (13. ábra), a késleltetett fluoreszcencia (DF) jelet tíz percen keresztül rögzítettük.

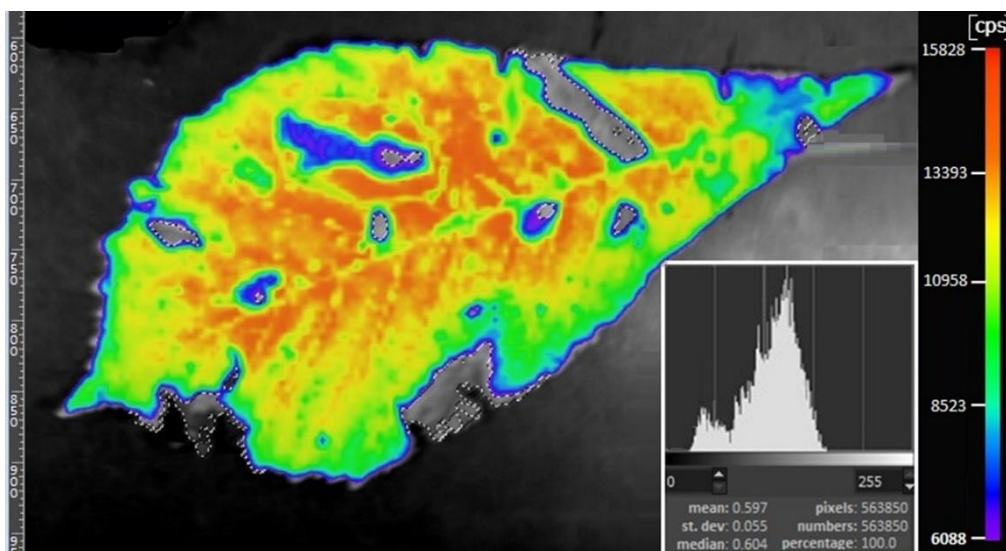


13. ábra. NightShade LB 985 *in vivo* növényi képalkotó rendszer, benne vadgesztenye levél (saját felvétel)



14. ábra. IndiGo™ 2.0.5.0. szoftver alkalmazása (saját illusztráció)

Eredményeink kiértékelésekor figyelembe vettük a rovar károsítása által készített levélaknak alapterületét, mivel fontosnak tartottuk a kibocsátott biofoton emissziós jelek objektív megítélését a levél még funkcionáló részéből (15. ábra).



15. ábra. Nekrotikus és ép levélrészek alapterületének meghatározása (saját illusztráció)

Az elemzést GIMP 2.10.8 pixelelemző szoftver segítségével hajtottuk végre. A nekrotikus levélrészek területének pixelpontjait, valamint a levél működő, fotoszintetikus felületét határoztuk meg. Ezt követően pedig a számított és kalkulált értékkel számoltunk és végeztünk méréseket a szignifikancia meghatározásához.

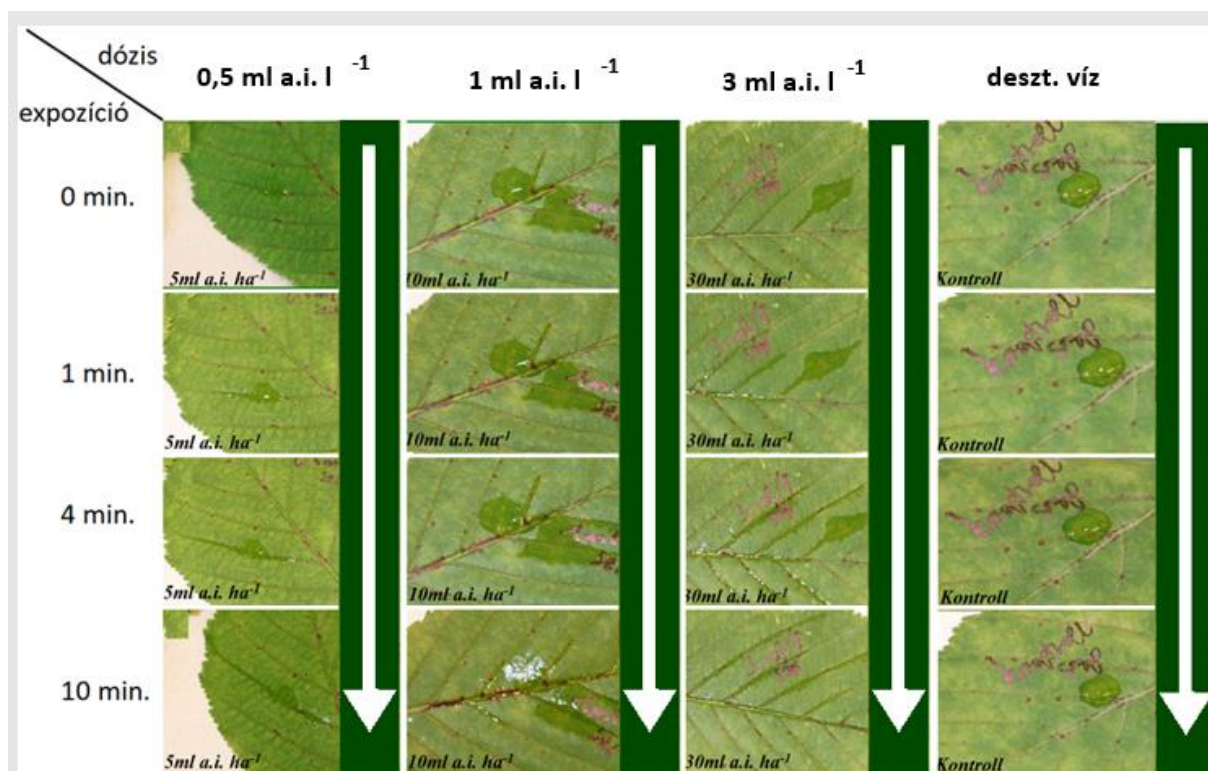
4.1.6. Statisztikai elemzések

A vadgesztenye-levélaknázómoly lárvák ($n > 50$) mortalitási adatainak vizsgálatára Shapiro-Wilk elemzést alkalmaztunk. Az adatok normál eloszlásának felmérésére ($p < 0,05$) a Ghasemi- és Zahediasl-típusú módszerekkel vizsgáltuk az értékeket. A kapott adatokat az SPSS 11.5 szoftver egyutas ANOVA tesztével elemeztük, figyelembe véve a lárva pusztulást, valamint a kezelések óta eltelt időt és a *cyazypyr*® hatóanyag különböző koncentrációkban alkalmazott dózisát. Az elemzések során kapott értékeket Tukey (HSD) teszttel alkalmazva választottuk el $p \leq 0,05$ -nél.

4.2. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELEÉSÜK

4.2.1. OD szuszpenzió felszívódása, területe

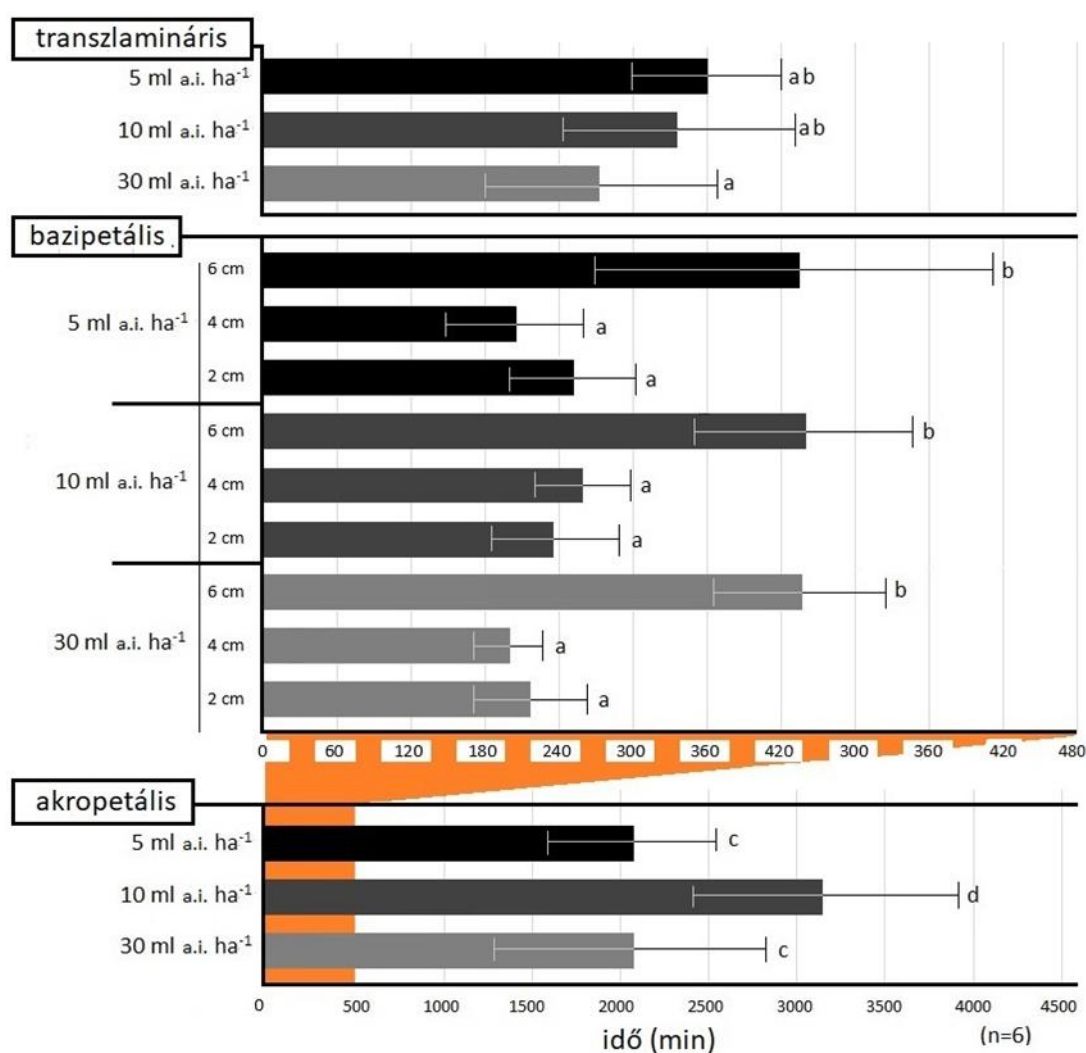
Vizsgálatunk kiterjedt az újszerű olaj-diszperzó (OD) formula felszívódásának, területénységének meghatározására is (16. ábra). Mind a három hatóanyag koncentrációt egyetlen cseppben a levél felületére, bazipetálisan állítottuk be. Megállapítottuk, hogy felszívódásának mértéke függ a *cyazypyr*® hatóanyag koncentrációjától. Mivel 30 ml a.i. ha⁻¹ töménységben mindösszesen 10 perc, 10 ml a.i. ha⁻¹ esetében 20 perc, míg 5 ml a.i. ha⁻¹ vonatkozásában 28 percre volt szükség a teljes felszívódáshoz. A kontroll levelet desztillált vízzel állítottuk be, melynek teljes eltűnéséhez közel 2 órára volt szükség.



