



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

**Őszi káposztarepcén (*Brassica napus* ssp. *oleifera* L.) végzett rovarölőszeres
kezelések hatásának vizsgálata lombkártevő fajok mortalitására és a
növény fotoszintetikus aktivitására**

**Examination of the effect of insecticide treatments on the mortality and photosynthetic
activity of foliar pest species of oilseed rape (*Brassica napus* ssp. *oleifera* L.)**

Készítette: Gerbovits Bálint
Agrármérnök hallgató
Nappali tagozat
Kaposvári Campus

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

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

OTDK szekció: Agrártudományi szekció

Kaposvár

2023

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS.....	3
2. CÉLKITŰZÉSEK	4
3. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	5
3.1. Az őszi káposztarepce rendszertana, termesztésének jelentősége	5
3.2. Káposztapoloska biológiája és kártétele.....	7
3.3. Az őszi káposztarepce kártevőivel szemben gyakorlati védekezés megvalósítása	9
3.3.1. Alternatív védekezési lehetőségek a repce kártevőivel szemben	10
3.3.2. Kártevők természetes ellenségei: ragadozók	10
3.3.3. Kártevők természetes ellenségei: parazitoidok.....	11
3.4. A harmadik generációs szisztémikus növényvédőszer szerepe kártevők visszaszorításában. 12	
3.4.1. Perspektivikus kémiai eszközök a védekezésben, diamidok	12
3.4.2. <i>Ciantraniliprol</i> , (cyazypyr®)	13
3.4.3. Diamidok hatásmechanizmusa (IRAC MoA: 9D)	14
3.4.4. Perspektivikus kémiai eszközök a védekezésben, butenolidok	15
3.4.5. <i>Flupiradifuron</i>	16
3.4.6. Butenolidok hatásmechanizmusa (IRAC MoA: 4D).....	17
3.5. Egyéb napjainkban engedélyezett kontakthatású rovarölőszerek szerepe a repce kártevőinek visszaszorításában	18
3.6. Képkötő eljárások hatékonysága a növényvédelemben	19
3.6.1 Biofoton kibocsátásra alapozott képkötés	19
4. SAJÁT VIZSGÁLATOK.....	22
4.1. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	22
4.1.1. Kísérlet lebonyolításának módszertana	22
4.1.2. Biofoton emisszió alapú képkötés metodikája	25
4.1.3. A káposztapoloskák által károsított levélfelületen kialakított léziók meghatározása.....	27
4.1.4. Statisztikai elemzések.....	27
4.2. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK.....	28
4.2.1. A különböző kezelések rovarmortalitást kiváltó időtartamának elemzése	28
4.2.2. Inszekticides kezelés hatására bekövetkező stresszélettani vizsgálatok eredményei	32
4.2.3. A káposztapoloskák által károsított levélfelületen kialakított léziók elemzése.....	37
5. ÖSSZEFOGLALÁS	39
6. FELHASZNÁLT IRODALOM	42
7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	50

1. BEVEZETÉS

Az őszi káposztarepce a világ és Európa egyik legfontosabb olajipari növényének tekinthető. A Földön több mint 26 millió hektáron termesztik e kultúrnövényt. Hazánkban köztermesztésbe vonása az 50'-es, 60'-as évekre nyúlik vissza, majd 1980-ra széles körben elterjedt. Intenzív termesztésének elterjedése e növény sokrétű felhasználásával magyarázható, melynek során napjaink egyik legmeghatározóbb olajipari növényévé nőtte ki magát. Az őszi káposztarepcét azonban az ízeltlábúak széles köre támadja, emiatt a hatékony növényvédelmi technológiák megválasztása kulcsfontosságú tényezők e növény gazdaságos termesztése szempontjából. E növényt károsító rovar fajok őshonosok, oligofág csoportba tartoznak, kizárólag a keresztesvirágúak rendjébe tartozó növények képezik növényflórájukat. E fajok jelenléte folyamatos, megjelenésükre fokozott figyelmet kell fordítani a teljes vegetációs időszak alatt. Az őszi káposztarepce károsítóival szemben elmulasztott védekezési eljárások sorozata az ágazat versenyképességét és gazdaságosságát veszélyeztetik. E fajok leküzdése az alkalmazott, hatékony növényvédelmi technológiák megválasztásának függvénye. Napjainkban széles növényvédőszer paletta áll rendelkezésre, azonban az állománykezelésre felhasználható készítmények zöme ún. kontakt hatáskifejtéssel rendelkezik. A szűk célhelyi aktivitás és rövid hatásidőtartam végett az állománykezelések többszöri megismétlésére lehet szükség a repce termesztéstechnológiájában.

Napjaink egyik legperspektivikusabb hatóanyag csoportjainak számító butenolidok és diamidok, az ún. harmadik generációs zoocid hatóanyagok a *flupiradifuron* és a *ciantraniliprol* az őszi káposztarepce termesztésében vetőmagkezelés formájában rendelkezésre álló hatóanyagok. E készítmények újszerű hatáskifejtéssel és többirányú transzlokációs úttal rendelkeznek. Vizsgálatunkat motiválta, hogy feltérképezzük az egységnyi termőterületre kijuttatható peszticidek csökkentésének lehetőségét. Ezen indítatásból vizsgáltuk e hatóanyagok vetőmagkezelés formájában történő alkalmazásának lehetőségét az őszi káposztarepce korai fejlődési stádiumában a káposztafélékre specializálódott szipókás károsítókkal szemben. Emellett a hagyományos kijuttatási módon, állománykezelés formájában is feltérképezni kívántuk a vizsgált zoocidek hatékonyságát.

Laboratóriumi kísérleteinkkel egyedülálló módon, a hagyományos toxicitási elemzések mellett roncsolásmentes képalkotó technológiák felhasználásával kívántuk e vizsgálat sorozatot alapozni, melyek újszerű eredményekkel járulhatnak hozzá növényvédőszeres kezelések sikerességének feltérképezéséhez. A vizsgált rovarfaj multivolin jellege és a Pannon-öko régióban megfigyelt elterjedtsége alapjaiban kiválóan elemezhető fajt biztosított számunkra.

A káposztapoloska táplálkozási szokásait (szipókás) figyelembe véve a speciális növényvédelmi technológiák hatékonyságának feltárását, elemzését tette lehetővé e kártétel típus vonatkozásában. A vizsgált hatóanyagok és az alkalmazott roncsolásmentes képalkotó technológia felhasználásával hozzájárulhatunk az őszi káposztarepce fenntartható termesztéstechnológiájának megvalósításához, hozzájárulva ezzel az integrált növényvédelemnek megfelelő, sikeres védekezési eljárások megvalósulását.

Végezetül pedig személyes indíttatás is a motivációk között szerepelt, mivel a gyakorlati növénytermesztés számára is alkalmazható, hatékony megoldást kívántam keresni az őszi káposztarepce kiterjedt ízeltlábú, fitofág közösségével szemben. E tudományos dolgozatban a fent vázolt növényvédelmi kérdésekre kerestük a választ.

2. CÉLKITŰZÉSEK

Vizsgálatunkban célul tűztük ki az őszi káposztarepcét károsító káposztapoloskával (*Eurydema ventralis* Kolenati, 1846) szemben a különböző módon kijuttatott *ciantraniliprol* és *flupiradifuron* hatóanyagok hatékonyságát, idő függvényében mért mortalitásának objektív meghatározását.

Az inszekticides kezeléseket követően növényi stresszjelenségek felmérésére biofoton emissziós méréseket végeztünk, amely nem-invazív technológia segítségével kívántuk feltérképezni az alkalmazott hatóanyagok és a poloskák károsításának hatását a növényi életfolyamatokban. Így e modern képalkotó technológia felhasználásával egyedülálló módon kívántuk megismerni a vizsgált hatóanyagok szipókások elleni alkalmazhatóságát.

3. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. Az őszi káposztarepce rendszertana, termesztésének jelentősége

Az őszi káposztarepce a zárvatermők törzsébe (*Magnoliophyta*), kétszikűek osztályába (*Magnoliopsida*), keresztesvirágúak rendjébe (*Brassicales*), káposztafélék (*Brassicaceae*) családjába, és a *Brassica* nembe tartozik (1.ábra).



1. ábra. Az őszi káposztarepce (forrás: Bayer CropScience, 2021)

Az őszi káposztarepce a világ egyik legjelentősebb, és Európa legfontosabb növényi olajforrásának tekinthető. Európában vetésterülete meghaladja a napraforgó (*Helianthus annuus* L.) termesztésének területét. Világviszonylatban az olajpálma (*Elaeis guineensis* Jacq.) és a szója (*Glycine max* L.) mögött a harmadik helyet foglalja el (Némethová, 2022). A Központi Statisztikai Hivatal adatai alapján a 2022-es évben a *B. napus* vetésterülete némiképp meghaladta a 204.000 hektárt. Azonban vetésterülete az elmúlt években csökkenő tendenciát mutat hazánkban. Az őszi káposztarepce alapvetően ipari növény, annak ellenére, hogy az úgynevezett dupla nullás fajták alkalmasak humán élelmiszerként történő felhasználásra az étolajon vagy margarinon keresztül. Európai vonatkozásban termesztése más kultúrákhoz nem fogható növekedést mutat, mely elsősorban sokrétű felhasználásával magyarázható. A repceből nyerhető legfontosabb nyersanyag a sajtolt olaj, mely megújuló energiaforrásnak is tekinthető (Keszthelyi és Kazinczi, 2014). Napjainkban egyre nagyobb szerepet kap a diesel üzemű gépjárművek számára történő, üzemanyag célú hasznosítása is, melynek során a repce olaját vegyítik a fosszilis energiahordozókkal (Aldhaidhawi, 2017). Ezen olajos növény nyersanyagot

szolgáltat továbbá a szappan-, és festékgyártásnak, alapanyaga a különféle kozmetikumoknak, kenőcsöknek, segédanyaga a műanyag-, bőr-, textil iparnak. Ipari voltán kívül felhasználható takarmányozási célokra is (Tóth és mtsai, 2014). Napjainkra az egyik legintenzívebb szántóföldi kultúrának tekinthető, mivel a vegetáció ideje alatt elvégzett növényvédelmi kezelések száma meghaladhatja a tízet. Eredményes termesztése szempontjából elengedhetetlenek e hatékony beavatkozások, melynek során védekezni kell a gyomok-, gombák-, és rovarok károsító hatása ellen. Gyomírtás vonatkozásában a korábbi, posztemergens kezelésektől egyre inkább a preemergens kezelések irányába mozdul el a technológia. A kórokozók ellen már a vetést megelőzően, majd ősszel és tavasszal egyaránt biztosítani kell a védelmet, valamint a vegetációban akár három-négy alkalommal is szükség lehet a rovarölő szeres állománykezelések elvégzésére (Keszthelyi és Kazinczi, 2014). Emellett a megismételt morforegulátoros kezelések, a fejtrágyázások, és a betakarítást megelőzően végzett becőragasztás, és állományszárítás szükségessége egyértelműen alátámasztja e növény intenzív termesztéstechnológiájának voltát.

Az őszi káposztarepce Eurázsiai eredetű faj, széles kártevőspektrummal, kiterjedt ízeltlábú közösséggel rendelkezik (Williams, 2010). Az őt támadó és károsító fajok Eurázsiai elterjedésűek, a széles kártevőközösség nem enged teret az adventív, specialista fajok megtelepedésének (Alford és mtsai, 2003; Keszthelyi és Kazinczi, 2014). Ízeltlábú közössége oligofág fajokból áll, kizárólag a *Brassicaceae* családba tartozó növények szerepelnek tápnövény palettájukon (pl. *Sinapis alba* L.) (Garbe és mtsai, 2000). Kártételükre a növény teljes vegetációs időszaka alatt számíthatunk, a növény kezdeti fejlődésétől egészen a betakarításig tartó időszakig. Csoportosíthatjuk őket vegetatív és generatív szervek károsítóinak is, ugyanakkor számos faj mind vegetatív-, mind generatív részeket egyaránt károsít. A repce vetését követő, kezdeti fejlődésétől egészen rozetta állapot kialakulásáig a növény károsítókkal szembeni megóvása a későbbi fejlődést, és egyben a termesztés sikerességét alapvetően meghatározza. Európa nyugati részén, ahol korábban kerül elvetésre e növény, fokozott figyelmet kell fordítani a kis káposztalég (*Deli radicum* L., 1758) kártételére (Bažok és mtsai, 2012; Keszthelyi, 2016). Molnár és munkatársai (2015) alapján, a *ciantraniliprol* hatóanyagot vetőmagkezelés formájában alkalmazva 45-65% hatékonyságot mutatott a kis káposztaléggel szemben. Magas kártétellel jár a korán betelepülő keresztesek földibolhái (*Phyllotreta* spp.), a nagy repcebolha (*Psylliodes chrysocephala* L., 1758) és a repcedarázs (*Athalia rosae* L., 1758) e növény juvenilis stádiumában történő károsítása (Markóné, 2019; Marczali, 2019). Emellett a vegetáció későbbi szakaszában különös gondot okozhat a repceszár-ormányos

(*Ceutorhynchus pallydactilus* Marsham, 1802), a nagy repceormányos (*Ceutorhynchus napi* Marsham, 1802), a repcefénybogár (*Brassicogethes aeneus* Fabricius, 1775), repcebecő ormányos (*Ceutorhynchus obstrictus* Marsham, 1802), honvédbogár (*Tropinota hirta* Poda, 1761) és a poloska fajok (Hemiptera) betelepülése.

3.2. Káposztapoloska biológiája és kártétele

A káposztapoloskát (*E. ventralis*) a *Brassicaceae* családba tartozó kultúr,-és haszonnövényeink kártevőjeként tartják számon (Pataki, 2001). Teste lapos, zömök, mérete 6,5-10mm, mélyvörös színezettel, feje fekete. Az előhát elülső részén két, mögötte négy fekete folt található, félfedői főként pirosak, fekete rajzolattal tarkítva (2. ábra) (Jermy és Balázs, 1988; Keszthelyi, 2016).



2. ábra. A káposztapoloska imágója (forrás: Klecska, 2016)

Évente 1-2 nemzedékben fejlődik. Egyedfejlődése monometabólia, lárvái szárnytalanok, azonban megjelenésükben és életterükben az imágókhoz hasonlítanak (Keszthelyi, 2016). Imágó alakban telel az avarban, vagy a száraz növényi maradványok között (Halászfy, 1958). Petéit a levél színére, fonákjára helyezi, ritkábban megtalálható a növények szárán, illetve virágán is (Benedek, 1969). Petecsomóban helyezi le petéit, mely 6-6db szürke körkörösözttségű petéből áll (3. ábra) (Pataki, 2001; Keszthelyi, 2016).



3. ábra. A káposztapoloska petéi az őszi káposztarepcén (forrás: saját felvétel)

Mintegy 40 napig fejlődik, és öt lárvastádiumon keresztül válik imágóvá. Tömeges rajzására és megjelenésére április végén és május elején számíthatunk (Jermy és Balázs, 1988). Kártételük bizonyos évszakokban, e kártevő nagymértékű felszaporodása esetén okozhat gondot. Elsősorban a leveleken szívogatnak. A poloskák táplálkozásának sajátossága, hogy szűrő-szívó szájszervük segítségével szervesanyag bontó enzimeket (fehérje, szénhidrát és telítetlen zsírok) juttatnak a növényekbe s ez által mechanikailag roncsolják a szöveteket (Halászfy, 1958; Keszthelyi, 2016). Szívogatásuk nyomán a levelek felületén kezdetben apró, pontszerű fehér foltok keletkeznek. Később e foltok sugárirányban a szúrások helyétől kiindulva ujjszerű nyúlványokká alakulnak. A károsított növényi részek turgort, vizet veszítenek, kezdetben lankadnak s a szívogatások helyén barnuló, nekrotikus foltok keletkeznek, majd később elhalva lehullanak (Benedek, 1969; Keszthelyi és Kazinczi, 2014). Megjelenésükre, tömeges felszaporodásukra főként meleg, aszályos évjáratokban számíthatunk (Bognár és Huzián, 1979). A fiatal, vegetációs periódus elején lévő növények (BBCH 11-14) reagálnak a legérzékenyebben a poloskák szívogatására (Szeőke, 2006). Termesztett haszonnövényeink közül az őszi káposztarepcén kívül a retken (*Raphanus sativus* L.), tormán (*Armoracia rusticana* P.G. Gaertn., B. Mey. & Scherb), karalábén (*Brassica oleracea* convar. *acephala* var. *gongylodes* L.), karfiolon (*Brassica oleracea* convar. *botrytis* var. *botrytis* L.) történő szívogatásuk okozhat problémát. A gazdasági növényeink vetése, ültetése előtt előszeretettel szívogatnak vad káposztafélékben is. Tápnövényei közé tartoznak a keresztesvirágú növények, rózsafélék és a lucerna is (Jermy és Balázs, 1988; Szeőke, 2006; Keszthelyi, 2016). Pataki (2001) megállapításai szerint, amennyiben a poloskáknak lehetősége van választani, úgy a retken s tormán nagyobb mértékben szívogatnak, mint káposztaféléken.

