DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

VÖRÖS LEVENTE

MOSONMAGYARÓVÁR

2024

SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM
ALBERT KÁZMÉR KAR

WITTMANN ANTAL NÖVÉNY-, ÁLLAT- ÉS ÉLELMISZERTUDOMÁNYI MULTIDISZCIPLINÁRIS DOKTORI ISKOLA

HABERLANDT GOTTLIEB NÖVÉNYTUDOMÁNYI DOKTORI PROGRAM

A DOKTORI ISKOLA VEZETŐJE:
DR. VARGA LÁSZLÓ DSc
EGYETEMI TANÁR

TÉMAVEZETŐK:

LEDÓNÉ
DR. ÁBRAHÁM RITA
EGYETEMI DOCENS

MARKÓNÉ
DR. NAGY KRISZTINA
FEJLESZTŐMÉRNÖK

INNOVATÍV VÉDEKEZÉSI ELJÁRÁSOK VIZSGÁLATA AZ AMERIKAI KUKORICABOGÁR /DIABROTICA VIRGIFERA VIRGIFERA/ LÁRVÁJA ÉS IMÁGÓJA ELLEN

KÉSZÍTETTE:

VÖRÖS LEVENTE

MOSONMAGYARÓVÁR

2024

Innovatív védekezési eljárások vizsgálata az amerikai kukoricabogár (Diabrotica virgifera virgifera) lárvája és imágója ellen

Írta:

VÖRÖS LEVENTE

Jelen értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében készült a Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Kar Wittmann Antal Növény-, Állat- és Élelmiszertudományi Multidiszciplináris Doktori Iskola Haberlandt Gottlieb Növénytudományi Doktori Program keretében.

Témavezetők: Ledóné Dr. Ábrahám Rita, Markóné Dr. Nagy Krisztina

Elfogadásra javaslom (igen/nem) (aláírás)

A jelölt doktori szigorlaton ……...%-ot ért el.

Mosonmagyaróvár, …….

..……..

A Szigorlati Bizottság Elnöke

Az értékelést bírálóként elfogadásra javaslom (igen/nem)

Első bíráló (Dr. …….) igen/nem

aláírás

Második bíráló: (Dr. ……..) igen/nem

aláírás

Esetleg harmadik bíráló (Dr. ……) igen/nem

aláírás

A jelölt az értékelés nyilvános vitáján ……%-ot ért el.

Mosonmagyaróvár, ……..

A Bírálóbizottság elnöke

Doktori (PhD) oklevél minősítése: ……

Az EDT elnöke

Innovatív védekezési eljárások vizsgálata az amerikai kukoricabogár *(Diabrotica virgifera virgifera)* lárvája és imágója ellen

KIVONAT

Az utóbbi években az Európai Unióban számos hatóanyagot vontak ki, ezen eljárás jelentős mértékben csökkentette a növényvédelemben használatos inszekticidek számát, különösen nagy mértékben leszűkültek a talajlakó károsító szervezetekkel szembeni védekezési lehetőségek. Az eredményes termelés, valamint a fenntartható szemlélet érdekében szükség van új védekezési eljárások kidolgozására, melyek szervesen integrálhatók a növényvédelmi gyakorlatba anélkül, hogy környezetterhelést okoznának, vagy veszélyeztetnék a hasznos szervezeteket, valamint a munkát végző személyek egészségét. Kukorica kultúrnövény esetében, monokultúrás termesztés során az utóbbi időben egyre jelentősebb gazdasági kárt okoz az amerikai kukoricabogár. A kártevő lárvája a növények gyökereit károsítja, míg a kifejlett egyedeik a bibeszálak visszarágását követően termékenyülési problémát idéznek elő.

PhD képzésem időszakában ezen károsító lárvája és imágója ellen különböző fenntartható védekezési lehetőségeket vizsgáltam.

Kísérleteim során a talajban élő kártevő alak ellen teszteltem a *Heterorhabdithis bacteriophora* entomopatogén fonálférgeket, különböző injektálási vízdózissal kijuttatva. Vizsgálataim során megállapítottam, hogy 2 mrd fonálféreg-mennyiség hektáronként 50 l/ha injektálási vízdózissal képes megtartani hosszú időn keresztül a larvicid hatást és a talajban szaporodva felvenni a harcot a talajban lévő kártevővel szemben.

A lárvák ellen használt másik készítmény egy botanikai inszekticid volt, melynek hatóanyaga az azadirachtin. Ezt a hatóanyagot több éven keresztül, eltérő lárvadenzitás alatt alló területeken különböző csávázási dóziskoncentrációban használtam fel, ami során sikerült bizonyítanom ezen biológiai inszekticid kukoricabogárlárva-ellenes hatékonyságát és hosszú tartamhatását. Megállapítottam, hogy alacsony lárvafertőzöttség esetében az 50–100%-ig tejedő csávázási dóziskoncentrációk elegendők, magas lárvapopuláció esetében pedig nagyobb hatóanygadózisok kijuttatása (125–300%) indokolt.

A kukoricabogár kifejlett egyede ellen is végeztem kísérleteket, mind laboratóriumban, mind pedig szántóföldön. Vizsgálataim során a kártevő ínyjencségét használtam ki. Kutatásom során arra voltam kíváncsi, hogy attraktáns jelenléte mellett – mely esetemben uborkalé volt – lehet-e csökkenteni a jelen pillanatban legnagyobb mértékben felhasznált neonikotinoid hatóanyagcsoportba tartozó acetamiprid mennyiségét. Kísérleteim során arra a következtetésre jutottam, hogy 5 l/ha uborkalé jelenléte mellett közel 10%-ra csökkenthető a felhasznált kemikália mennyisége az engedélyokiratban meghatározotthoz képest.

A képzésem időszakában végzett kezeléseim minden vizsgált vonatkozásban eredményesnek tekinthetők, ebből kifolyólag megállapítható, hogy a biológiai eredetű készítmények alkalmazása is tud olyan hatékony lenni, mind a nagy mennyiségben felhasznált kemikáliák.

Investigation of innovative control measures against the larvae and imago of the western corn rootworm *(Diabrotica virgifera virgifera)*

KIVONAT ANGOL NYELVEN (ABSTRACT)

In recent years, several active substances have been phased out in the European Union, which significantly reduced the number of insecticides □sed in cr□p pr□tecti□n; in partic□lar, the c□ntr□l □pti□ns for soil-dwelling pests have been narrowed down. To ensure effective production and a sustainable approach, new control methods need to be developed which can be integrated into plant protection practices without causing environmental pollution or endangering beneficial organisms and the health of workers. In the case of maize as a cultivated crop, the economic damage caused by the western corn rootworm in monoculture production has recently been increasing. The larvae of this pest damage the roots of the plants, while at full growth, they cause fertility problems after the cotyledons have been chewed.

During my PhD training, I investigated different sustainable control measures against the larvae and imago of this pest.

In my experiments, I tested the entomopathogenic nematode *Heterorhabdithis bacteriophora* against the soil-dwelling pest, applied at different injection water doses. In my tests, I found that 2 billion

nematodes per hectare at 50 l/ha injection water dose can retain their larvicidal activity for a long time and fight the soil-borne pest by multiplying in the soil.

The other formulation used against larvae was a botanical insecticide with azadirachtin as the active ingredient. This active ingredient was applied at different banding dose concentrations over several years in fields with different larval predation rates, demonstrating the efficacy and the long-term effect of this biological insecticide against western corn rootworm larvae. I found that for low larval infestations application rates of 50–100% are sufficient, while for high larval populations higher doses (125–300%) are justified.

I have also conducted experiments against full-grown western corn rootworms, both in laboratory and the field. My tests exploited the pest's taste buds. My research was to see whether—in the presence of its attractant, which in my case was cucumber juice—it was possible to reduce the amount of acetamiprid, which is currently the most widely used neonicotinoid active substance. My experiments led me to conclusion that—in the presence of 5 l/ha of cucumber juice—it is possible to reduce the amount of the chemical used to almost 10% of the amount specified in the licence dossier.

The treatments I have carried out during my training period have been effective in all the aspects studied, and it can therefore be concluded that the use of biological products can be as effective as of large quantities of chemicals.

BEVEZETÉS

A föld népességének folyamatos növekedése és a termőterületek csökkenése miatt egyre nagyobb kihívást jelent a lakosság megfelelő mennyiségű és minőségű élelemmel történő ellátása oly módon, hogy minél kevésbé károsítsuk környezetünket (CAMPOS et al., 2016).

A kukorica *(Zea mays)* – a búza *(Triticum aestivum)* és a rizs *(Oryza sativa)* mellett – az emberiség legjelentősebb gabonanövénye. Földünkön vetésterülete 140–160 millió hektár. Hazánkban is az egyik legjelentősebb termesztett kúltúrnövény. Az elmúlt években termőterülete a búzával együtt Magyarországon a szántóterületek közel 50%-át teszi ki. A növény nagy területen történő termesztése egyrészt annak tulajdonítható, hogy felhasználása sokrétű. Nagy jelentőséggel bír a humán élelmiszerelőállításban (csemegekukorica, kukoricaliszt), ipari felhasználása is jelentős (keményítőipar, olajipar, szeszipar), valamint egyre nagyobb kukoricamennyiséget használnak fel bioetanol előállítására is. Hazánkban ezen növényt 90%-ban takarmányozási (abrak és tömegtakarmány) és ipari felhasználásra termesztik (ANTAL, 2005; LANG, 1976).

Másrészt érdemes megemlíteni, hogy termesztéstechnológiája könnyű, jól gépesített, növényvédelme kiforrott, ökonómiai szempontból pedig jól jövedelmező növény, ezért a gazdálkodók legtöbb esetben előnyben részesítik monokultúrában történő termesztését (VÖRÖS, 2019).

A kukoricatermesztés során megfelelő agrotechnikai eljárások mellett (talajművelés, tápanyagellátás, gyomirtás, vetett tőszám) egyre nagyobb kihívást jelent az amerikai kukoricabogár *(Diabrotica virgifera virgifera)* – napjaink egyik legjelentősebb kukoricakárosítója – elleni védekezés. Ezen kártevő elleni védekezés nagyban befolyásolja a betakarítandó termés mennyiségét és minőségét egyaránt.

CÉLKITŰZÉS

Az Európai Unióban 2018-tól kezdődően nagyfokú hatóanyagkivonási eljárás vette kezdetét, ennek következtében sok – a kártevő ellen eredményesen használható, biztos védelmet nyújtó – inszekticid tűnt el az európai piacról (pl. neonokotinoidok, szerves foszforsav-észterek). Napjainkban egyre nagyobb kihívást jelent a talajban és a lombszinten károsító szervezetek elleni védekezés, különösen nagy nehézséget okoz az amerikai kukoricabogár lárvájának gyérítése, melynek kártétele a vetést követően 4–6 hét múlva jelentkezik.

PhD képzésem időszakában olyan eljárások kidolgozásában tevékenykedtem, melyek választ adnak korunk kihívásaira és környezetkímélő módon veszik fel a harcot a kukoricabogár lárvájával és imágójával szemben, mindezt úgy, hogy nem szennyezik a környezetet, nincsenek káros hatással a munkát végző személyek egészségére, valamint nem ártalmasak a hasznos szervezetekre sem.

TARTALOMJEGYZÉK

Kivonat 4
Kivonat angol nyelven (Abstract) 7
Bevezetés 9
Célkitűzés 11
Tartalomjegyzék 12
1. Irodalmi áttekintés 16
1.1. Az amerikai kukoricabogár elterjedése és jelentősége 16
1.2. Az amerikai kukoricabogár rendszertana, morfológiája 19
1.3. Az amerikai kukoricabogár fejlődésmenete 24
1.4. Az amerikai kukoricabogár kártétele 25
1.4.1. A lárvák kártétele 25
1.4.2. Az imágók kártétele 29
1.5. Az amerikai kukoricabogár előrejelzése 31
1.5.1. Nyugalmi időszakban végzett felvételezési módszerek. 31
1.5.2. Az állományban végzett felvételezések 32
1.6. Az amerikai kukoricabogár elleni védekezési lehetőségek .. 36
1.6.1. Agrotechnikai védekezés 36
1.6.2. Kémiai védekezés 37
1.6.2.1. A lárvák elleni kémiai védekezés 37
1.6.2.2. Az imágók elleni kémiai védekezés 39
1.6.3. Biológiai védekezés 41
1.6.3.1. A lárvák elleni biológiai védekezési eljárások 41

2. Anyag és Módszer 50
2.1. Entomopatogén fonálférgekkel végzett kísérletek a kukoricabogár lárvája ellen 50
2.2. Azadirachtin hatóanyaggal végzett kísérletek az amerikai kukoricabogár lárvája ellen 53
2.3. A kísérleti helyszínek és körülmények 56
2.3.1. A gyömörei kísérleti helyszín 56
2.3.2. A röjtökmuzsaji kísérleti helyszín 58
2.3.3. A hajdúvidi kísérleti helyszín 60
2.3.4. A tiszalöki kísérleti helyszín 62
2.3.5. A perkátai kísérleti helyszín 62
2.4. A lárvakártétel felvételezési módszere 64
2.5. Az amerikai kukoricabogár imágója ellen elvégzett vizsgálatok 65
2.5.1. Laboroatóriumi vizsgálatok 66
2.5.2. Szántóföldi vizsgálatok 68
3. Eredmények és Értékelésük 71
3.1. Az entomopatogén fonálférgekkel végzett kísérletek eredményei 71
3.1.1. 2020. évi röjtökmuzsaji kísérlet 71
3.1.2. 2021. évi röjtökmuzsaji kísérlet 75
3.1.3. 2021. évi gyömörei kísérlet 79
3.1.4. 2022. évi röjtökmuzsaji kísérlet 83
3.1.5. 2022. évi perkátai kísérlet 87
3.1.6. A fonálférges kezelések eredményeinek értelmezése 91

3.2. Azadirachtin hatóanyaggal elvégzett csávázásos kísérletek eredményei ... 95
3.2.1. A 2020. évi gyömörei kísérlet ... 95
3.2.2. A 2021. évi gyömörei kísérlet ... 99
3.2.3. A 2021. évi röjtökmuzsaji kísérlet ... 103
3.2.4. A 2021. évi hajdúvidi kísérlet ... 107
3.2.5. A 2022. évi röjtökmuzsaji kísérlet ... 111
3.2.6. A 2022. évi perkátai kísérlet ... 115
3.2.7. A 2022. évi tiszalöki kísérlet ... 119
3.2.8. A csávázásos kezelések eredményeinek értelmezése ... 123
3.3. A két biológiai ágens hatékonyságának összevetése ... 126
3.3.1. A 2021. évi röjtökmuzsaji összehasonlító kísérlet ... 127
3.3.2. A 2021. évi gyömörei összehasonlító kísérlet ... 131
3.3.3. A 2022. évi röjtökmuzsaji összehasonlító kísérlet ... 135
3.3.4. A 2022. évi perkátai összehasonlító kísérlet ... 139
3.3.5. A két biológiai készítmény hatékonysági eredményeinek értelmezése ... 143
3.4. A kukoricabogár imágója ellen végzett kezelések ... 145
3.4.1. Laboratóriumi vizsgálatok 2021 ... 145
3.4.2. Szántóföldi vizsgálat 2022 ... 147
3.4.3. Szántóföldi vizsgálat 2023 ... 154
3.4.4. Az amerikai kukoricabogár imájója ellen végzett kezelések eredményeinek értelmezése ... 161
4. Következtetések, javaslatok ... 164
5. Összefoglalás ... 169

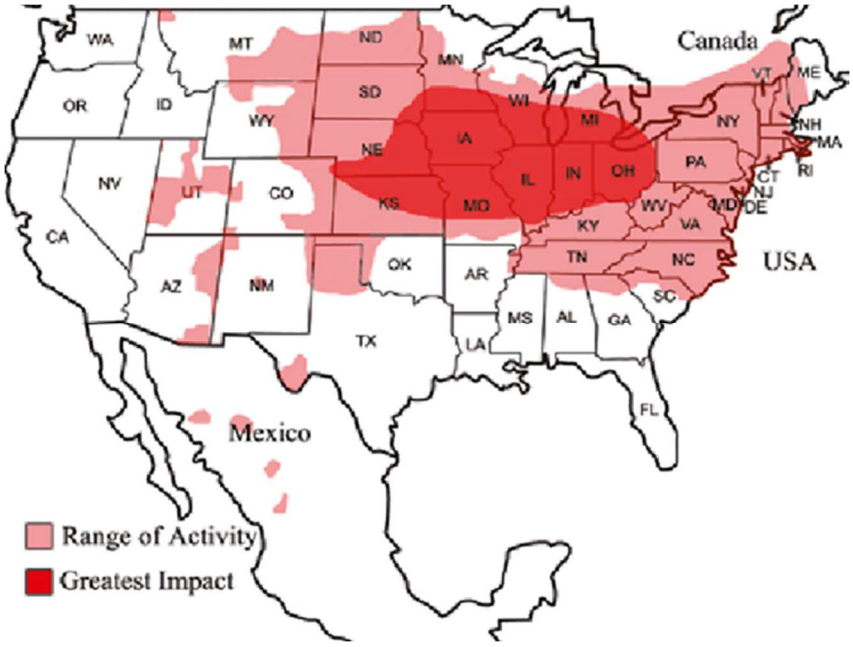
6. Tézisek 172
7. Köszönetnyilvánítás 174
8. Felhasznált irodalom 175
Mellékletek 187
Publikációs lista 187
Ábrajegyzék 190
Táblázatjegyzék 195

1. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

1.1. AZ AMERIKAI KUKORICABOGÁR ELTERJEDÉSE ÉS JELENTŐSÉGE

A rovar Mexikói géncemtrummal rendelkezik (KRYSAN, 1982), innen hódította meg Észak-Amerika kukoricatermő területeit (1. ábra). Az Egyesült Államok legveszélyesebb kukoricakártevőjeként tartják számon (IVEZIĆ et al., 2006), melynek mind lárvája (PÁLFAY, 2001; GYERAJ et al., 2021), mind pedig imágója (CULEY et al., 1992) egyaránt nagy gazdasági károk okozására képes.