16. ábra. OD formula felszívódása idő,-és koncentráció függvényében. A: 0 min., B: 1min., C: 4min., D: 10min. (saját felvétel)

4.2.2. A különböző kezelések rovarmortalitást kiváltó időtartamának elemzése

Vizsgálatunk igazolta, hogy a levélaknában fejlődő vadgesztenye-levélaknázómoly különböző egyedfejlődési stádiumai ellen a *cyazypyr*® hatóanyag rovarölő hatásában alapvető különbség mutatkozik. A hatóanyag minden kísérletbe vont kezelésében elemzett dózisa 100%-os mortalitást gyakorolt a fejlődő lárvákra. Megfigyelésünk megerősítette, hogy a kezeléseket követően a lárvák táplálkozása abba maradt, zavarásra korábban intenzív mozgásuk mérséklődött, míg végül teljes szesszilitás, majd pusztulás következett be. A báb stádiumba került egyedek esetén ilyen jellegű mozgás intenzitásbeli eltérést nem sikerült kimutatni. A bábok pusztulását a kezeléseket követő ellenőrzések során nem sikerült feljegyeznünk.



17. ábra. A különböző *cyazypyr*® alkalmazások és dózisok vadgesztenye-levélaknázómoly lárvájának mortalitását kiváltó kijuttatástól számított átlagos időtartamai (min±SE).
a, b, c, d : a kalkulált inszekticid hatásidőtartamok esetében regisztrált szignifikáns eltérések ($p \leq 0.05$)

A 17. ábrán látható a *cyazypyr*® hatóanyag eltérő alkalmazásai által lárvakon kiváltott mortalitások időtartamai. A különböző alkalmazások között az akropetális kezelések rovarölő hatása következett be a legkésőbb. Ezt az eltérést a statisztikai vizsgálat is megerősítette ($p \leq 0,05$). Az akropetális kezelések együttesen vizsgálva átlagosan 2416,66 perc múlva pusztították el a levélaknában fejlődő lárvákat. Ezzel szemben a transzlamináris kezelések 316,66 perc alatt, míg a bazipetális alkalmazások 293,33 perc alatt váltották ki a célszervezet letalitását. E két utóbbi alkalmazás mortalitást kiváltó időtartamai között alapvető különbség nem mutatkozott, melyet a statisztikai elemzés eredményei sem tudtak megerősíteni.

A különböző dózisu akropetális alkalmazások közül a 10 ml a.i. ha⁻¹-os kezelések esetében regisztráltuk a leglassabb rovarölő hatást. Az 5 és 30 ml a.i. ha⁻¹ dózisu kezelések közel megegyező időtartam alatt pusztították el a levélaknában fejlődő lárvákat. E két dózis mortalitást kiváltó átlagos időtartamai esetén azonban nem sikerült statisztikailag igazolható különbséget kimutatni.

A bazipetális inszekticid kijuttatások eltérő dózisainak mortalitást kiváltó időtartamai statisztikailag igazolhatóan nem különböztek. Az rovaraknától eltérő távolságra kijuttatott különböző dózisu *cyazypyr*® kezelések közel megegyező idő alatt pusztították el a lárvákat. Statisztikailag szignifikáns eltérést mindhárom dózis esetében csupán az inszekticid rovaraknától számított 4-ről 6 cm-re növelt távolságai esetén regisztráltuk. A beállított, levélaknától számított 6 cm-re történő levélkezelések esetében mintegy kétszer annyi időt vett igénybe a célszervezet elpusztítása a 2 és 4 cm távolságú kezelésekhez viszonyítva.

A transzlamináris kezelések letalitást kiváltó időtartama az alkalmazott magasabb dózisok esetében rövidebb volt. Így a leggyorsabb hatást a 30 ml a.i. ha⁻¹ kezelés váltotta ki. A különböző dózisu transzlamináris kezelések mortalitást kiváltó időtartamainak eltérése azonban statisztikailag nem volt igazolható.

2. táblázat. A *cyazypyr*® bazipetális (aknától számított 2 cm-es távolságra kijuttatott inszekticid) és akropetális alkalmazásainak valamint különböző dózisainak rovarmortalitást kiváltó átlagos sebessége (mm/min $\pm$ SE). ^{a, b} : a kalkulált inszekticid transzlokáció szignifikáns eltérései ($p \leq 0.05$)

koncentráció	bazipetális	akropetális
5 ml a.i. ha ⁻¹	0.811 $\pm$ 0.162 mm/min ^a	1.481 $\pm$ 0.012 mm/min ^b
10 ml a.i. ha ⁻¹	0.851 $\pm$ 0.057 mm/min ^a	0.997 $\pm$ 0.136 mm/min ^b
30 ml a.i. ha ⁻¹	0.930 $\pm$ 0.084 mm/min ^a	1.481 $\pm$ 0.094 mm/min ^b

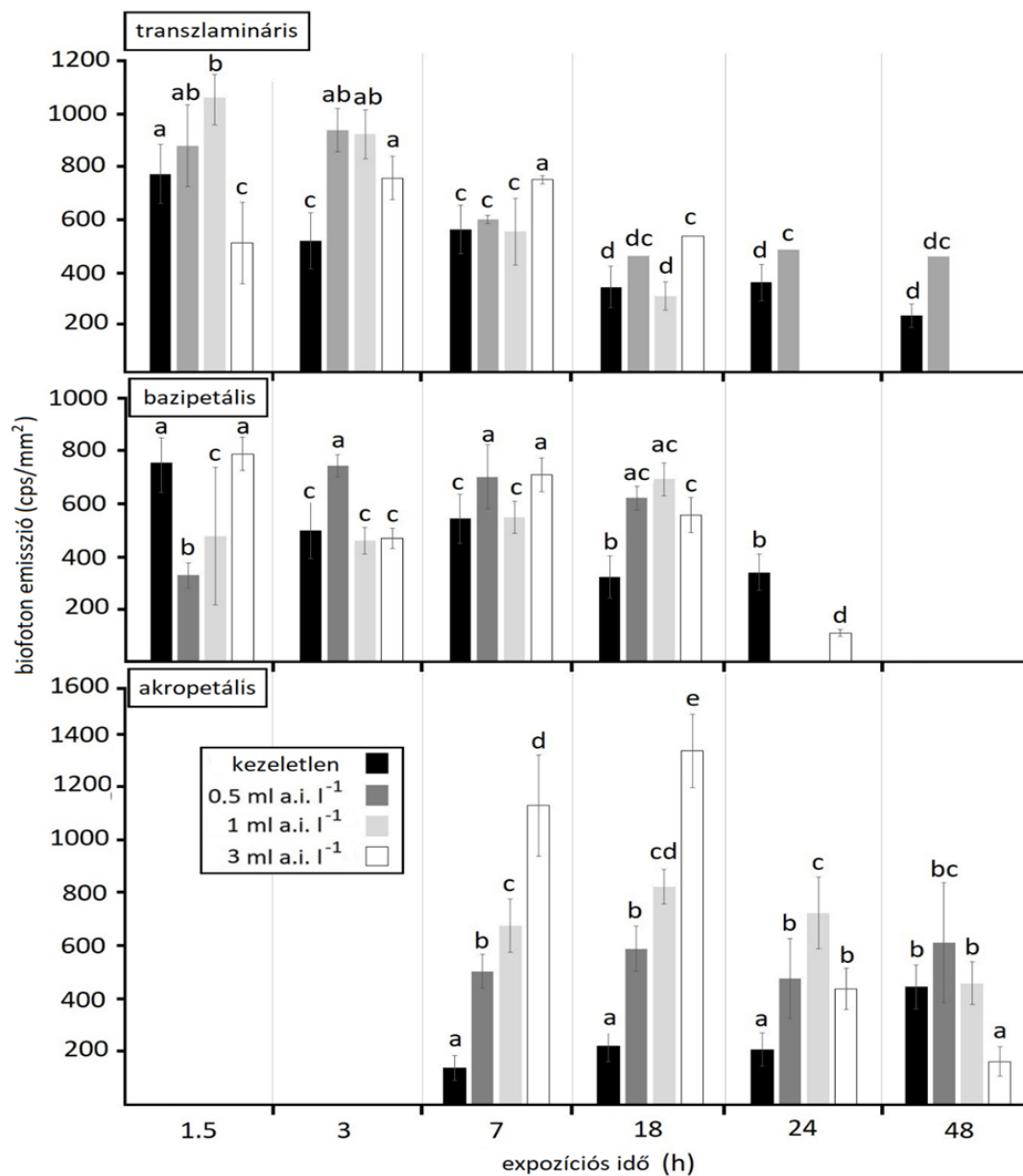
Abban az esetben, ha a különböző kezelések eltérő dózisainak rovarmortalitást kiváltó időtartamait az inszekticid transzlokáció távolságainak függvényében vizsgáljuk a vázolt trendekkel ellentétes eredményre jutunk (2. táblázat). Látható, hogy az akropetális (alaptól a csúcsi irányba, a xylem elemeken keresztül történő transzlokáció) irányú szállítódás mindhárom alkalmazott dózis esetében gyorsabb volt, mint a bazipetális (csúcstól az alapi irányba a floem elemeken keresztül történő szállítódás) irányú transzlokáció. Ezeket a mért különbségeket a statisztikai vizsgálatok eredményei is megerősítették. A *cyazypyr*® hatóanyag xylem elemeken keresztül történő transzlokációja mintegy 1,52-szer gyorsabb, mint a floem nyalábokon keresztül történő elmozdulás.