3.3. Az őszi káposztarepce kártevőivel szemben gyakorlati védekezés megvalósítása

Az őszi káposztarepce gyakorlati növényvédelmi alapelveinek pontatlan kivitelezésével és mellőzésével napjainkban gyakorlatilag e növény termesztésének gazdaságossága kerülhet veszélybe. Ahogy más szántóföldi növények esetében, úgy e termesztett olajos kultúránk növényvédelme az elővetemény megválasztásával kezdődik (Keszthelyi, 2016). A növény homogén kelése, s egyenletes fejlődése szempontjából biztosítani kell az apró morzsás, kellően tömörödött, könnyen felmelegedő és tápanyagokkal gazdagon ellátott talajt. Ez a célszerű talajművelési eljárások okszerű kivitelezésével érhető el. Természetesen az abiotikus tényezők is alapvetően meghatározzák az adott termesztési évet, ugyanis kellő mennyiségű csapadék nélkül nem lehet optimális feltételeket teremteni az őszi káposztarepce fejlődéséhez (Orlovius, 2003). Az őszi káposztarepce növényvédőszer szortimentben engedélyezett szisztémikus rovarölőszerek a *flupiradifuron* és a *ciantraniliprol*, melyek vetőmagkezelés formájában rendelkezésre állnak és hatékony védelmet nyújtanak a talajlakó pajzorok, drótférgek és áldrótférgek ellen, valamint a növény juvenilis állapotában károsító ízeltlábú kártevőivel, a kis káposztalégy (*D. radicum*), a nagy repcebolha (*P. chrysocephala*), káposzta bolhák (*Phyllotreta* spp.) és a repcedarázzsal (*A. rosae*) szemben (Bayer CropScience, 2021; Corteva Agriscience, 2022). A levélképzés intenzív időszakában települnek be a repcedarázs álhernyói a területre. Ha számuk eléri a négyzetméterenkénti 3-4 lárvát védekezni szükséges, ugyanis rágószájszervük segítségével gyakorlatilag tarrágást képesek végezni (Keszthelyi, 2016). Kora tavasszal települ be az őszi káposztarepce táblákba a repceszár-ormányos (*C. pallydactilus*) és a nagy repceormányos (*C. napi*). Mivel e kártevők imágó alakban telelnek, így tavasszal már korán károsítani képesek. Előrejelzésen alapuló, időzített állománypermetezéssel tudunk hatékonyan védekezni ellenük. Védekezési küszöbérték 10-15 imágó/sárgatálanként (Keszthelyi, 2016). Tavasszal, a legköri hőmérséklet 15 °C fölé emelkedésével, a növény zöldbimbós állapotától kezdve a fénybogarak, különösen a repce-fénybogár (*B. aeneus*) betelepedésével kell számolni. Az ellene történő védekezés növény vizsgálatra alapozottan időzítve végezhető el. Növényenként 3-5 db imágó megléte esetén védekezni szükséges (Cook és mtsai, 2007). Alfrod és munkatársai (2003) vizsgálatai szerint a repce-fénybogár az őszi káposztarepce egyik legjelentősebb és legnagyobb gazdasági kárt okozó károsítója. Keszthelyi (2016) véleménye szerint a fruktofág kártevők szerepe is kiemelkedő jelentőségű. A repcebecő ormányos (*C. obstrictus*), a repcebecő-gubacsszúnyog (*Dasineura brassicae* Winnert, 1853) és a bundásbogár (*T. hirta*) fajok a megtermékenyített becőkön okoznak károsítást. Az elvárt termés mennyiség realizálása érdekében elengedhetetlen e kártevők elleni időben történő

védekezés megvalósítása. Az intenzív termesztéstechnológiájú őszi káposztarepce kultúrákban az állomány kezelések többszöri megismétlése is szükségessé válhat. Mindenekelőtt a hatékony, és előrejelzésen alapuló kémiai növényvédelmi kezelések célszerű kijuttatását kell kiemelni (Keszthelyi és Kazinczi, 2014). E felsorolt kártevőkkel szemben *piretroid* (*lambda-cihalotrin*, *gamma-cihalotrin*, *cipermetrin*, *etifenprox*) *acetamiprid*, *flupiradifuron*, hatóanyag tartalmú készítményekkel, állománykezelés formájában tudunk hatékonyan védekezni (Bayer CropScience, 2021; Corteva Agriscience, 2022,2023; FMC, 2023; Sumi Agro, 2021).

3.3.1. Alternatív védekezési lehetőségek a repce kártevőivel szemben

A biológiai védekezés alapja az őszi káposztarepce kártevőinek, ízeltlábú közösségének természetes predátorai, parazitodjainak felhasználásával történik. E védekezési eljárásokkal hozzájárulhatunk a növényvédőszer felhasználás csökkentéséhez. Biológiai védekezés során a kártevők természetes ellenségeinek megőrzésére és növelésére összpontosítunk, és nem az idegenhonos, specialista predátorok betelepítésére. Ezt tartják e védekezési eljárás legegyszerűbb és legkevésbé költséges módszerének amellet, hogy az ökoszisztéma természetes folyamataiba beavatkoznánk (Murchie és mtsai, 1999; Ferguson és mtsai, 2000; Williams, 2010).

3.3.2. Kártevők természetes ellenségei: ragadozók

Az őszi káposztarepce kártevőit generalista ragadozók széles köre támadja. A talajbogarak (Coleoptera: Staphylinidae), bogarak (Coleoptera: Carabidae) és pókok (Arachnida: Araneae) a legelterjedtebb talajszinten vadászó ízeltlábúk, míg a lomb szinten a hosszú lábú legyek (Diptera: Dolichopodidae), valamint a táncoló legyek (Diptera: Hybotida) a legnagyobb számban megjelenő természetes ragadozók (Büchs és Alford, 2003; Büchs és mtsai, 2006). Kromp (1999) megállapításai szerint a Staphylinidae és a Carabidae családba tartozó rovarok a legjelentősebb ragadozói az oligofág kártevőknek az európai szántóföldi növénytermesztési rendszereken belül. Az őszi káposztarepce ízeltlábú közössége főleg a Carabidae családba tartozó predátorok ragadozására a legérzékenyebbek tojásrakáskor, lárva stádiumban a talajban, illetve bebábozódott formában a talajon (Williams, 2010). Bonnemaïson (1957) és Scherney (1959) vizsgálatai szerint a *Clivina fossor* L.1758 a repcebecő-ormányos (*C. obstrictus*) és a repcefénybogár (*B. aeneus*) lárváival szemben 60-65% mortalitást volt képes okozni. Basedow (1973) 39 és 65%-os mortalitást figyelt meg az epigaeikus ragadozók hatására a *B. aeneus* és a repcebecő-gubacsúnyog (*D. brassicae*) lárváival szemben. Ezzel szemben Finnországban mindösszesen 3% mortalitást jegyeztek fel a *B. aeneus* lárváival szemben a Carabidae és más

epigaeikus ragadozók hatására (Hokkanen és mtsai, 1988). Hasonlóképpen Nilsson és Andreasson (1987) vizsgálatai alapján csekély jelentőséget tulajdonítottak a *Carabidae* családba tartozó ragadozók szerepének a repcefénybogár lárvapusztulására Svédországban. Felsmann és Büchs (2006) vizsgálatai szerint a Staphylinidae lárváinak száma magasabb volt azon őszi káposztarepce vetésekben, melyeket integrált rendszerekben műveltek forgatásos talajművelés mellőzésével és inszekticides kezelések alkalmazása nélkül. Ezzel szemben a hagyományos rendszerekben művelt területeken a tapasztalt lárvaszámuk alacsonyabb volt. Emellett azon évjáratokban, amikor a *B. aeneus* gradációja magasabb volt a predátorok száma is emelkedett (Williams, 2010). Büchs és Alford (2003) szerint a *Theridion impressum* L. Koch, 1881 specialista ragadozója a repcebecő-gubacsszúnyog imágóival szemben, ugyanis e predátor által készített pókhálók 38%-ban találtak repcebecő-gubacsszúnyogokat.

Az integrált növényvédelemnek megfelelő, előrejelzésen alapuló, okszerű növényvédelmi kezelések végzésével kedvező feltételek adódnak az őszi káposztarepce természetes ellenségei számára. Jelenlétük elősegíti a kártevők egyedszámának pusztulását, hozzájárulva ezzel a növényvédőszer felhasználás csökkentéséhez (Williams, 2010; Keszthelyi, 2016).

3.3.3. Kártevők természetes ellenségei: parazitoidok

A parazitoidok jelentős természetes mortalitást gyakorolnak az őszi káposztarepce kiterjedt fitofág izeltlábú közösségére (Williams, 2010). Alford (2003) alapján a hat legfontosabb repce kártevő (*P. chrysocephala*, *B. aeneus*, *C. obstrictus*, *D. brassicae*, *C. pallidactylus*, és a *C. napi*) számára mintegy 80 parazitoid faj jelent természetes ellenséget. A predátorokhoz hasonlóan főként lárvá fejlődési stádiumban lévő rovarokat támadnak a hártýásszárnyú darazsak, fém-, és valódi fürkészdarazsak. Hokkanen és munktarásai (1988) vizsgálata szerint Svédországban és Finnországban az összes rovarölöszer mintegy 50%-át a repcefénybogár elleni védekezés végett juttatták ki, azonban a *Phradis morionellus* Holmgren, 1860 számára kedvező feltételeket teremtvé, mintegy 100% lárvapusztítást képes okozni, ezáltal az adott termelési évben hatékonyan megakadályozható e repce kártevő károsítása. A *Trichomalus perfectus* Walker, 1835 a *C. pallidactylus* széles körben elterjedt és hatékony ellenségének bizonyult, így jelentős és hatásos természetes védekezést tud biztosítani e kártevő ellen (Murchie és mtsai, 1997). Veromann és munkatársai (2010) több éves vizsgálataiban megállapították, hogy a *C. obstrictus* leggyakoribb parazitoidja a *T. perfectus* volt, azonban a *Mesopolobus morys* Walker, 1848 és a *Senomalina gracilis* Walker is jelentőséggel bír a fejlődő lárvákra. Megállapították emellett, hogy a parazitáltság mértéke nem minden évben egyforma. Egyes években 45-50%,

míg a parazitoidok számára kedvező feltételek esetén akár 96% is lehet. A termőhelyi környezet, a szántóföldi szegélyszávok és a parlagon hagyott területek meglepte mind kedvező feltételeket teremtenek a repcefénybogár természetes parazitái számára (Hokkanen, 1991; Thies és Tschamtker, 1999). A hatékony biológiai védekezés megvalósulása érdekében a parazitoidok megjelenésének térben és időben is egybe kell esnie a kártevők jelenlétével, fejlődési stádiumaival (Murchie és mtsai, 1999; Ferguson és mtsai, 2000). Az őszi káposztarepcében, különösen a virágzás idejében végzett inszekticidális állománykezelések során nem csupán a pollinátorok veszélyeztetettek, hanem a parazitoidokra nézve is káros hatással bírnak. A rovarölő szereknek, a repce kártevőinek és a parazitodjainak fenológiai stádiumainak ismerete által meghatározott állománykezelési időszakokban történő peszticid alkalmazások csökkenthetik a hasznos szervezetek pusztulását (Nilsson, 1985; Murchie és mtsai, 1997; Wilsson, 2010). Számos parazitoid faj a talajban telel. Az őszi káposztarepce betakarítását követő talajművelési eljárások, különösen a forgatásos talajművelés mérséklésével elősegíthető a természetes parazitoidok élettevékenysége, túlélése és ezáltal a hatékony biológiai védekezés megvalósulásában szerepet vállalnak (Nilsson, 1985).

3.4. A harmadik generációs szisztémikus növényvédőszer szerepe kártevők viaszosorításában

3.4.1. Perspektívus kémiai eszközök a védekezésben, diamidok

A vegyületcsoport rovarok halandóságát kiváltó tulajdonságát a *flubendiamid* hatóanyag rovarölő hatásának bizonyításán keresztül elsőként a japán Nihon Nohayaku növényvédőszer kutató és fejlesztő cég írta le 2007-ben (Keszthelyi, 2019). Az elsődleges célkártevők szójabab kultúrákban károsító lepke hernyók, valamint zöldség és gyümölcs kártevők voltak (Dong és mtsai, 2017). E hatóanyagcsoport felhasználásának fellendülését azonban a rokonvegyületek felfedezése váltotta ki. Az FMC által bevezetett *klór-antraniliprol* (rynaxypyr®) és *cián-antraniliprol* (cyazypyr®) hatóanyagok jelentették a fellendítést és áttörést a fenntartható szemléletű rovarölő szeres kezelések vonatkozásában. A diamid hatóanyagcsoportba tartozó vegyületek 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). A vegyületek a rianodin (RyRs) receptorok aktiválásán keresztül fejtik ki hatásukat. A RyRs nevét *Ryania speciosa* M. Vahl növényről kapta, melynek szöveteiben

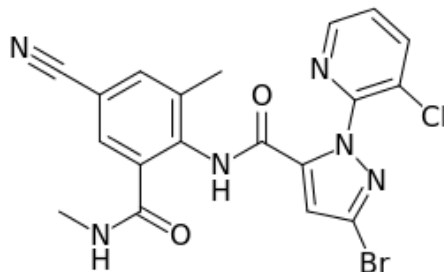
speciálisan termelt enzimek rovarölő hatással rendelkeznek (Lahm és mtsai, 2009). Jeanguenat (2013) megállapításai szerint e kivonatok rovarölő tulajdonságát lepkék vonatkozásában már 1946-ban megfigyelték.

3.4.2. *Ciantraniliprol*, (cyazypyr®)

A *ciantraniliprol* hatóanyag ideg- és izomműködést befolyásoló zoocid hatóanyagok közé, a diamidok csoportjába 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). Pes és munkatársai (2020) megállapításai alapján, növényen belüli szállítódása akropetális, bazipetális, és transzlamináris úton is megvalósul. Növénybe felszívódva tartósan megőrzi biológiai aktivitását, mely által hosszú hatásspektrumot képes biztosítani. E többféle módon létrejövő transzlokációnak köszönhetően hatékonyan képes eljutni a célszervezethez. Pes és munkatársai (2020) számoltak be arról, hogy a *ciantraniliprol* hatóanyag kijuttatást követően szinte azonnal megakadályozta a célszervezet táplálkozását, s így kárképek kifejlődését is. Kedvező ökotoxikológiai tulajdonsággal rendelkezik, kíméli a célszervezetnek nem minősülő ízeltlábú, hasznos élő szervezeteket, pollinátorokat. Gerincesekre, földigilisztákra és mikroorganizmusokra csekély mértékű toxicitást mutat. Tiwari és munkatársai (2013) vizsgálatai szerint környezetbe kijuttatva a növényi szöveteken kívül gyorsan bomlik másodlagos anyagcseretermékek-, és hatóanyag felhalmozódás nélkül. E hatóanyag kiterjesztése az egyéb szántóföldi, kertészeti és erdészeti állományokban áttörést jelenthet jelen korunk ízeltlábú kártevői ellen végzett, fenntartható szemléletű védekezésében (Keszthelyi, 2019).