Az első gazdasági kártétel a XX. század elején csemegekukoricán volt észlelhető (GILLETTE, 2012), károkozása 1980-ra elérte az USA keleti partvidékét (KRYSAN, 1986).



1. ábra. A k□k□ricab□gár terjedése az Egyesült Állam□kban
(KISS és EDWARDS, 2001)

K□ntinensünkön először Belgrádban jelent meg 1992-ben, a következő évben már 100000 ha-□n lárvakártétel v□lt detektálható m□n□k□ltúrában termesztett k□k□ricaterületen (BAČA, 1993; ČAMPRAG et al., 1994).

E□rópában nagy inváziós p□tenciállal rendelkezik, nagyságrendileg 50 km-t terjed évente (2. ábra). Megjelenését követően 5–7 év múlva már gazdasági kárt □k□z (KISS és EDWARDS, 2001). Terjedése szexfer□m□ncsapdával és ragacslappal ny□m□n követhető (TÓTH, 2005). Hazánkban első egyedeit 1995-ben Mórahal□m térségében észlelték (TÓTH és NAGY, 1995; PRIN□ZINGER, 1996), gazdasági

kártétele 1998-ban volt először megfigyelhető (RIPKA et al., 2000), 1999-ben Somogy, Tolna, Fejér, Pest, Nógrád, Komárom, Hajdú és Szolnok vármegyében is megtalálhatóvá vált (RIPKA et al., 2000). 2001-ben az egész országban elterjedt és megtalálták a tőlünk északabbra és nyugatabbra fekvő környező országokban is. Populációnagysága azóta folyamatosan növekszik. Napjainkra az összes kontinensen észlelhető (Dél-Amerika; Ázsia; Afrika; Ausztrália).

2. ábra. Az amerikai kukoricabogár terjedése Európában
(KISS és EDWARDS, 2001)

A károsító eltejedésével egyenes arányban nőtt az ellene való védekezés költsége, mára Magyarországon a károsítók közül az ezen faj elleni védekezés jelenti a legnagyobb költséget a gazdák számára. A lárvák és

imágók elleni védekezés együttes költsége vetekszik a hibrid vetőmag árával (VÖRÖS, 2019).

1.2. AZ AMERIKAI KUKORICABOGÁR RENDSZERTANA, MORFOLÓGIÁJA

Az amerikai kukoricabogár (*Diabrotica virgifera virgifera*) a rovarok (Insecta) osztályába, a bogarak (Coleoptera) rendjébe, a levélbogarak (Chrysomelidae) családjába és az olajosbogarak (Galerucinae) alcsaládjába tarozó faj, melyet LeConte írt le 1868-ban (KRYSAN és SMITH, 1987). A fajnak két alfaja létezik, a *Diabrotica virgifera zeae* és az Európában is elterjedt *Diabrotica virgifera virgifera* (KRYSAN et al., 1980).

Az imágó

5–8 mm-es nagyságú levélbogár, melyet ivari dimorfizmus jellemez. Akifejlett rovar feje fekete, a tor sárgás-zöldes színű, szélessége megegyezik a hosszával. A három pár ízelt láb színezettsége fekete, combjai halványsárga színűek. A fedőszárnyak sárga-fekete csíkozottságúak, a szárnyfedők szélén hosszanti taréjok figyelhetők meg, a csápok 10 ízből állnak (CHIANG, 1973; HATALÁNÉ és RIPKA, 2001). A nemek megkülönböztetésére szolgáló egyértelmű bélyeg, hogy a hímek szárnyfedele nagyságrendekkel sötétebb, mint a nőstény egyedeké, csak a végén figyelhető meg egy világosbarna folt, a nőivarú egyedek szárnyfedelén három különálló fekete csík található

(KUHAR és YOUNGMAN, 1995). Az ivari dimorfizmust jól jellemzi továbbá az is, hogy a hím ivarú egyedeknél megfigyelhető egy plusz hátlemez, melyet a szárnyfedők nem takarnak (3. ábra) (KRYSAN és MILLER, 1986).

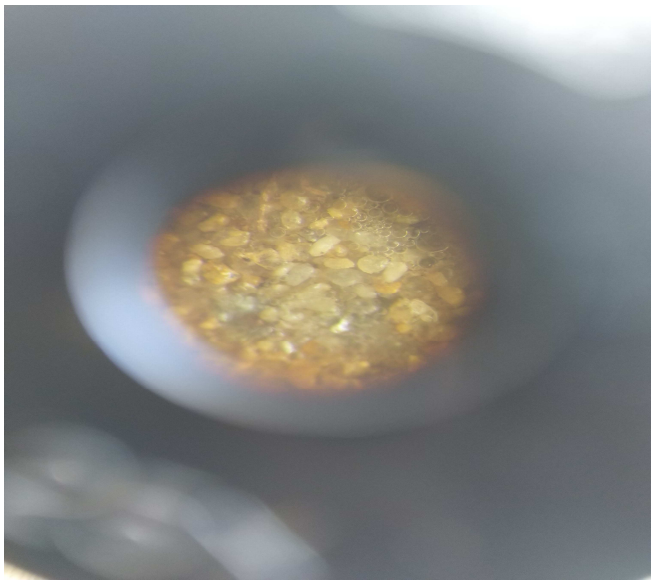
3. ábra. Az amerikai kukoricabogár hím egyede (saját fotó)

A kikelt imágók ivararánya majdnem megegyező, de megfigyelték, hogy nagy populációsűrűség esetén a hímek száma meghaladja a nőstényekét (WEISS et al., 1985; SUTTER et al., 1991; DARNELL et al., 2000; BAYAR et al., 2003). A hímek megjelenése 5–7 nappal a nőivarú egyedek előtt történik, érési táplálkozást folytatnak. A nőstény imágók ivaréretten jönnek elő a talajból, majd megjelenésüket követően

pár órán belül megtörténik az ivaros megtermékenyítés (BALL, 1957; HILL, 1975; LEW és BALL, 1979; HAMMACK, 1995). A párosodást követő két nap múlva megtörténik a peterakás a talajba (BRANSON és JHONSON, 1973; HILL, 1975; FISHER et al., 1991).

A tojás

A kártevő petéje 0,5–0,6 mm hosszú, ovális alakú, törtfehér sárgás színű (4. ábra) (KRYSAN, 1986).



4. ábra. Az amerikai kukoricabogár petéje (saját fotó)

A nőstények általában 220–240 db tojást raknak le (BALL, 1957; ELLIOT et al., 1990; FISHER, 1991; BOETEL és FULLER 1997; BAYAR et al., 2002). A *Diabrotica virgifera virifera* és a *Diabrotica*

virgifera zeae petéinek mintázata nagyon hasonló, esetenként könnyen összetéveszthető (KRYSAN és MILLER, 1986), azonban Európában csak a *virgifera virgifera* fordul elő (KISS et al., 2005; MILLER et al., 2009).

A lárva

A peterakást követő év tavaszán hőösszegtől függően a kukoricavetést követő 4–6. héten kelnek ki a tojásokból a talajban. A frissen kikelt lárvák (L1) 1–2 mm hosszúak, aktívan mozognak. Az L2-es fejlődési stádiumban lévő lárvák 6–8 mm hosszúak, az L3-asok pedig 12–13 mm nagyságúak, a lárvafejlődés hossza a hímek esetében 29 nap, a nőstények esetében pedig 32 nap (EDWARDS et al., 1998; HAMMACK et al., 2003). A lárvák színezettsége fehér vagy csontszínű, a fejtok, valamint a 9. anális szelvény felső része barna színű (MENDOSA és PETERS, 1964) (5. ábra). A lárvák a talajban aktív mozgásra képesek és a növényi gyökérlégzés által kibocsátott CO_2-t érzékelve keresik fel gazdanövényüket.

5. ábra. Az amerikai kukoricabogár lárvája (saját fotó)

A báb

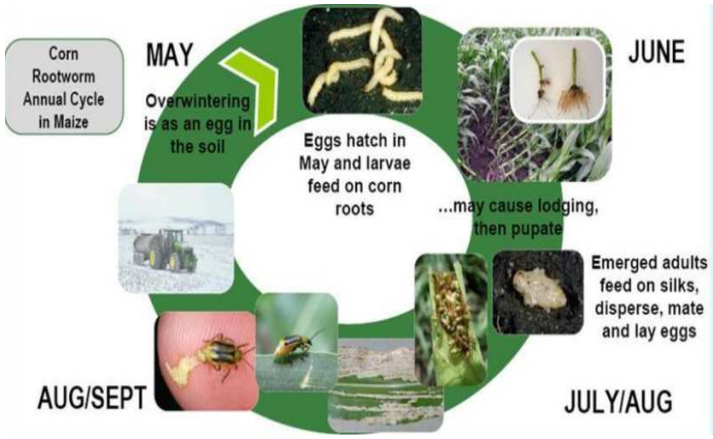
A báb szabadbáb, mely alapján az egyed neme meghatározható. Azokból a bábokból, melyek potrohvég közelében szemölcs alakú kinövéseket hordoznak, nőstények fejlődnek (6. ábra) (KRYSAN,1986).

6. ábra. Az amerikai kukoricabogár szabadbábja (saját fotó)

1.3. AZ AMERIKAI KUKORICABOGÁR FEJLŐDÉSMENETE

A kukoricabogár egy nemzedékes faj, a talajban telel át tojás alakban (CHIANG, 1973). A következő évben a talajtípustól, a nedvességtartalomtól, valamint az effektív hőösszegtől függően indul meg a lárvakelés tavasz végén, nyár elején (FISHER et al., 1991). Hazánkban a keléshez szükséges hőösszeg 268 Celsius-fok (TAKÁCS, 2009), így a tömeges lárvakelés május II. dekádjától június II. dekádjáig tart (HATALÁNÉ és RIPKA, 2001b). A lárvák fejlődési ideje 30,5 nap (KRYSAN et al., 1977), az ehhez szükséges optimális hőmérséklet 22–27 Celsius-fok (HATALÁNÉ és RIPKA, 2001). A kártevőnél három

lárvaállapot figyelhető meg, az L3-as lárva bábozódik és július elejétől kezdődően, folyamatosan augusztus közepéig jelennek meg a kifejlett egyedek (KOMÁROMI et al., 2000) (7. ábra). A szaporodáshoz és fejlődéshez kedvező talajtípusok a csernozjom és a barna erdőtalajok, viszont a homoktalajokat kevésbé kedvelik (STRNAD és BERGMAN, 1987).



7. ábra. Az amerikai kukoricabogár életciklusa (agupdate.com)

1.4. AZ AMERIKAI KUKORICABOGÁR KÁRTÉTELE

1.4.1. A lárvák kártétele

A fő kártevő alak a lárva. A lárvák a kukorica vetését követő 4–6 hét elteltével, május közepén kezdenek kelni a tojásból (LUCKMAN et al., 1974), és megkezdik táplálkozásukat a kukorica növény gyökerein (PÁLFAY, 2001). Az idősebb lárvák az elsődleges kártevők, melyek a

növény támasztógyökereinek visszarágásával (PÁLFAY, 2001; GYERAJ et al., 2021; FERRACINI et al., 2021) a növények jellegzetes megdőlését okozzák, ezt a szaknyelv hattyúnyakjelenségnek nevezi (CHIANG, 1973; SPIKE és TOLLEFSON, 1991). Különösen száraz évjáratokban ezek a gyökerek nem képesek a regenerációra, ezért egy szélvihar vagy nagyobb eső következtében az egész állomány megdőlhet, a kár elérheti akár a 100%-ot is (VÖRÖS, 2002a).

Erős gyökérvisszarágottság esertén a kár elérheti a 40%-ot (GOLDFREY et al., 1995), a lárvakártétel a termés mennyisége mellett rendkívüli mértékben befolyásolja a minőséget is (KAHLER et al., 1985).

Az amerikai kukoricabogár lárvakártételének meghatározására több módszert fejlesztettek ki (HILLS és PETERS, 1971; MUSICK és SUTTLE 1972). Az USA-ban eleinte az 1–9-ig terjedő Iowa-skálát alkalmazták, mely gyenge kártétel esetén pontosabb értékelést tesz lehetővé (MUSICK és SUTTLE, 1972). A későbbiekben a hatpontos és a módosított Iowa-skálát alkalmazzák a lárvakártétel pontos meghatározására (PETERS és EIBEN munkája alapján HILLS és PETERS, 1971).

1. táblázat. A hagyományos Iowa-skála értékei

Skálaérték	A lárvák károsításának leírása
1	Nincs, vagy alig látható kártétel
2	Jól kivehető felszíni sérülések
3	1-3 gyökér 3,5 cm-re visszarágott
4	Egy teljes nódusz gyökérzete(gyökéremelet), vagy annak megfelelő gyökérzet elpusztult
5	Két teljes nódusz gyökérzete(gyökéremelet), vagy annak megfelelő gyökérzet elpusztult
6	Három teljes nódusz gyökérzete(gyökéremelet), vagy annak megfelelő gyökérzet elpusztult

A hagyományos Iowa-skála alapján a lárvakártétel következtében kialakuló gyökérkárosítás küszöbértéke 3. Ennél magasabb skálaértékeknél jelentős gazdasági kár keletkezik, ami a termelő számára jelentős profitveszteséggel jár.

2. táblázat. A módosított Iowa-skála értékei

Skálaérték	**A lárvák károsításának leírása**
1	Nincsenek látható táplálkozási nyomok a gyökéren
1,5	Látható táplálkozási sérülések vannak jelen a gyökéren
2	1-3 gyökér enyhén rágott, járatokat tartalmaz
2,5	Három jelentős gyökérnél több károsított, de 3,5 cm-re egy sincs visszarágva, vagy kiüregesítve
3	1-3 gyökér 3,5 cm-re visszarágott, illetve kiüregesített
3,5	1-3 -nál több gyökér 3,5 cm-re visszarágott, illetve kiüregesített, de egy teljes nóduszkör nem pusztult el
4	Egy teljes nóduszkör, vagy ennek megfelelő számú gyökér elpusztult
4,5	Körülbelül 1,5 nóduszkör elpusztult
5	Két teljes nóduszköre, vagy annak megfelelő számú gyökér elpusztult
5,5	Körülbelül 2,5 nóduszkör elpusztult
6	Három vagy több nóduszkör pusztult

A módosított Iowa-skála – a hagyományos egész értékekkel lépdelő skálához képest – pontosabb információval lát el bennünket a

gyökérkártétel vonatkozásában. Amerikai adatok alapján gazdasági kár lép fel, amennyiben a gyökérkárosítás mértéke a módosított Iowa-skála szerint eléri a 2,5-ös értéket (TURPIN et al., 1972). Ezt az értéket a későbbiekben 2,75-re (STAMM et al., 1985), majd 3-ra (MAYO, 1986), végül 3,5-re (DAVIS, 1994) emelték. Napjainkban is ezt a 3,5-ös skálaértéket tekintik a gazdasági küszöbértéknek a módosított Iowa-skálán.

8. ábra. Módosított Iowa-skála szerinti gyökérvisszarágottság képekben (saját fotó)

1.4.2. Az imágók kártétele

Az imágók kezdetben a kukoricanövény vegetatív részein táplálkoznak, ahol az Oulema fajokhoz hasonló kárképeket alakítanak ki, erősebb szájszervük révén a levelek nagyobb ereit is képesek átrágni, ezzel csökkentik a növény fotoszintetikusan produktív felületét (ČAMPRAG et al., 1994; MOUSER 2003; LUDWIG és HILL, 1975; KRYSAN és MILLER, 1986; TUSKA et al., 2002). A levélen történő táplálkozás következtében vektor szerepet betöltve a *Pantoea ananatis* baktérium terjedését elősegítik, mely a növény levelének foltosodását okozza (KRAWCZYK et al., 2021). A levélkártételt követően a kárképek kezdetben a növény címerén, majd a később megjelenő bibéken figyelhetőek meg (MOESER, 2003; LUDWIG és HILL, 1975). A kifejlett egyedek a hím virágzatokon a portokokat rágják (KRYSAN és MILLER, 1986), de a kukorica intenzív pollentermelése miatt ez a megtermékenyítést nem veszélyezteti. Az imágók fő és legveszélyesebb kártétele a zsenge bibeszálakon nyilvánul meg (TUSKA et al., 2003), melyet nagy kártevő létszám esetén kefére rágnak, ezáltal jelentős terméscsökkenés várható (CULEY et al., 1992). Az imágó veszélyességi küszöbértéke árukukoricában 9 db/cső, vetőmagelőállítás esetében ez az érték 1–3 db/cső (TUSKA et al., 2002; TUSKA et al., 2003).

Magyarországon az az elterjedt gyakorlat, hogy az első éves kukoricában nem szükséges a kifejlett egyedek elleni védekezés, viszont második, harmadik éves monokultúrában elmulaszthatatlan. Akésőn kikelt egyedek megrághatják a szemtermést is, ezáltal utat nyitva a gombabetegségeknek és toxinfertőzést okozhatnak.

1.5. AZ AMERIKAI KUKORICABOGÁR ELŐREJELZÉSE

A kártevő megjelenésétől kezdve foglalkoztatja a kutatókat, hogy a következő évi populációnagyságot hogyan lehet előrejelezni (KRYSAN and MILLER, 1986). Mivel a károsító petéi és lárvái a talajban vannak, nagyon nehéz számszerűsíteni azokat (MANNINGER, 1960).

A kukoricabogár előrejelzésére közvetlen és közvetett módszerek állnak rendelkezésünkre.

A közvetlen előrejelzésre több módszer alkalmazható, mind például a neveléses és a tojáskimosásos technikák (FROMM et al., 1999; KRYSAN és MILLER, 1986).

A közvetett módszerek pedig az imágók számából nyernek információt a következő évi lárvakelésre vonatkozóan (ČAMPRAG et al., 1994).