18. ábra. A *cyazypyr*® kezelés hatására a burokban lévő báb, valamint az aknából kibontott báb egyaránt életben volt, míg a lárva elpusztult (saját felvétel)

4.2.3. Inszekticides kezelés hatására bekövetkező stresszélettani vizsgálatok eredményei

Biofoton emissziós vizsgálatunk igazolta a cyazypyr® hatóanyag növényi anyagcsere reakciókban kiváltott változásait. A kezelés hatására kiváltott magasabb biofoton kibocsátási értékek, kontroll értékének meghaladása reprezentálja a növény stressz-élettani változásait (19. ábra).



19. ábra. Transzlamináris, bazipetalis és akropetalis cyazypyr® alkalmazások stresszélettani eredményei vadgesztenye levelén, eltérő dózisban, idő függvényében.
a, b, c, d, e: a kalkulált biofoton emissziós mérések esetében regisztrált szignifikáns eltérések ($p \leq 0.05$)

Kezelés beállításától számított 1,5 -és 3 óra mérési időtartamnál az 5 ml a.i. ha⁻¹ és a 10 ml a.i. ha⁻¹ hatóanyag koncentráció esetében mért biofoton kibocsátás értéke meghaladta a kontroll értékét és egyúttal növekedést eredményezett. 30 ml a.i. ha⁻¹ cyazypyr® hatóanyag hatására a 3, 7,-és 18 órás kezelés haladta meg a kontroll által kibocsátott értéket. 7 órán túlmenően a biofoton értékek a dózistól függetlenül csekély eltérést realizáltak, lényegében kiegyenlítetté váltak. Emellett megfigyelhetjük, hogy a kezelési és felvételezési időtartam előrehaladtával folyamatos csökkenés volt tapasztalható a kibocsátott biofoton emisszió mértékében. Ez a leválasztott levelek asszimilációs felületének csökkenésével magyarázható.

3. táblázat. Transzlamináris kezelések mért és kalkulált biofoton emissziós vizsgálatának eredményei, a kalkulált biofoton emisszió szignifikáns eltérései ($p \leq 0.05$)

kezelés	p-érték
transzlamináris kontroll	$1,05 \times 10^{-7}$
transzlamináris 5 ml a.i. ha ⁻¹	$4,02 \times 10^{-3}$
transzlamináris 10 ml a.i. ha ⁻¹	$1,91 \times 10^{-4}$
transzlamináris 30 ml a.i. ha ⁻¹	$2,25 \times 10^{-3}$

Az ANOVA vizsgálati eredmények alátámasztják azt a hipotézist, mely szerint szignifikáns összefüggés van a transzlamináris kezelések és a kísérletben eltöltött idő között biofoton emisszió kibocsátás vonatkozásában (3. táblázat).

Bazipetális kísérleti beállítás esetében 5 ml a.i. ha⁻¹ esetében a 3,7,-és 18 órás mérés esetében mutatható ki növényi stresszreakció. 30 ml a.i. ha⁻¹ cyazypyr® hatóanyaggal kezelt levelek vonatkozásában a 7,-és 18 órás vizsgálat mutat releváns növekedést. 10 ml a.i. ha⁻¹ vonatkozásában a kísérletbe állítást követően, 18 óra elteltével mutatott mérhető különbséget a kontrollként beállított levelekhez képest. Ezt megelőző mérések nem mutattak tendenciózus különbségeket.

4. táblázat. Bazipetális kezelések mért és kalkulált biofoton emissziós vizsgálatának eredményei, a kalkulált biofoton emisszió szignifikáns eltérései ($p \leq 0.05$)

kezelés	p-érték
bazipetális kontroll	$1,05 \times 10^{-7}$
bazipetális 5 ml a.i. ha ⁻¹	$6,69 \times 10^{-3}$
bazipetális 10 ml a.i. ha ⁻¹	$7,02 \times 10^{-1}$
bazipetális 30 ml a.i. ha ⁻¹	$2,61 \times 10^{-3}$

A 4. táblázatban kapott értékek alátámasztják a bazipetális módon beállított kísérleti levelek biofoton emisszióját. Mivel a szignifikancia szintek alapján egyértelmű és szignifikáns eredmény mutatkozik az 5 ml a.i. ha⁻¹ és 30 ml a.i. ha⁻¹ hatóanyag koncentráció által kibocsátott

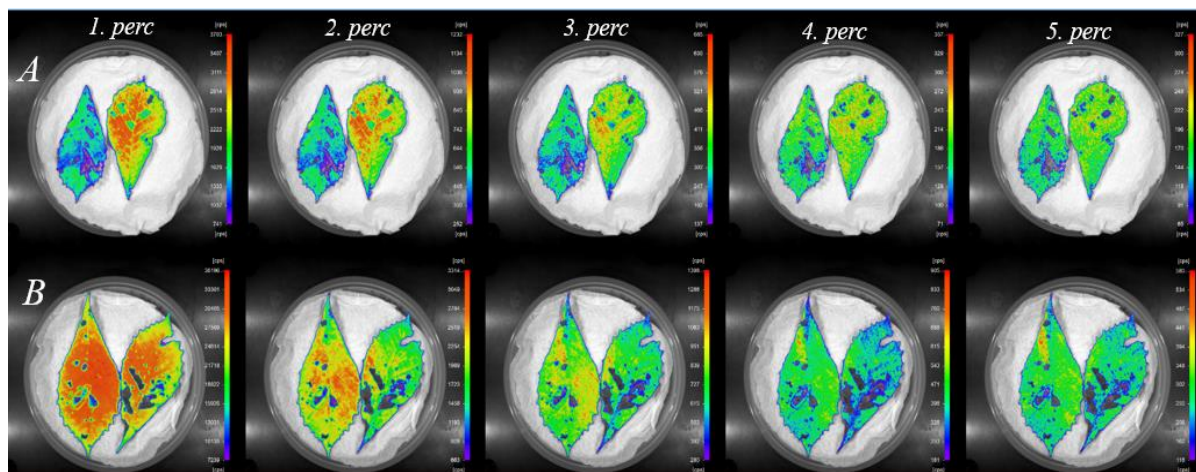
értékek között. Azonban a 10 ml a.i. ha⁻¹ cyazypyr® dózissal kezelt levelek között ez az összefüggés statisztikailag nem alátámasztható.

A cyazypyr® hatóanyag legkifejezettebb hatását az akropetális kezelések vonatkozásában lehetett kimutatni. Ez esetben még 24 órát követően is szignifikáns különbségek mutatkoztak a biofoton emissziós értékekben. Transzlamináris vizsgálathoz hasonlóan az akropetális kísérleti beállításnál is csökkenés figyelhető meg a kezelési időtartam növekedésével, 24. órától kezdődően.

5. táblázat. Az akropetális kezelések mért és kalkulált biofoton emissziós vizsgálatának eredményei, a kalkulált biofoton emisszió szignifikáns eltérései ($p \leq 0.05$)

kezelés	<i>p</i> -érték
akropetális kontroll	$1,68 \times 10^{-1}$
akropetális 5 ml a.i. ha ⁻¹	$8,47 \times 10^{-1}$
akropetális 10 ml a.i. ha ⁻¹	$2,39 \times 10^{-2}$
akropetális 30 ml a.i. ha ⁻¹	$4,50 \times 10^{-5}$

Az 5. táblázatban foglaltak szerint akropetális beállítás esetében statisztikailag nincs alátámasztható különbség a mért biofoton emisszió értéke és a kísérletben eltöltött idő estében, 5 ml a.i. ha⁻¹ hatóanyag koncentráció alkalmazásakor. Ennél magasabb cyazypyr® hatóanyag alkalmazása esetén szignifikáns összefüggés tapasztalható a növényi stresszreakció hatására bekövetkező biolumineszcencia és a kísérletben eltöltött idő között.