A *ciantraniliprol* hatóanyag egyéb diamidokhoz képest jobb transzlokációs tulajdonsága miatt, az edénynyalábokban jobban transzlokálódik (mint pl. a *klórantraniliprol*). 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 (*D. radicum*) általi gyökérvégkárosítás lényegesen alacsonyabb volt e hatóanyaggal történő vetőmagcsávázás következtében a kezeletlen, kontroll táblákhoz képest. Emellett a *ciantraniliprol* hatóanyagot magasabb koncentrációban, vetőmagkezelés formájában alkalmazva jó védelmet nyújtott a nagy repcebolyha (*P. chrysocephala*) és a keresztesek földibolyhái (*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). A 4. ábra jellemzi a tárgyalt inszekticid szerkezeti ábrázolását.



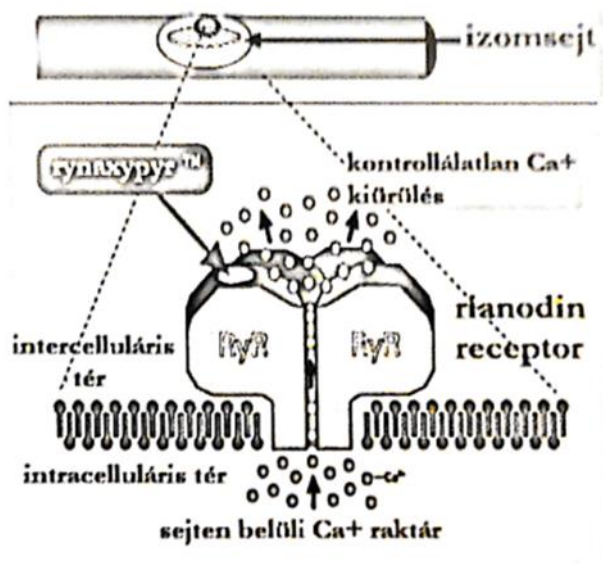
4. ábra. A *ciantraniliprol* szerkezeti képlete
(forrás: Pubmed, 2022)

Hazánkban jelenleg a Benevia®, az Exirel® és eseti engedéllyel a Verimark® márkanevű készítmények rendelkeznek hatályban lévő inszekticid engedélykíráttal. Emellett a Lumiposa® ismert a növényvédőszer szortimentben, és az őszi káposztarepce vonatkozásában vetőmagkezelés formájában rendelkezésre áll. Külföldön e hatóanyaggal, a Mainspring GNL®, a Pestrong® és a Spinner® terméknévvel ellátott készítményekben találkozhatunk még (Corteva Agriscience, 2021,2022; FMC, 2023).

3.4.3. *Diamidok hatásmechanizmusa (IRAC MoA: 9D)*

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; Teixeira és Andaloro, 2013). Így meggátolja az izmok összehúzódását, és egyúttal leállítja a rovarok mozgását, táplálkozását (Yoshida és mtsai, 2014; 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; Keszthelyi és mtsai, 2023). 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). Az 5. ábra szemlélteti az ideg- és izomműködést befolyásoló inszekticid készítmények hatásmechanizmusát a *klórantraniliprol* példáján keresztül.



5. ábra. A diamidok hatásmechanizmusa *klórantraniliprol* példáján keresztül (forrás: DuPont, 2019)

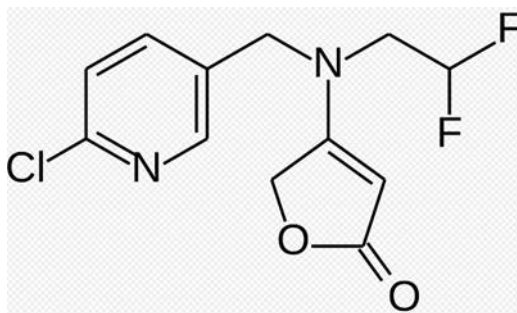
3.4.4. Perspektivikus kémiai eszközök a védekezésben, butenolidok

E vegyületcsoportba tartozó *flupiradifuron* hatóanyag rovarölő tulajdonságát a sztemofolin-származék megismerése segítette elő, melyet a *Stemona japonica* Lour. növényből nyertek. Ezáltal e hatóanyag volt az első, mely az inszekticidok új hatásmechanizmusát képviselő butenolidok kémiai csoportjába került. A butenolidok kémiai szerkezete tekintetében nagymértékben hasonlít a neoniktonoidokra (Keszthelyi, 2019). A *flupiradifuron* hatóanyagnak nagy jelentőséget tulajdonítottak a neonikotinoid rezisztens moly (Aleyrodidae)-, és levéltetvek (Aphididae) elleni hatékony védekezésben, ugyanis *sulfoxaflor* hatóanyaggal együtt kiemelkedő hatékonyságot mutatott e kártevőkkel szemben (Nauen és mtsai, 2015; Wale és mtsai, 2017). A *flupiradifuron* hatóanyag a Bayer CropScience tulajdonában áll, aki először az Amerika Egyesült államokban tette elérhetővé készítményét Sivanto® néven. Majd e készítmény rövid idő alatt, széles körben elterjedt a világ számos mezőgazdasági termelő régiójában. Az Amerikai Egyesült Államokon kívül elérhető Indiában, Kínában, Brazíliában és Európa több országában is (Keszthelyi, 2019). Hazánkban Sivanto® Prime márkanévvel kapható és számos, kertészeti (alma, birs, szőlő, szamóca, paradicsom, káposztafélék)-, és szántóföldi (csillagfűrt, zöldborsó) kultúrában rendelkezik hatályos engedélykivarral. Sivanto® Energy márkanévvel kapható készítmény *deltametrin* (10g/l) és *flupiradifuron*

(75g/l) hatóanyagokkal vegyítve, mely állománykezelésre felhasználható őszi káposztarepcében (Bayer CropScience, 2018). Buteo® Start márkanévvel ellátott készítmény felhasználható őszi káposztarepce vetőmagkezelésére, mely hatékony védelmet nyújthat a növény juvenilis kártevőinek leküzdésében.

3.4.5. Flupiradifuron

A *flupiradifuron* hatóanyag a neuronok működésére ható zoocid hatóanyagok közé, a butenolidok csoportjába tartozik (Keszthelyi, 2019). Elsősorban szipókás kártevők (Hemiptera: Aphididae, Aleyrodidae, Psyllidae) nyújt kiemelkedő védelmet és nagyfokú hatékonyságot. A növénybe felszívódó, szisztémikus jellegű vegyület. A növényi szállítószövet rendszerekben többirányú transzlokációval - akropetális, bazipetális és kiváló transzlamináris terjedéssel - jellemezhető (Nauen és mtsai, 2014; Wale és mtsai, 2017; Hesselbach és Scheiner, 2018). A Bayer CropScience (2018, 2021) vizsgálatai szerint a hatóanyag kijuttatható kis cseppátmérőjű ködképzés formájában lombos fák védelmére, csepegtető öntözéssel vagy akár talajba injektálva is. A *Candidatus Liberibacter asaticus* citrusfélét fertőző veszélyes kórokozót egy vektor levélbolha faj a *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Psylloidea) terjeszti. E betegség elleni hatékony védekezés alapja a beteg fák, növényi szervek eltávolításával, de legfőképp a vektor levélbolha faj elleni kémiai védekezéssel valósítható meg (Keszthelyi, 2019). Chen és munkatársai (2017) vizsgálták a *flupiradifuron* inszekticid hatóanyag hatását a *D. citri* táplálkozására, a nőtények natalitására, valamint az imágók repülési viselkedésére. Megállapították, hogy a kezelés hatására tápáékelvételi gátlás következett be. Mivel rövid idő alatt abbamaradt a szipókások károsítása, így az általuk vektorizált növényi vírusok átvitele is ellehetetlenült. Ezzel együtt a kezelt leveleken a kezelést követő 72 óra elteltével szignifikánsan csökkent az imágók egyedszáma a kontroll, kezeltlen növényekhez képest. Wale és munkatársai (2017) vizsgálatai beszámolnak a *flupiradifuron* hatóanyag molytetvek elleni kiemelkedő hatékonyságáról. A 6. ábra mutatja a tárgyalt inszekticid szerkezeti ábrázolását.

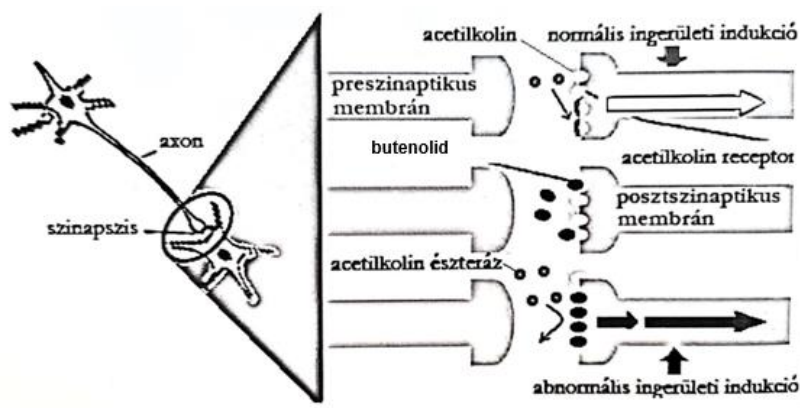


6. ábra. A *flupiradifuron* szerkezeti képlete (forrás: Pubmed, 2023)

3.4.6. Butenolidok hatásmechanizmusa (IRAC MoA: 4D)

Nauen és munkatársai (2014) alapján a *flupiradifuron* hatóanyag kezdetben a rovarok idegvégződéseit folyamatosan stimulálja, ezáltal a harántcsíkolt izmok túlműködését okozza. Ezt követően rövidesen az izmok bénulását váltja ki. Kifejezett idegméreg. Chen és munkatársai (2017) vizsgálatai alapján elmondható, hogy e gyors idegrendszer stimuláló hatásából kifolyólag a szipókás kártevők (Hemiptera: Aphididae, Aleyrodidae, Psyllidae) által vektorizált növényi vírusok terjedése is ellehetetlenül. Jellegzetes tünete a szipókás rovarokon kiváltott exkrétum képzésének megszűnése (Keszthelyi, 2019).

A *flupiradifuron* hatóanyag hatásmechanizmusa nagymértékben hasonlít a *neonikotinoid* és *szulfoxamidok* inszekticidok hatáskifejtéséhez (7. ábra). A rovarok idegsejtjeinek nikotin acetilkolin receptoraihoz (nAChR) kötődnek s ezáltal folyamatos ingerületi állapotot okoznak. E folyamatos idegsejt stimuláció és nagymértékű aktivitás hosszasan nem tartható fenn. Az ingerület erőteljes stimulálásának hatására a hatóanyag blokkolja a receptorok működését, mely által bénuláshoz és végső során rövid idő alatt pusztuláshoz vezet (Chari és mtsai, 1992; Sparks és mtsai, 2013; Jeschke és mtsai, 2015). Ezen ingerületi hatások visszafordíthatatlanok, mivel az élettani folyamatok során az acetilkolin-észteráz enzim bontja az acetilkolint, s a folyamatos stimulációt megszüntetni. Azonban az acetilkolin-észteráz nem tudja lebontani a hatóanyag molekulákat, így kötődésük folyamatos a rovarok idegvégződéseire (Sparks és mtsai, 2013; Keszthelyi, 2019). Jellegzetes tünetek ízeltlábúak vonatkozásában az izomremegés, bénulás és végső soron a pusztulás. Melegvérűekre gyakorolt alacsony toxicitással jellemezhető. Hesselbach és Scheiner (2018) vizsgálták a méhekre gyakorolt toxicitást. Rámutattak, hogy a *flupiradifuron* hatóanyag csökkenti a méhek tanulási-, pollen-, és nektár ízérzékelési képességeit. Azonban e mellékhatások koncentráció függvényében eltérőek lehetnek (Campbell és mtsai, 2016). Ezen inszekticid hatóanyagot az engedélyokiratban meghatározott dózissal kijuttatva a méhek vonatkozásában biztonságosnak tekinthető.



7. ábra. Butenolidok hatásmechanizmusa (forrás: Keszthelyi, 2019)

3.5. Egyéb napjainkban engedélyezett kontakthatású rovarölőszerek szerepe a repce kártevőinek visszaszorításában

Hermann Staudinger és Leopold Ruzicka fedezte fel e vegyület rovarölő tulajdonságát 1920-ban, amikor a dalmátvirág (*Tanacetum cinerariifolium* Sch. Bip.) porrá tört és szárított virágzatát vizsgálták. Megállapították, hogy e növény virágpora gyors és taglózó hatással bírt a kétszárnyú (Diptera) fajok vonatkozásában (Casida és Ruzo, 1980). E természetes összetevőjű piretrinek kétféle alkohol (piretrolon és cinerolon), valamint kétféle sav (piretrinsav és krizantémsav) által képzett észterek. Felhasználásuk azonban korlátokba ütközött, ugyanis e vegyületek napfény hatására könnyen bomlanak, így előállításuk és alkalmazásuk nehézkes volt (Keszthelyi, 2019). Emiatt később rohamos ütemben indult meg e hatóanyag csoportba tartozó piretroid hatóanyagok szintetikus úton történő előállítása. A vegyületcsoport fejlesztésében és fejlődésében több generációs ciklust különíthetünk el 1949-től egészen napjainkig. A jelenleg forgalomban lévő inszekticid hatóanyagok a piretroidok negyedik generációját képviselik (Keszthelyi, 2019). Legjelentősebb képviselőjük a *lambda-cihalotrin* (Lamdex Extra®, Karate Zeon® 5CS), *gamma-cihalotrin* (Rapid® CS), *cipermetrin* (Belem®), *teflutrin* (Force®, Raze®), *etofenprox* (Magma®), *deltametrin* (Decis® MEGA), *eszfenvalerát* (Sumi-Alfa® 5 EC), *fluavinát & tau-fluavinát* (Klartan® 24 EW, Monospel® 24EW, Mavrik®) (Bayer CropScience, 2021; Corteva Agriscience, 2023; FMC, 2023; ADAMA, 2022).

Kontakt hatáskifejtésű, rövid hatásidőtartamú vegyületek. A növénybe nem szívódnak fel, így nem képesek transzlokációra sem. Elfogyasztás és közvetlen érintkezést követően hatnak. Gyors és taglózó jellegű vegyületek (Barnes és Verschoyle, 1974; Soderlund és Bloomquist, 1989). Az ízeltlábú rovarkártevők széles spektrumával (Aphidoidae, Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Heteroptera, Lepidoptera) szemben hatékony védelmet képesek nyújtani. Hátrányukként említhető, hogy a méhekre és halakra gyakorolt toxicitásuk jelentős, emellett

tartós használatuk esetén rezisztencia és keresztrezisztencia alakulhat ki (Gunning és mtsai, 1984; Farkas, 2018). Keszthelyi és Lövényi (2014) két éven keresztül vizsgálták szabadföldi kukoricatermesztésben a *klórantraniliprol* és *klórantraniliprol* + *lambda-cihalotrin* hatóanyagokat tartalmazó készítményeket. A kutatók megállapították, hogy a diamid és piretroid tartalmú növényvédőszerrel egyaránt hatékonyan lehet védekezni a kukoricamoly (*Ostrinia nubilalis* Hbn., 1796) és a gyapottok-bagolylepke (*Helicoverpa armigera* Hbn., 1805) ellen. A különbség akkor mutatkozott, amikor az eltérő hatóanyag-tartalmú kezelések által kiváltott rovarok faji és mennyiségi mortalitását vizsgálták. Megállapították, hogy a piretroid összetételű inszekticid jóval nagyobb számban pusztított el rovar egyedet és célszervezetnek nem minősülő fajokat is. Jelentős mértékű letalitást okozott a károsítók természetes ellenségei (Chrysopidae, Coccinellida) és egyéb, célszervezetnek nem minősülő fajokon.

A piretroid vegyületek hatáskifejtése során a nátrium ioncsatornák áteresztőképességét blokkolják, s ezáltal tartós ingerületet hoznak létre. Ölő hatásukat az axon idegsejtnyúlvány membránján elhelyezkedő feszültség-függő nátriumcsatornák folyamatos, nyitott állapotának kialakításával fejtik ki (Casida és Ruzo, 1980). A piretroid molekulák a nátrium ioncsatornán zavart működésén keresztül hatnak, mivel hatására a nátrium ionok a membránon keresztül nem tudnak áthaladni a sejt belsejébe és az akciós potenciál nem fog kialakulni. Így az idegsejtek nem képesek polarizációra, a nyugalmi transzmembrán potenciálkülönbségét visszaállítani s így folyamatos ingerületi állapotba kerül. Végző soron a kezelt szervezet megbénul, majd elpusztul. Hatásuk gyors és taglózó. (Keszthelyi, 2019).