1.5.1. Nyugalmi időszakban végzett felvételezési módszerek

A tojások számának felvételezéséből jól lehet következtetni a tavasszal megjelenő lárvák számára. A kukoricabogár terjedésének táblabeli eloszlása szoros összefüggésben van a talajnedvesség állapotával és a felszínen található repedések mélységével (TAKÁCS, 2009). A kukoricabogár imágók a mélyebb, nedvesebb talajrétegeket keresik fel petézési célből (PRUESS et al., 1968).

Szántott területek esetében a mintát 20–25 cm mélységig kell venni (KRYSAN and MILLER, 1986).

A neveléses módszer (talajból való futtatás) lényege, hogy a kukoricatábla talajából vett mintát állandó hőmérsékleten kell tartani (10–13 Celsius-fok felett) a tojások keléséig (BAUFELD et al., 1996; WILDE, 1971). A talajkimosásos vizsgálat a talajminta vízzel való eliszapolását jelenti és a bennük található tojások pontos számának meghatározásán alapszik, melynek eszközei a Montgomery és az Illinois apparát (KRYSAN and MILLER, 1986). A talajkimosásos módszer nagy előnye, hogy azonnali eredményeket, információkat kaphatunk a talajban lévő peték számáról és nem kell megvárni a talajból való futtatás 4–6 hetes vizsgálati idejét.

1.5.2. Az állományban végzett felvételezések

Az állományban végzett felvételezés a területen végrehajtott lárvaszámok rögzítéséből, valamint a kifejlett imágók számának meghatározásából áll (VÖRÖS, 2019).

A lárvák számának felvételezése

Az imágók által ősszel lerakott és áttelet petékből a lárvakelés május II–III. dekádjától kezdődik. A fiatal kukoricanövény gyökérlégzése következtében kibocsájtott CO_2 attraktánsan hat a tojásokból kikelt lárvákra. A növények kiásásával pontosan felmérhető a töveket károsító lárvák száma (CHIANG, 1973), e módszer segítségével nagy

biztonsággal meghatározható a várható imágószám és ezáltal előrejelzést kaphatunk a lehetséges temésveszteségről is.

Az imágók számának felmérése

A kifejlett egyedek felvételezésére széles körben elterjedtek a különböző csapdázási módszerek, melyekkel a nyár folyamán jó eredménnyel nyomonkövethető a bogarak rajzása (KOMÁROMI et al., 2000; VÖRÖS, 2002b). Az előrejelzés céljából kifejlesztett csapdák kihasználják a bogarak sárga színhez való vonzódását, valamint a csalogató illatanyagok hatását. Azon csapdatípusok, melyek szexferomonokat bocsájtanak ki, csak és kizárólag a hím egyedek befogására alkalmasak (pl. KPL fero), a virág illatanyagokat tartalmazó csapdák (pl. Kpl flor) elsődlegesen a nőivarú egyedek befogására szolgálnak.

A varsás fogószerkezetű csapdák a kártevő egyedek tömeges befogására szolgálnak, míg a ragacslapos csapdák könnyen telítődnek, de pontosabb képet adnak a rajzás kezdetének időpontjáról. A csapdázás gyakorlati jelentősége, hogy segítségével meghatározható az állománypermetezések pontos időpontja. A csúcsrajzás időpontjában elvégzett állománypermetezéssel a kártevő populációnagysága ökonómiai küszöbszint alá csökkenthető (WRIGHT, 1999; EDWARDS et al., 1998).

Az imágók számának felvételezésére szolgál – a csapdázási lehetőségeken kívül – a növénybonitálási vizsgálat is, melynek lényege, hogy szántóföldi szemrevételezés során kiválasztott növények

megfigyelésével kerül meghatározásra az imágók száma. A kukoricabogár kifejlett egyedei a nap nagy részét a kukoricacsöveken, valamint a levélhüvelyekben töltik. Az intenzív repülés napnyugta előtt tapasztalható. A legoptimálisabb szemrevételezési időpont a kora déletlőtti, vagy az alkonyat előtti időszak (ISARD et al., 2000).

3. táblázat. Az amerikai kukoricabogár előrejelzésére rendelkezésre álló csapdatípusok (forrás: csolomon.hu)

Csapdatí-pus	**KLP-fero+**	**KLP-flor+**	**PAL**	**PALs**	**VARs+**
Csalétek	fero-mon	virág-illat-anyag	fero-mon	virág-illatanyag	mindkettő
Fogott ivar	csak hí-mek	mindkét ivar	csak hí-mek	mindkét ivar	mindkét ivar
Ivararány	>99% hím	főleg nőstény	>99% hím	több nőstény	több nőstény
Szelektivi-tás	igen szelek-tív	igen szelek-tív	sok más rovar	sok más rovar	igen szelektív
Fogókapa-citás	>5–6000	>5–6000	>4–500	>4–500	>10 000
Felépítés	egy-szerű	egy-szerű	egy-szerű	egyszerű	bonyolult
Kezelése	könnyű, tiszta	könnyű, tiszta	raga-csos	ragacsos	tiszta
Ragacs	nincs	nincs	van	van	nincs
Detektá-láshoz	nagyon érzé-keny	érzé-keny	na-gyon érzé-keny	érzékeny	nagyon érzékeny
Rajzás-követéshez	megfe-lelő	meg-flelő	meg-felelő	megfelelő	megfelelő
Költségek, detektá-lásra	olcsóbb	olcsóbb	drá-gább	drágább	drágább
Költésgek, rajzáskö-vetésre	olcsóbb	olcsóbb	drá-gább	olcsóbb	olcsóbb

1.6. AZ AMERIKAI KUKORICABOGÁR ELLENI VÉDEKEZÉSI LEHETŐSÉGEK

Annak érdekében, hogy a károsító elleni legmegfelelőbb védekezési eljárást kidolgozzuk, tisztában kell lennünk az amerikai kukoricabogár biológiájával. A kártevő rejtett életmódot folytat, csak rövid ideig (65 napig) található meg imágó alakban (SZEMÁN és TAKÁCS, 2004). Abban az esetben, ha az elővetemény kukorica volt, nélkülözhetetlen a lárvák elleni beavatkozás, és fel kell készülni az imágók elleni védekezésre is (VÖRÖS, 2019). Kontinensünkön a kártevő gyérítésének legelterjedtebb módszerei az agrotechnikai eljárásokon túl a növényvédőszeres talajfertőtlenítés, a vetőmagcsávázás, illetve az inszekticides állománykezelés (VÖRÖS, 2004; HORVÁTH 2003; BORIANI et al., 2006). Az USA-ban a kártevők számának csökkentésére nagyon elterjedt módszer a transzgénikus növények termesztése (NIU et al., 2017).

1.6.1. Agrotechnikai védekezés

A vetésváltás az egyik leghatékonyabb védekezési eljárás a kukoricabogár lárvakártételének csökkentésére (GILETTE 1912; SZALAI et al., 2014; SPENCER et al., 2009). Ezen módszer eredményessége azért kiváló, mert a *Diabrotica virgifera virgigera* egynemzedékes, monofág kártevő, a nőstények petéiket a kukoricatáblák talajába rakják (CHIANG, 1973; MILLER et al., 2009), ezáltal környezetkímélő és költséghatékony védekezés valósítható meg (LEVINE et al., 2002). A vetésváltás a legfontosabb nem kémiai

védekezési mód ott, ahol ez gazdaságilag észszerű megoldásként szóba jöhet.

1.6.2. Kémiai védekezés

1.6.2.1. A lárvák elleni kémiai védekezés

Talajfertőtlenítés

A *Diabrotica virgifera virgifera* lárvái elleni kémiai védekezés leghatékonyabb formája Magyarországon (KISS et al., 2005), valamint az Amerikai Egyesült Államokban is (RICE, 2004) a vetéssel egymentben történő talajfertőtlenítőszer kijuttatása (PÁLFAY, 2001). Napjainkban a legnagyobb területen használt talajfertőtlenítő hatóanyag a teflutrin (pl. Force 1,5 G-készítmény), mely a vetéssel egymenetben a vetőágyba kijuttatva kellő védelmet nyújt a talajlakó kártevőkkel szemben (TÍMÁR., 2003). Előnye abban rejlik, hogy nincs káros hatással a kelő, fiatal növényekre, valamint erős rovarkártétel esetén is kellő védelmet nyújt (VÖRÖS, 2019). Ezen hatóanyag – az említett pozitív tulajdonságai mellett – számos hátránnyal is rendelkezik. Hosszú időn keresztül, nagy területen történő felhasználása rezisztens egyedek megjelenéséhez vezethet. E tény bizonyítására szolgál, hogy az USA-ban több évtizedes vizsgálat folyamán beigazolódott, hogy jelentős bifentrin- és teflutrinrezisztencia alakult ki a kukoricabogár esetében (PEREIRA et al., 2015; SHOUZA et al., 2020). Az egyre nagyobb mennyiségű kemikália kijuttatása a piretroid rezisztencia kialakulása miatt jelentős mértékben terheli a

környezetet, veszélyes lehet a munkát végző személyek egészségére és a hasznos szervezetekre egyaránt.

Vetőmagcsávázás

Magcsávázás alatt a vetőmag felületének bevonását értjük különböző kemikáliákkal, mint például fungicidekkel, inszekticidekkel, vitalitást fokozó hatóanyagokkal. A rovarölőszerrel való csávázás a vetés pillanatától védelmet biztosít a talajlakó károsító szervezetek ellen (ČAMPRAG, 1995; FERRACINI et al., 2021). A kukoricabogár elleni harcban ez könnyen kivitelezhető, a talajfertőtlenítő granulátumokhoz képest nagyságrendekkel kisebb hatóanyagmennyiségek felhasználásával alkalmazható, gazdaságos megoldás. Hazánkban a közelmúltban a neonikotinoid hatóanyagcsoportba tartozó talajlakó károsító szervezetek ellen használható inszekticideket (pl. klotianidin, imidakloprid, tiametoxam) eredményesen alkalmazták a kukoricabogár lárvák ellen, melyek csíranövénybe felszívódó, transzlokálódó képességeiknek köszönhetően akár két hónapig is védelmet nyújtottak (CSORBA, 2003). Az Európai Unió a beporzó szervezetekre való veszélyessége miatt 2018.12.31-i dátummal betiltotta a neonikotinoidokkal történő magkezelési eljárást. A betiltást követően jelen pillantban nincs olyan rendelkezésre álló hatóanyag vagy készítmény, amely csávázásos technológián alapszik és kellő védelmet biztosít az amerikai kukoricabogár lárvája ellen (napjainkban engedélyezett labdba-cihalotrin hatóanyagú Artemide, valamint a teflutrin hatóanyagú Force 10 Cs csávázószerek hosszú tartamhatása

nem kielégítő). A jelenlegi növényvédelmi gyakorlatban nagy segítséget jelente a gazdálkodók számára, ha rendelkezésre állna egy kedvező hektárköltségű, környezetkímélő hatóanyag, mely a fenti eljárást alkalmazva – hatékonyságának és tartamhatásának köszönhetően – eredményes védelmet nyújtana a kukoricakultúrában (VÖRÖS, 2021).

1.6.2.2. Az imágók elleni kémiai védekezés

A kifejlett egyedek elleni védekezésnek két fő célja van. Egyrészt a kukoricabogarak kártételének mérséklése (bibeszálak visszarágásának visszaszorítása), másrészt monokultúrában történő termesztés esetén a következő évi lárvapopuláció csökkentése. Az imágók elleni kémiai védekezést az egyedszám (SZEMÁN és TAKÁCS, 2004) és a kukorica fejlettségi állapota határozza meg (KESZTHELYI, 2019; DZOIĆ et al., 2010). Magyarországi ökológiai viszonyok között a károsító szervezet csúcsrajzása július I. és II. dekádjára esik. A permetezés történhet magasszárú permetezőgéppel, valamint légi úton. A légi vegyszerkijuttatás előnye a nagy területteljesítmény, hátránya, hogy az utóbbi években engedélyezését és dokumentálását jelentős mértékben megszigorították. További hátrányaként említhető, hogy bizonyos hatékony növényvédő szerek nem rendelkeznek légikijuttatási engedéllyel, ezen kívül az elsodródás veszélye is fennáll. A magasszárú permetezőgépek előnye, hogy több készítmény felhasználásával megoldható a kártevő elleni védekezés és nagyobb hektáronkénti lémennyiséggel lehet dolgozni (VÖRÖS, 2019; KESZTHELYI, 2019).

A mai jogszabályok értelmében a kukorica virágzó kultúrának számít, ezért a piretroidok hátránya, hogy csak méhkímélő technológiával lehet kijuttatni őket, ami nagy gazdaságok esetében nehezen megoldható, és lecsökkenti a területteljesítményt (VÖRÖS, 2004). A piretroidok további hátrányaként említhető, hogy folyamatos, rotáció nélküli alkalmazásuk jelentős mértékben fokozza a rezisztencia kialakulásának veszélyét (SOUZA et al., 2020).

A kifejlett kukoricabogár-egyedek elleni védekezésre a piretroid hatóanyagcsoportba tartozó rovarölő szereken kívül engedéllyel bírnak a neonikotinoidok hatóanyagcsoportba tartozó acetamiprid hatóanyagú készítmények is. Ezen növényvédőszerek előnye, hogy a méhekre nem jelölésköteles, a növényekben felszívódó, transzlokálódó tulajdonságuknak köszönhetően tartamhatással rendelkeznek (KESZTHELYI, 2019).

A fentieken kívül hatékony védekezési eljárásnak számított még az Invite technológia, mellyel a környezetet kímélve lehetett hatékony sikert elérni az imágók ellen. Az Invite Ec nem inszekticid, hanem egy keserű dinnyéből nyert, a kukoricabogár számára csalogató anyagot tartalmazó termék, mely lehetőséget nyújtott a felhasznált rovarölőszer mennyiségének (szerves foszforsav észter) akár 90%-os csökkentésére, mindezt megfelelő hatékonyság elérése mellett (BIOMARK, 2003; FERGUSSON és METCALF, 1985). Jelenleg Magyarországon ezen technológia már nem alkalmazható az uniós kivonások miatt. Más csalogatóanyag és inszekticid felhasználásával a fent említett megoldás

– a fenntartható mezőgazdaság céljainak figyelembevételével – előtérbe kerülhet a jövőben (VÖRÖS, 2021).

1.6.3. Biológiai védekezés

1.6.3.1. A lárvák elleni biológiai védekezési eljárások

A kukoricabogár-lárvák ellen engedélyezett hatékony inszekticidek száma folyamatosan csökken, ezért napjainkban olyan biológiai megoldások kerültek a kutatások fókuszába, melyek kizárólag a célfajt pusztítják és nem jelentenek környezetterhelést. A külföldi és hazai szakirodalomban több ezzel kapcsolatos védekezési módszer látott napvilágot (RAJA et al., 2011). Ezen lehetőségek közé tartoznak az Ascomycota törzsbe sorolható *Beauveria bassiana* és a *Metarrhyzium* rovarpatogén gombák, melyek számos, a talajban előforduló kártevő, köztük a kukoricabogár lárvájának is természetes ellenségei (PILZ et al., 2007; RUDEN et al., 2013).

Az entomopatogén gombák mellett másik hatékony biológai védekezés lehet különféle rovarpatogén fonálférgek alkalmazása. Ilyen fajok a *Steinernema glasseri,* a *Steinernema arenarium*, *Steinernema abassi,* a *Steinernema bicornatum,* a *Steinernema feltiae,* a *Steinernema krausszei,* a *Steinernena carpocapsae* és a *Heterorhabditis bacteriophora*, melyek képesek bejutni a kukoricabogár lárvájába és bennük szaporodva a gazdaszervezet pusztulását okozni. A vizsgálatba vont fajok közül a *Heterorhabditis bacteriophora* bizonyult a leghatékonyabbnak, 77%-os mortalitását okozva a kukoricabogár

lárváinak (TOEPFER et al., 2007). A nematódák vektorszerepet betöltve a velük együtt élő baktériumokat *(Photorhabdus luminescens)* juttatják be a károsítók szervezetébe, melyek ott felszaporodva a célfaj pusztulását okozzák, testüket elfolyósítják, így biztosítanak táplálékot a fonálférgek számára, ezáltal elősegítve felszaporodásukat (CHICHE és JERALD, 2003; CHICHE 2007; STOCK és GOODRICHBLAIR, 2008; DILLMAN és STERNBERG, 2012).

A rovarpatogén fonálférgek illatanyag-kibocsájtás során keresik fel áldozataikat (RASSMAN et al., 2005; HALLEM et al., 2011), a célszervezetbe való bejutás az anális és orális nyíláson, valamint a szájszuronyuk segítségével epidermális úton történik, bejutást követően a megtámadott kukoricabogár-lárva 2-3 napon belül elpusztul. Az elpusztult lárvák szervezetében a nematódák tovább szaporodnak, fejlődnek, 12 nap múlva az új fertőzőképes lárvák (L3, juvenil infektív) kiszabadulnak (megközelítőleg 4000 db) és ismételten egy új gazdaszervezetet keresnek fel. A gyártási körülmények és a költségek alapján a *Heterorhabditis bacteriophora* a legalkalmasabb biológiai védekezésre felhasználható entomopatogén fonálféreg, de a vizsgálatok során ígéretesnek bizonyult a *Steinernema arenarium*, valamint a *Steinernema feltiae* is (TOEPFER et al., 2005).

Santos és kutatótársai eredményei is azt bizonyítják (SANTOS et al., 2011), hogy a Steinernema és a Heterorhabditis nemzetségbe tarozó fonálférgek mutatják a legkiemelkedőbb lárvicid hatást az amerikai kukoricabogár lárváival szemben. További kísérletekben úgy találták, hogy a *Heterorhabditis bacteriophora* hatására az Iowa-skála szerinti

gyökérkártétel 3–15%-kal, míg a gyökéremeletek sérültségét mutató skála szerint a kártétel 14–54 %-kal lett kisebb (TOEPFER et al., 2010b).