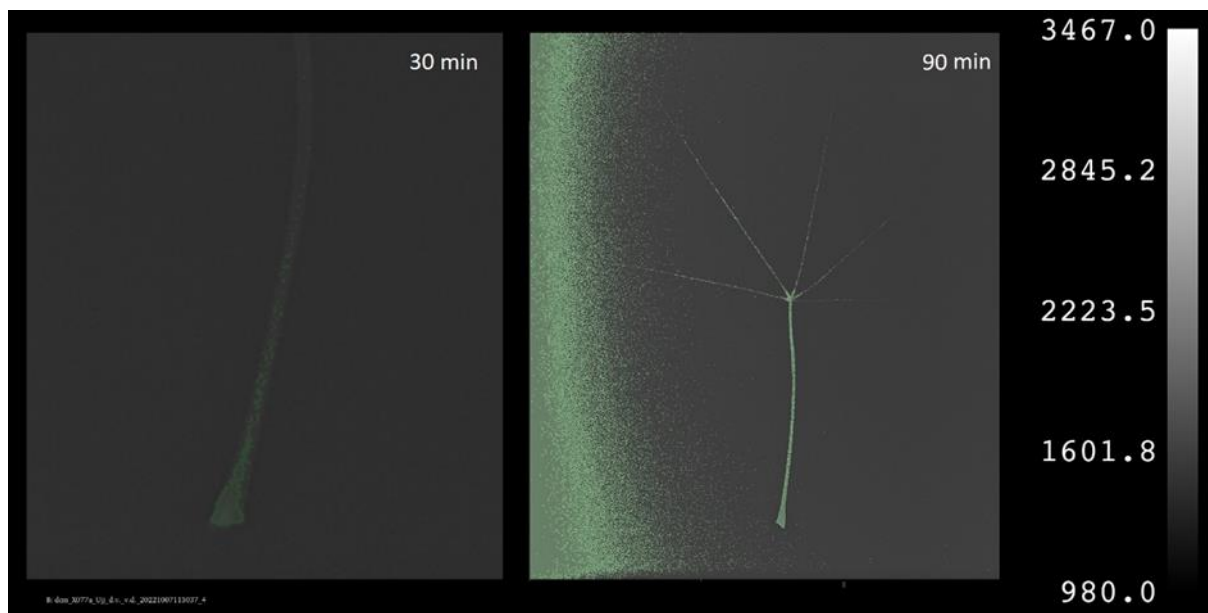


20. ábra. A cyazypyr® kezelés hatására bekövetkező stresszélettani változások detektálása és vizualizálása IndiGo™ 2.0.5.0. szoftver használatával.
A: kontroll, B: cyazypyr® hatóanyaggal kezelt levelek

A 20. ábra a vadgesztenye levelek késleltetett fluoreszcenciájának lecsengését ábrázolja. A felvételezések alapján percről percre jól megfigyelhető a késleltetett fluoreszcencia változása, amelynek tendenciájáról Lukács és munkatársai (2022) is beszámoltak. Jól látható az a tendenciózus különbség a vizsgált biofoton kibocsátási értékekben, melyet már a mérés kezdeti szakaszában mutatott a *cyazypyr*® kezelés hatására. És ezt a magasabb értéket a mérési idő teljessége alatt megőrizte.

4.2.4. A cyazypyr® hatóanyag transzlokációjának megjelenítése röntgen-alapú képalkotás segítségével

A 21. ábrán látható a kontrasztanyaggal elegyített hatóanyag növényi vaszkuláris rendszerben történő elmozdulásának képi megjelenítése. Látható, hogy az akropetális (levél levélnyelének oldalban történt áztatását követően) irányú transzlokációt a Röntgen sugaras átvilágítás jól vizualizálhatóvá tette. A hatóanyag és a kontrasztanyag elegye behatolva a vízszállító, xylem nyalábokba közel 90 perc elteltével bejárták a kezelt levél egészének szállítórendszerét. Sajnos ugyanilyen jellegű képi megjelenítést nem tudtunk megvalósítani a bazipetális, sem a transzlamináris kezelések esetében.



21. ábra. A *cyazypyr*® inszekticid és az Iomeron 350 kontrasztanyag együttes vadgesztenye levélben történő akropetális transzlokációjának képi megjelenítése

4.3. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Vizsgálatunk egyértelműen igazolta a *cyazypyr*® hatóanyag ritka, növényen belüli többirányú transzlokációjának tényét. Az összes értékelt levélben kimutatható volt a kezelt rovarlárvák pusztulása, ami bizonyítja a hatóanyag felszívódását és transzlokációját. A *cyazypyr*® hosszan tartó reziduális hatásáról már Pes és munkatársai (2020) beszámoltak a fésűslábú viráglégygel (*Delia platura*, Meigen) és kukoricamollyal (*O. nubilalis*) foglalkozó tanulmányukban. E szisztémikus vegyület akro-, bazipetális és transzlamináris szállítódását, annak célkártevőkre gyakorolt toxicitásáról is több korábbi kutatási eredmény számol be (Cloyd és mtsai, 2011; Sidhu és mtsai, 2014; Chen és mtsai, 2015; Schmidt-Jeffris és Nault 2016).

E rovarölő hatóanyag szelektivitását, célhelyi aktivitását mutatja a vadgesztenye-levélnázómoly különböző megjelenési stádiumaival – mint lárva és báb – kapcsolatban regisztrált gyökeresen eltérő inszekticid hatása. Az alkalmazott kezelésektől függetlenül megfigyelhető volt a kezelt lárvák esetében regisztrált abszolút hatékonyság (100%), illetve a kezelt bábokkal kapcsolatban tapasztalt rovarölő hatás elmaradása. A *cyazypyr*® tojás és lárvaölő (Hardke és mtsai, 2011; Tiwari és Stelinski, 2013), valamint csökkent (Wang és mtsai, 2019), esetenként elmaradó báb (Mandal, 2012; Dong és mtsai, 2017) toxicitását számos tanulmány több rovarfajjal kapcsolatban már megerősítette. A vegyület szűk hatásspektrumáról árulkodik a hasznos szervezetekkel kapcsolatban feljegyzett szelektivitása is, melyet többek között üvegházi molytetvek természetes ellenségeként alkalmazott petefürkész (*Encarsia formosa*, Gahan) példáján Wang és munkatársai (2019) is leírtak. Környezetbarát tulajdonsága kiegészül a melegvérűekre gyakorolt heveny mérgezőség hiányával (Lahm és mtsai, 2009), mely többek között e diamid molekula célhelyi aktivitásáról árulkodik.

A *cyazypyr*® molekula hatáskifejtését az újszerű olaj-diszperzió (OD) formula nagymértékben elősegítette (Larraín és mtsai, 2014). A hozzáadott olajos adjuváns a levélre cseppentett permetlé felületi feszültségcsökkentésén keresztül a kijuttatott csepp szétterülését, ezen keresztül a tökéletesebb felületborítást eredményezte, mely végső soron a hatóanyag gyors felszívódását és hatékonyabb célszervezethez jutását eredményezte.

Vizsgálatunk megerősítette a *cyazypyr*® hatóanyag vadgesztenye levélben történő transzlamináris transzlokációját, mely növénysszöveten belüli mozgását párhuzamos vizsgálati tanulmányok eredményei is megerősítették (Tiwari és Stelinski, 2013; Barry és mtsai, 2015). E transzlokációs képesség alkalmazott adjuvánsok jelenlétében és hiányában is kimutatható volt,

melyet leginkább szipókás (Hemiptera) fajokon végzett akut toxicitási vizsgálatok eredményeire alapoztak.

Biofoton emissziós vizsgálatok tekintetében a jelen kísérleti beállítás újszerűnek tekinthető, mivel ezidáig nem történtek vizsgálatok a rejtett életmódú kártevők általi aknaképződést és a *cyazypyr*® hatóanyag együttes hatását vizsgálva a késleltetett fluoreszcencia értékek változásaira. Eredményeink alapján tendenciózus hatást figyeltünk meg a *cyazypyr*® alkalmazott koncentrációi és a növényi szövet egységnyi területére vonatkoztatott (mm^2) fotonkibocsátási intenzitása között a transzlamináris és az akropetális kezelési beállítások tekintetében. Mindkét esetben az első két mérési időpontban egyértelmű, az alkalmazott koncentrációval arányos, fotonkibocsátás növekedést figyeltünk meg, mely tendencia a kísérlet utolsó két mérési időpontjában szűnik meg, illetve ekkor jelentős jelintenzitási csökkenés következik be. A biolumineszcencia nem invazív mérése már korábban is alkalmasnak bizonyult a biotikus stressz értékelésére (Floryszak-Wieczorek és mtsai, 2011; Lukács és mtsai, 2022; Pónya és mtsai, 2022). Vizsgálataink során a növények sötétkamrába történő elhelyezését követően a fotoszintézis folyamatai fokozatosan leállnak, ami a II. fotorendszerben elektron visszaáramlást, illetve klorofill gerjesztést eredményez, és késleltetett fluoreszcenciát gerjeszt. E jelenség lecsengése - gyakorlati megközelítésben - a növények egészségi állapotát, illetve más megközelítésben a stresszszintjét tükrözi (Jia és mtsai, 2020), amely esetben a magasabb kezdeti értékek jelzik az egészségesebb növényállapotot, melyet irodalmi adatok is alátámasztanak. Gerhardt és Bodemer (2000) leírták, hogy 3-(3,4-diklórfenil)-1,1-dimetilurea (DCMU) kezelés hatására elkülöníthető az egészséges növény magasabb, illetve a kezelt növény DF kibocsátása. Emellett, eredményeinknek egyik metodikailag fontos vetülete rejlik abban, hogy a biofoton emissziós mérésekkel eredményesen végezhetők hatóanyag transzlokációs vizsgálatok. Azonban a jelintenzitás időbeli csökkenése arra utal, hogy a leválasztott levelek csupán korlátozott időtartamig vizsgálhatók egzakt módon, kísérletünkben 18 óráig transzlamináris és 24 óráig az akropetális kezelése során, amely időtartam meghatározása fontos elemét kell képezze a kísérleti metodikának minden vizsgálni kívánt növényfaj esetén. Eredményeinket figyelembe véve elmondható, hogy az akropetális kísérleti beállításnak van a legnagyobb hatása a növényi anyagcserére *cyazypyr*® hatóanyag alkalmazása esetén. Magyarázata vélhetően abban rejlik, hogy az akropetális kísérleti beállítás modellezte leginkább a természetes növényi transzlokációs folyamatokat. Adataink beszámolnak arról, hogy ezen inszekticid stimuláló hatással bírhat a növényi reakciókra, amelyre a növekvő, késleltetett fluoreszcencia értékéből következtethetünk. Ahhoz azonban,