3.6. Képkalkotó eljárások hatékonysága a növényvédelemben

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

3.6.1 Biofoton kibocsátásra alapozott képkalkotás

Radotic és munkatársai (1998) alapján biolumineszcenciának nevezzük azt a jelenséget, melynek során az élő szervezetben kémiai reakciók során végbemenő fénykibocsátás történik. A biolumineszcencia a tengeri gerinctelenekben, gerincesekben, valamint néhány gomba,- és mikroorganizmus fajban széles körben előfordul. Hideg és Inaba (1991) megállapításai szerint

a szárazföldi állatok vonatkozásában a szentjánosbogarak (*Lampirida*) esetében figyelhető meg e jelenség. Általánosságban elmondható, hogy a biolumineszcencia oxidációs folyamatok eredménye, melyben specifikus enzimek pl. luciferáz, luminol, difenil-oxalát (Lente, 2018) és fénykibocsátó molekulák pl. luciferin, furamazine, coelenterazine (Mezzanotte és mtsai, 2017) vesznek rész (Keszthelyi és mtsai, 2020). Kemilumineszcencia a biolumineszcencia mellett egy másik fénykibocsátással együtt járó jelenség, mely előfordulhat élő szervezetekben és növényekben is, azonban intenzitása a biolumineszcenciához képest jóval alacsonyabb. A spontán kemilumineszcencia nem igényel semmilyen külső gerjesztést, vagy kemilumineszcens készítmények felhasználását (Lukács és mtsai, 2022). Ultragyenge intenzitásuk miatt azonban a kemilumineszcencia és a biolumineszcencia szabad szemmel láthatatlan folyamatok (Wilson és Hastings, 1998). Azonban megfelelő érzékenységgel ellátott kamera által érzékelhető, rögzíthető és mérhető (Jócsák és mtsai, 2020).

Lukács és munkatársai (2022) megállapításai szerint a növények a II. fotorendszerben (photosystem II - PSII) az elektrontranszport láncban fel nem használt felesleges energiát hőkibocsátás mellett fotonkibocsátás formájában is leadhatják. Amennyiben egy növény sötétadaptációs körülmények közé kerül, megszűnik a fotonok általi gerjesztés és a fotoszintetikus elektrontranszport lánc elektronjainak része visszaáramlik a reakcióközpontba, ahol a klorofill molekulák gerjesztett állapotba kerülnek, majd fotonokat bocsátanak ki a vörös hullámhossz tartományban. Gerhardt és Bodemer (2000) vizsgálatai alapján e jelenséget nevezzük késleltetett fluoreszcencia (delayed fluorescence - DF) jelenségének, mely gyakorlati megközelítésben a növényi homeosztázisról, illetve a növényi egészségi állapotáról biztosít információt. A késleltetett fluoreszcencia jelensége csupán a fotoszintetikus szövetekben fordul elő, melynek lecsengési ideje ezredmásodperctől egészen percig terjedhet. E tudományterületen végzett kutatások azt bizonyítják, hogy a foton emisszió egy része az oxidatív folyamatokhoz köthető, főként lipidoxidációs mechanizmusokkal együtt végbemenő folyamatok eredményeként a relatív oxigénformák termelődéséből, valamint egymásba történő átalakulásából származik, melynek során spontán fotonkibocsátást eredményeznek (Duran és Cadenas, 1987; Gerhardt és Bodemer, 2000). Ennek következtében az oxidatív folyamatok során bekövetkező biofoton kibocsátás, valamint a késleltetett fluoreszcencia mértéke és lecsengésének dinamikája egyaránt alkalmas a növényi stresszreakciók felmérésére és meghatározására (Jócsák és mtsai, 2020; Lukács és mtsai, 2022).

Az ízeltlábú rovarok élettevékenysége, táplálkozása s egyúttal károsítása által a növényben okozott stresszjelenség spontán biolumineszcencia formájában valósul meg, melyet az erre

alkalmas berendezés (pl.: Night Shade LB 985) képes detektálni. Annak érdekében, hogy a rovar által okozott károsítást és sérülés hatását a növény egységnyi felületére vetítve vizsgálni tudjuk, fontos, hogy a tünetek (rágás, szívogatás) a növényi szöveten megjelenjenek (Jócsák és mtsai, 2020). Kobayashi és munkatársai (2014) szerint a spontán biolumineszcencia rendkívül alacsony intenzitása miatt kimutatása specifikus, érzékeny műszerezettséget igényel. Rendszerint fotonszámláló eszközöket és fénysokszorozó csöveket alkalmaznak e célra. A töltéscsatolt eszközök mellett komplementer fém-oxid félvezető érzékelőket is használnak. Ezeknek a technológiáknak a közös jellemzője, hogy a fotonokat egy érzékelő rögzíti, amely a detektort érő fény hullámhosszúságának megfelelő töltést vesz fel, majd e jeleket felerősítik, szűrik és továbbítják, illetve javítják (Kobayashi és mtsai, 2014).

Ezen összetett folyamatok végén kép készül a mérésről, mely az erre alkalmas szoftver segítségével kerül értékelésre. A spontán lumineszcencia detektálása lehetővé teszi, hogy roncsolás nélküli kimenetekkel győződjünk meg a vizsgálni kívánt rovarfajok élettevékenységéről, az alkalmazott peszticidek növényi anyagcsere reakciókban kiváltott változásairól, valamint az általuk kiváltott stressz-élettani elváltozásokról (Jócsák és mtsai, 2020; Keszthelyi és mtsai, 2020, 2023; Lukács és mtsai, 2022).

4. SAJÁT VIZSGÁLATOK

4.1. ANYAG ÉS MÓDSZER

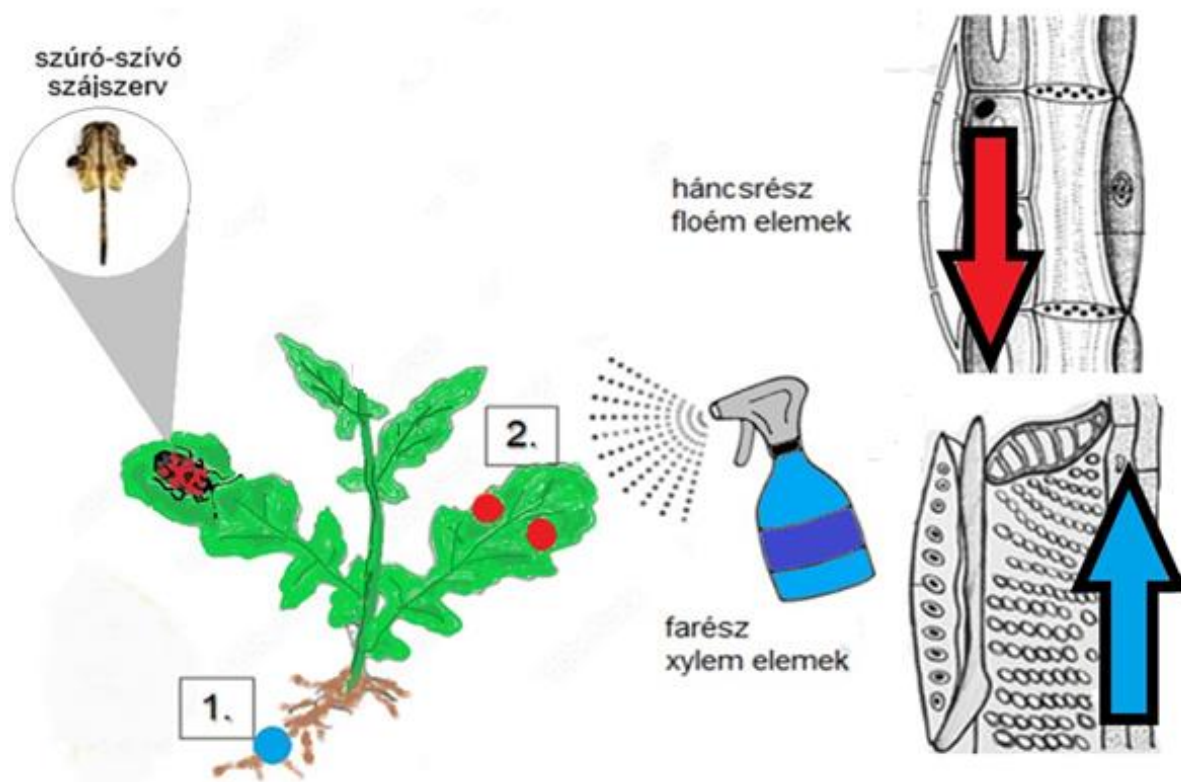
Vizsgálatunk alapjául szolgáló növényeket 2023. július 10.-én Florimo® általános virágföldbe, 10×8cm cserépedényekbe vetettük el (8. ábra). Az egységes kelés és homogén növényfejlődés biztosítása érdekében az őszi káposztarepce vetőmagokat egységesen 2cm-re mélységben helyeztük a talajba. Kiegészítő tápanyagutánpótlásra nem került sor.



8. ábra. Az őszi káposztarepce növények vetés után a kísérleti cserépedényekben (saját felvétel)

4.1.1. Kísérlet lebonyolításának módszertana

Vizsgálatunkban alkalmazott *flupiradifuron* és *ciantraniliprol* hatóanyagokat vetőmagkezelés és állománykezelés formájában is vizsgáltuk. A kétféle kijuttatási mód segítségével, ahogy azt a 9. ábra mutatja, megbizonyosodhatunk e készítmények akropetális és bazipetális transzlokációjáról a kísérletbe állított kártevők mortalitási értékein keresztül.



9. ábra. Vizsgálatunkban alkalmazott inszekticid hatóanyagok különböző kijuttatási módjainak vázlata káposztapoloska imágóival szemben (saját illusztráció)

1. akropetális transzlokáció (vetőmagcsávázás), 2. bazipetális transzlokáció (állománykezelés), nyilak: inszekticid hatóanyagok transzlokációjának iránya a növényi szállítószövet-rendszerben

A kontroll növények és az állománykezelésre szánt tövek alapját a DK Exbury® (csávázatlan) adta. A vetőmagkezelés formájában vizsgálni kívánt *flupiradifuron* rovarölő hatóanyag vizsgálatához DK Exbury® őszi káposztarepce hibridet vetettünk el, melyet a Buteo® Start nevű készítménnyel csáváznak. A *ciantraniliprol* hatóanyag akropetális transzlokációjának hatásvizsgálatához a Pioneer® PT298 őszi káposztarepce hibridet állítottuk be, mely a Lumiposa® márkanévvel ellátott készítménnyel kerül vetőmagkezelésre. E vetőmagok jelenleg hatályos engedélyokirattal rendelkeznek és a köztermesztés számára is szabadon elérhetők (10. ábra). Állománykezelés vonatkozásában a *flupiradifuron* hatóanyag vizsgálatához Sivanto® Prime, míg a *ciantraniliprol* hatóanyag elemzéséhez Benevia® márkanévvel ellátott készítményeket alkalmaztunk. A kísérleti növényállományt 2 lombleveles állapotig (BBCH 12) neveltük, majd ezt követően került sor a vizsgált hatóanyagok állománypermetezés formájában történő kijuttatására.



10. ábra. Őszi káposztarepce hibridek a nevelés során (saját felvétel)

E vizsgált inszekticid hatóanyagok hatásvizsgálatához peszticid mentes környezetből gyűjtöttünk be káposztapoloska imágókat (11. ábra). A gyűjtés 2023. július utolsó dekádjában történt Karád és Andocs térségében (Magyarország, Somogy vármegye, GPS koordináták: 46°69'07.60" N 17°84'13.60" E). Olyan életképes és vagilis egyedek képezték vizsgálatunk tárgyát, melyet intenzíven szívogattak a növényeken.



11. ábra. A kísérletünkben szereplő káposztapoloska imágók (saját felvétel)

A kezeletlen kontrollok mellett a különböző alkalmazási típusok mindegyikét hat-hat ismétléssel állítottuk be. Kezelés típuson belül 6 növényre került tövenként 4 káposztapoloska egyed kihelyezésre. Ezt követően a kiváltott mortalitást és a növényi stresszjelenségek felmérését az inszekticides kezelést követően 5 napon keresztül, 24 óránként értékeltük. Az állománykezelések e készítmények engedélyokiratában meghatározott 0,625 l a.i. ha⁻¹ dózissal történtek. A kijuttatást ez erre a célra megfelelő porlasztó permetezővel végeztük el. Az állománykezeléseket követően 24 órával kerültek a kihelyezésre a káposztapoloskák a kísérleti növényeinkre izolátor használatával. Az izolátor alkalmazását a 12. ábra reprezentálja.



12. ábra. Káposztapoloska imágók és a kísérleti növény anyag az izolátor alatt (saját felvétel)

A kísérleti kiértékelések között a mintákat inkubátorban helyeztük el. Az inkubátorban beállított feltételek (25°C hőmérséklet, 60%-os relatív páratartalom és 15L:9D fotóperiódus) biztosították az arra az időszakra Magyarországra jellemző szezonális környezeti viszonyokat. A mortalitási elemzéssel párhuzamosan, laboratóriumi körülmények között mértük a kezelt és kezeletlen, valamint a rovar egyedek által károsított-, és érintetlen tövek biofoton emisszióját a növényi stresszjelenségek meghatározásához.

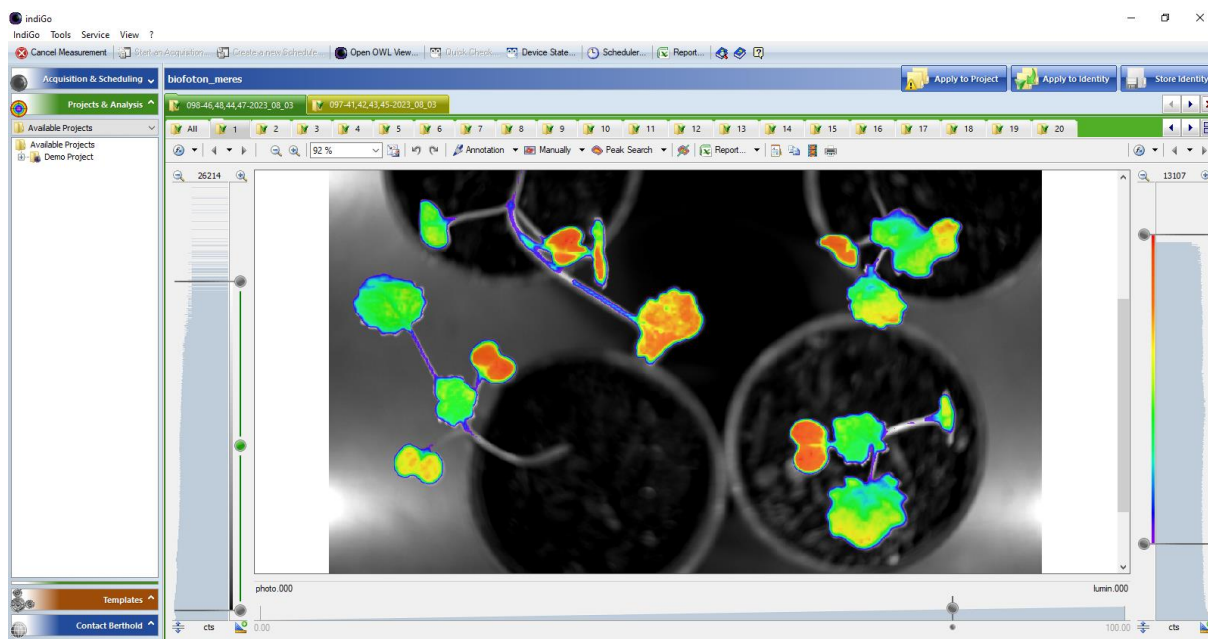
4.1.2. Biofoton emisszió alapú képalkotás metodikája

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 20 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 növények biolumineszcencia mérése azonnal elkezdődött (13. ábra), a késleltetett fluoreszcencia (DF) jelet tizenöt percen keresztül rögzítettük.