Magyarországon Toepfer és kutatótársai 2004 és 2010 között folytattak különböző kijuttatási technológiákon alapuló (felületpermetezés, talajba injektálás), a fonálférgek kukoricabogár lárvája elleni hatékonyságát vizsgáló kísérleteket. A talajba injektálás esetén 230 000 db fonálférget juttattak ki folyóméterenként, felületpermetezés esetében ez a szám 400 000 nematóda volt négyzetméterenként. A vizsgálat során arra az eredményre jutottak, hogy mind a két kijuttatási módszer minimum 50%-kal csökkentette a kialakult gyökérkártétel mértékét. A legeredményesebb hatás akkor volt tapasztalható, amikor a fonálférgeket a vetéssel egymenetben a talajba injektálták, itt a nematódák larvicid hatása elérte a 68%-ot. A vetéssel egymenetben történő injektálás előnye a felületpermetezéssel szemben, hogy kevesebb felhasznált vizet igényel, és a nematódák nincsenek kitéve az UV káros hatásának. Egy későbbi kísérletben a vetéssel egymenetben injektálva, 200 l vízmennyiség felhasználásával hektáronként 2 milliárd fonálférget juttattak ki, ebben a vizsgálatban 79%-os hatékonysági eredmény született a gyökérvisszarágottság szempontjából (TOEPFER et al., 2010 TOEPFER et al., 2010a).

2012-ben sikerült a *Heterorhabditis bacteriophora* fonálféreg tömegtenyésztését megoldani, és Dianem néven kereskedelmi forgalomba hozni.

Tóth és kutatótársai 2019-es kísérleteikben igazolták, hogy a vetéskor kijuttatott fonálférgek hatása az idő előrehaladtával arányosan kevésbé csökkent a kezelésekben alkalmazott kémiai hatóanyagot tartalmazó talajinszekticidekhez képest (cipermetrin, klórpirifosz, teflutrin). Ebből arra következtethetünk, hogy a nematódák képesek szaporodni a talajban és ezzel mérsékelni a később kikelt imágópopuláció nagyságát (TÓTH et al., 2019).

A vizsgálatok során megállapításra került, hogy 2 milliárd fonálféreg hektáronként megfelelő hatékonysággal veszi fel a harcot az amerikai kukoricabogár lárvája ellen (TOEPFER et al., 2019). Egy másik tanulmány alapján a legkiemelkedőbb hatás akkor érhető el, ha megfelelőek az ökológiai körülmények a fonálférgek számára (minimum 10 Celsius-fok□s talajhőmérséklet; nedves talajvisz□nyok) (TOEPFER et al., 2020). A fonálférgek életképeségére a talajtípusnak is befolyása van. A kutatási eredmények azt mutatták, hogy kötött talajok esetében a hatékonyság valamivel kisebb, mint a lazább talajokon, ebből arra következtethetünk, hogy a fonálférgek a kevésbé kötött talajokat részesítik előnyben (TOEPFER et al., 2010). Egy dél-magyarországi kísérlet során a biológiai (fonálférgek, gombák) és a kémiai (klotianidin, teflutrin) rovarölő készítményeket hasonlították össze egymással, és arra az eredménye jutottak, hogy a kemikáliák nagyobb mértékben csökkentették a talaj faunáját, sok más – a célfajokon kívüli – hasznos szervezetet is elpusztítottak (BADENDREIER et al., 2015). A rovarpatogén fonálférgek felhasználásának további kedvező hatása az is, hogy alkalmazhatók az

ökológiai gazdálkodásban, valamint csökkentik az esetlegesen kialakuló rezisztencia kockázatát (VÖRÖS, 2021).

Biológiai védekezés növényi extraktumokkal

Korunkban egyre nagyobb jelentősséggel bírnak az olyan biológiai eredetű növényvédőszerek, melyek jó eredménnyel felveszik a harcot a kártevőkkel, kórokozókkal szemben, nem perzisztensek a környezetben, ezáltal az emberiségre és a hasznos organizmusokra is alacsony toxicitást gyakorolnak (LENGAI et al., 2020). Ezen védekezési eljárások a fenntarthatóság tükrében fontos szerephez jutnak a gyakorlati növényvédelem területén. A fenti kritériumoknak megfelel a Délkelet- és Dél-Ázsiából származó Neem-fa *(Azadiracta indica)* magjának kivonata, melynek fő komponense az azadirachtin hatóanyag (CHAUDHARY et al., 2017).

A Neem-fa, más néven Margosa fa vagy Indiai orgona *(Azadirachta indica)* a Meliaceae családjába tartozó örökzöld növény, melynek géncentruma India szubtrópusi éghajlattal rendelkező tájegysége, innen terjedt el Ázsia és Afrika különböző országaiba (NORTHEN és PÜTZ, 1999; FORIM et al., 2014). A fa az első három évben elérheti a 4–7m-es magasságot, de idővel 30–40 méter magasra is megnőhet. Egy kifejlett fa 40–50 kg gyümölcsöt teremhet évente, mely termés nagyságrendileg 5 kg magot tartalmaz, amiből akár 50 g tiszta azadirachtin hatóanyag nyerhető. A Neem-fa magjából kivont olaj fő hatóanyaga, az azadirachtin mellett több mint 100 biológiailag aktív hatóanyagot tartalmaz, melyek nagymértékben gátolják a fő

hatóanyagra való rezisztencia kialakulásának kockázatát (MORSUE és ARTES., 1997; FENG és ISMAN 1995; NICKOLETTI et al., 2012). Az azadirachtin hatásspektruma széles: táplálkozásgátlás, repellens és növekedésszabályozó hatás, az ecdyson hormon termelődésének megzavarása következtében blokkolásra kerül a vedlési ciklus. A fentieken kívül reprodukciós tulajdonságokat befolyásoló hatással rendelkezik, gátolja a peterakást, valamint termékenyülési zavarokat és sterilitást okoz (BRAHMACHARI, 2004; GONZALES-COLOMA et al., 2013; SCHMUTTERER 1988; IMMARAJU 1998; MORSUE és ARTES., 1997; FENG és ISMAN 1995; MORGAN, 2009; MULLA és SU, 1999). Az azadirachtin a kolhicinhez hasonlóan beavatkozhat a mitózisba is és közvetlen kórszövetteni hatással van a rovarok bélhámsejtjeire, izmaira és zsírszöveteire, ami mozgáskorlátozottságot és csökkent repülési aktivitást eredményez (WILPS et al., 1992; MORSUE és BALCK, 1993; QIAO et al., 2014). Ezen hatóanyag szisztémikus, transzlokálódó tulajdonsága révén hosszú tartamhatást biztosít (COX, 2002). Számos tanulmány született arról, hogy a hatóanyagot már több lombkártevő ellen eredményesen alkalmazták állománykezelés formájában, Hymenopterak (LI et al., 2003), Lepidopterak (MANCEBO et al., 2002, MICHEREF-FILHO et al., 2008; TAVARES et al., 2010) és Hemipterak ellen (WEATHERSBEE és MCKENZI, 2005; SENTHIL et al., 2006; FORMENTINI et al., 2016) egyaránt eredményesnek bizonyult.

A Neem termékek nem jelentenek kockázatot a kártevők természetes ellenségeire, nincsenek toxikus hatással a melegvérű szervezetekre

sem, ezért fontos szerepük lehet a fenntartható mezőgazdasági termelésben.

Egyéb, az Európai unioban nem használható védekezési eljárások

Az amerikai kukoricabogár az Egyesült Államokban is az egyik legveszélyesebb kukoricakártevőnek számít. Az USA-ban a védekezési lehetőségek spektruma szélesebb körű, mint az EU-ban, ahol az utóbbi időben sok hatóanyag kivonására került sor.

Az egyik védekezési lehetőség a tengerentúlon a géntechnológia, amely kiemelkedően fontos védekezési lehetőség az ottani gazdálkodók kezében, mely kellő eredményességgel működik a kukoricabogár lárvája és imágója ellen. A transzgénikus növények közül legelterjedtebb a *Bt* toxint termelő kukoricanövények termesztése, melyekkel egyszerűen lehet védekezni a kukoricabogár ellen is, viszont hosszútávú alkalmazásuk mellett – az inszekticidekhez hasonlóan – rezisztencia kialakulására számíthatunk (DOVES et al., 2013).

A szakirodalomban találkozhatunk egyéb GMO-s eljárással, mint például olyan esetekkel, ahol a *Chromobacterium pisiciane* baktérium által termelt fehérjetoxint használják fel a kukoricabogár elleni védekezésre, nagy mortalitási százalékokról beszámolva (SAMPSON et al., 2017).

A transzgénikus növénytermesztés előnye, hogy alkalmazásával könnyen lehet védekezni a károsító szervezetek ellen, viszont hátrányaként említhető, hogy hosszú évtizedeken keresztül alkalmazva

valószínűsíthető a rezisztencia kialakulása, valamint a hasznos szervezetekre is veszélyt jelenthet. Ezen megfontolásból az EU területén a genetikailag módosított növények termesztése tilos.

A fokozott hatóanyagkivonások, valamint a környezetvédelem érdekében egyre nagyobb hangsúlyt kell fordítani a kártevők ellen hatásos biológiai eredetű készítmények alkalmazásásra, amelyek nem terhelik a környezetet és nem veszélyeztetik a hasznos szervezeteket, valamint nem rendelkeznek negatív hatással a munkát végző személyek egészségére sem. Ezen megfontolásból kezdtem el vizsgálatokat folytatni az amerikai kukoricabogár lárvája és imágója ellen olyan biológiai ágensekkel és növényi extraktumokkal, melyek segítségével megvalósíthatóvá válik a fenntartható szemléletű mezőgazdasági gyakorlat. PhD-tanulmányaim időszakában kísérleteimben arra kerestem a választ, hogy a korábbiakban különböző technológiával kijutatott fonálférgek *(Heterorabditis bacteriophora)* képesek-e megtartani vitalitásukat és larvicid hatásukat alacsonyabb (50-100 l/ha) injektákási vízdózisok mellett is, ami javítani tudná (munkaszervezés+vetésteljesítmény) e biológiai ágenseket tartalmazó termékek gyakorlati felhasználását.

A növényi extraktumok között találkoztam az azdirachtin hatóanyag – melyet eredményesen használnak fel a növényvédelemben lombkárosító szervezetek ellen – számos pozitív hatásával, ekkor született az a gondolatom, hogy megpróbálom ezt a hatóanyagot csávázásos technológia alkalmazásra révén felhasználni a talajlakó kártevők ellen, különös tekintettel az amerikai kukoricabogár lárváinak

vonatkozásában. Ezen kísérleteimben a hatóanyag hatékonyságára és tartamhatására kerestem válaszokat.

A kukoricabogár-lárvák elleni védekezésen kívül az is fontos, hogy a kifejlett egyek ellen is találjunk hatékony, környezetkímélő védekezési módszereket. Az imágók elleni vizsgálataimban egy egyedülálló csalogatóanyaggal kísérleteztem, mely felhasználása során a kijuttatandó inszekticid mennyisége közel 10%-ra csökenthető. A vizsgálataim során alkalmazott anyagokról és módszerekről, valamint az elért eredményekről a következő fejezetekben olvashatunk.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. ENTOMOPATOGÉN FONÁLFÉRGEKKEL VÉGZETT KÍSÉRLETEK A KUKORICABOGÁR LÁRVÁJA ELLEN

Rovarpatogén fonálférgekkel végzett vizsgálataimat három éven keresztül (2020; 2021; 2022) végeztem különböző helyszíneken.

A kísérleteket minden évben 3x6 m-es területű kisparcellás körülmények között végeztem négy ismétlésben, randomizált kísérleti elrendezésben. Egy parcellában 24 fm-nyi kukorica került elvetésre (4x6 fm). Vizsgálataim során minden évben 3 különféle hektáronkénti injektálási vízmennyiséggel végeztem kísérleteket, melyeket egy negatív kontollhoz (semmilyen kezelésben nem részesült), valamint az általánosan elterjedt teflutrin hatóanyagú Force 1,5 G készítményhez hasonlítottam (pozitív kontroll), ezen kezeléseket a 4. táblázatban foglaltam össze:

4. táblázat. Az elvégzett fonálférges kezelések során alkalmazott anyagmennyiségek hektár□nként és kisparcellánként (2020;2021;2022)

Kezelések száma	Kísérlet során kijuttatott anyagmenyiségek hektáronként	Kísérlet során kijuttatott anyagmennyiségek parcellánként
1.	2 mrd. fonálféreg+ 50 l injektálási vízmennyiség	3 600 090 fonálféreg+ 90 ml víz
2.	2 mrd. fonálféreg+ 100 l injektálási vízmennyiség	3 600 090 fonálféreg+ 180 ml víz
3.	2 mrd. fonálféreg+ 200 l injektálási vízmennyiség	36 000 090 + 360 mlvíz
4.	15 kg Force 1,5 G (pozitív kontroll)	27 g Force 1,5 G (pozitív kontroll)
5.	- (negatív kontroll)	- (negatív kontroll)

A *Heterorhabditis bacteriophora* fonálférget tartalmazó Dianem készítményt a Biocont Hungaria Kft-től kaptam kísérletezési célzattal. Mivel élő szervezetekről van szó, nagy figyelmet kellett fordítani a kísérleti anyag tárolására és szállítására. Az 500 millió db fonálférget tartalmazó 500 g-os kiszerelésű csomagot, a felhasználásig fénytől elzárt helyen hűtőszekrényben tároltam, szállítás során jégakkumulátorral ellátott hűtőtáskát használtam. A kísérleti anyagok felbontására csak és kizárólag a kezelések előtti pillanatban került sor.

A kísérletek beállítása előtt első dolgom volt a nematódák vitalitásának ellenőrzése. A fonálférgeket tartalmazó tasakot megbontottam és digitális mérleg segítségével 1 g mennyiséget kimértem. Ez a mennyiség 1 millió fonálférget tartalmaz. Kimérést követően egy üvegedényben 1000 ml vízben feloldottam a nematódákat. Elektromos pipetta segítségével ezen oldatból 0,1 ml folydékot kimértem, melyet

egy tárgylemezre öt cseppben eloszlattam, így egy csepp nagyságrendileg 20 db fonálférget tartalmazott, öt csepp (0,1 ml) 100 darabot. Mikroszkóp segítségével tanulmányoztam a lárvák mozgását, és feljegyeztem az élő és elpusztult lárvák arányát, így kapva egy vitalitási százalékot. A nematódák vitalitása 80%-felett kiválónak mondható.

A fonálférgek életképességének vizsgálatát követően megkezdtem a kísérletek beállítását. Minden Dianem termékkel kezelt parcellába megközelítőleg 36 millió nematódát kellett kijuttatni, melyet a felhasznált kísérleti anyag 36 g mennyisége tartalmazott. A kezeléseket négy ismétlésben végeztem, ezért kimértem 12x36 g kísérleti anyagot. A fonálférgek mennyisége az összes nematódával kezelt parcellán állandó, változó tényező csak és kizárólag az injektált víz mennyisége volt. Az első kezelésnél 36 g anyagot oldottam fel 90 ml-vízben, az így kapott oldatot adagoltam ki elektromos pipetta segítségével egy parcella négy sorára egyenlő mértékben elosztva. A második kezelés esetében az egyes kezelés szerint eljárva 36 g kísérleti anyagot oldottam fel 180 ml vízben, míg a harmadik fonálférges kezelés esetén ezek az értékek 36 g kísérleti anyag és 360 ml víz voltak.

Modellezve a szántóföldi körülményeket, parcellánként 75 cm-es sortávra kialakítottam a 8 cm mély vetőágyakat, belehelyezetem egymástól 19 cm-es távolságra a DKC 5141 hibrid vetőmagot, mely minden vizsgálati helyen és évben azonos volt. A fonálférgek vetőágyba történő injektálását követően a magágyat azonnal zártam parcellánként, hogy csökkentsem a fonálférgek UV sugárzásnak való kitettségét.

2.2. AZADIRACHTIN HATÓANYAGGAL VÉGZETT KÍSÉRLETEK AZ AMERIKAI KUKORICABOGÁR LÁRVÁJA ELLEN

Kísérleteimben három éven keresztül (2020, 2021, 2022) több helyszínen vizsgáltam két azadiractin hatóanyagot tartalmazó készítményt csávázásos technológiával alkalmazva az amerikai kukoricabogár lárvája ellen. Az egyik készítmény az Európában forgalomban lévő Neemazal T/S (Trifolio-M Gmbh, Németország), mely 1% (10g/l) azadirachtin A hatóanyagot tartalmaz. A másik vizsgálatba vont – az elzőzőnél koncentráltabb – készítmény az Indiában engedélyezett Neemazal F (5% azadirachtin A+B; 50g/l) v□lt (Coromandel International Limited Bio Products Division Thyagavally – India). A Neemazal F termékben a biztonsági adatlap szerint az 5%-os hatóanyag megoszlása közel 80% azadirachtin A és 20% azadirachtin B. Az említett fő komponenseken kívül mindegyik termék tartalmazza a növényi extraktumokra jellemző, kisebb mennyiségű egyéb Neem-komponenseket is. A kezeléseket a fonálférges kísérletekkel azonos módon 4 ismétlésben, randomizált elrendezéssel, kisparcellákon végeztem. A vetőmag típusa szintén a DKC 5141 hibrid volt, melynek ezermag tömege 360 g. A csávázási lémennyiség 12 l/1000 kg magmennyiségből került kiszámításra, így a 360 g vetőmagra 4,32 ml csávázólémennyiség került. A 2020-as évben arra kerestem a választ, hogy az azadirachtin hatóanyag hatásos-e egyáltalán a kukoriacbogár lárvája ellen, és amennyiben igen, mi az a dózishatár,

amellyel a jövőben el lehet kezdeni a kísérleteket és amit az évek előrehaladtával tovább lehet pontosítani. A kezeléseket a Neemazal T/S (10 g/l) azadirachtin A készítménnyel végeztem, különböző dóziskoncentrációk (10–100%-ig) formájában. A 100%-os dóziskoncentrációnál kisebb dózisok esetén vízzel higítva. A százalékban kifejezett dózisértékek vagy koncentrációértékek a Neemazal T/S koncentrációit jelentik a csávázási lében, tehát a 100%-os dózis vagy a 100%-os koncentráció a nem higított Neemazal T/S-sel való csávázást jelenti, ezek alapján a 2020-as évben az 5. táblázat szerinti kezeléseket végeztem.