hogy e jelenség háttérében fennálló folyamatokat felderítsük, további analitikai vizsgálatok szükségesek (szabadgyök festés, antioxidáns vizsgálat, lipidoxidációs vizsgálat), amelyeket későbbi kísérleteink során fogunk elvégezni.

A Röntgen alapú képi megjelenítést csupán az akropetális kezelések vonatkozásában sikerült megvalósítani. A hatóanyag sem bazipetális, sem transzlamináris kezeléseiben nem mutatott a Röntgen felvétel értékelhető elmozdulást a növény szövetein belül. Ennek magyarázata lehet többek között a kontraszt-, és hatóanyag megnövekedett molekulatömege, megváltozott viszkozitási mutatói, vagy a tiszta hatóanyagtól eltérő pH tartománya. Természetesen egyéb fizikai, vagy kémiai paraméterek szerepet játszhatnak abban, hogy a xylem elemekbe bekerülő szuszpenzió diffúzió segítségével képes volt elmozdulni csúcsi irányba, míg ugyanezen elegy más jellegű transzlokációját a növény szöveti sajátosságai, felépítése nem tette lehetővé. Ennek objektív feltárása azonban speciális, in-vivo laboratóriumi elemzések elvégzését feltételezik.

Megfigyeléseink megerősítették az akropetális transzlokáció bazipetális elmozduláshoz viszonyított intenzívebb sebességét. E megfigyelés egybevág Barry és munkatársai (2015) valamint Pes és munkatársai (2020) eredményeivel, melyek szerint az elemzett diamid molekula jelentős akropetális elmozdulásához képest, annak bazipetális transzlokációja jóval csekélyebb. Rámutattak, hogy vetőmagkezelésben az inszekticid transzlokáció a levélpermetezéshez képest még alacsonyabb koncentrációban is növelte a lárvák mortalitását. E hatóanyag kiemelkedő akropetális jellegű, xylem elemeken keresztül történő elmozdulását egyébként több vetőmagkezelési kísérlet is megerősíti (Thrash és mtsai, 2013; Wilson és mtsai, 2021). Vizsgálatunk is igazolta, hogy a diamidok csoportjába tartozó cyazypyr® hatóanyag egyedi, célhelyi aktivitással rendelkező hatóanyag, mely a célszervezet károsító alakja ellen nyújt védelmet. E célhelyi aktivitás mellett nem érinti a kártevő egyéb nem károsító megjelenési alakjait. Bár a ryanodin receptor helyre történő bekötéséből adódóan egyéb mozgásra képes alakok ellen is toxikus lehet a vegyület, mégis egyedi szelektivitásából adódóan kiváló eszköze lehet a fenntartható fejlődést biztosító integrált növényvédelemnek (IPM). További szakirodalmi adatokkal alátámasztható előnye a széles körben alkalmazott idegmérgek által célszervezetekben kiváltott rezisztencia, vagy akár keresztrezisztencia kialakulásának megelőzése (Wilson és mtsai, 2021), mely merőben új hatásmechanizmusával magyarázható.

Összességében a kísérleti eredményeink alapvetően alátámasztották a cyazypyr® vadgesztenye-levélnázómoly elleni aktivitását, a vegyület engedélykiratának szélesebb körben – mint dísz- és köztéri fák aknázó és egyéb kártevők elleni bevetésének – történő

kiterjesztésének lehetőségét. E jövőbeni célok megvalósítása, azonban további hatástanulmányok elvégzését feltételezik. Többek között nem ismert a vegyület ilyen körülmények között történő alkalmazásának egyéb, akár hasznos szervezetekre, vagy pollinátorokra gyakorolt toxicitása, környezetre gyakorolt hatásának mértéke. E fontos, nem kívánt mellékhatások kizárása nélkül pedig e perspektivikusnak tűnő inszekticid hatóanyag széleskörű gyakorlati alkalmazása nem megvalósítható. E tanulmány talán rávilágít e vegyület alkalmazásterületeinek szélesítésére, mely akár a jövőben eredményes eszköz lehet számos, rejtett életmódú veszélyes kértevő sikeres leküzdésében.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A vadgesztenye-levélaknázómoly a globális éghajlatváltozás Európa kontinentális zónáját érintő rovarinvázió első hírnökének tekinthető. Az ezredfordulót megelőző évtizedekben a Balkánról északi irányú elmozdulásának köszönhetően elérte hazánk területét e faj. Az általa kialakított súlyos kártétel a lombhullató fák közül kiemelten a vadgesztenyét és másodsorban a különböző juharfajokat érinti. Az ilyen jellegű kárt elszenvedett növény egyedek tartalék tápanyag beépülésének hiányában pár év alatt ki is pusztulhatnak. Vizsgálatunk tárgya egy mindezidáig megnyugtatóan nem megoldott, rejtett életmódú, adventív faj elleni védekezés sikerességének feltérképezése volt. Egyedülálló módon a hagyományos toxicitási elemzések mellett olyan képalkotó eljárásokra kívántunk e vizsgálat sorozatot alapozni, amelyek roncsolásmentes képalkotó kimenetekkel járul hozzá a várt eredményekhez. Emellett egy olyan inszekticid hatóanyagot vontunk vizsgálat alá, mely újszerű, többféle transzlokációs úttal rendelkezik, és még nem vizsgáltak dísz-, sorfák aknázó kártevőivel kapcsolatban.

Vizsgálatunkban célul tűztük ki a vadgesztenye komoly növényegészségügyi problémáját okozó, rejtett életmódú, vadgesztenye-levélaknázómoly ellen akropetális, bazipetális, valamint transzlamináris úton kijuttatott *cyazypyr*® hatóanyag hatékonyságának, idő függvényében mért mortalitásának objektív meghatározását. Modern képalkotó rendszerekre alapozva elsőként *cyazypyr*® hatóanyag alkalmazhatóságát ezen adventív rovarfajjal szemben, remélve ezzel egy az integrál növényvédelem (IPM) kritériumainak megfelelő védekezési gyakorlat sikeres megteremtését.

A különböző úton kijuttatott *cyazypyr*® hatóanyag mortalitást kiváltó hatásának vizsgálatához peszticid mentes környezetből gyűjtöttünk be vadgesztenye-levélaknázómoly által károsított leveleket. A gyűjtés 2022.-ben, szeptember elején történt Karád térségében. Olyan sérült levelek kerültek begyűjtésre, amelyek esetében élő lárvát találtunk. Az összegyűjtött leveleket vízzel átitatott itatópapír közé helyeztük Petricsészékbe, majd kísérleti kezelésnek vetettük alá. A *cyazypyr*® hatóanyagot három különböző koncentrációban teszteltük: 5, 10 és 30 ml a.i. ha⁻¹. Mindegyik koncentrációt vizsgáltuk transzlaminárisan (közvetlenül az aknában lévő lárvára cseppentve), bazipetálisan (a levél felületére cseppentve aknától meghatározott: 2, 4 és 6 cm távolságra), és akropetálisan (levéllyéllel az előkészített különböző töménységű oldatba helyeztük 3 órára). Mind a 3 különböző hatóanyagkoncentrációt 6 ismétléssel állítottuk be. Ezt követően pedig a kiváltott mortalitást 10 órán keresztül óránként vizsgáltuk.

Képalkotó eljárásokkal történő vizsgálataink egyike egy Siemens Multix Select DR digitális Röntgen berendezés volt. Az összes felvétel azonos beállítással készült: 50 kV csőfeszültség, 4 ezredmásodperces expozíciós idő, 341 mA röntgenső áram. Az elkészült képek pixelmérete 2540×2315 mm, melyek felbontása 0,139×0,139mm volt. A levelek vizsgálatához különböző koncentrációjú Iomeron 350 mg I ml⁻¹ (100ml-ben 35g *jódot* 71,44g *jomeprolt* tartalmaz) oldatot használtunk. Emellett az inszekticides kezelések hatására bekövetkező növényi, stressz élettani változásokat is detektáltuk. A biofoton emisszió méréséhez a NightShade LB 985 *in vivo* növényi képalkotó rendszert (Institute Berthold Technologies Bioanalytical Instruments, Calmbacher Strasse 22, D-75323 Bad Wildbad, Németország) alkalmaztuk, amely érzékeny, termoelektromos Peltier hűtésű, lassú pásztázású NighOwlcam CCD eszközzel (Charge Coupled Device) van felszerelve és a műszert az IndiGo™ 2.0.5.0 szoftver vezérli.