13. ábra. NightShade LB985 in vivo növényi képalkotó berendezés, benne a kísérleti növény anyag (saját felvétel)



14. ábra. Az IndiGo™ 2.0.5.0. szoftver alkalmazási felülete (saját illusztráció)

4.1.3. A káposztapoloskák által károsított levélfelületen kialakított léziók meghatározása

Eredményeink kiértékelésekor meghatároztuk a poloskák által károsított levélfelületek nagyságát. Tíz károsított levél került kijelölésre, ahol szúrás és lézió nyomokat határoztunk meg. Az elemzést GIMP 2.10.32 pixelelemző szoftver segítségével végeztük el. E minták szúrásnyomának mértékét az teljes levélfelület %-os értékében határoztuk meg.

Emellett a „stay-green” hatást [a növények egy másodlagos tulajdonsága, mely lehetővé teszi számukra, hogy hosszabb ideig megőrizzék zöld leveleiket és fotoszintetikus aktivitásukat, különösen bizonyos stresszfaktorok által kiváltott folyamatok esetén, ilyen pl. poloskák szívogatása (Thomas és Smart, 1993; Qian és mtsai, 2016)] is vizsgáltuk a poloskák által károsított, növényvédőszerrel kezelt és kezeletlen minták összehasonlításával.

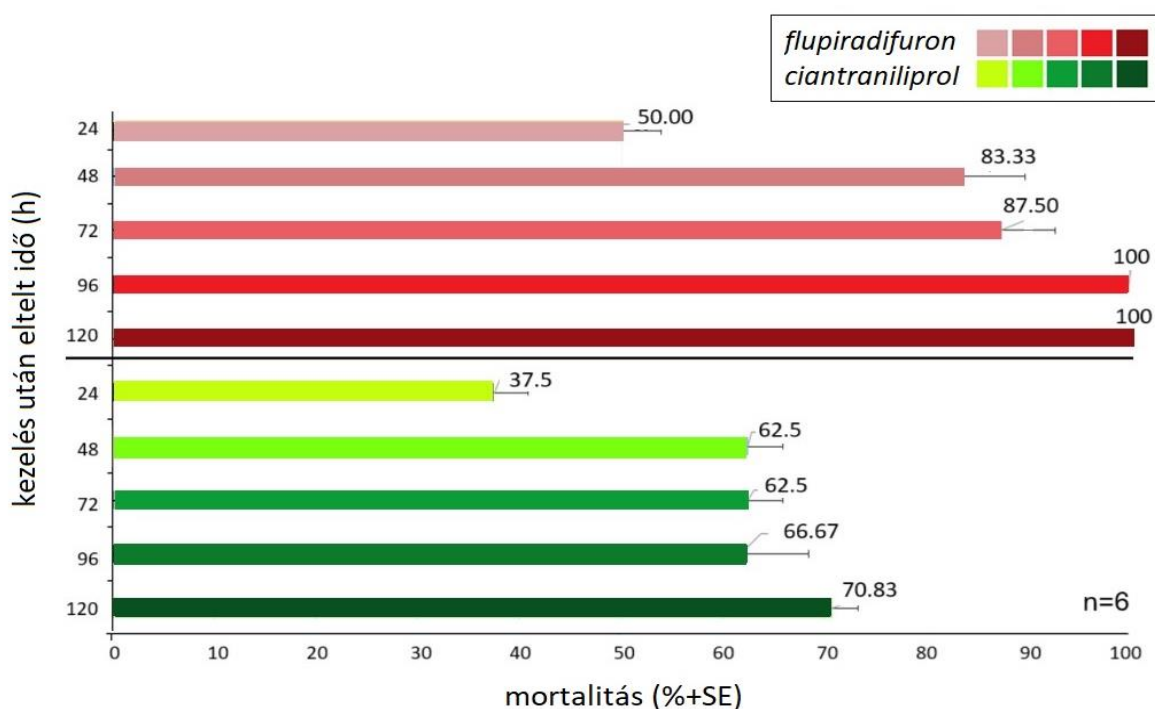
4.1.4. Statisztikai elemzések

A káposztapoloska imágók ($n > 50$) 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 rovarpusztulást, valamint a kezelések óta eltelt időt és a *flupiradifuron* és *ciantraniliprol* hatóanyagok különböző kijuttatási módját. Az elemzések során kapott értékeket Tukey (HSD) teszttel alkalmazva választottuk el.

4.2. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.2.1. A különböző kezelések rovarmortalitást kiváltó időtartamának elemzése

Vizsgálatunk igazolta, hogy a káposztapoloska imágóival szemben a kísérletbe vont *flupiradifuron* és *ciantraniliprol* inszekticid hatóanyagok csávázó-, és állománykezelő szerként alkalmazva egyaránt hatékonyak (15. ábra).



15. ábra. A *flupiradifuron* és *ciantraniliprol* hatóanyagok mortalitást kiváltó időtartamai állománykezelés formájában elemezve

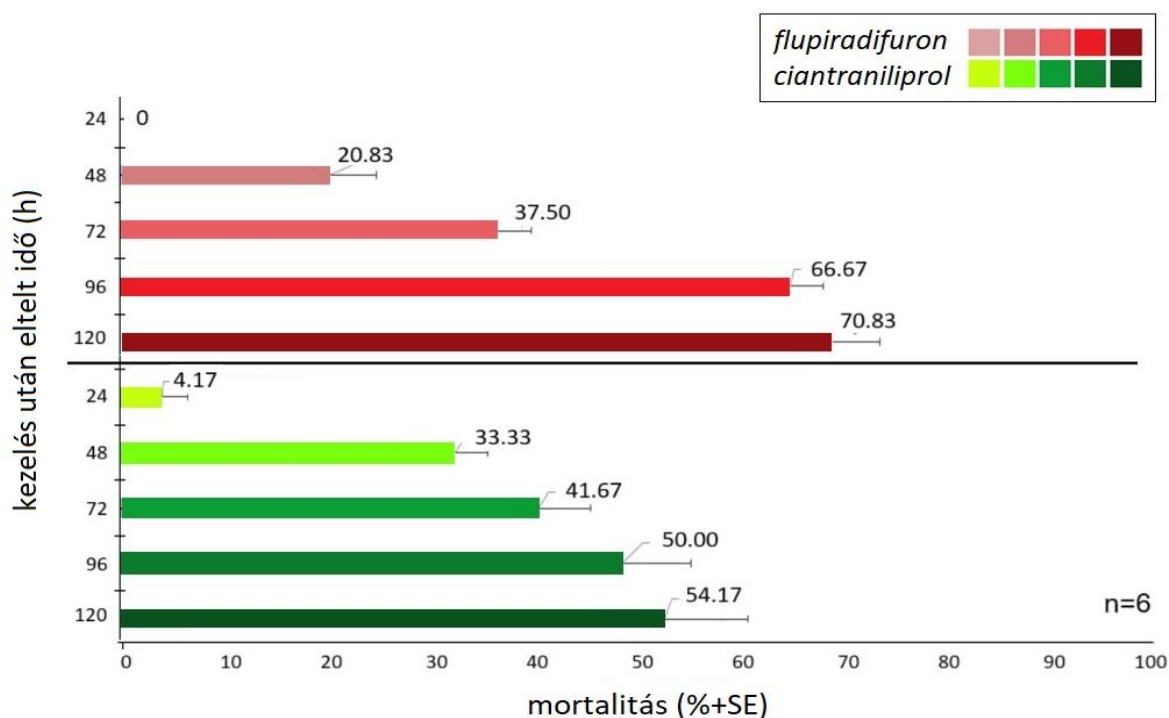
Rovar mortalitást kiváltó hatásuk tekintetében viszont alapvető különbség mutatkozik. A különböző alkalmazások között a *flupiradifuron* hatóanyaggal történő állománykezelésnek – a bazipetális transzlokációt kiaknázva – volt a leggyorsabb hatása a rovarok mortalitására. Állománykezelést követően 96 órával már 100% mortalitást sikerült regisztrálni. E hatóanyaggal történő kezeléseket követő első 2 napban a mortalitást kiváltó hatás kiugróan magas értéket ért el (2. napon már 80% feletti mortalitás). A *flupiradifuron* rovarölő hatóanyag szipókás kártevőkkel szembeni kiemelkedő hatásáról Chen és munkatársai (2017) beszámoltak *Diaphorina citri* (Hemiptera) szemben. Emellett Roditakis és munkatársai (2017) számoltak be a *flupiradifuron* hatóanyag hatékonyságáról a *Bemisia tabaci* Gennadius, 1889 elleni védekezés során, ahol egyúttal a szipókás károsítók ellen vektorizált növényi vírusok – tanulmányukban a paradicsom sárga levélgöndörödés vírus – átvitelének megakadályozásában preventív eszközként szolgált. E hatóanyag kiemelkedő bazipetális transzlokációjáról számol be

vizsgálatunk, ugyanis az összes állománykezelésen átesett repce esetén abszolút hatékonyságot regisztráltunk a káposztapoloskákkal szemben. A *flupiradifuron* kiemelkedő bazipetális transzlokációját már számos kutatási eredmény is alátámasztotta (Chen és mtsai, 2017; Roidakis és mtsai, 2017; Wale és mtsai, 2017; Fang és mtsai, 2023).

A *ciantraniliprol* esetében ugyanezen kezelés rovarpusztító hatása mérsékeltebb volt. E diamid hatóanyagot állománykezelés formájában kijuttatva, a mortalitási érték a vizsgálatba állítást követő napon ugyan meghaladta a 60%-ot, de a beállítástól számított 120 órával még csupán 71%-os halandóságot okozott. *Ciantraniliprol* növényfelületre kijuttatva a kísérlet végére sem váltott ki totális pusztítást a szipókás kísérleti rovarpopulációban. E kapott eredmények alapján más megközelítésből vizsgálhatjuk a hatóanyagot, mivel egy korábbi vizsgálatunk megerősítette azt, hogy a rágó szájszervvel rendelkező aknázómoly lárvák esetén a *ciantraniliprol* hatóanyag teljes letalitást volt képes produkálni (Keszthelyi és mtsai, 2023). E hatóanyag reziduális és hosszan tartó hatásáról Pes és munkatársai (2020) is beszámoltak a fészűslábú virágléggel (*Delia platura* Meigen, 1826) és a kukoricamollyal (*O. nubilalis*) foglalkozó tanulmányunkban.

A bazipetális transzlokáción alapuló hatáskifejtés mind a hatóanyagok esetében, ($F=15,30$, $P=3,07 \times 10^{-8}$) mind a kísérlet előrehaladtának függvényében ($F=40,04$, $P=6,74 \times 10^{-8}$) statisztikailag igazolható összefüggést mutatott. A két vizsgálati tényező interakciójának mortalitásra gyakorolt hatása statisztikailag nem volt igazolható ($P>0,05$).

E vizsgált hatóanyagok akropetális transzlokációját követő hatás megismerése érdekében csávázószerként alkalmazva is elemeztük a kísérletes rovaranyag mortalitását (16. ábra).



16. ábra. A *flupiradifuron* és *ciantraniliprol* hatóanyagok mortalitást kiváltó időtartamai vetőmagkezelés formájában elemezve

A kísérlet rámutatott, hogy egyértelmű különbség mutatkozik a különböző kijuttatási módok hatékonyságának tekintetében. A *flupiradifuron* hatóanyag esetében e kijuttatásmódnál is ugrásszerű rovarölő hatást regisztráltunk. A vizsgálati napok előrehaladtával, az egymást követő napok során közel 20 százalékkal emelkedett a halandóság. Azonban 100%-os hatékonyságot itt sem sikerült feljegyezni, mivel a kísérletbe állítást követő 120 órával később is csupán 71%-os volt a pusztulás mértéke. Ezen eredmények alapján arra következtethetünk, hogy e hatóanyag kiemelkedő hatékonysággal rendelkezik a szipókásokkal szemben bazipetális módon kijuttatva, azonban a xylem elemeken keresztül ettől mérsékeltebben szállítódik. Ezzel szemben a *ciantraniliprol* hatóanyag akropetális kijuttatásának következményei kevésbé különböztek a bazipetális kijuttatás okozta következményektől. E diamid molekula kísérletbe állítást követő 24-, és 48 órával később magasabb mortalitási értékeket produkált, mint a *flupiradifuron* hatóanyag. E jelenség magyarázható a *ciantraniliprol* hatóanyag jó transzlaminaritásával, gyors és kifejezett akropetális szállítódásával, melyet korábbi, kísérletes vizsgálataink (Keszthelyi és mtsai, 2023) is bizonyítanak. E szisztémikus vegyület növényi szállítószövet rendszeren belüli több irányú transzlokációjáról és célkártevőkre gyakorolt toxicitásáról számos tanulmány és kutatási eredmény számol be (Sidhu és mtsai, 2014; Chen és mtsai, 2015; Schmidt-Jeffris és Nault, 2016). Molnár és munkatársai (2015) vizsgálatai

ciantraniliprol hatóanyag hatékony akropetális hatáskifejtéséről számolnak be az őszi káposztarepcében károsító kis káposztaléggel (*D. radicum*) szemben.

A *ciantraniliprol* környezetbarát tulajdonságáról Lahm és munkatársai (2009) számol be tanulmányukban e hatóanyag melegvérűekre gyakorolt alacsony toxicitásán keresztül, valamint Wang és munkatársai (2019) írták le e hatóanyag hasznos szervezetekkel szembeni szelektivitását az üvegházi molytetvek természetes ellenségeként alkalmazott *Encarsia formosa* Gahan, 1924 példáján keresztül. Campbell és munkatársai (2016) vizsgálatukban a *flupiradifuron* hatóanyag környezetbarát tulajdonságáról számolnak be, ahol a házi méhek repülési és nektárgyűjtési tevékenységét vizsgálták. Megállapították, hogy a vizsgált inszekticid hatóanyag nem mutat szignifikáns összefüggést a méhekre gyakorolt toxicitásban, valamint ízérzékelésükben.

E két hatóanyag akropetális kijuttatási módja esetén a kísérlet előrehaladtával a mortalitási értékek statisztikailag igazolhatóan növekedtek ($F=19,969$, $P=7,08 \times 10^{-10}$). Ezzel szemben a hatóanyagok közötti mortalitásban a kéttényezős varianciaanalízis nem mutatott statisztikailag igazolható különbséget ($P>0,05$). A hatóanyagok különböző kijuttatási módjai statisztikai összehasonlítása érdekében szintén kéttényezős varianciaanalízist végeztünk, melynek eredményei szerint a *flupiradifuron* ($F=125,68$, $P=2,99 \times 10^{-15}$) és a *ciantraniliprol* ($F=24,27$, $P=9,56 \times 10^{-6}$) akro,- és bazipetális kijuttatási módjai mortalitásban megmutatkozó hatása statisztikailag igazolhatóan eltért.

Megfigyelésünk megerősítette, hogy kezeléseket követően azon rovar egyedek, melyek a rovarölőszer kezelés hatására érzékenyen reagáltak táplálkozásuk abbamaradt, korábban intenzív mozgásuk mérséklődött. Azonban azon egyedek, melyek számára rovarölő szeres kezeléseket nem okoztak letalitást, viselkedés és táplálkozás béli különbséget nem tapasztaltunk. Az izolátor alatt növényre helyezett egyedek szívogattak, vagilisak voltak és tojásokat helyeztek a levél színére és a fonáki részére is (17. ábra).