5. táblázat. 2020-ban a Neemazal T/S készítmény felhasználásával alkalmazott hatóanyagmennyiségek, magonként és hektáronként

Dózis	1000 db vetőmag tömege (g)	Neemazal T/S (ml)	Víz (ml)	Azadirachtin A (mg/mag)	Azadirachtin A (g/ha)
100%	360	4,32	-	0,043	3,01
75%	360	3,24	1,08	0,033	2,31
50%	360	2,16	2,16	0,022	1,54
25%	360	1,08	3,24	0,011	0,77
10%	360	0,43	3,89	0,0043	0,3

Negatív kontrollként – a korábbiakhoz hasonló módon – kezeletlen parcellákat állítottam be, melyek semmilyen kezelésben nem részesültek, pozitív kontrollként a teflutrin hatóanyagú Force 1,5 G-t használtam szintén 15 kg/ha-os dózisban. A csávázást a kis vetőmagmennyiségeket figyelembe véve kézzel végeztem. Elkészítettem a megfelelő mennyiségű és koncetrációjú csávázólevet a Neemazal T/S készítményből, szükség esetén vízzel higítva, majd

beleöntöttem a 360 g mennyiségű vetőmagot, és keveréssel biztosítottam, hogy a csávázószer egyenletesen kerüljön felvitelre a magvak felszínére.

A 2020-as évben beállított több dóziskoncetráció közül 2021-ben kiválasztottam a leghatékonyabb dóziskoncentrációkat, és feltételezvén a 2021-es év kísérleti helyeinek magasabb lárvadenzitását, növeltem a kijuttatandó hatóanyag-mennyiségeket. A magasabb hatóanyagkoncentrációk már csak a Neemazal F készítmény felhasználásával voltak kivitelezhetők, ezeket a megfelelő koncentráció eléréséhez vízzel higítottam. A dózisokat úgy állítottam be, hogy az 50%-, 75%- és100%-osnak nevezett dózishoz tartozó azadirachtin A+B mennyisége megfeleljen a 2020-as kísérlet szerinti 50%-, 75%-, illetve 100%-os azadirachtin A mennyiségének. Ezek alapján a 2021-es csávázásos kezeléseket a 6. táblázat szemlélteti.

6. táblázat. 2021-ban a Neemazal F készítmény felhasználásával alkalmazott hatóanyagmennyiségek, magonként és hektáronként

Dózisok	1000 db mag tömege (g)	Neemazal F (ml)	Víz (ml)	Azadirachtin A+B (mg/mag)	Azadirachtin A+B (g/ha)
150%	360	1,29	3,03	0,065	4,55
125%	360	1,08	3,24	0,053	3,71
100%	360	0,86	3,46	0,043	3,01
75%	360	0,65	3,67	0,033	2,31
50%	360	0,43	3,98	0,022	1,54

A 2022-es évben elvégzett csávázásos kísérletek kivitelezésének módszere teljes mértékben megegyezett az előző években végzett

kísérletekkel. A korábbi évek eredményeire támaszkodva a dóziskoncentrációkat tovább emeltem, a kísérlet során alkalmazott dóziskoncentrációs sort csökkentettem. A csávázáshoz a 2022-ben alkalmazott Neemazal F terméket használtam. A 7. táblázat szemlélteti a 2022-es csávázási dóziskoncentrációkat.

7. táblázat. 2022-ban a Neemazal F készítmény felhasználásával alkalmazott hatóanyagmennyiségek, magonként és hektáronként

Dózisok	1000 db mag tömege (g)	Neemazal F (ml)	Víz (ml)	Azadirachtin A+B (mg/mag)	Azadiraxhtin A+B (g/ha)
300%	360	2,58	1,74	0,129	9,03
200%	360	1,72	2,6	0,086	6,02
100%	360	0,86	3,46	0,043	3,01

Ezen év esetében is az elvégzett kezeléseket negatív és pozitív kontroll parcellákhoz (Force 1,5 G) hasonlítottam.

2.3. A KÍSÉRLETI HELYSZÍNEK ÉS KÖRÜLMÉNYEK

2.3.1. A gyömörei kísérleti helyszín

Gyömöre Győr-Moson-Sopron vármegye dél-keleti részén található település. Családi gazdaságunk több évtizede folytat mezőgazdasági tevékenységet ezen térségben és az évek során megfigyelhetővé vált, hogy egyre nagyobb kihívást jelent a monokultúrában termesztett kukoricaállományokban az amerikai kukoricabogár lárvája elleni védekezés. Ezen gyakorlati tapasztalataim és észrevételeim birtokában úgy határoztam, hogy a PhD-képzésem időszaka alatt elvégzett

kísérleteim számára jó vizsgálati helyszínnek bizonyulhat. A település határában kiválasztott terület egy középkötött (AK, 32), enyhén lúgos kémhatású (ph 7,34), humuszban közepesen (1,49%), foszforban és káliumban egyaránt kiváló ellátottságot mutató harmadéves kukoricatábla volt.

A 2020-as évben először ezen a területen kerestem a választ arra, hogy az azadirachtin hatóanyagú készítmény csávázásos technológia során felhasználva képes-e hatékony védelmet nyújtani a kártevő lárvaalakjával szemben. Az azadirachtin hatóanyag talajlakó kártevők elleni hatékonysága magkezelési eljárással alkalmazva ezidáig ismeretlen terület volt a növényvédelemben. Ennek tükrében a rendelkezésemre álló készítményből (Neemazal T/S) egy tág határok között mozgó csávázási dóziskoncentrációs sort állítottam fel (10--00%), és vizsgáltam azok hatékonyságát.

A 2020-as évben a Gyömöre mintaterületen elvégzett kezeléseimet, valamint azok elrendezését a területen a 8. táblázat szemlélteti, ahol F: Force 1,5 G pozitív kontroll, K: kezeletlen negatív kontroll, Cs: Neemazal T/S különböző csávázási dózisai.

8. táblázat. Randomizált kísérleti parcella elosztás, Gyömöre 2020.

Cs25%	Cs75%	F	Cs50%	Cs10%	K	Cs100%
Cs10%	F	Cs100%	K	Cs25%	Cs75%	Cs50%
K	Cs50%	Cs10%	Cs25%	Cs100%	F	Cs75%
Cs100%	K	Cs75%	F	Cs50%	Cs10%	Cs25%

A 2021-es évben a gyömörei vizsgálati területen az előző évben alkalmazott csávázási kezelések közül az alacsonyabb dózisokat (10% és 25%) elhagytam és helyettük magasabb hatóanyagkoncentrációkat készítettem (125% és 150%). Ebben az évben – a magkezelési kísérletek mellett – ezen a területen vizsgálatba vontam a nematódás kezeléseket is, különböző vízdózissal (50–100–200 l/ha) a talajba injektálva. A kísérlet kezelései és elrendezései teljes mértékben megegyeznek a 2.3.2) fejezetben tárgyalt, Röjtökmuzsajon 2021-ben elvégzett vizsgálatokkal.

2.3.2. A röjtökmuzsaji kísérleti helyszín

Röjtökmuzsaj Győr-Moson-Sopron vármegye nyugati részén helyezkedik el. A kísérleti mintaterület a NÉBIH kórtani kísérleti állomása, ahol növénykórtani vizsgálatok folytatása miatt 60 éves kukoricamonokultúra található. Azért választottam egyik vizsgálati helyszínnek ezt a területet, mert predesztinálható volt az évtizedek alatt felszaporodó kukoricabogár-populáció. Ez a terület hazánk hűvösebb, csapadékban jobban ellátott vidékei közé tartozik, ahol az esetleges kukoricabogár-lárva kártételét az időjárási viszonyok miatt a kukoricanövény könnyebben ki tudja heverni.

A kísérleti helyszín erősen kötött (KA 51), humuszban gazdag (3,25%), enyhén savas (ph 6,87), káliumban jól ellátott, foszforban pedig közepes ellátottságot mutató terület.

Röjtökmuzsajon 2020-ban, 2021-ben, valamint 2022-ben végeztem vizsgálatokat.

A 2020-as évben kizárólag fonálférges kísérletet állítottam be a területen, ahol arra kerestem a választ, hogy a 2 mrd db hektáronkénti fonálféregmennyiség különböző injektálási vízdózisokkal milyen mértékben képes felvenni a harcot a kukoricabogár lárvájával szemben. A 2020-as kísérleti parcelláim elrendezését a 9. táblázat szemlélteti, ahol F: Force 1,5 G pozitív kontroll, K: kezeletlen negatív kontroll, D: Dianem rovarpatogén fonálféreg tartalmú készítmény különböző vízdózisokkal kijuttatva (l/ha).

9. táblázat. Randomizált kísérleti parcella-elosztás, Röjtökmuzsaj 2020.

K	F	D50	D100	D200
D200	K	F	D50	D100
D100	D200	K	F	D50
D50	D100	D200	K	F

A 2021-es évben ezen röjtökmuzsaji mintaterületen megismétlésre került a 2020-as évben elvégzett fonálférges kísérlet azonos körülmények között, melyet ebben az évben kiegészítettem már csávázásos kezelésekkel is (50–150%-ig terjedő dózis-koncentrációkkal). A 2021-es év röjtömuzsaji kísérleti elrendezésemet a 10. táblázat szemlélteti.

10. táblázat. Randomizált kísérletiparcella-elosztás, Röjtökmuzsaj 2021.

K	F	D50	D100	D200	Cs50%	Cs75%	Cs100%	Cs125%	Cs150%
F	D50	D100	D200	K	Cs75%	Cs100%	Cs125%	Cs150%	Cs50%
D50	D100	D200	Cs50%	F	Cs100%	Cs125%	Cs150%	K	Cs75%
D100	D200	Cs50%	Cs75%	Cs150%	Cs125%	F	K	Cs100%	D50

A 2022-es évben szintén végeztem kísérletet Röjtökmuzsajon, fonálférgekkel és csávázással egyaránt. A nematódás vizsgálatok teljes mértékben megegyeztek az előző években beállított kezelésekkel, a változás csak az azadirachtin hatóanyaggal való csávázási dózis-koncentrációkat érintette, mely során csökkentettem a kezelések számát, ezzel egyidejűleg viszont nagyobb azadirachtin hatóanyag-mennyiségek kerültek (100–300%) kijuttatására. A 2022-ben kivitelezésre került parcellaelrendezést és kezeléseket a 11. táblázat szemlélteti:

11. táblázat. Randomizált kísérletiparcella-elosztás, Röjtökmuzsaj 2022.

K	D50	D100	D200	Cs100%	Cs200%	Cs300%	F
Cs200%	Cs300%	F	D100	D50	Cs100%	K	Cs200%
D50	D100	D200	K	Cs200%	F	Cs100%	Cs300%
Cs300%	K	Cs200%	Cs100%	F	D200	D100	D50

2.3.3. A hajdúvidi kísérleti helyszín

A hajdúvidi kísérleti helyszín Szabolcs-Szatmár-Bereg vármegye dél-nyugati részén helyezkedik el, ahol országunkban a legmagasabb az amerikai kukoricabogár lárvájának kártétele. A terület középkötött (KA 35), közel semleges kémhatású (ph 6,9), humusszal közepesen ellátott, foszfor és kálium ellátottsága megfelelő. A hajdúvidi harmadéves mintaterületet azért vontam be 2021-ben kísérletezési helyszínként, mert kíváncsi voltam arra, hogy az ország keleti régiójában – ahol a kukoricabogár lárvadenzitása magas – az azadirachtin hatóanyag csávázásos technológiával alkalmazva milyen hatékonysággal működik. Az ország ezen részében a klimatikus viszonyok jelentős mértékben eltérnek a nyugat-dunántúli országrésztől, általánosságban elmondható, hogy az évi lehullott csapadékmennyiség jóval kevesebb, ilyen körülmények mellett a kukoricabogár lárvájának károsítását sokkal nehezebben tudja kompenzálni, regenerálni a növényállomány, ezért nagyobb mérvű terméskieséssel, minőségromlással számolhatunk. Ezen a mintaterületen csak csávázásos vizsgálatokat végeztem, melyeknek elrendezését a 12. táblázatban foglaltam össze.

12. táblázat. Randomizált kísérletiparcella-elosztás, Hajdúvid, 2021.

K	Cs50%	Cs75%	Cs100%	Cs125%	Cs150%	F
Cs150%	F	Cs125%	Cs75%	Cs50%	K	Cs100%
Cs75%	Cs100%	K	Cs150%	F	Cs50%	Cs125%
F	Cs125%	Cs150%	K	Cs75%	Cs100%	Cs50%

2.3.4. A tiszalöki kísérleti helyszín

Tiszalök szintén Szabolcs-Szatmár-Bereg vármegye délnyugati régiójában található. Nagyon közel fekszik Hajdúvidhez, ezért a klimatikus viszonyok, valamint a kukoricabogár lárvájának denzitása a két helyszínen gyakorlatilag megegyező. Alföldi vizsgálataimat azért ezen a területen végeztem 2022-ben, mert a hajdúvidi terület már 2021-ben is harmadéves monokultúra volt, ezért abban a régióban más harmadéves monokultúrát kellett keresnem. A terület talaja enyhén kötött (KA 41), semleges kémhatású (ph 7,01), humusztartalma magas (3,17), kálium és foszforellátottsága közepes. Az ezen a területen vizsgált csávázási dóziskoncentrációk a 2022-es röjtökmuzsaji mintaterület csávázási dóziskoncentrációival (100–200–300%) egyeznek meg. A13. táblázatban ismertetem a tiszalöki mintaterületen elvégzett kezelések területi elrendezését.

13. táblázat. Randomizált kísérletiparcella-elosztás, Tiszalök 2022.

K	Cs100%	Cs200%	Cs300%	F
Cs300%	F	K	Cs100%	Cs200%
Cs200%	K	Cs100%	F	Cs300%
Cs100%	Cs300%	F	Cs200%	K

2.3.5. A perkátai kísérleti helyszín

A perkátai kísérleti terület Fejér vármegye keleti régiójában az ország egyik legjobb kukoricatermő övezetében fekszik. Jellemző rá a jó

talajadottság, mely közepes kötöttséget (KA 36), magas humusz-tartalmat (3,5%), gyengén lúgos kémhatást (ph 7,2), jó kálium- és foszfor-ellátottságot jelent. Azért folytattam vizsgálatokat ezen a településen, mert az ott élő gazdálkodó szerint évről évre kimagasló a kukoricabogár lárvájának kártétele.

A 2022-es évben a perkátai mintaterületen elvégzett kísérleteim teljes egészében megegyeznek a 2022-es év röjtökmuzsaji kísérleteivel (11. táblázat).

A több éven kerszetül, több helyszínen elvégzett különböző kísérleteimet a jobb áttekinthetőség érdekében a 14. táblázatban szemléletesen összefoglaltam.

14. táblázat. Az évek során elvégzett kísérletek helyszínei és a kezelések

Kísérleti év	**Kísérleti helyszín**	**Kezelések**
2020	Gyömöre	Csávázás (10–100%)
	Röjtökmuzsaj	Nematódás vizsgálat (50–100–200 l/ha)
2021	Gyömöre és Röjtökmuzsaj	Csávázás (50–75–100–125–150%), valamint Nematódás vizsgálat (50–100–200 l/ha)
	Hajdúvid	Csávázás (50–75–100–125–150%)
2022	Röjtökmuzsaj és Perkáta	Csávázás (100–200–300%), valamint Nematódás vizsgálat (50–100–200 l/ha)
	Tiszalök	Csávázás (100–200–300%)

2.4. A LÁRVAKÁRTÉTEL FELVÉTELEZÉSI MÓDSZERE

A kísérletek felvételezési módszere minden kezelés esetében és minden évben azonos volt. Felvételeztem a gyökérzónában élő lárvákat, melyből meghatározásra kerültek a növényenkénti átlagos lárvaszámok. A kiásott gyökerek visszarágottságának mértékét a módosított Iowa-skála alapján értékeltem. A lárvaszámok felvételezése minden évben előrejelzésre alapozottan történt, a területre kihelyezett szexferomon csapdával ellátott sárga fogólapok segítségével. Az első imágók megjelenésekor azonnal kezdtem a munkát, ugyanis ez alapján biztos lehettem abban, hogy a talajban lévő lárvák fejlődésének stádiuma a végéhez közeledik (L3; báb). Egy kísérleti parcellából véletlenszerűen 5 db növény került kiásásra, 20x20 cm-es földlabdával. A kiásást követően megszámoltam az élő lárvákat a kukorica gyökeréről levert földben és a kiásott gödörben. Az L3 lárvaállap□t; a szabadbáb állapot és az esetlegesen éppen a földből előjövő imágók között nem tettem különbséget. Általánosságban elmondható, hogy az adott kísérleti évben keletről nyugatra haladva végeztem a felvételezést, ugyanis az alföldi tájegységen a kukoricabogár fejlődési stádiuma egy-két héttel előrébb jár, mint a dunántúli területeken. A kiásott gyökereket minden esetben parcellánként, felcímkézett zsákba helyezve a gyömörei telephelyre szállítottam, ahol áztatást követően sor került a módosított Iowa-skála szerinti gyökérvisszarágottság meghatározására. Az egyes parcellákról kapott lárvaszámokat, valamint a gyökérvisszarágottsági vizsgálatok során gyűjtött adatokat folyamatosan rögzítettem, majd matematikai-statisztikai módszerek

segítségével elemeztem (one-way ANOVA; T□key p□st h□c test), melyek részletesen megtekinthetők az Eredmények és értelmezésük című fejezetben.