Vizsgálatunk egyértelműen igazolta a *cyazypyr*® hatóanyag ritka, növényen belüli többirányú transzlokációjának tényét. Az összes értékelt levélben kimutatható volt a kezelt rovarlárvák pusztulása, ami bizonyítja a hatóanyag felszívódását és transzlokációját. E rovarölő hatóanyag szelektivitását, célhelyi aktivitását mutatja a vadgesztenye-levélnázómoly különböző megjelenési stádiumaival – mint lárva és báb – kapcsolatban regisztrált gyökeresen eltérő inszekticid hatása. Az alkalmazott kezelésektől függetlenül megfigyelhető volt a kezelt lárvák esetében regisztrált abszolút hatékonyság (100%), illetve a kezelt bábokkal kapcsolatban tapasztalt rovarölő hatás elmaradása. A hozzáadott olajos adjuváns (OD formula) a levélre cseppentett permetlé felületi feszültségcsökkentésén keresztül a kijuttatott csepp szétterülését, ezen keresztül a tökéletesebb felületborítást eredményezte, mely végső soron a hatóanyag gyors felszívódását és hatékonyabb célszervezethez jutását eredményezte.

Biofoton emissziós eredményeink alapján tendenciózus hatást figyeltünk meg a *cyazypyr*® alkalmazott koncentrációi és a növényi szövet egységnyi területére vonatkoztatott (mm²) fotonkibocsátási intenzitása között a transzlamínaris és az akropetális kezelési beállítások tekintetében. Mindkét esetben az első két mérési időpontban egyértelmű, az alkalmazott koncentrációval arányos, fotonkibocsátás növekedést figyeltünk meg, mely tendencia a kísérlet utolsó két mérési időpontjában szűnik meg, illetve ekkor jelentős jelintenzitási csökkenés is megfigyelhető. Vizsgálataink és méréseink során a növények sötét kamrába történő elhelyezését követően a fotoszintézis folyamatai fokozatosan elkezdtek leállni. E jelenség lecsengése a növények egészségi állapotát, másképp megközelítve stresszszintjét tükrözi, amely esetben a magasabb kezdeti értékek jelzik az egészségesebb növényállapotot. Eredményeinket figyelembe véve elmondható, hogy az akropetális kísérleti beállításnak van a legnagyobb hatása

a növényi anyagcserére *cyazypyr*® hatóanyag alkalmazása esetén. Magyarázata vélhetően abban rejlik, hogy az akropetális kísérleti beállítás modellezte leginkább a természetes növényi transzlokációs folyamatokat. Adataink beszámolnak arról, hogy ezen inszekticid stimuláló hatással bírhat a növényi reakciókra, amelyre a növekvő, késleltetett fluoreszcencia értékéből következtethetünk.

A Röntgen alapú képi megjelenítést csupán az akropetális kezelések esetében sikerült megvalósítani, mivel a hatóanyag sem bazipetális, sem transzlamináris kezelési esetében nem mutatott a Röntgen felvétel érzékelhető elmozdulást a növény szövetein belül.

Összességében elmondható, hogy a kísérleti eredményeink alátámasztották a *cyazypyr*® hatóanyag vadgesztenye-levélaknázómoly elleni aktivitását és hatékonyságát. Képalkotó eljárások alkalmazásával pedig feltártuk az inszekticid okozta stressz élettani változásokat a növényben a biolumineszcencia detektálásán keresztül. Emellett pedig Röntgen alapú felvételezés segítségével sikeresen meghatároztuk az akropetális szállítódás sebességét.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- Barry J., Portillo H., Annan I., Cameron R., Clagg D., Dietrich R., Watson L., Leighty R., Ryan D., McMillan J., Swain R., Kaczmarczyk R. (2015): Movement of *cyantraniliprole* in plants after foliar applications and its impact on the control of sucking and chewing insects. *Pest Management Science*, 71 (3): 395-403.
- Bodor J. (2011): A vadgesztenye-levélaknázómoly (*Cameraria ochridella* Deschka & Dimič 1986) hegyi juharon. *Növényvédelem*, 47 (12): 519-521.
- Bushberg T., Seibert J., Leidholdt M., Boone J. (2002): The essential physics of medical imaging. Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia.
- Bürgés Gy., Szidonya I. (2000): Endoterápiás kezelések a vadgesztenye-levélaknázómoly ellen. 48. Növényvédelmi Tudományos Napok. 2000. február.14-15. Budapest.
- Chen X., Ren Y., Meng Z., Lu C., Gu H., Zhuang Y. (2015): Comparative uptake of *chlorantraniliprole* and *flubendiamide* in the Rice plant. *Journal of Agricultural Science*, 12: 238–246.
- Cloyd R., Bethke J., Cowles R. (2011): Systemic insecticides and their use in ornamental plant systems. *Florida Ornamental Biotechnology*, 5: 1–9.
- Czencz K., Bürgés Gy. (1996): A vadgesztenye-levélaknázómoly (*Cameraria ochridella* Deschka et Dimič 1986, Lepidoptera, Lithocolletidae). *Növényvédelem*, 32 (9): 437-445.
- Dimić N., Mihajlović L. (1993): Širenje areala minera lista divljeg kestena (*Cameraria ochridella* Deschka & Dimič, Lepidoptera: Lithocolletidae) i jegovi prirodni neprijatelji. *XXI Skup Entomologa Jugoslavije* 32.
- Dong J., Wang K., Li Y., Wang S. (2017): Lethal and sublethal effects of *cyantraniliprole* on *Helicoverpa assulta* (Lepidoptera: Noctuidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 136: 58-63.
- Duran N., Cadenas E. (1987): The role of singlet oxygen and triplet carbonyls in biological systems. *Research on Chemical Intermediates*, 8 (2): 147-187.
- Fisher M., Mrozik. (1989): Chemistry. In *Ivermectin and Abamectin*. Campbell W. (ed). Springer-verlag, New York, pp. 1-23.

- Floryszak-Wieczorek J., Górski Z., Arasimowicz-Jelonek M. (2011): Functional imaging of biophoton responses of plants to fungal infection. *European Journal of Plant Pathology*, 130 (2): 249-258.
- Freise J., Heitland W. (1999): A brief note on sexual differences in pupae of the horse-chestnut leaf miner, *Cameraria ochridella* Deschka & Dimič (1986) (Lepidoptera., Gracillariidae), A new pest in Central Europe on *Aesculus hippocastanum*. *Journal of Applied Entomology*, 123 (3): 191-192.
- Gerhardt V., Bodemer U. (2000): Delayed fluorescence excitation spectroscopy: a method for determining phytoplankton composition. *Archeology Hydrobiology Species Issues Advanced Limnology*, 55: 101-120.
- Girardoz S., Tomov R., Eschen R., Quicke D., Kenis M. (2007): Two methods of assessing the mortality factors affecting the larvae and pupae of *Cameraria ochridella* in the leaves of *Aesculus hippocastanum* In Switzerland and Bulgaria. *Bulletin of Entomological Research*, 97 (5): 445-453.
- Goldman W. (2008): Principles of CT: Multislice CT. *Journal of Nuclear Medicine Technology*, 36 (2): 57–68.
- Hans B. (2016): [map-1804891_960_720.jpg \(960×540\) \(pixabay.com\)](https://pixabay.com/en/map-1804891_960_720.jpg). Letöltés ideje 2022. 10. 01.
- Hardke J., Temple J., Leonard B., Jackson E. (2011): laboratory toxicity and field efficacy of selected insecticides against fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Florida Entomologist*, 54: 272-278.
- Hellers M. (2017): Die kleinschmetterlinge Luxemburgs, die familien Roeslerstammiidae, Douglassiidae, Bucculatricidae und Gracillariidae (Lepidoptera: Gracillarioidea). *Bulletin de la Société des Naturalistes Luxembourgeois*, 119: 129-144.
- Hideg É., Inaba H. (1991): Biophoton emission (ultraweak photoemission) From dark adapted spinach chloroplasts. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 53: 137–142.
- Jeanguenat A. (2013): The story of a new insecticidal chemistry class: the diamides. *Pest Management Science*, 69 (1): 7-14.