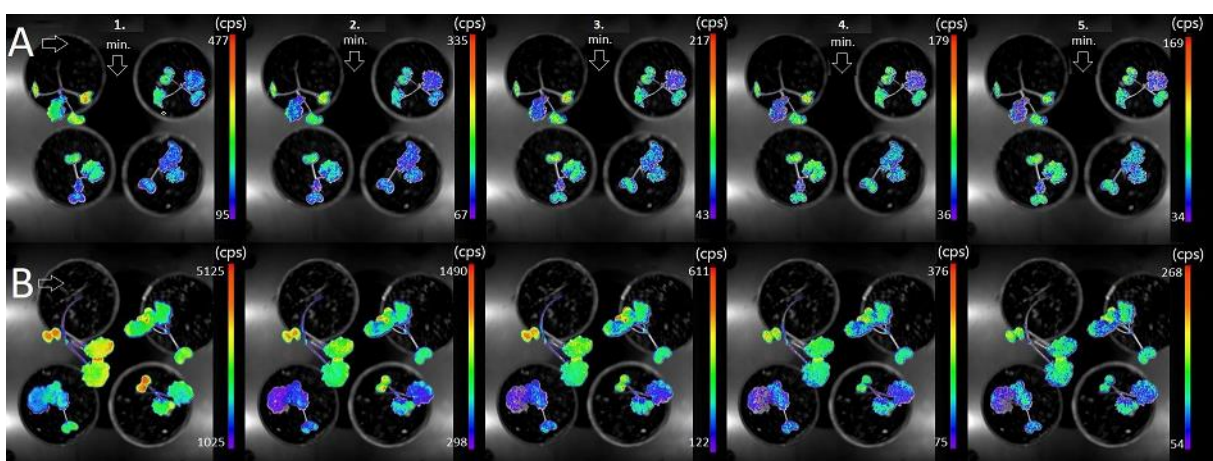


17. ábra. A vizsgálat ideje alatt a vagilis rovar egyedek tojásai a repce fonáki részén

Ugyan a rovarölő szeres kezelésekre a halandóságot el nem szenvedett, vagilis egyedek tojásokat raktak, azonban arról nem nyerhetünk bizonyosságot, hogy e tojások életképesek voltak, mivel Hardke és munkatársai (2011) és Tiwari és Stelinski (2013) számoltak be tanulmányukban a *ciantraniliprol* hatóanyag tojásölő hatásáról.

4.2.2. *Insztikcides kezelés hatására bekövetkező stresszélettani vizsgálatok eredményei*

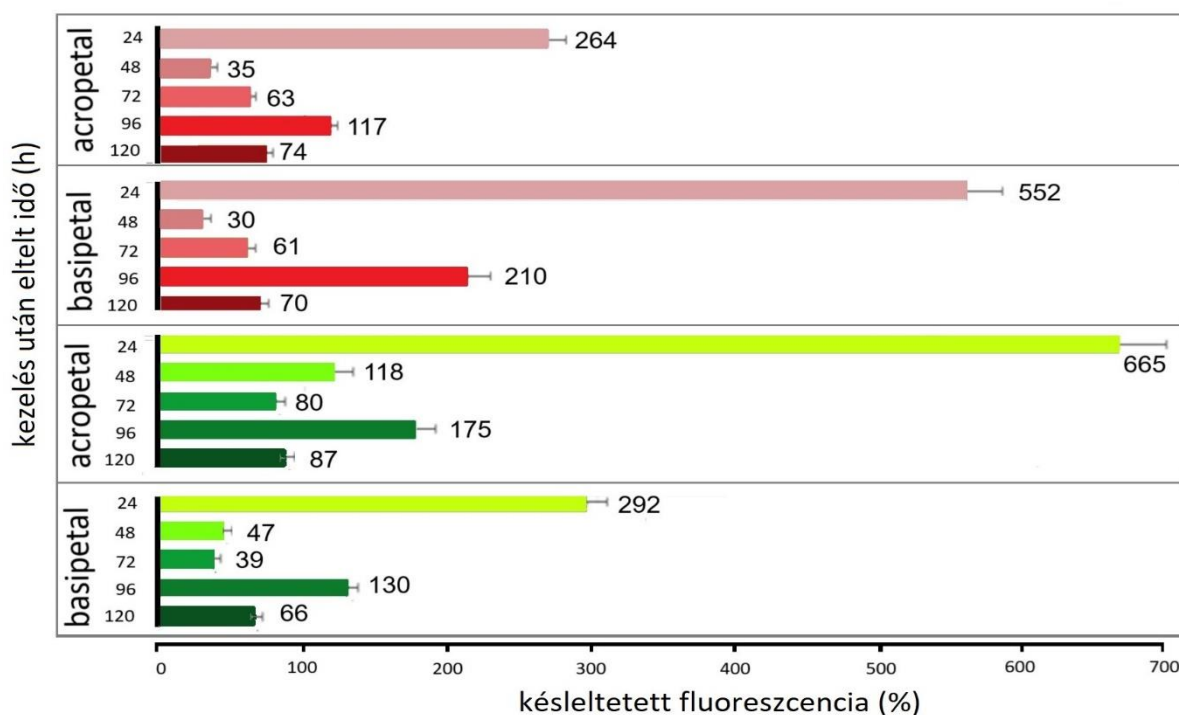
Biofoton emissziós vizsgálatunk tekintetében alapvetően elmondható, hogy a jelen kísérleti beállítás teljesen újszerűnek és unikálisnak tekinthető, mivel más megközelítésből kívánja vizsgálni az alkalmazott növényvédőszer – kifejezetten az insztikcid – hatóanyagokat.



18. ábra. A *ciantraniliprol* hatóanyag akropetális transzlokációjának hatására bekövetkező stresszélettani változások detektálása és vizualizálása IndiGoTM 2.0.5.0. szoftver használatával. A: kezeletlen növények, B: *ciantraniliprol* hatóanyaggal vetőmagkezelt növények

A 18. ábra az őszi káposztarepcék késleltetett fluoreszcenciájának lecsengését ábrázolja. A felvételezések alapján percről-perce vizualizálható a fluoreszcencia változása, melynek tendenciájáról korábban több tanulmány (Lukács és mtsai, 2022; Keszthelyi és mtsai, 2023) is beszámolt. A vizsgált biofoton kibocsátási értékek tekintetében jól látható az a tendenciózus különbség, melyet a *ciantraniliprol* kezelés hatására mutatott már a mérés kezdeti szakaszában, és ezt a magasabb értéket a mérési idő teljessége alatt is megőrizte, ami valószínűsíthetően a károsítás és az inszekticid együttes jelenlétéből következő additív hatás eredménye.

Biofoton emissziós vizsgálatunk igazolta a *ciantraniliprol* és a *flupiradifuron* hatóanyagok növényi anyagcsere reakciókban kiváltott változásait (19. ábra). A kezelés hatására kiváltott magasabb biofoton kibocsátási értékek, kontroll értékének meghaladása reprezentálja a növény stressz-élettani változásait.



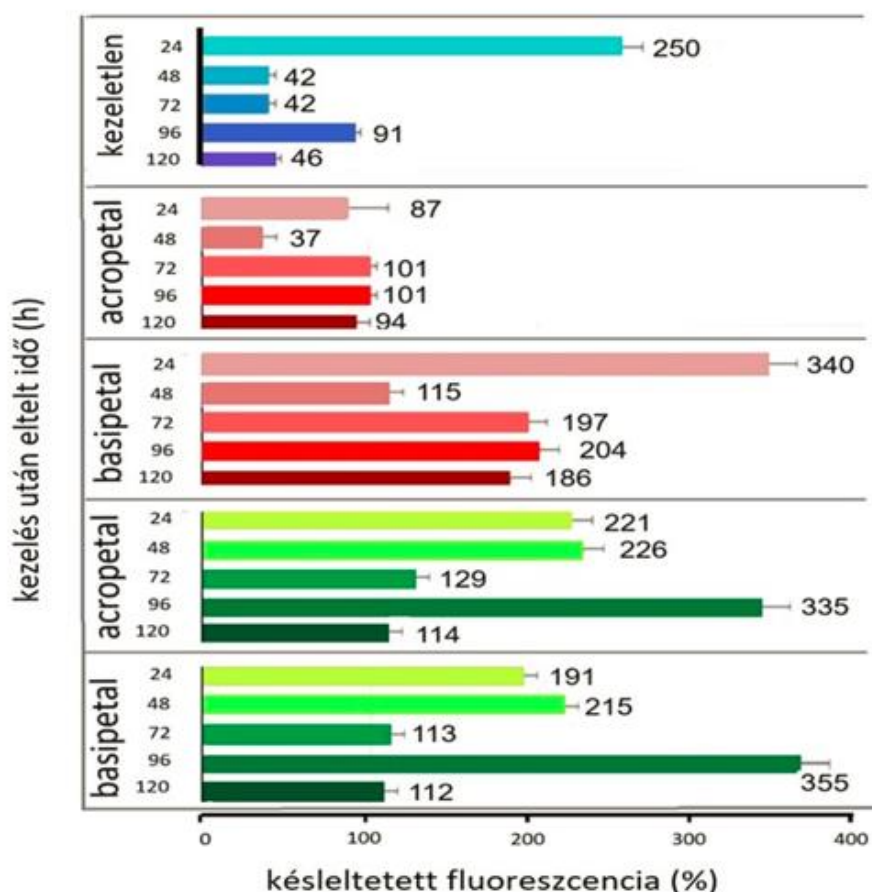
19. ábra. A vizsgált hatóanyagok különböző kijuttatási módjai által kiváltott stresszélettani változásai a rovar nélkül vizsgált repcéken. A kezeletlen által kibocsátott értékek százalékos értékében kifejezve

Vizsgálatunkkal megállapítottuk, hogy az alkalmazott növényvédőszeres és kijuttatási módjaik között egyértelmű különbség mutatkozik a növényi anyagcsere folyamatok tekintetében. A rovar egyedek nélkül vizsgált repce tövek biofoton emissziós vizsgálata esetén beállításától számított 24 óra elteltével a csávázott *ciantraniliprol* kezeléseknél sikerült a legmagasabb fotonkibocsátási értékeket mérnünk a növény egységnyi felületére vonatkoztatva. Ez esetben több, mint hatszoros fotonkibocsátási értékek realizálhatók a kezeletlen tövek által

mért intenzitáshoz képest. A kísérletbe állítást követően 48 óra elteltével szintén az akropetális szállítódó *ciantraniliprol* hatóanyag vonatkozásában tapasztaltuk a legmagasabb fotonkibocsátási értékeket. A magasabb késleltetett fluoreszcenciában bekövetkezett változásokat a kísérlet hátralevő – 72, 92 és 120 óra – részében is megőrizte. 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). E diamidok hatóanyagcsoportjába tartozó vegyület növényi anyagcserében kiváltott változásai az akropetális transzlokáció vonatkozásában egyértelműnek bizonyulnak. Ezzel szemben *ciantraniliprol* hatóanyaggal állománykezelte növények és a *flupiradifuron* hatóanyag bazipetális transzlokációjának vizsgálata ennél csekélyebb mértékű növekedésről számol be. A butenolidok csoportjába tartozó *flupiradifuron* esetén az első mérés esetén többszörös fotonkibocsátásról számol be a 19. ábra. Azonban e kezdeti kimagasló értékeket a kísérlet hátralevő részében nem őrizte meg, ugyanis a *ciantraniliprol* hatóanyaghoz hasonló fluoreszcencia értékek realizálhatók. A *ciantraniliprol* hatóanyag akropetális vizsgálata során realizált eredmények megegyeznek a korábbi vizsgálatunkban (Keszthelyi és mtsai, 2023) mért értékekkel.

E hatóanyagok által realizált biofoton kibocsátási értékek egymástól statisztikailag különböznek ($F=134,78$, $P=2,47 \times 10^{-11}$). A vizsgált hatóanyagok bazipetális transzlokáción keresztül kiváltott hatáskifejtés esetén a kéttényezős varianciaanalízis nem mutatott statisztikailag igazolható eltérést ($P>0,05$), azonban akropetális alkalmazás vonatkozásában ($F=7,80$, $P=4,91 \times 10^{-10}$) a kapott eredmények szignifikánsan különböznek egymástól. Statisztikai vizsgálattal megerősítettük, hogy a legkifejezettebb hatást kiváltó *ciantraniliprol* akropetális transzlokációja által kiváltott eredmények statisztikailag különböznek ($F=16,03$, $P=1,6 \times 10^{-14}$) ugyanezen hatóanyag bazipetális szállítódása során realizált értékeitől.

Abban az esetben, amikor az alkalmazott hatóanyagokkal kezelt és a káposztapoloskák szívogatásának kitett repcék együttes biofoton emisszióját vizsgáltuk (20. ábra) növekedés tapasztalható a mért fotonkibocsátási értékekben.



20. ábra. A vizsgált hatóanyagok különböző kijuttatási módjai által kiváltott stresszélettani változásai a rovarok által károsított repcéken. A kezeletlen által kibocsátott értékek százalékos értékében kifejezve

A hatóanyaggal nem kezelt, azonban a rovar egyedek károsításának kitett tövek magasabb fotonkibocsátási értékeket realizáltak a kísérleti idő teljessége alatt a rovar nélküli repcékhez viszonyítva. A poloskák nélkül vizsgált növényekhez hasonlóan a szívogatott tövek esetében is *flupiradifuron* hatóanyaggal történő állománykezelésnek volt a legalacsonyabb hatása a növényi stressz-élettani folyamatokban. Azonban a *ciantraniliprol* hatóanyag bazipetális transzlokációját vizsgálva ez esetben a kontroll értékének többszöröse realizálható 96 óra elteltével. A mortalitási értékeket figyelembe véve e kezelési típuson szívogattak a leghosszabb ideig a vizsgálatba állított káposztapoloska imágók, mivel e kezelési típus nem okozott abszolút hatékonyságot. A *flupiradifuron* hatóanyaggal kezelt tövek esetén a kísérlet beállításától számított 24 óra elteltével egy kiugróan magas érték tapasztalható, melyet a 48 órás mérés esetén csökkenés követ. Mivel a *flupiradifuron* rovarölő hatóanyaggal kezelt növények 100% mortalitást okoztak a beállítástól számított 96 óra elteltével, így nem a rovarok folyamatos szívogatásának eredményeként nyilvánul meg a mérési idő teljessége alatt tapasztalt fotonkibocsátási intenzitás növekedés. Mivel a fő kártétel a szívogatások nyomán az első két

napban kialakult, így vélhetően a növényekben a stressz hatás által kiváltott védekezési mechanizmusok által megnyilvánuló fokozottabb anyagcsere realizálódik, melynek hatása a késleltetett fluoreszcencia értékének hosszan tartó lecsengésén keresztül érvényesül (Lukács és mtsai, 2022). Ennek magyarázata vélhetően a káposztapoloska táplálkozási szokásában rejlik. Szípókás károsító révén táplálkozása során szervesanyag bontó enzimeket (fehérje, szénhidrát és telítetlen zsírsavak) bocsát a növényi szövetekbe, melynek során növényi védekező mechanizmusokat indukál és ezáltal a magasabb és fokozottabb anyagcsere intenzitás hatására megnyilvánuló fokozott fotoszintetikus aktivitási értékeket tapasztalunk. Keszthelyi és munkatársai (2022) számoltak be arról, hogy az ázsiai márványospoloska (*Halyomorpha halys* Stål, 1855) szívogatásának hosszasan kitett növények fluoreszcenciájának változása több mint egy hét károsítás hatására csökkenő tendenciát mutat, mivel a károsítás és vele együtt járó mechanizmusok hatására végbemenő folyamatok lipidoxidációs mechanizmusokba lépnek át, ahol az oxidatív folyamatok érvényesülnek.

A vizsgálatba állított imágók károsításának kitett és a *ciantraniliprol* hatóanyaggal vetőmagkezelt növények vonatkozásában sikerült a legkifejezettebb hatást kimutatnunk. Mivel e kezelési típus sem okozott abszolút letalitást, így a kísérleti növények 120 órán keresztül kitettek voltak a poloskák szívogatásának, s a rovar egyedek által kiváltott növényi anyagcsere reakciókban kiváltott változásokat a megnövekedett biofoton emissziós értékeken keresztül realizáltuk.