2.5. AZ AMERIKAI KUKORICABOGÁR IMÁGÓJA ELLEN ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK

Az amerikai kukoricabogár lárvák elleni védekezésen kívül nagy hangsúlyt kell fektetni az imágók elleni védekezésre is. Ezáltal nem csak a kifejlett egyedek által okozott kárt tudjuk jelentősen mérsékelni, hanem visszaszoríthatjuk a peterakást és ebből fakadóan a jövő évi lárvapopuláció nagyságát is csökkenthetjük. Az európai uniós vegyszerszabályozások miatt nagy mértékben leszűkült a hatékonyan használható készítmények száma. A rendelkezésre álló piretroid hatóanyagcsoportba tartozó kemikáliák nagy hátránya, hogy csak méhkímélő technológia révén alkalmazhatók, ez viszont nagy területű gazdaságok esetében tulajdonképpen kivitelezhetetlen, erősen lecsökkenti a területteljesítményt. Jelenleg az acetamiprid hatóanyag áll a gazdálkodók rendelkezésére, melyet a nap bármely szakaszában biztonságosan kijuttathatnak. Ahogyan az előzőekben is említettem, az egyoldalú vegyszerfelhasználásnak viszont a rezisztens egyedek megjelenése lehet a következménye. Az amerikai kukoricabogár kifejlett egyedei elleni védekezésben nagy előnyt jelentene, ha a hektáronkénti szerköltséget, valamint a kijuttatandó hatóanyagmennyiséget a töredékére tudnánk csökkenteni. Ezzel kapcsolatban végeztem kísérleteket 2021-től 2023-ig, vizsgálataimban

a kártevő ínyjencségét kihasználva az általa nagyon kedvelt tökfélékben található ízanyagot kevertem össze a legnagyobb mértékben ellenük felhasznált inszekticiddel, ezáltal csökkentve a kijuttatandó kemikália mennyiségét. Kísérleteimet 2021-ben laboratóriumi körülmények között, 2022-ben és 2023-ban pedig szántóföldi körülmények között légi kijuttatással végeztem.

2.5.1. Laboroatóriumi vizsgálatok

2021-es kísérleteimet laboratóriumi körülmények között végeztem. Ebben az évben arra a kérdésre kerestem a választ, hogy attraktáns hatóanyaggal kevert növényvédőszer csökkentett dózisa képes-e a kifejlett egyedek nagyszámú, rövid időn belüli mortalitását kiváltani.

A kísérleteimhez a csalogatóanyag minden évben az uborkalé volt. Harmadosztályú uborkát vásároltam, melyet gyümölcspréselő üzembe szállítottam, ahol pasztörizált uborkalevet kaptam.

A tárgyévben szántóföldeken gyűjtöttem imágókat, melyeket szúnyoghálóval ellátott, az aljzatán zsírpapírral bélelt ketrecekbe helyeztem el 100 db/ketrec létszámban. A kísérlet elvégzésének időpontjáig vízzel és táplálékkel láttam el őket.

Ezen kísérlet esetében ötféle kezelést végeztem négy ismétlésben.

Vizsgálataimban a Mospilan 20 SG (200 g/kg acetamiprid) készítményt használtam fel, melynek szántóföldi engedélyezett dózisa az amerikai

kukoricabogár imágójával szemben 150 g/ha, légi kijuttatás esetén 50 l/ha-os lémennyiséggel kipermetezve.

A kísérlet elvégzéséhez 500 ml törzsoldatot készítettem, 1,5 g Mospilan SG hozzáadásával, mely 0,3 g acetamiprid hatóanyagot tartalmazott. Ebből kivettem 100 ml törzsoldatot, melyet kiegészítettem 10 ml uborkalé-mennyiséggel, s az így kapott 110 ml oldatot tekintem pozitív kontrollnak és 100%-os oldatnak. A törzsoldatból a továbbiakban egy hígítási sort készítettem víz hozzáadásával úgy, hogy az uborkalé mennyisége konstans legyen, az így kapott hígítási sort, melyekkel a kezeléseket végeztem a 15. táblázat tartalmazza.

15. táblázat. Laboratóriumi körülményedk között elvégzett kezelések során felhasznált hatóanyag- és attraktánsmennyiségek

Kezelések	Törzsoldat (ml)	Mospilan 20SG (g)	Acetamiprid (g)	Víz (ml)	Uborkalé (ml)	Oldatmennyiség (ml)
1. 100%	100	0,3	0,06	-	10	110
2. 50%	50	0,15	0,03	50	10	110
3. 25%	25	0,075	0,015	75	10	110
4. 12,5%	12,5	0,0375	0,075	87,5	10	110

A 5. kezelés a kontrollketrecek voltak, melyek semmilyen hatóanyag-tartalmú kezelést nem kaptak, csak vízzel itattam az egyedeket. A vizsgálat elvégzése során minden egyes ketrec aljára a megfelelő

koncentrációjú oldatból 10 ml-t spricceltem injekciós tűvel apró cseppek formájában.

A kezelések elvégzését követően 10 perc elteltével meghatároztam az elhullott és élő egyedek mennyiségét, az adatokat rögzítettem és az így kapott számokból statisztisztikai elemzést végeztem.

2.5.2. Szántóföldi vizsgálatok

2022-ben és 2023-ban a laboratóriumi kísérletek biztató eredményeire alapozva végeztem szántóföldi kezeléseket az amerikai kukoricabogár imágója ellen helikopteres permetezés formájában. Mivel az imágók repülési tulajdonságuknál fogva nagy távolságra képesek eljutni, ezért egy-egy kísérletet egy-egy különálló táblán Gyömöre és Szerecseny határában végeztem el. Mindegyik évben minden tábla 3. éves monokultúra volt. A vizsgálatok elvégzését a kártevő csúcsrajzásakor kell végrehajtani, ugyanis ekkor csökkenthető leghatékonyabban a populáció egyedszáma és mérsékelhető a gazdasági kár kialakulásának esélye. Ezekből látszik, hogy a védekezés sikeressége érdekében a populációdinamikai változásokat kellő alapossággal kell tanulmányozni. Az imágók rajzáscsúcsának meghatározásához a növénybonitálási vizsgálatot választottam, melynek lényege, hogy egyes növényeken megszámoljuk a rajta található kifejlett egyedeket. Tapasztalatomra alapozva elmondható, hogy ez az egyik legmegbízhatóbb előrejelzési módszer. A károsító tömeges megjelenése a kukoricán térségünkben július I. és II. dekádjára esik. Mind 2022-ben, mind pedig 2023-ban több alkalommal szántóföldi szemrevételezést

tartottam, melyek során egy-egy tábla öt különböző pontján, pontonként 10 növényen megszámoltam az imágókat, és számukat rögzítettem. A felvételezéseimet a reggeli órákban végeztem, ugyanis a kukoricabogarak kifejlett egyedei ekkor a legaktívabbak. A felvételezések időpontja 2022-ben 07.05.; 07.09.; 07.11., míg 2023-ban 07.03.; 07.07.; 07.09. dátumokra esett. Mindegyik esetben az utolsó dátum a csúcsrajzás időpontját jelöli, ezt követően került sor a védekezésre. A területen elvégzett permetezés során a 2021-es laboratóriumi kezeléseket használtam. Az általam 100%-osnak vagy pozitív kontrollnak nevezett kezelés a Mospilan 20 SG (acetamiprid hatóanyag) kukoricabogár elleni engedélyokiratban meghatározott dózisát jelenti, uborkalé hozzáadása nélkül. A többi kezelésben a hektáronkénti hatóanyagdózist 50%, 25% és 12,5%-ra csökkentettem, melyet uborkalével (5 l/ha) egészítettem ki. Ezt a 16. táblázat foglalja össze.

16. táblázat. Szántóföldi körülmények között elvégzett kezelések során felhasznált hatóanyag-, valamint attraktánsmennyiségek

Kezelés	Permetlé (l)	Mospilan 20 SG (g/ha)	Acetamiprid (g/ha)	Uborkalé (l/ha)
1. 100%	55	150	30	-
2. 50%	55	75	15	5
3. 25%	55	37,5	7,5	5
4. 12,5%	55	18,75	3,75	5

A 5. kezelés egy kontroll terület volt, mely semmilyen kezelést nem kapott. A permetezést követő napon végeztem szántóföldön egy növénybonitálási vizsgálatot, majd ezt követően 1-2 napon belül még

egy szántóföldi szemrevételezést tartottam, minden egyes kezelt területen feljegyeztem a növényeken lévő imágószámokat.

A kapott adatok alapján statisztikailag elemeztem a felhasznált készítmények mortalitási hatékonyságát.

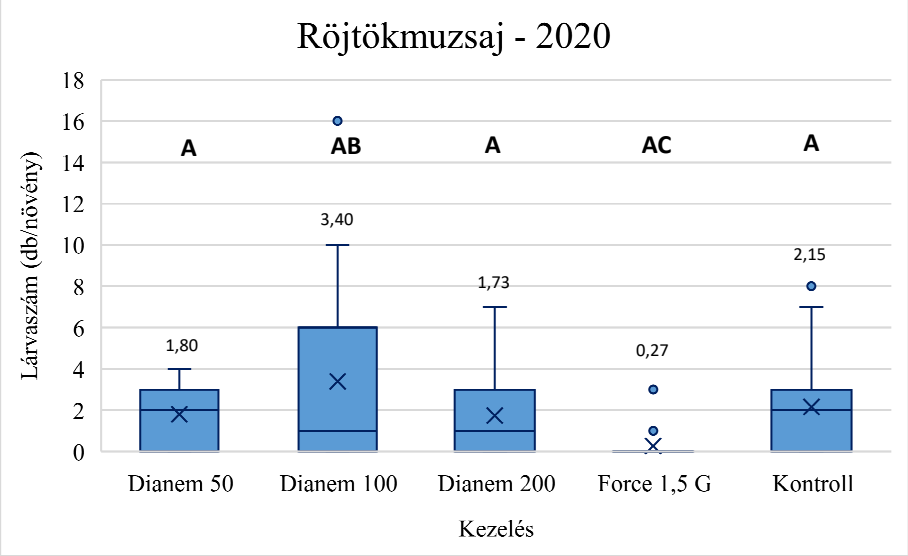
PhD-képzésem alatt – ahogy az előzőekben is olvasható – több éven keresztül, több helyszínen, többféle kísérletet végeztem. A területek földrajzilag távol helyezkednek el egymástól, ebből kifolyólag jelentősen eltérnek ökológaiai körülményeik, ami azt eredményezi, hogy nagy különbség van a területek között a kukoricabogár-populáció szempontjából. A pontos hatóanyagdózisok hatékonyságának megállapítása miatt és az adattorzulás elkerülésének érdekében, indokoltnak tartottam a kísérleti helyszínekről gyűjtött adatok külön statisztikai elemzését.

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

3.1. AZ ENTOMOPATOGÉN FONÁLFÉRGEKKEL VÉGZETT KÍSÉRLETEK EREDMÉNYEI

3.1.1. 2020. évi röjtökmuzsaji kísérlet

A lárvaszámok elemzése alapján Röjtökmuzsaj mintaterületen a 2020-as évben a legmagasabb átlagos lárvaszámmal a Dianem 100-zal kezelt parcella jellemezhető (3,40±4,63 db/növény), ezt a kontroll (2,15±2,30 db/növény), a Dianem 50-nel (1,80±1,42 db/növény) és a Dianem 200-zal (1,73±2,12 db/növény) kezelt parcellák követik. A legalacsonyabb növényenkénti lárvaszámot a Force 1,5G-vel kezelt parcella esetében mértem (0,27±0,80 db/növény) (9. ábra). A szórás magas értéke arra enged következtetni, hogy az egyes kezeléseken belül jelentős eltérések vannak.



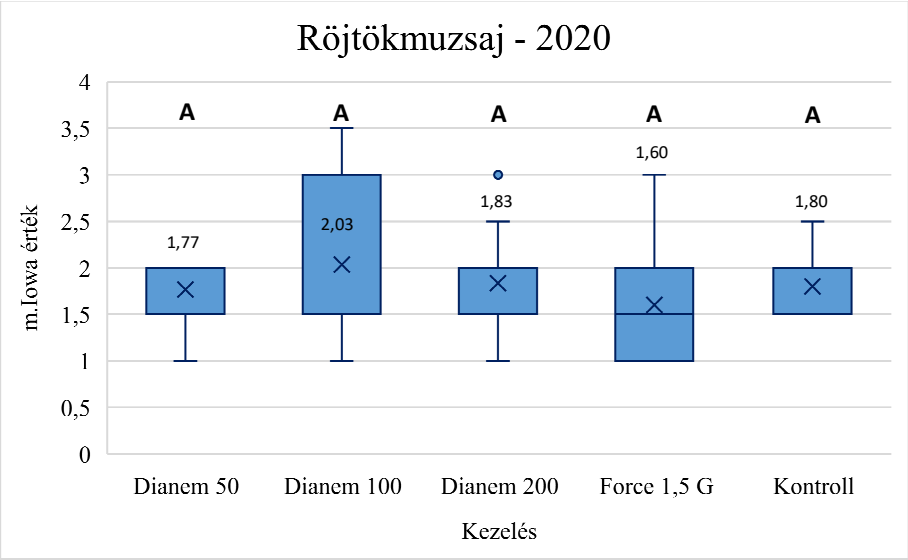
9. ábra. Átlagos növényenkénti lárvaszámok alakulása Dianemes kezelések hatására, Röjtökmuzsaj 2020.

A kezelések közötti különbségek statisztikai vizsgálatára alkalmazott oneway ANOVA elemzés alapján elmondható, hogy van legalább két olyan kezelés, ami szignifikánsan különbözik egymástól a lárvaszám-értékek tekintetében (p=0,030; F=2,832). A T□key P□st h□c teszt eredményei szerint megállapítható, hogy a pozitív kontroll (Force 1,5G-vel történő kezelés) szignifikánsan különbözik a Dianem 100-zal végzett kezeléstől a növényenkénti átlagos lárvaszám-értékek alapján (pT□key= 0,012), a Dianem 50; a Dianem 200, a Force 1,5 G és a kontroll kezelések szignifikanciát nem mutatnak egymáshoz képest (17. táblázat). A különböző vízmenyiségekkel kijutatott entomopatogén fonálférges kezelések között nem tapasztalható szignifikáns eltérés.

17. táblázat. A 2020-as röjtökmuzsai fonálférges kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Dianem 50	Dianem 100	Dianem 200	Force 1,5G	Kont-roll
Dianem 50	-	0,442	1,000	0,486	0,995
Dianem 100	0,442	-	0,400	**0,012**	0,619
Dianem 200	1,000	0,400	-	0,531	0,99
Force 1,5G	0,486	**0,012**	0,531	-	0,217
Kontroll	0,995	0,619	0,990	0,217	-

A Dianem készítménnyel végzett kísérletek, valamint a pozitív és a negatív a kontrollparcellák gyökérvisszarágottság-eredményeinek összehasonlítása alapján a 2020-as évben a röjtökmuzsaji területen a legmagasabb átlagos gyökérvisszarágottsággal a Dianem 100-zal kezelt parcella jellemezhető (2,03±0,86). A második legmagasabb m.Iowa értéket a Dianem 200-zal (1,83±0,52) kezelt parcellában mértem, ezt a Kontroll (1,80±0,41), a Dianem 50-nel (1,77±0,32) kezelt parcella és a pozitív kontrollként alkalmazott Force 1,5G követi (1,60±0,57) (10. ábra).



10. ábra. Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása Dianemes kezelések hatására, Röjtökmuzsaj 2020.

Az egyes kezelések közötti különbségek statisztikai vizsgálatára alkalmazott oneway ANOVA elemzés alapján nem mutatható ki szignifikáns különbség a kezelések között az m.Iowa értékek alapján (p=0,333; F=1,164). Tehát a Dianemes vizsgálatok gyökérvisszarágottságra gyakorolt hatása nem különbözik szignifikánsan a pozitív és a negatív kontrolltól (18. táblázat).

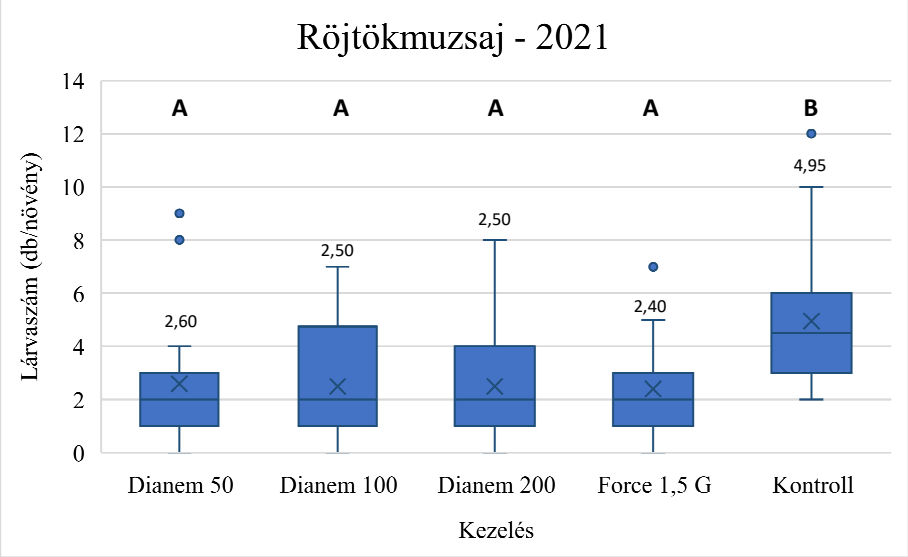
18. táblázat. A 2020-as röjtökmuzsai fonálférges kísérlet p értékei, átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Dianem 50	Dianem 100	Dianem 200	Force 1,5G	Kontroll
Dianem 50	-	0,686	0,997	0,924	1,000
Dianem 100	0,686	-	0,862	0,219	0,737
Dianem 200	0,997	0,862	-	0,781	1,000
Force 1,5G	0,924	0,219	0,781	-	0,831
Kontroll	1,000	0,737	1,000	0,831	-

3.1.2. 2021. évi röjtökmuzsaji kísérlet

Röjtökmuzsajon 2021-ben különböző koncentrációjú Dianem készítménnyel (50; 100; 200) kezelt parcellák lárvaszám-értékeit hasonlítottam össze a pozitív kontrollként használt Force 1,5 G hatóanyaggal kezelt parcellák eredményeivel és a negatív kontroll lárvaszám-értékeivel.