- Jia Y., Sun M., Shi Y., Zhu Z., Van Wijk E., Van Wijk R., Wang M. (2020): A comparative study of aged and contemporary Chinese herbal materials by using delayed luminescence technique. *Chinese Medicine*, 15 (1): 1–12.
- Jócsák I., Malgwi I., Rabnecz G., Szegő A., Varga-Visi É., Végvári G. (2020): Effect of cadmium stress on certain physiological parameters antioxidative enzyme activities and biophoton emission of leaves in barley (*Hordeum vulgare* L.) Seedlings. *PLoS One*, 15: e0240470.
- Jones C., Vargo L., Keefer C., Labadie P., Scherer W., Gallagher T., Gold E. (2017): Efficacy of *chlorantraniliprole* in controlling structural infestations of the eastern subterranean termite in the USA. *Insects*, 8 (3): 92.
- Kerényiné Nemestóthy K. (1997): A vadgesztenye-levélaknázómoly (*Cameraria ochridella* Deschka & Dimič 1986) kártétele a főváros közterületein. *Növényvédelem*, 33: 19-22.
- Keszthelyi S. (2019): Zoocidok a Növényvédelem Szolgálatában. Agroinform kiadó, Budapest.
- Keszthelyi S., Iberpaker A., Lövényi Zs., Simon G., Pál-Fám F., Rácz I. (2016): *Klórántraniliprol* és *klórántraniliprol*+*lambda-cihalotrin* hatóanyagú állománykezelések hatása a kukorica ízeltlábú közösségére. *Növényvédelem*, 52: 121-139.
- Keszthelyi S., Pónya Zs., Csóka Á., Bázár Gy., Morschauser T., Donkó T. (2020a): Non-destructive imaging and spectroscopic techniques to investigate the hidden-lifestyle arthropod pests. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 127: 283-295.
- Keszthelyi S., Szöllősi D., Strobel L., Osváth S., Szigeti K., Pónya Zs., Csóka Á., Donkó T. (2020b): Növel x-ray supported kinetic imaging of hidden-lifestyle arthropods. *Insect Science*, 28 (1): 281-284.
- Kobayashi K., Okabe H., Kawano S., Hidaka Y., Hara K. (2014): Biophoton emission induced by heat shock. *PLoS One*, 9:e105700.
- Lahm P., Cordova D., Barry D. (2009): New and selective ryanodine receptor activators for insect control. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 17 (12): 4127-4133.
- Larraín P., Escudero C., Morre J., Rodríguez J. (2014): insecticide effect of *cyantraniliprole* on tomato moth *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) larvae in field trials. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74 (2): 178-183.

- Lente G. (2018): Fénykibocsátás kémiai reakciókban. *Magyar Tudomány*, 179: 1132-1140.
- Lukács H., Jócsák I., Somfalvi-Tóth K., Keszthelyi S. (2022): Physiological responses manifested by some conventional stress parameters and biophoton emission in winter wheat as a consequence of cereal leaf beetle infestation. *Frontiers Plant Science*, 13: 839855.
- Maceljski M., Bertic D. (1995): Kestenov moljac miner, *Cameraria ochridella* Deschka & Dimič (1986) (Lepidoptera, Gracillariidae) novi opasni stetnik u Hrvatskoj. *Fragmenta Phytomedica et Herbologica*, 23 (2): 9-18.
- Mezzanotte L., Root M., Karatas H., Goun H., Löwik C. (2017): In vivo molecular bioluminescence imaging: New tools and applications. *Trends in Biotechnology*, 35(7): 640-652.
- Molnár I., Somlyay I., Tóth E., Farkas I. (2015): *Ciántraniliprol* hatóanyagú csávázó szer hatékonysága a kis káposztalégy (*Delia radicum* L.) ellen őszi káposztarepcében. XXXII: integrált termesztés a szántóföldi és kertészeti kultúrákban. Budapest, 2015. november 25. pp. 89-93.
- 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 Crop Science*, 61: 245-278.
- Nowinszky L., Puskás J. (2014): Efficacy of light traps in catching horse chestnut leaf miner moth, depending on the height of the tropopause. *Crop Protection*, 50: 365-370
- Pes M., Melo A., Stacke R., Zanella R., Perini C., Silva M., Carús G. (2020): Translocation of *chlorantraniliprole* and *cyantraniliprole* applied to corn as seed treatment and foliar spraying to control *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera:Noctuida). *PLoS One*, 15(4): e0229151.
- Pónya Zs., Jócsák I., Keszthelyi S. (2022): Detection of ultra-weak photon emission in sunflower (*Helianthus annuus* L.) infested by two spotted-spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. *Phytoparasitica*, 50 (1): 43–50.
- Porca M., Ghizdavu I., Oltean I., Bunescu H. (2003): Researches in artificial infestation condition and storage condition of some bean cultivars at bean weevil damage, *Acanthoscelides obtectus* Say. *Journal of Central European Agriculture*, 4 (1): 31–38.
- Puchberger K. (1990): *Cameraria ochridella* Deschka & Dimič (1986) (Lepidoptera. Lithocolletidae) in Oberösterreich. *Steyrer Entomology*, 24: 79-81.

- Radotic K., Radenovic C., Jeremic M. (1998): Spontaneous ultraweak bioluminescence in plants: Origin, mechanism and properties. *General Physiology and Biophysics*, 17: 289-308.
- Salleo S., Nardini A., Raimondo F., Assunta M., Pace F., Giacomich P. (2003): Effects of defoliation caused by the leaf miner *Cameraria ochridella* on wood production and efficiency in *Aesculus hippocastanum* growing in North-eastern Italy. *Trees*, 17: 367-375.
- Schmidt-Jeffris R., Nault B. (2016): Anthranilic diamide insecticides delivered via multiple approaches to control vegetable pests: a case study in snap bean. *Journal of Economic Entomology*, 109: 1–10.
- Sidhu J., Hardke J., Stout M. (2014): Efficacy of Dermacor-x-100[®] seed treatment against *diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) on Rice. *Florida Entomologist*, 97: 224–232.
- Skuhrový V. (1998): Zur Kenntnis der Blattminen-Motte *Cameraria ochridella* Deschka & Dimič (Lepidoptera, Lithocolletidae) an *Aesculus hippocastanum* L. in der Tschechischen Republik. *Schädlingskunde, Pflanzenschutz und Umweltschutz*, 71: 81-84.
- Szabóky Cs., Vas J. (1997): Újabb adatok a vadgesztenye-levélaknázómolyról (*Cameraria ochridella* Deschka & Dimič 1986, Lepidoptera, Lithocolletidae). *Növényvédelem*, 33: 29-31.
- Szőcs G. (2018): A vadgesztenye-levélaknázómoly Deschka & Dimič (1986). *Növényvédelem, inváziós kártevők* 34 (3): 1-3.
- Szőcs G., Nagy Z., Kerényiné- Nemestóthy K., Demeter T., Reiderné-Saly K., Cs-Tóth A. (2011): Hogyan időzítsünk a vadgesztenye-levélaknázómoly (*Cameraria ochridella*) elleni vegyszeres védekezést a feromoncsapdák adatai alapján. *Növényvédelem*, 47 (6): 248-250.
- Thrash B., Adamczyk J., Lorenz G., Scott A., Armstrong J., Pfannenstiel R., Taillon N. (2013): Laboratory evaluations of lepidopteran-active soybean seed treatments on survivorship of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Florida Entomologist*, 96 (3): 724-728.
- Tiwari S., Stelinski L. (2013): Effects of *cyantraniliprole* a novel anthranilic diamide insecticide against asian citrus psyllid under laboratory and field conditions. *Pest Management Science*, 69 (9): 1066-1072.
- Tomiczek C., Krehan H. (1998): The horsechestnut leafminer moth (*Cameraria ochridella* Deschka & Dimič 1986) a new pest in Central Europe. *Journal of Arboriculture*, 24 (3): 144-148.

- Vuts J., Hickman M., Mayne E., Tóth M. (2013): A vadgesztenye-levélaknázómoly (*Cameraria ochridella*) rajzáskövetése az Egyesült Királyságban feromoncsapdákkal. *Növényvédelem*, 49 (6): 257-260.
- Wang Z., Dai P., Yang X., Ruan C., Biondi A., Desneux N., Zang S. (2019): Selectivity of novel and traditional insecticides used for management of whiteflies on the parasitoid *encarsia formosa*. *Pest Management Science*, 75 (10): 2716-2724.
- Wilson B., Villegas J., Way M., Pearson R., Stout M. (2021): *Cyantraniliprole*: a new insecticidal seed treatment for US Rice. *Crop Protection*, 140: 105410.
- Wilson T., Hastings J. (1998): Bioluminescence. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 14: 197-230.