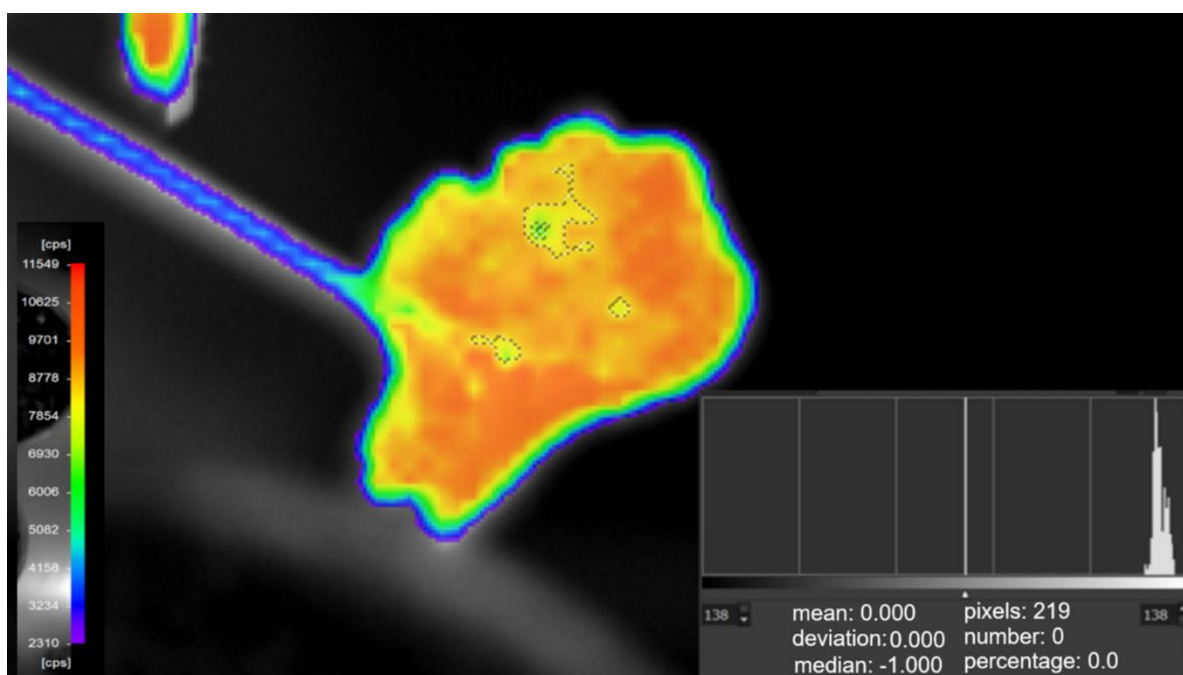
Vizsgálatunk során a növények sötétkamrába helyezését követően a fotoszintézis folyamatai fokozatosan elkezdtek leállni, amely a II. fotorendszerben elektron visszaáramlást, illetve klorofill gerjesztést eredményezett és végső soron késleltetett fluoreszcenciát indukált. Jia és munkatársai (2020) alapján e jelenség lecsengése tükrözi a növényi homeosztázist, ahol a magasabb kezdeti értékek jelzik az egészségesebb növényállapotot. Gerhardt és Bodemer (2000) kísérletes vizsgálatuk által realizált eredményeikben leírták, hogy 3-(3,4-diklórfenil)-1,1-dimetilurea (DCMU) kezelés hatására elkülöníthető az egészséges növény magasabb, illetve a kezelt növény késleltetett fluoreszcencia kibocsátása. Eredményeink beszámolnak arról, hogy az akropetális kísérleti beállításnak van a legkifejezettebb hatása a növényi anyagcsere reakciókban *ciantraniliprol* kezelés hatására, melyet a növény egységnyi felületére vetített és megnövekedett fotonkibocsátási intenzitásából következtethetünk.

Az imágók által károsított tövek bazipetális transzlamináción keresztüli hatáskifejtése az alkalmazott hatóanyagok között nem okozott statisztikailag ($P > 0,05$) igazolható különbséget. Emellett hatóanyag különböző kijuttatási dózisa sem különböztek egymástól. Azonban a

ciantraniliprol és a *flupiradifuron* inszekticid hatóanyag akropetális transzlokációja által kiváltott fotonkibocsátási eredmények között statisztikai eltérés ($F=8,27$, $P=4,52 \times 10^{-12}$) mutatható ki.

A késleltetett fluoreszcencia értékek növekedése a növényi reakciókban okozott hatóanyag stimulációjának következménye. Annak érdekében, hogy e ténytet felderítsük további analitikai vizsgálatok (lipidoxidációs vizsgálat, antioxidáns kapacitás, szabadgyök festés) szükségesek. Eredményeink egyik metodikailag fontos vetülete rejlik abban, hogy a biofoton emissziós mérésekkel eredményesen végezhetők hatóanyag transzlokációs vizsgálatok.

4.2.3. A káposztapoloskák által károsított levélfelületen kialakított léziók elemzése



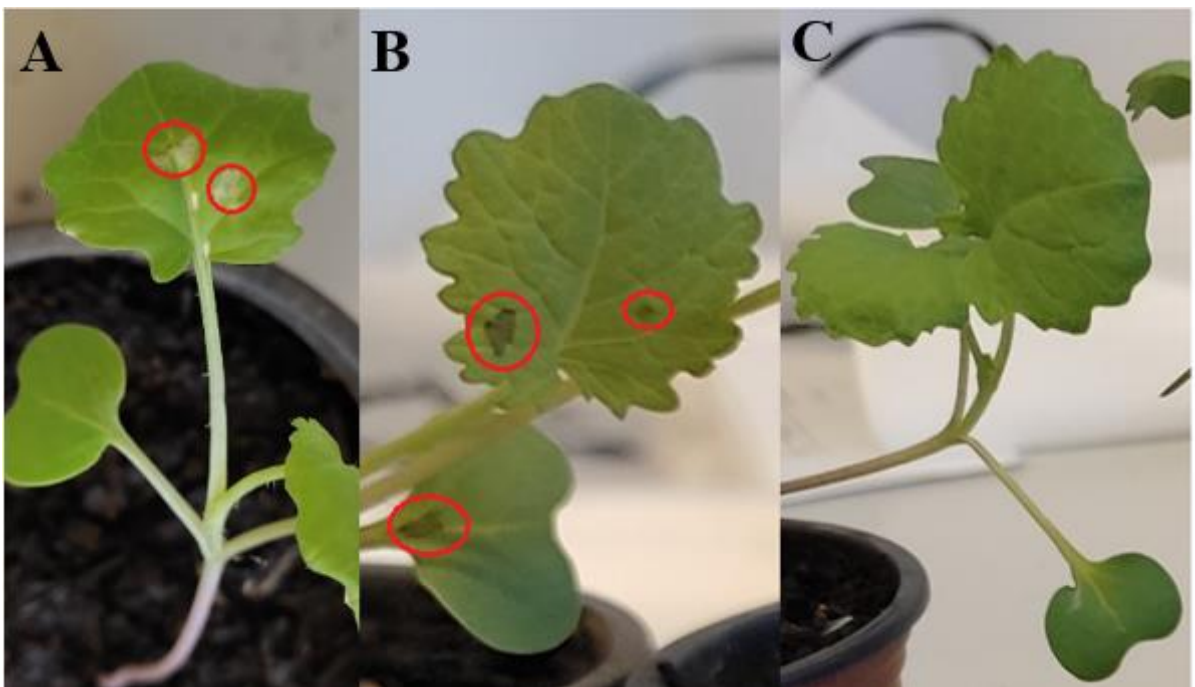
21. ábra. Káposztapoloskák által károsított levélfelület és a kialakult léziók a kísérleti növényen

A 21. ábra mutatja a káposztapoloskák táplálkozása által kialakított léziókat a kísérletbe állított őszi káposztarepce levelén. A vizsgált levelek átlagai alapján a léziók a teljes levélfelületnek mintegy 0,16 %-át teszik ki. E károsított levélfelület mértékét 48 óra alatt érték el. Abban az esetben, amikor inszekticid hatóanyag nem került kijuttatásra a vizsgálati idő végére a kísérletbe állított növények elhaltak az imágók károsításának hatására (22. ábra).



22. ábra. Kísérletbe állított növényeink a poloskák szívogatásának hatására a vizsgálatban eltöltött idő 72. órájában

A 23. ábra mutatja a kísérleti növények stay-green hatását, ahol jól megfigyelhető a poloskák szívogatásának hatása a kísérleti növényeken. A hatóanyaggal kezelt növények vonatkozásában jól vizualizálható különbség mutatkozott a kezeletlen növényekhez képest.



23. ábra. Stay-green hatás vizualizálása a kísérleti növényeken. A: poloskák károsításának kitett, de hatóanyaggal nem kezelt; B: poloskák károsításának kitett és növényvédőszerrel kezelt; C: károsítatlan és kezeletlen

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az őszi káposztarepcét az ízeltlábúak széles köre támadja, emiatt a hatékony növényvédelmi technológiák megválasztása kulcsfontosságú tényezők e növény gazdaságos termesztése szempontjából. E fajok jelenléte folyamatos, megjelenésükre fokozott figyelmet kell fordítani a teljes vegetációs időszak alatt. E fajok leküzdése az alkalmazott, hatékony növényvédelmi technológiák megválasztásának függvénye. Napjaink egyik legperspektivikusabb hatóanyag csoportjainak számító butenolidok és diamidok, az ún. harmadik generációs zoocid hatóanyagok a *flupiradifuron* és a *ciantraniliprol* az őszi káposztarepce termesztésében vetőmagkezelés formájában rendelkezésre álló hatóanyagok. Vizsgálatunkat motiválta, hogy feltérképezzük az egységnyi termőterületre kijuttatható peszticidek csökkentésének lehetőségét. Laboratóriumi kísérleteinkkel egyedülálló módon, a hagyományos toxicitási elemzések mellett roncsolásmentes képalkotó technológiák felhasználásával kívántuk e vizsgálat sorozatot alapozni, melyek újszerű eredményekkel járulhatnak hozzá növényvédőszeres kezelések sikerességének feltérképezéséhez.

Vizsgálatunkban célul tűztük ki az őszi káposztarepce szipókás károsítóival szemben a különböző módon kijuttatott *ciantraniliprol* és *flupiradifuron* hatóanyagok hatékonyságát, idő függvényében mért mortalitásának objektív meghatározását. Az inszekticides kezeléseket követően növényi stresszjelenségek felmérésére biofoton emissziós méréseket végeztünk, amely nem-invazív technológia segítségével kívántuk feltérképezni az alkalmazott hatóanyagok és a poloskák károsításának hatását a növényi életfolyamatokban.

Vizsgálatunk alapjául szolgáló növényeket 2023. július 10.-én Florimo® általános virágföldbe, 10×8cm cserépedényekbe vetettük el. Az alkalmazott *flupiradifuron* és *ciantraniliprol* hatóanyagokat vetőmagkezelés és állománykezelés formájában is vizsgáltuk, így megbizonyosodhatunk e készítmények akropetális és bazipetális transzlokációjáról a kísérletbe állított kártevők mortalitási értékein keresztül. E vizsgált inszekticid hatóanyagok hatásvizsgálatához peszticid mentes környezetből gyűjtöttük be a káposztapoloska imágókat, melyeket izolátor használatával helyeztünk el a kísérleti növényeinken. A biofoton emisszió méréséhez, detektálásához a NightShade LB 985 *in vivo* növényi képalkotó rendszert használtunk. A késleltetett fluoreszcencia jelet 15 percen keresztül rögzítettük. A kapott eredményeket az IndiGo™ 2.0.5.0 szoftver segítségével határoztuk meg.

Vizsgálatunk igazolta, hogy a káposztapoloska imágóival szemben a kísérletbe vont *flupiradifuron* és *ciantraniliprol* inszekticid hatóanyagok csávázó-, és állománykezelő szerként

alkalmazva egyaránt hatékonyak, rovar mortalitást kiváltó hatásuk tekintetében viszont alapvető különbség mutatkozik. A különböző alkalmazások között a *flupiradifuron* hatóanyaggal történő állománykezelésnek – a bazipetális transzlokációt kiaknázva – volt a leggyorsabb hatása a rovarok mortalitására. Állománykezelést követően 96 órával már 100% mortalitást sikerült regisztrálni. E hatóanyaggal történő kezeléseket követő első 2 napban a mortalitást kiváltó hatás kiugróan magas értéket ért el. A *flupiradifuron* kiemelkedő bazipetális transzlokációjáról számol be vizsgálatunk, ugyanis az összes állománykezelésen átesett repce esetén abszolút hatékonyságot regisztráltunk a káposztapoloskákkal szemben. A *ciantraniliprol* esetében ugyanezen kezelés rovarpusztító hatása mérsékeltebb volt. E diamid hatóanyagot állománykezelés formájában kijuttatva, a mortalitási érték a vizsgálatba állítást követő napon ugyan meghaladta a 60%-ot, de a beállítástól számított 120 órával még csupán 71%-os halandóságot okozott. *Ciantraniliprol* növényfelületre kijuttatva a kísérlet végére sem váltott ki totális pusztítást a szipókás kísérleti rovarpopulációban.

A kísérlet rámutatott, hogy egyértelmű különbség mutatkozik a különböző kijuttatási módok hatékonyságának tekintetében. A *flupiradifuron* hatóanyag esetében akropetális kijuttatásmódnál is ugrásszerű rovarölő hatást regisztráltunk. A vizsgálati napok előrehaladtával, az egymást követő napok során közel 20 százalékkal emelkedett a halandóság. Azonban 100%-os hatékonyságot itt sem sikerült feljegyezni, mivel a kísérletbe állítást követő 120 órával később is csupán 71%-os volt a pusztulás mértéke. Ezzel szemben a *ciantraniliprol* hatóanyag akropetális kijuttatásának következményei kevésbé különböztek a bazipetális kijuttatás okozta következményektől. E diamid molekula kísérletbe állítást követő 24-, és 48 órával később magasabb mortalitási értékeket produkált, mint a *flupiradifuron* hatóanyag. Megfigyelésünk megerősítette, hogy kezeléseket követően azon rovar egyedek, melyek a rovarölőszer kezelés hatására érzékenyen reagáltak táplálkozásuk abbamaradt, korábban intenzív mozgásuk mérséklődött.

Biofoton emissziós vizsgálatunk tekintetében alapvetően elmondható, hogy a jelen kísérleti beállítás teljesen újszerűnek és unikálisnak tekinthető, mivel más megközelítésből kívánja vizsgálni az alkalmazott növényvédőszer – kifejezetten az inszekticid – hatóanyagokat. Non-invazív vizsgálatunk igazolta a *ciantraniliprol* és a *flupiradifuron* hatóanyagok növényi agyagcsere reakciókban kiváltott változásait. Megállapítottuk, hogy a rovar egyedek nélkül vizsgált repce tövek biofoton emissziós vizsgálata esetén beállításától számított 24 óra elteltével a csávázott *ciantraniliprol* kezelések vonatkozásában sikerült a legmagasabb fotonkibocsátási értékeket mérnünk a növény egységnyi felületére vonatkoztatva. A magasabb késleltetett

fluoreszcenciában bekövetkezett változásokat a kísérlet hátralevő részében is megőrizte. E diamidok hatóanyagcsoportjába tartozó vegyület növényi anyagcserében kiváltott változásai az akropetális transzlokáció vonatkozásában egyértelműnek bizonyulnak. Abban az esetben, amikor az alkalmazott hatóanyagokkal kezelt és a káposztapoloskák szívogatásának kitett repcék együttes biofoton emisszióját vizsgáljuk, növekedés tapasztalható a mért fotonkibocsátási értékekben. A vizsgálatba állított imágók károsításának kitett és a *ciantraniliprol* hatóanyaggal vetőmagkezelt növények vonatkozásában sikerült a legkifejezettebb hatást kimutatnunk a növényi anyagcsere folyamatokban a kísérletbe vont növények egységnyi felületére vetített fotonkibocsátási aktivitásán keresztül.

Pixelemző szoftver segítségével megállapítottuk, hogy a kísérletbe állítást követően 48 órával a káposztapoloskák az őszi káposztarepce levelének mintegy 0,16%-án okoztak léziókat táplálkozásukkal.