Az eredmények alapján a vizsgálatba bevont kezelések közül a legalacsonyabb átlagos növényenkénti lárvaszámot a Force 1,5G hatóanyaggal (2,40±1,79 db/növény) kezelt parcellák esetében mértem. Ezt követték a Dianem 50-nel (2,6±2,39 db/növény), a Dianem 100-zal (2,50±2,07 db/növény) és a Dianem 200-zal (2,50±2,12 db/növény) kezelt parcellák. A legmagasabb átlagos növényenkénti lárvaszám a kezelésben nem részesült kontroll parcella (4,95±2,69 db/növény) esetében volt tapasztalható (11. ábra). A szórások magas értékei arra engednek következtetni, hogy jelentős különbségek vannak az egyes növények között a lárvaszámok tekintetében.



11. ábra. Átlagos növénenkénti lárvaszámok alakulása Dianemes kezelések hatására, Röjtökmuzsaj 2021.

A kontroll és a kezelt parcellák közötti különbségek statisztikai alapon történő vizsgálatához oneway ANOVA elemzést végeztem, melyet Tukey Post hoc teszttel egészítettem ki. Az elemzés eredményei alapján Röjtökmuzsajon ebben az évben a vizsgált parcellák között van legalább két olyan kezelés, amely szignifikánsan különbözik egymástól a lárvaszám-értékek alapján 5%-os szignifikanciaszinten (p=0,001; F=4,847). A Tukey Post hoc teszt eredményei szerint megállapítható, hogy a kezelések mindegyike (Dianem 50, 100, 200, Force 1,5G) szignifikánsan különbözik a kontroll parcellák eredményeitől a lárvaszámok tekintetében, azonban a többi vizsgálatba vont Dianemes kezelés, valamint a Force 1,5 G-vel végzett vizsgálatok között nincs szignifikáns különbség. A kontroll parcella a növényenkénti átlagos

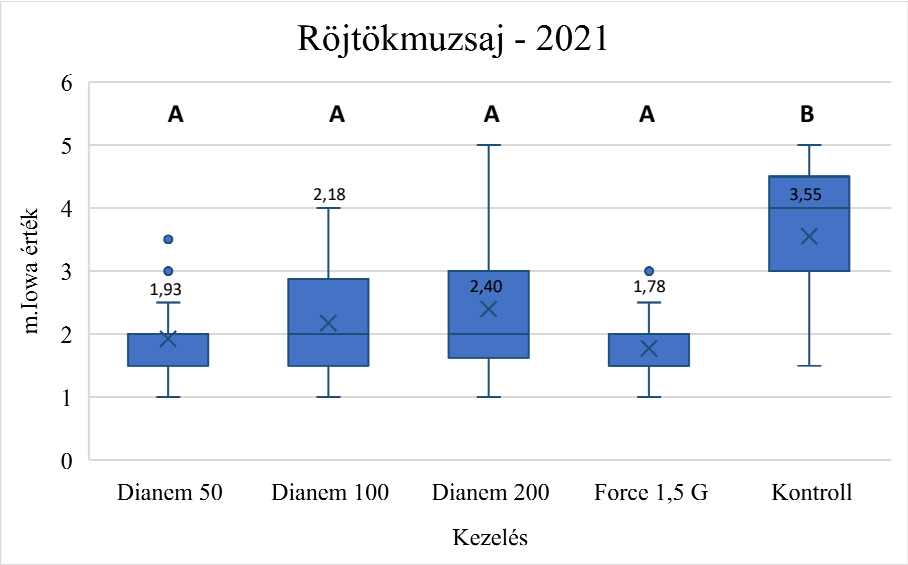
lárvaszám-értékek alapján szignifikánsan különbözik a Dianem 50 (p_{Tukey}=0,011), a Dianem 100 (p_{Tukey}=0,007), a Dianem 200 (p_{Tukey}=0,007) és a Force 1,5G hatóanyaggal kezelt (p_{Tukey}=0,004) parcellától. Ezekből az eredményekből jól látható, hogy a Dianemmel és a Force 1,5G hatóanyaggal történő kezelés egyaránt képes volt szignifikánsan csökkenteni a lárvaszám-értéket. A különböző vízdózisos kezelések között nem mutatható ki szignifikáns eltérés (p>0,05) (19. táblázat).

19. táblázat. A 2021-as röjtökmuzsai fonálférges kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Dianem 50	Dianem 100	Dianem 200	Force 1,5G	Kontroll
Dianem 50	-	1,000	1,000	0,999	**0,011**
Dianem 100	1,000	-	1,000	1,000	**0,007**
Dianem 200	1,000	1,000	-	1,000	**0,007**
Force 1,5G	0,999	1,000	1,000	-	**0,004**
Kontroll	**0,011**	**0,007**	**0,007**	**0,004**	-

Az eltérő koncentrációjú fonálféreg-készítménnyel (Dianem) végzett kezelések és a kontrollok (pozitív és negatív) összehasonlítását a 2021-es évben is elvégeztem Röjtökmuzsajon. A gyökérvisszarágottság tükrében elmondható, hogy a legmagasabb gyökérkárosítás (m.Iowa érték) a kezelésben nem részesült Kontroll parcella esetében volt megfigyelhető (m.Iowa: 3,55±1,07). Ez az érték némileg meghaladja a gazdasági kár határának tekintett 3,5-ös m.Iowa szintet. A vizsgálatba

vont parcellák esetében a gyökérvisszarágottság nem érte el az ökonómiai küszöbértéket. Elmodható, hogy a kezelések közül legmagasabb m.Iowa értékkel a Dianem 200-zal (2,40±1,08) kezelt parcella volt jellemezhető, melyet a Dianem 100-as (2,18±0,96) és a Dianem 50-es (1,93±0,65) követett (12. ábra).



12. ábra. Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása a Dianemes kezelések hatására, Röjtökmuzsaj 2021

A kezelések közötti különbségek vizsgálatához elvégeztem az one-way ANOVA elemzést, mely alapján megállapítható, hogy van legalább két olyan parcella, amely szignifikánsan különbözik egymástól az átlagos m.Iowa értékek szerint (p=0,000; F=12,685). A Tukey Post hoc teszt eredményeiből látható, hogy a kezelések mindegyike szignifikánsan különbözik a kontroll parcellák eredményeitől. A kontroll parcella a

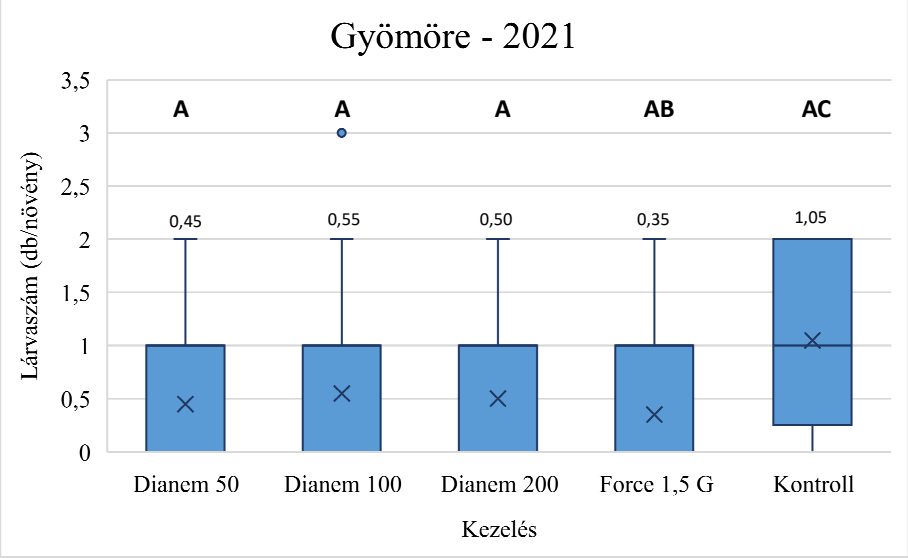
Dianem 50 (p_{Tukey}= 0,000), a Dianem 100 (p_{Tukey}= 0,000), a Dianem 200 (p_{Tukey}= 0,001) és a Force 1,5 G hatóanyaggal kezelt (p_{Tukey}= 0,000) parcelláktól szignifikánsan különbözik. A kezelt parcellák között nem mutatható ki szignifikancia (20. táblázat).

20. táblázat. A 2021-es röjtökmuzsai fonálférges kísérlet p értékei, átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Dianem 50	Dianem 100	Dianem 200	Force 1,5G	Kontroll
Dianem 50	-	0,898	0,440	0,440	**0,000**
Dianem 100	0,898	-	0,929	0,610	**0,000**
Dianem 200	0,440	0,929	-	0,176	**0,001**
Force 1,5G	0,440	0,610	0,176	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,001**	**0,000**	-

3.1.3. 2021. évi gyömörei kísérlet

Gyömörén a 2021-es év vizsgálatai során a kezeletlen kontroll parcella esetében tapasztaltam a legmagasabb növényenkénti lárvaszámot (1,05±0,76 db/növény). A kezelt parcellák mindegyikében a kontrollnál alacsonyabb lárvaszámot regisztráltam. A kezelések közül legmagasabb átlagos lárvaszámmal a Dianem 100-zal (0,55±0,89 db/növény) kezelt parcella jellemezhető, melyet a Dianem 200 (0,50±0,89 db/növény), a Dianem 50 (0,45±0,61 db/növény) és a Force 1,5G (0,35±0,59 db/növény) kezelések követnek (13. ábra).



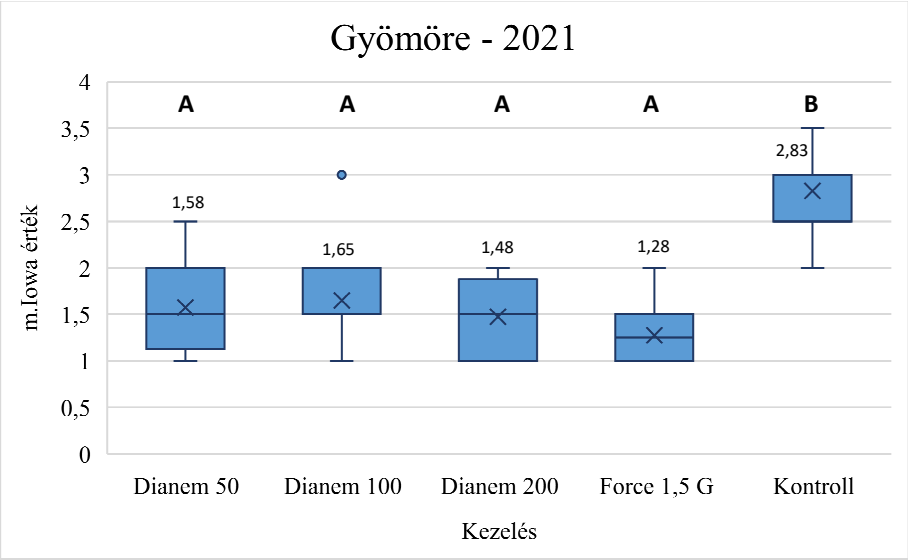
13. ábra. Átlagos növényenkénti lárvaszámok alakulása
a Dianemes kezelések hatására, Gyömöre 2021.

Az one-way ANOVA elemzés szerint Gyömörén a vizsgált parcellák között van legalább két olyan kezelés, amely szignifikánsan különbözik egymástól a lárvaszám értékek alapján (p=0,041; F=2,602). A Tukey Post hoc teszt eredményei szerint megállapítható, hogy a kezelések közül csak a Force 1,5G készítmény eredményezett a kontrollnál szignifikánsan alacsonyabb lárvaszámot (p_{Tukey}=0,034). A Dianemes kezelések nem mutatnak szignifikanciát sem egymáshoz, sem a kontroll parcellákhoz képest (21. táblázat).

21. táblázat. A 2021-as gyömörei fonálférges kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Dianem 50	Dianem 100	Dianem 200	Force 1,5G	Kontroll
Dianem 50	-	0,994	1,000	0,994	0,098
Dianem 100	0,994	-	1,000	0,919	0,233
Dianem 200	1,000	1,000	-	0,970	0,154
Force 1,5G	0,994	0,919	0,970	-	**0,034**
Kontroll	0,098	0,233	0,154	**0,034**	-

Ezen kísérlet során a kezeletlen kontroll parcella esetében volt a legnagyobb mérvű a gyökérvisszarágottság (2,83±0,47). A kezelések közül a legmagasabb m.Iowa értékkel a Dianem 100-zal (1,65±0,46) kezelt parcella jellemezhető, amit a Dianem 50-nel (1,58±0,47), a Dianem 200-zal (1,48±0,38) és a Force 1,5G-vel (1,28±0,30) kezelt parcellák követnek (14. ábra).



14. ábra. Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása a Dianemes kezelések hatására, Gyömöre 2021.

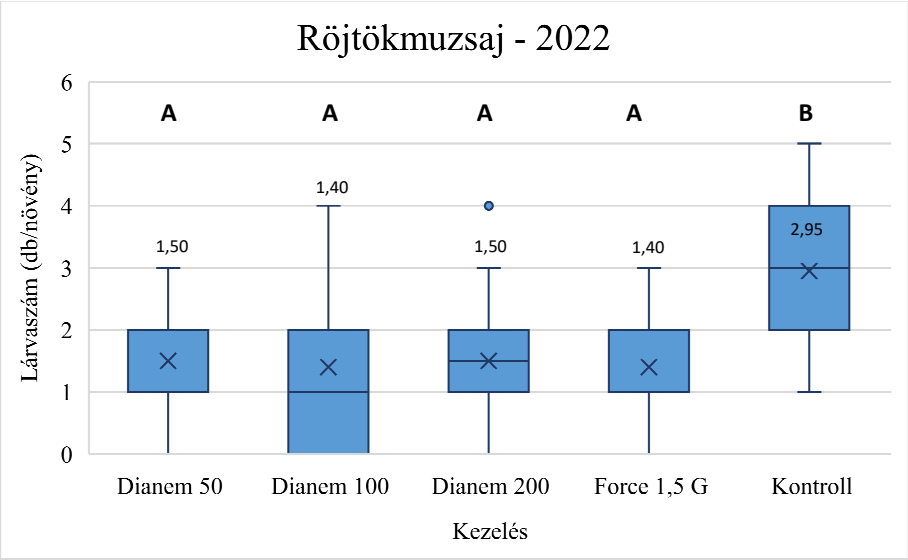
A parcellák közötti különbségek statisztikai vizsgálata alapján megállapítható, hogy vannak olyan kezelések a vizsgálat során, melyek esetében szignifikáns különbség tapasztalható (p=0,000; F=42,326). A Tukey HSD Post hoc teszt eredményei tükrében a kontroll parcella minden kezeléstől szignifikánsan különbözik az m.Iowa értékek alapján ($p<0,05$): Dianem 50 ($p_{Tukey}=0,000$), Dianem 100 ($p_{Tukey}=0,000$), Dianem 200 ($p_{Tukey}=0,000$) és Force 1,5G ($p_{Tukey}=0,000$). A kezelt parcellák között statisztikailag igazolható különbség nem mutatható ki az m.Iowa értékek alapján, azaz a kezelések nem térnek el egymástól hatékonyságukban($p>0,05$) (22. táblázat).

22. táblázat. A 2021-as gyömörei fonálférges kísérlet p értékei, átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Dianem 50	Dianem 100	Dianem 200	Force 1,5G	Kontroll
Dianem 50	-	0,980	0,943	0,169	**0,000**
Dianem 100	0,98	-	0,682	0,045	**0,000**
Dianem 200	0,943	0,682	-	0,563	**0,000**
Force 1,5G	0,169	0,045	0,563	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

3.1.4. 2022. évi röjtökmuzsaji kísérlet

Röjtökmuzsaj mintaterület esetében a legmagasabb átlagos növényenkénti lárvaszámmal a negatív kontrollparcella jellemezhető (2,95±1,15 db/növény), amit a Dianem 50-nel (1,50±0,89 db/növény), a Dianem 200-zal (1,50±1,10 db/növény), a Dianem 100-zal (1,40±1,23 db/növény) és pozitív kontrollként alkalmazott Force 1,5G-vel kezelt (1,4 ±0,99 db/növény) parcellák követnek. Az entomopatogén fonálférgekkel végzett vizsgálatok közel azonos eredményt mutattak, mint a pozitív kontroll (15. ábra).



15. ábra. Átlagos növényenkénti lárvaszámok alakulása a Dianemes kezelések hatására, Röjtökmuzsaj 2022.