7. TÁBLÁZATOK ÉS ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ÁBRA. A VADGESZTENYE-LEVÉLAKNÁZÓMOLY NEMZŐJE (FORRÁS: HELLERS, 2017)	3
2. ÁBRA. A VADGESZTENYE-LEVÉLAKNÁZÓMOLY LÁRVÁJA AZ AKNÁBAN (SAJÁT FELVÉTEL)	4
3. ÁBRA. A VADGESZTENYE-LEVÉLAKNÁZÓMOLY BÁBJA (FORRÁS: BODOR, 2011)	5
4. ÁBRA. VADGESZTENYE-LEVÉLAKNÁZÓMOLY MEGJELENÉSÉNEK IDŐPONTJAI KÜLÖNBÖZŐ TERÜLETEKEN (FORRÁS: HANS, 2016 TÉRKÉPE NYOMÁN, SAJÁT SZERKESZTÉS)	6
5. ÁBRA. A CYAZYPYR® (CIANTRANILIPROL) SZERKEZETI KÉPLETE (FORRÁS: PUBMED, 2022)	12
6. ÁBRA. A DIAMIDOK HATÁSMECHANIZMUSA A RYNAXYPYR® PÉLDÁJÁN KERESZTÜL (FORRÁS: DUPONT 2016)	13
7. ÁBRA. VADGESZTENYE-LEVÉLAKNÁZÓMOLY LÁRVA ÉLETKÉPESSÉG VIZSGÁLATÁNAK OBJEKTÍV MEGHATÁROZÁSA (SAJÁT FELVÉTEL)	17
8. ÁBRA. CYAZYPYR® KÜLÖNBÖZŐ ALKALMAZÁSI MÓDJAINAK VÁZLATA VADGESZTENYE-LEVÉLAKNÁZÓMOLLYAL SZEMBEN USTIN ÉS JACQUEMOUND 2000 MUNKÁJA ALAPJÁN 1. TRANSZLAMINÁRIS, 2. BAZIPEÁLIS, 3. AKROPETÁLIS SZÁLLítódási mód. KÉK: INSZEKTICID SZUSZPENZIÓJA, PIROS: INSZEKTICID TRANSZLOKÁCIÓ HELYE, PIROS NYILAK: A TRANSZLOKÁCIÓ IRÁNYA (SAJÁT ILLUSZTRÁCIÓ)	18
9. ÁBRA. VADGESZTENYE-LEVÉLAKNÁZÓMOLY LÁRVA MORTALITÁS MEGHATÁROZÁS (SAJÁT FELVÉTEL)	19
10. ÁBRA. TRANSZLAMINÁRIS,-ÉS BAZIPETÁLIS KÍSÉRLETI BEÁLLÍTÁS (SAJÁT FELVÉTEL)	20
11. ÁBRA. SIEMENS MULTIX SELECT DR DIGITÁLIS RÖNTGEN BERENDEZÉS (SAJÁT FELVÉTEL)	21
12. ÁBRA. RÖNTGEN ALAPÚ FELVÉTELEZÉS VADGESZTENYE LEVELÉN (SAJÁT FELVÉTEL)	21
13. ÁBRA. NIGHTSHADE LB 985 IN VIVO NÖVÉNYI KÉPALKOTÓ RENDSZER, BENNE VADGESZTENYE LEVÉL (SAJÁT FELVÉTEL)	22
14. ÁBRA. INDIGo™ 2.0.5.0. SZOFTVER ALKALMAZÁSA (SAJÁT ILLUSZTRÁCIÓ)	23
15. ÁBRA. NEKROTIKUS ÉS ÉP LEVÉLRÉSZEK ALAPTERÜLETÉNEK MEGHATÁROZÁSA (SAJÁT ILLUSZTRÁCIÓ)	23
16. ÁBRA. OD FORMULA FELSZÍVÓDÁSA IDŐ,-ÉS KONCENTRÁCIÓ FÜGGVÉNYÉBEN. A: 0 MIN., B: 1MIN., C: 4MIN., D: 10MIN. (SAJÁT FELVÉTEL)	25
17. ÁBRA. A KÜLÖNBÖZŐ CYAZYPYR® ALKALMAZÁSOK ÉS DÓZISOK VADGESZTENYE-LEVÉLAKNÁZÓMOLY LÁRVÁJÁNAK MORTALITÁSÁT KIVÁLTÓ KIJUTTATÁSTÓL SZÁMÍTOTT ÁTLAGOS IDŐTARTAMAI (MIN±SE).	26
A, B, C, D : A KALKULÁLT INSZEKTICID HATÁSIDŐTARTAMOK ESETÉBEN REGISZTRÁLT SZIGNIFIKÁNS ELTÉRÉSEK ($p \leq 0.05$)	26
18. ÁBRA. A CYAZYPYR® KEZELÉS HATÁSÁRA A BUROKBAN LÉVŐ BÁB, VALAMINT AZ AKNÁBÓL KIBONTOTT BÁB EGYARÁNT ÉLETBEN VOLT, MÍG A LÁRVA ELPUSZTULT (SAJÁT FELVÉTEL)	28

19. ÁBRA. TRANZLAMINÁRIS, BAZIPETÁLIS ÉS AKROPETÁLIS CYAZYPYR® ALKALMAZÁSOK STRESSZÉLETTANI EREDMÉNYEI VADGESZTENYE LEVELÉN, ELTÉRŐ DÓZISBAN, IDŐ FÜGGVÉNYÉBEN.	29
A, B, C, D, E: A KALKULÁLT BIOFOTON EMISSZIÓS MÉRÉSEK ESETÉBEN REGISZTRÁLT SZIGNIFIKÁNS ELTÉRÉSEK ($P \leq 0.05$)	29
20. ÁBRA. A CYAZYPYR® KEZELÉS HATÁSÁRA BEKÖVETKEZŐ STRESSZÉLETTANI VÁLTOZÁSOK DETEKTÁLÁSA ÉS VIZUALIZÁLÁSA INDIGo™ 2.0.5.0. SZOFTVER HASZNÁLATÁVAL.	31
A: KONTROLL, B: CYAZYPYR® HATÓANYAGGAL KEZELT LEVELEK	31
21. ÁBRA. A CYAZYPYR® INSZEKTICID ÉS AZ IOMERON 350 KONTRASZTANYAG EGYÜTTES VADGESZTENYE LEVÉLBEN TÖRTÉNŐ AKROPETÁLIS TRANZLOKÁCIÓJÁNAK KÉPI MEGJELENÍTÉSE	32
1. TÁBLÁZAT. A VADGESZTENYE-LEVÉLAKNÁZÓMOLY LÁRVA STÁDIUMAI ÉS AZOK MÉRETEI (FORRÁS: CZENCZ ÉS BÜRGÉS, 1996)	4
6. TÁBLÁZAT. A CYAZYPYR® BAZIPETÁLIS (AKNÁTÓL SZÁMÍTOTT 2 CM-ES TÁVOLSÁGRA KIJUTTATOTT INSZEKTICID) ÉS AKROPETÁLIS ALKALMAZÁSAINAK VALAMINT KÜLÖNBÖZŐ DÓZISAINAK ROVARMORTALITÁST KIVÁLTÓ ÁTLAGOS SEBESSÉGE (MM/MIN $\pm$ SE). ^{A, B} : A KALKULÁLT INSZEKTICID TRANZLOKÁCIÓ SZIGNIFIKÁNS ELTÉRÉSEI ($P \leq 0.05$)	30
3. TÁBLÁZAT. TRANZLAMINÁRIS KEZELÉSEK MÉRT ÉS KALKULÁLT BIOFOTON EMISSZIÓS VIZSGÁLATÁNAK EREDMÉNYEI, A KALKULÁLT BIOFOTON EMISSZIÓ SZIGNIFIKÁNS ELTÉRÉSEI ($P \leq 0.05$)	30
4. TÁBLÁZAT. BAZIPETÁLIS KEZELÉSEK MÉRT ÉS KALKULÁLT BIOFOTON EMISSZIÓS VIZSGÁLATÁNAK EREDMÉNYEI, A KALKULÁLT BIOFOTON EMISSZIÓ SZIGNIFIKÁNS ELTÉRÉSEI ($P \leq 0.05$)	30
5. TÁBLÁZAT. AZ AKROPETÁLIS KEZELÉSEK MÉRT ÉS KALKULÁLT BIOFOTON EMISSZIÓS VIZSGÁLATÁNAK EREDMÉNYEI, A KALKULÁLT BIOFOTON EMISSZIÓ SZIGNIFIKÁNS ELTÉRÉSEI ($P \leq 0.05$)	31

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Hálával tartozom Prof. Dr. Keszthelyi Sándor egyetemi tanárnak és Dr. Jócsák Ildikó egyetemi adjunktusnak, akik folyamatos segítségével, terelgetésével sikerült e dolgozatot, és kutatást ilyen formában kialakítani. Hatalmas szakmai, a kutatási tevékenységek körében szerzett tapasztalati, és emberi hozzáállásuk nagy segítségemre volt a kísérlet megvalósítása előtt, alatt, után-, valamint dolgozatom készítése közben is.

Hálás köszönettel tartozom továbbá Dr. Donkó Tamásnak és Csóka Ádámnak, akik segítségemre voltak a Röntgen képalkotás elvégzése során. Szakértelmükkel hozzájárultak ahhoz, hogy tudományos alapokra építkezzek, valamint ötleteikkel sikeressé tették a Röntgen képalkotás megvalósítását.

Diplomadolgozatom létrejöttében köszönettel tartozom az FMC - *An Agricultural Sciences Company*-nak a kísérletben felhasznált növényvédőszer biztosításáért, amely nélkül e tudományos vizsgálat nem jöhetett volna létre.

Hálás köszönettel tartozom családomnak, nagymamámnak Sebestyén Istvánnénak (Bankics Mária), nagyapámnak Sebestyén Istvánnak, édesapámnak Gerbovits Attilának, édesanyámnak Gerbovitsné Sebestyén Ildikónak, és kisöcsémnek Gerbovits Baláznak. Hálásan köszönöm folyamatos és szerető támogatásukat!

Továbbá szeretném megköszönni Pitz András barátomnak, aki segítségemre volt a kísérlet lebonyolítása közben, és dolgozatom megírása idején is egyaránt.

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Gerbovits Bálint
A Hallgató Neptun kódja: GN8YIA
A dolgozat címe: A vadgesztenye-levélaknázómoly (*Cameraria ochridella* Deschka & Dimic, 1986) lárvái ellen cyazypyr hatóanyaggal történő védekezés megítélése modern képalkotó eljárások segítségével
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: Növénytermesztési-tudományok Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Agronómia Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottnak tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: Kaposvár, 2024. április 10.


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Gerbovits Bálint (hallgató Neptun azonosítója: GN8YIA) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: Kaposvár, 2024. április 10.



Prof. Dr. Keszthelyi Sándor
egyetemi tanár
Növénytermesztési-tudományok Intézet
Agronómia Tanszék

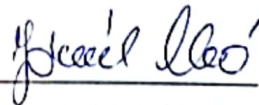
NYILATKOZAT

Gerbovits Bálint (hallgató Neptun azonosítója: GN8YIA) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: Kaposvár, 2024. április 10.



Dr. Jócsák Ildikó
egyetemi adjunktus
Növénytermesztési-tudományok Intézet
Agronómia Tanszék