Összességében kísérleti eredményeink alapvetően alátámasztották a harmadik generációs inszekticid hatóanyagok a *flupiradifuron* és *ciantraniliprol* szipókások elleni aktivitását, akropetális és bazipetális transzlokációját. E vegyületek állománykezelés formájában történő alkalmazhatóságával lehetőség nyílt a fitofág károsítók elleni védekezés hatékony megvalósításában, hozzájárulva ezzel egy, az integrált növényvédelemnek megfelelő sikeres védekezési eljárás megvalósulásához. E jövőbeni célok megvalósítása azonban további hatástanulmányok elvégzését feltételezik.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- ADAMA (2022): Klartan® 24 EW. <https://www.adama.com/magyarorszag/hu/products/insecticides/klartan-24-ew> (Letöltve: 2023.10.17.).
- Aldhaidhawi M., Chiriac R., Badescu V. (2017): Ignition delay, combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with rapeseed biodiesel – a literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73: 178-186.
- Alford D. V., Nilsson C., Ulber B. (2003): Insect pests of oilseed rape crops. *Biocontrol of Oilseed Rape Pests*, 9-42.
- Alford D.V. (2003): The oilseed rape crop. In: Alford D. V.: *Biocontrol of Oilseed Rape Pests*. Blackwell, Oxford, UK.
- Barnes J. M., Verschoyle R. D. (1974): Toxicity of new pyrethroid insecticide. *Nature*, 248: 5450.
- Basedow T. (1973): Der einfluss epigäischer raubarthropoden auf die abundanz phytophager insekten in der agrarlandschaft. *Pedobiologia*, 13: 410–422.
- Bayer CropScience (2018): Sivanto® Engergy. https://agro.bayer.co.hu/termekek/novenyvedelmi_termekek/rovarolo_szerek/?id=97(Letöltve: 2023.10.21.).
- Bayer CropScience (2021): Buteo® Start vetőmagcsávázó szer. https://ipad.bayerhungaria.hu/cropscience/content/gazdainfo/v2/online/pdf_91_termekek_engedelyokirat/pdf_91_termekek_engedelyokirat.pdf?104933 (Letöltve: 2023.10.16.).
- Bažok R., Ceranić-Sertić M., Barčić J. I., Borošić J., Kozina A., Kos T., Lemič D., Čačija M. (2012): Seasonal flight, optimal timing and efficacy of selected insecticides for cabbage maggot (*Delia radicum* L., Diptera: Anthomyiidae) control. *Insects*, 3 (4): 1001-1027.
- Benedek P. (1969): Poloskák. VII. *Fauna Hungariae*, 17 (1), Budapest.
- Bognár S., Huzián L. (1979): Növényvédelmi állattan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Bonnemaison L. (1957): Le charançon des siliques (*Ceuthorrhynchus assimilis* Payk.) Biologie et méthodes de lutte. *Ann Epiphyties*, 8: 387–543.
- Büchs W., Alford D. V. (2003): Predators of oilseed rape pests. In: Alford D. V.: *Biocontrol of Oilseed Rape Pests*. Blackwell, Oxford, UK.

- Büchs W., Felsman D.S., Klukowski Z., Luik A., Nilsson C., Ahmed B., Ulber B., Williams I.H. (2006): Key predator species in oilseed rape crops – a review of literature and master results. Proc int symp integrated pest management in oilseed rape, 3–5 April 2006, Goettingen, Germany.
- Campbell J. W., Cabrera A. R., Stanley-Stahr C., Ellis J. D. (2016): An evaluation of the honey bee (Hymenoptera: Apidae) safety profile of a new systemic insecticide, *flupyradifurone*, under field conditions in Florida. *Journal of Economic Entomology*, 109 (5): 1967-1972.
- Casida J. E., Ruzo L. O. (1980): Metabolic chemistry of pyrethroid insecticides. *Pesticide Science*, 11 (2): 257-269.
- Chari M. S., Rao R. N., Prabhu, S. R. (1992): Bio-efficacy of nicotine sulphate against pests of different crops. *Tobacco Res*, 18: 113-116.
- Chen X. D., Seo M., Stelinski L. L. (2017): Behavioral and hormetic effects of the butenolide insecticide, *flupyradifurone*, on Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*. *Crop Protection*, 98: 102-107.
- Cook S. M., Rasmussen H. B., Birkett M. A., Murray D. A., Pye B. J., Watts N. P., Williams I. H. (2007): Behavioural and chemical ecology underlying the success of turnip rape (*Brassica rapa*) trap crops in protecting oilseed rape (*Brassica napus*) from the pollen beetle (*Meligethes aeneus*). *Arthropod-Plant Interactions*, 1: 57-67.
- Corteva Agriscience (2022): Lumiposa® vetőmagcsávázó szer. <https://www.corteva.hu/termek-es-megoldasok/csavazo-szerek.html>(Letöltve: 2023.10.16.).
- Corteva Agriscience (2023): Etofenprox rovarölő szer hatóanyag. https://www.corteva.hu/content/dam/dpagco/corteva/eu/hu/hu/files/Katal%C3%B3gus_%C5%91sz_2023_OK.pdf (Letöltve: 2023.10.14.).
- 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.
- Fang N., Zhao X., Li Y., Luo Y., Wang X., He H., Jiang J. (2023): Uptake, translocation and subcellular distribution of *broflanilide*, *afidopyropen*, and *flupyradifurone* in mustard (*Brassica juncea*). *Journal of Hazardous Materials*, 452: 131381.

- Farkas I. (2018): Piretroid rezisztencia – repce-fénybogár. Gyakorlati áttekintés és ajánlások. *Agrofórum Extra* 74: 62.
- Felsmann D.S., Büchs W. (2006): Predation rates and assessment of staphylinid beetle larvae from oilseed rape flower stands and their role in the regulation of pollen beetle larvae. proc int symp integrated pest management in oilseed rape, 3–5 April 2006, Goettingen, Germany.
- Ferguson A. W, Klukowski Z., Walczak B., Perry J. N., Muggleston M.A., Clark S., Williams I.H. (2000): The spatio-temporal distribution of adult *Ceutorhynchus assimilis* in a crop of winter oilseed rape in relation to the distribution of their larvae and that of the parasitoid *Trichomalus perfectus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 95: 161–171.
- 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.
- FMC (2023): Rapid® 20CS. https://ag.fmc.com/hu/sites/default/files/2023-07/Rapid%20CS_KK_m%C3%B3d_1699_1_20230705.pdf (Letöltve: 2023.10.14.).
- Garbe V, Gladders P, Lane A. (2000): Report of the Concerted Action: Research for the adaptation of oilseed crops to the new requirements of the common agricultural policy: Crop competitiveness, seed quality, environment. *IOBC/wprs Bulletin*, 23 (6): 173–178.
- Gerhardt V., Bodemer U. (2000): Delayed fluorescence excitation spectroscopy: a method for determining phytoplankton composition. *Archaeology Hydrobiology Species Issues Advanced Limnology*, 55: 101-120
- Gunning R. V., Easton C. S., Greenup L. R., Edge V. E. (1984): Pyrethroid resistance in *Heliothis armiger* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in Australia. *Journal of economic entomology*, 77 (5): 1283-1287.
- Halászfű É. (1958): Heteroptera. II. *Fauna Hungariae*, 17 (2), Budapest.
- 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.
- Hesselbach H., Scheiner R. (2018): Effects of the novel pesticide *flupyradifurone* (Sivanto®) on honeybee taste and cognition. *Scientific Reports*, 8 (1): 4954.

- Hideg É., Inaba H. (1991): Biophoton emission (ultraweak photoemission) from dark adapted spinach chloroplasts. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 53: 137–142.
- Hokkanen H, Husberg GB, Söderblom M. (1988): Natural enemy conservation for the integrated control of the rape blossom beetle *Meligethes aeneus* F. *Agriculturae Fenniae*, 27: 281–294.
- Hokkanen H. (1991): Trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomolgy*, 36: 119–138.
- Jeanguenat A. (2013): The story of a new insecticidal chemistry class: the diamides. *Pest Management Science*, 69 (1): 7-14.
- Jermý T., Balázs K. (1988): A növényvédelmi állattan kézikönyve. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Jeschke P., Nauen R., Gutbrod O., Beck M. E., Matthiesen S., Haas M., Velten R. (2015): *Flupyradifurone* (Sivanto®) and its novel butenolide pharmacophore: structural considerations. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 120: 31-38.
- 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.
- Keszthelyi S. (2016): Szántóföldi növények kártevői. Agroinform kiadó, Budapest.
- Keszthelyi S. (2019): Zoocidok a növényvédelem szolgálatában. Agroinform kiadó, Budapest.
- Keszthelyi S., Gerbovits B., Jócsák I. (2023): Impact analysis of different applications of *cyantraniliprole* on control of horse chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella*) larvae supported by biophoton emission. *Biologia Futura*, 74: 209-219.

- Keszthelyi S., Gibicsár S., Jócsák I., Fajtai D., Donkó T. (2022): Analysis of the destructive effect of the *Halyomorpha halys* Saliva on tomato by computer tomographical imaging and antioxidant capacity measurement. *Biology*, 11 (7): 1070.
- Keszthelyi S., Kazinczi G. (2014): Az őszi káposztarepce védelme. *Növényvédelem*, 50 (9): 409-426.
- Keszthelyi S., Lövényi Zs. (2014): Árukukoricában végzett inszekticides állománypermetezések hatékonysága kukoricamoly és gyapottok-bagolylepke ellen. *Növényvédelem*, 50 (1): 13-18.
- Keszthelyi S., Pónya Zs., Csóka Á., Bázár Gy., Morschauser T., Donkó T. (2020): Non-destructive imaging and spectroscopic techniques to investigate the hidden-lifestyle arthropod pests. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 127: 283-295.
- Klecska F. (2016): *Eurydema ventralis* – káposztapoloska. CC BY 4.0. <https://www.izeltlabuak.hu/faj/kaposztapoloska> (Letöltve: 2023.10.10).
- Kobayashi K., Okabe H., Kawano S., Hidaka Y., Hara K. (2014): Biophoton emission induced by heat shock. *PLoS One*, 9: e105700.
- Központi Statisztikai Hivatal (2023): A repcemag termelése vármegye és régió szerint. https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0079.html (Letöltve: 2023. 10.05.).
- Kromp B. (1999): Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficiency, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74: 187–228.
- Lahm P., Cordova D., Barry D. (2009): New and selective ryanodine receptor activators for insect control. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 17 (12): 4127-4133.
- 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.
- Mandal S. (2012): Bio-efficacy of cyazypyr 10% OD, a new anthranilic diamide insecticide, against the insect pests of tomato and its impact on natural enemies and crop health. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 47 (2), 233-249.
- Marczali Zs. (2019): A keresztesvirágúak földibolhái. *Agrofórum Online*.
- Markóné N. K. (2019): Veszélyes kártevők: Repcedarázs. *Agrofórum Online*.

- 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): *Ciantraniliprol* 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.
- Murchie A. K, Williams I. H, Alford D. V. (1997): Effects of commercial insecticide treatments to winter oilseed rape on parasitism of *Ceutorhynchus assimilis* Paykull (Coleoptera: Curculionidae) by *Trichomalus perfectus* (Walker) (Hymenoptera: Pteromalidae). *Crop Protection*, 16: 199–202.
- Murchie A.K., Williams I.H., Perry J. (1999): Edge distributions of *Ceutorhynchus assimilis* (Paykull) and its parasitoid *Trichomalus perfectus* (Walker) in a crop of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Biocontrol*, 44: 379–390.
- Nauen R., Jeschke P., Velten R., Beck M. E., Ebbinghaus-Kintscher U., Thielert W., Raupach G. (2015): *Flupyradifurone*: a brief profile of a new butenolide insecticide. *Pest Management Science*, 71 (6): 850-862.
- Némethová J., Svobodová H., Věžník A. (2022): Changes in spatial distribution of arable land, crop production and yield of selected crops in the EU countries after 2004. *Agriculture*, 12 (10), 1697.
- Nilsson C. (1985): Impact of ploughing on emergence of pollen beetle parasitoids after hibernation. *Journal of Applied Entomology*, 100: 302–308.
- Nilsson C., Andreasson B. (1987): Parasitoids and predators attacking pollen beetles (*Meligethes aeneus* F.) in spring and winter rape in southern Sweden. *IOBC/wprs Bull*, 10 (4): 64–73.
- Orlovius K. (2003): Fertilizing for high yield and quality oilseed rape. *International Potash Institute*. Kassel, Germany.
- Pataki Cs. (2001): Adatok a káposztapoloskák (*Eurydema ventrale*) táplálékpreferenciájához. *ACTA 2. kötet*, 107-109.
- 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.
- Qian L., Voss-Fels K., Cui Y., Jan H. U., Samans B., Obermeier C., Snowden R. J. (2016): Deletion of a stay-green gene associates with adaptive selection in *Brassica napus*. *Molecular Plant*, 9 (12): 1559-1569.
- Radotic K., Radenovic C., Jeremic M. (1998): Spontaneous ultraweak bioluminescence in plants: Origin, mechanism and properties. *General Physiology and Biophysics*, 17: 289-308.
- Roditakis E., Stavrakaki M., Grispou M., Achimasto, A., Van Waetermeulen X., Nauen R., Tsagkarakou A. (2017): *Flupyradifurone* effectively manages whitefly *Bemisia tabaci* Med (Hemiptera: Aleyrodidae) and tomato yellow leaf curl virus in tomato. *Pest Management Science*, 73 (8): 1574-1584.
- Scherney F. (1959): Unsere laufkäfer, ihre biologie und wirtschaftliche bedeutung. Verlag a ziemsen, Wittenberg.
- 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.
- Soderlund D. M., Bloomquist J. R. (1989): Neurotoxic actions of pyrethroid insecticides. *Annual Review of Entomology*, 34 (1): 77-96.
- Sparks T. C., Watson G. B., Loso M. R., Geng C., Babcock J. M., Thomas J. D. (2013): *Sulfoxaflor* and the *sulfoximine* insecticides: chemistry, mode of action and basis for efficacy on resistant insects. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 107 (1): 1-7.
- Sumi Agro (2021): Mospilan®. <https://sumiagro.hu/kategoria/rovar-es-atkaoloszerek/mospilan-120-sl/> (Letöltve: 2023.10.16.).
- Syngenta (2022): Monospel® 24 EW. <https://www.syngenta.hu/rovarolo-szer-monospel-24-ew> (Letöltve: 2023.10.17.).
- Szeőke K. (2006): Az őszi káposztarepce védelme. *Növényvédelem*, 36 (10): 545

- Teixeira L. A., Andaloro, J. T. (2013): Diamide insecticides: global efforts to address insect resistance stewardship challenges. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 106 (3): 76-78.
- Thies C., Tscharntke T. (1999): Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science* 285: 293–295.
- Thomas H., Smart C. M. (1993): Crops that stay green 1. *Annals of Applied Biology*, 123 (1): 193-219.
- 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.
- Tóth T., Horváth É., Fábel H. (2014): A repcetermékek takarmányozási célú felhasználása a sertések és baromfifajok takarmányozásában. *Agronapló*, 153-154.
- Veromann E., Williams I. H., Kaasik R., Luik, A. (2010): Potential of parasitoids to control populations of the weevil *Ceutorhynchus obstrictus* (Marsham) on winter oilseed rape. *International Journal of Pest Management*, 57 (1): 85-92.
- Wale S. D., Pawar, S. A., Datkhile R. V. (2017): Evaluation of *flupyradifurone* 200 SL against sucking pests on Brinjal. *Annals of Plant Protection Sciences*, 25 (2): 254-258.
- 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.
- Williams I. H. (2010): The major insect pests of oilseed rape in europe and their management: an overview. In *Biocontrol-Based Integrated Management of Oilseed Rape Pests*, 1–43, Springer, Dordrecht.
- Wilson T., Hastings J. (1998): Bioluminescence. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 14: 197-230.
- Yoshida K., Hamamoto T., Morita M., Koyanagi T. (2014): *Cyclaniliprole*: new anthranilic diamide insecticide. Entomological Society of America Annual Meeting. November 16-19, 2014, Oregon Convention. Center, Portland, OR, USA.

7. 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.

Tudományos dolgozatom létrejöttében köszönettel tartozom a *Bayer CropScience*-nek és a *Corteva Agriscience*-nek a kísérletben felhasznált növényvédőszer és vetőmagok biztosításáért, valamint köszönettel tartozom az *FMC - An Agricultural Sciences Company*-nak a vizsgálatunkban alkalmazott hatóanyag biztosításáért. Köszönet illeti továbbá Pacs és Társa Kft.-t, aki lehetőséget és területet biztosított a kísérleti rovarpopuláció begyűjtésére.

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

Köszönöm barátomnak, Pitz Andrásnak e vizsgálat megvalósítása során nyújtott segítségét.

A KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS MINISZTERIUM ÚNKP-23-2 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.

Jelen TDK tevékenység megvalósulását a MATE „TDK-felkészülési ösztöndíj pályázat” című elnyert pályázat támogatta.