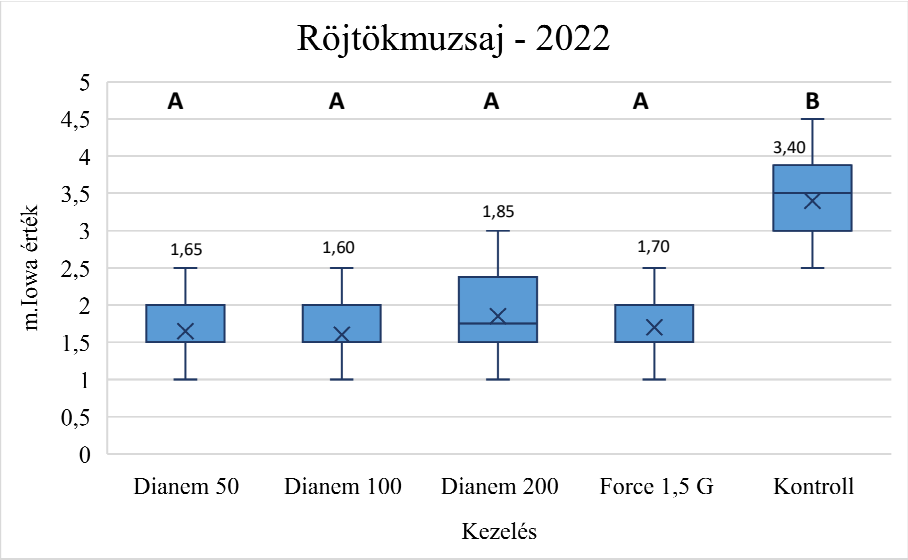
Az one-way ANOVA elemzés alapján megállapítható, hogy van legalább két olyan parcella, melyek között szignifikáns különbség igazolható ($p<0,05$) a növényenkénti átlagos lárvaszám-értékek alapján ($p=0,000$; $F=7,777$). A Tukey HSD Post hoc teszt eredményei szerint a kontroll kezelés a Dianem 50-nel ($p_{Tukey}=0,000$), a Dianem 100-zal ($p_{Tukey}=0,000$), a Dianem 200-zal ($p_{Tukey}=0,000$) és a Force 1,5G-vel ($p_{Tukey}=0,000$) kezelt parcelláktól egyaránt szignifikánsan magasabb átlagos lárvaszám-értékkel jellemezhető. A Dianemmel és a Force 1,5G készítménnyel történő kezelések között azonban nem mutatható ki szignifikancia (23. táblázat).

23. táblázat. A 2022-as röjtökmuzsai fonálférges kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Dianem 50	Dianem 100	Dianem 200	Force 1,5G	Kontroll
Dianem 50	-	0,998	1,000	0,998	**0,000**
Dianem 100	0,998	-	0,998	1,000	**0,000**
Dianem 200	1,000	0,998	-	0,998	**0,000**
Force 1,5G	0,998	1,000	0,998	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

Röjtökmuzsajon ebben az évben a legmagasabb mértékű gyökérkárosítást a kontroll parcella (3,40±0,53) esetében mértem, a mért érték megközelíti a gazdasági kár határának tekintett 3,5-ös m. Iowa skálaértéket.

A kezelt parcellák közül a legmagasabb m.Iowa értékkel a Dianem 200-zal (1,85±0,54) kezelt parcella jellemezhető, amelyet a Force 1,5G (1,70±0,44), a Dianem 50 (1,65±0,40) és a Dianem 100 (1,60±0,45) követ (16. ábra).



16. ábra. Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása a Dianemes kezelések hatására, Röjtökmuzsaj 2022.

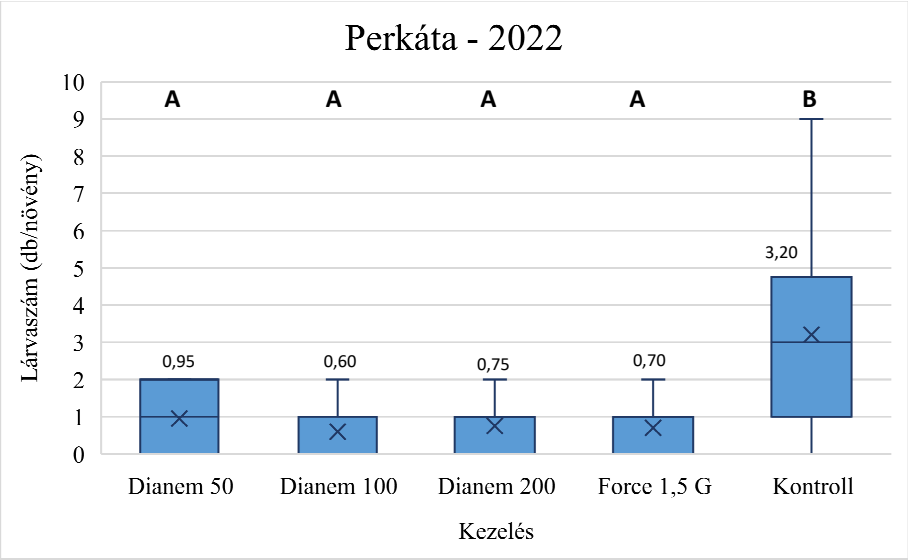
A parcellák közötti különbségek vizsgálatára alkalmazott one-way ANOVA elemzés alapján megállapítható, hogy a vizsgált parcellák között vannak olyanok, melyek szignifikánsan különböznek egymástól ($p=0,000$; $F=52,095$). A Tukey HSD Post hoc teszt eredményei szerint a kontroll kezelés minden kísérleti parcellától szignifikánsan különbözik az m.Iowa értékek tekintetében ($p<0,05$): Dianem 50 ($p_{Tukey}=0,000$), Dianem 100 ($p_{Tukey}=0,000$), Dianem 200 ($p_{Tukey}=0,000$) és Force 1,5G ($p_{Tukey}=0,000$). A kísérleti anyagokkal kezelt parcellák között azonban nem mutatható ki statisztikailag igazolható ($p>0,05$) különbség, ami arra utal, hogy a kezelések gyökérvisszarágottságra gyakorolt hatása közel megegyező (24. táblázat).

24. táblázat. A 2022-as röjtökmuzsai fonálférgeskísérlet p értékei, átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Dianem 50	Dianem 100	Dianem 200	Force 1,5G	Kontroll
Dianem 50	-	0,997	0,672	0,997	**0,000**
Dianem 100	0,997	-	0,46	0,963	**0,000**
Dianem 200	0,672	0,46	-	0,855	**0,000**
Force 1,5G	0,997	0,963	0,855	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

3.1.5. 2022. évi perkátai kísérlet

Perkátán a legnagyobb növényenkénti lárvaszám a kontroll parcellán volt (3,20±2,46 db/növény), melyet a Dianem 50-nel (0,95±0,95 db/növény), a Dianem 200-zal (0,75±0,79 db/növény), a Force 1,5G-vel (0,70±0,66 db/növény) és Dianem 100-zal (0,60±0,82 db/növény) kezelt területek követnek (17. ábra). Az eredmények alapján látható, hogy a kezelt parcellák lényegesen kisebb lárvaszámmal jellemezhetők, mint a negatív kontroll.



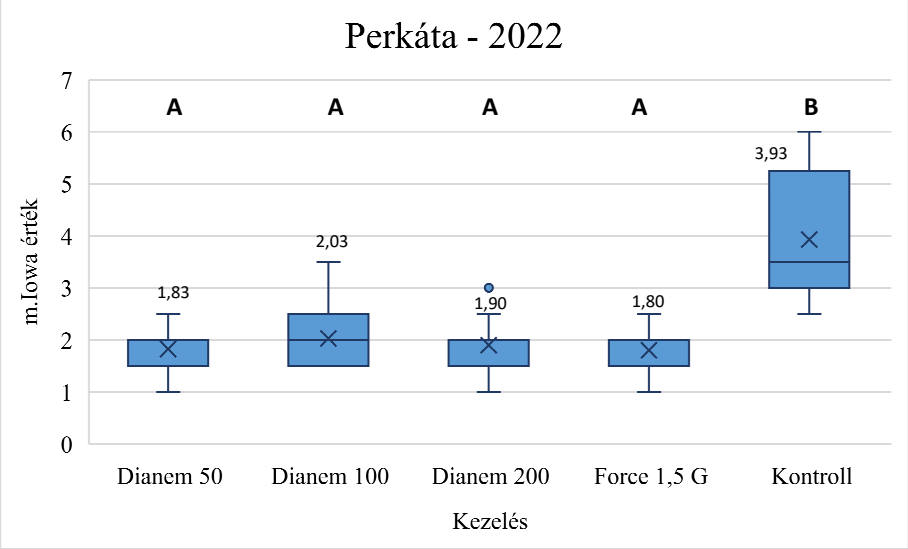
17. ábra. Átlagos növényenkénti lárvaszámok alakulása
Dianemes kezelések hatására, Perkáta 2022.

Az one-way ANOVA elemzés eredményei szerint Perkátán a vizsgált parcellák között van legalább két olyan, ami szignifikanciát mutat (p=0,000; F=14,020). A Tukey HSD Post hoc teszt eredményeit figyelembe véve a Kontroll parcella a Dianem 50-nel (p_{Tukey}=0,000), a Dianem 100-zal (p_{Tukey}=0,000), a Dianem 200-zal (p_{Tukey}=0,000) és a Force 1,5G-vel (p_{Tukey}=0,000) kezelt parcelláktól egyaránt szignifikánsan magasabb átlagos lárvaszám-értékkel jellemezhető, az egyes kezelések között azonban nem mutatható ki szignifikáns különbség. A kezelések hatékonyságukban statisztikailag nem térnek el egymástól (25. táblázat).

25. táblázat. A 2022-as perkátai fonálférges kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Dianem 50	Dianem 100	Dianem 200	Force 1,5G	Kontroll
Dianem 50	-	0,917	0,989	0,975	**0,000**
Dianem 100	0,917	-	0,996	0,999	**0,000**
Dianem 200	0,989	0,996	-	1,000	**0,000**
Force 1,5G	0,975	0,999	1,000	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

Perkátán a legnagyobb mértékű növényenkénti átlagos gyökér-visszarágottságot a kontroll parcella esetében lehet kimutatni (3,93±1,23), amely érték meghaladja a gazdasági kár határának tekintett 3,5-ös értéket. A kezelések közül a legnagyobb gyökérkártétel a Dianem 100-as (2,03±0,57) területen volt tapasztalható, ezt a Dianem 200 (1,90±0,50), a Dianem 50 (1,83±0,47) és a Force 1,5G (1,80±0,57) kezelések követték (18. ábra). Az entomopatogén fonálférgek, melyeket különböző dózisú vízzel injektáltam, valamint a pozitív kontrollként használt Force 1,5G erősen redukálták a gyökérkártételt.



18. ábra. Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása a Dianemes kezelések hatására, Perkáta 2022.

A kezelések és a kontroll közötti különbségek vizsgálta alapján megállapítható, hogy van legalább két olyan kísérlet, ami szignifikánsan különbözik egymástól (p=0,000; F=31,834). A T□key HSD Post hoc teszt eredményei szerint a negatív kontroll parcella a Dianem 50-nel (p_{Tukey}=0,000), a Dianem 100-zal (p_{Tukey}=0,000), Dianem 200-zal (p_{Tukey}=0,000), és Force 1,5G-vel (p_{Tukey}=0,000) történő kezelésektől egyaránt szignifikánsan magasabb átlagos m.Iowa értékkel jellemezhető. Tehát a kontroll minden kezelt parcellától szignifikánsan különbözik (p<0,05). A Dianem és a Force 1,5G hatóanyaggal történő kezelés egyaránt képes volt szignifikánsan csökkenteni a gyökérvisszarágottságot. A nematódás kezelések, valamint a Force 1,5 G készítménnyel kezet parcellák között 5%-os

szignifikanca szinten nincs statisztikailag igazolható különbség (26. táblázat).

26. táblázat. A 2022-as perkátai fonálférges kísérlet p értékei átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Dianem 50	Dianem 100	Dianem 200	Force 1,5G	Kontroll
Dianem 50	-	0,907	0,997	1,000	**0,000**
Dianem 100	0,907	-	0,982	0,863	**0,000**
Dianem 200	0,997	0,982	-	0,992	**0,000**
Force 1,5G	1,000	0,863	0,992	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

3.1.6. A fonálférges kezelések eredményeinek értelmezése

Három éven (2020–2021–2022) keresztül, három helyszínen (Röjtökmuzsaj, Gyömöre, Perkáta) öt kísérletet állítottam be különböző mennyiségű injektálási vízdózisok mellett az entomopatogén fonálférgekkel kapcsolatban, ahol vizsgáltam a nematódák kukoricabogár elleni hatékonyságát. Kísérleteimben azon túl, hogy megfigyeltem a károsító szervezet elleni hatékonyságát ezen biológiai ágensnek, kerestem a választ arra is, hogy különböző vízdózisok alkalmazása mellett a fonálférgek megtartják-e larvicid hatásukat. Gyakorlati szempontból nagy jelentőséggel bírhat a kijuttatandó alacsonyabb injektálási vízdózisok alkalmazása, hiszen nagymértékben képes javítani a vetés területteljesítményét.

Mivel a kísérleti anyag élő szervezeteket tartalmaz, ezért nagy figyelmet kell fordítani a készítmény helyes tárolására, felhasználására. A fentiekben tárgyalt eredményekből jól látszik, hogy a 2020. évi röjtökmuzsaji kísérlet egyértelműen elkülönül az elvégzett négy másik kísérlettől, ezért ezt a vizsgálatot a többitől külön kell kezelni, mivel a rovarpatogén fonálféreg nem okozott szignifikáns változást sem a lárvaszámok, sem pedig a gyökérvisszarágottság vonatkozásában. Az Anyag és módszer című fejezetben tárgyalt nematódás kezelések előtt elvégzett vitalitásvizsgálat lesújtó eredményt mutatott, a készítményben található fonálférgek 75%-a elpusztult, és a felhasználandó készítmény mennyisége nem volt elegendő ahhoz, hogy ezt a nagyfokú mortalitási százalékot négyszeres anyagfelhasználás mellett kompenzálni tudjam. Az elvégzett kezelések eredményességét befolyásolta továbbá az is, hogy a vetést követően egy szárazabb időszak következett, amely a megmaradt 25% élő fonálféreg számára kedvezőtlen ökológiai feltételt jelentett. Már a kísérlet beállításának időpontjában tudni véltem, hogy áttörő eredményeket nem hozhatnak az elvégzett kezelések, ezért ugyanilyen körülmények között, ugyanilyen technológiával a következő években, különböző lárvadenzitású helyszíneken végeztem vizsgálatokat hipotézisem igazolása érdekében.

A 2021. évben kísérletem helyszínéül szintén a röjtökmuzsaji, valamint egy gyömörei területet választottam. Az adott évben a kísérletek beállítása előtt elvégzett életképességi vizsgálat kiváló eredményt

mutatott, ugyanis a fonálférgek vitalitása 85–90% volt, ez a későbbi eredményekben is egyértelműen látszik.

A röjtökmuzaji mintaterületen ebben az évben kimagasló volt a kártevő lárvasűrűsége, mely megmutatkozik a negatív kontroll parcellán mért 3,55-ös átlagos m. Iowa értékekből. Ez a gyökérkárosítási szint meghaladja az ökonómiai küszöbhatárt, ami azt jelenti, ha nem védekezünk, komoly termésmennyiség-veszteséggel számolhatunk. A kísérlet statisztikai eredményeiből kiolvasható, hogy minden kezelés eredményre vezetett a negatív kontrollhoz képest, továbbá az is, hogy az egyes injektálási vízdózisú kezelések között nem volt staisztikailag igazolható különbség.

A gyömörei viszgálati helyszínről elmondható, hogy – annak ellenére, hogy harmadéves monokultúra volt – lárvadenzitás tekintetében nem érte el a röjtökmuzsaji szintet, ez a tény látható a negatívkontroll-terület m. Iowa 2,83-as értékéből is. A kezelések mindegyike több mint felére csökkentette a lárvaszámokat a kezeletlen területhez képest, viszont nem tapasztalható a vizsgálatba vont területek között statisztikailag igazolható különbség. Ez annak tulajdonítható, hogy 2021-ben Gyömörén a felvételezési időszakban uralkodó időjárási körülmények miatt nem tudtam időben felvételezni a lárvaszámokat. A két vizsgált paraméter – lárvaszám és gyökérvisszarágottság – közül az utóbbi relevánsabb a kísérletek hatékonyságának igazolása szempontjából, hiszen ez állandó. Ebben az évben Gyömörén is megmutatkozik, hogy gyökérkárosítás tekintetében szignifikancia áll fent a negatív kontroll

és kezelések között, továbbá ebben az esetben sem figyelhető meg az injektálási vízdózisok között szignifikáns különbség.

A gyömörei mintaterületen mért alacsonyabb lárvadenzitás miatt 2022-ben kerestem egy magasabb fertőzöttségű területet Röjtökmuzsaj mellett, melyet az ország középső részén, Perkátán találtam meg. Az ott élő gazdálkodó elmondása alapján területükön évről évre nagy problémát okoz a kukoricabogár lárvája, mely esetükben mindig megmutatkozik a betakarított termésmennyiségben is. A 2022-es vizsgálatoknál szintén nem volt probléma a felhasznált készítményben lévő fonálférgek életképességével, mely az előző évi eredményekhez hasonlóan szépen megmutatkozott. Röjtökmuzsajon ebben a vizsgálati évben is közel azonos lárvadenzitás volt tapasztalható, mint 2021-ben. Mind a lárvaszámok, mind pedig a gyökérvisszarágottság értékeinek tekintetében egyértelmű szignifikáns különbség figyelhető meg a negatív kontroll és az elvégzett kezelések között. Hasonlóan az előző évi kezelésekhez, nem tapasztalható igazolható különbség a nematódás kezelések között.. A perkátai mintaterület esetében a kezelések jelentősen csökkentették a lárvaszámokat (a negatív kontrollhoz képest több mint negyedére), mely abban is megmutatkozott, hogy a kontroll területen szembetűnő volt a kidőlt növények száma. Ilyen magas m.Iowa érték (3,93) mellett is sikeresen vizsgáztak a kezelésbe vont készítmények. Továbbá itt sem volt tapasztalható statisztikailag igazolható különbség a kijuttatandó injektálási vízdózisok között. A fent leírtak szerint, ahol a biológiai készítményben (Dianem) lévő fonálférgek életképessége megfelelő volt, ott a különböző

lárvafertőzöttségű területek mindegyikén szignifikánsan igazolható eredmények születtek a negatív kontrollhoz képest. Megállapítható az is, hogy a biológiai ágens hatékonysága nem maradt el a napjainkban általánosan használt teflutrin hatóanyagú Force 1,5 G talajfertőtlenítő készítménytől sem. Az elvégzett kísérleteim során sikerült igazolnom a felállított hipotézisemet, miszerint az alacsonyabb injektálási vízdózisok mellett is megmarad a nematódák larvicid hatása.

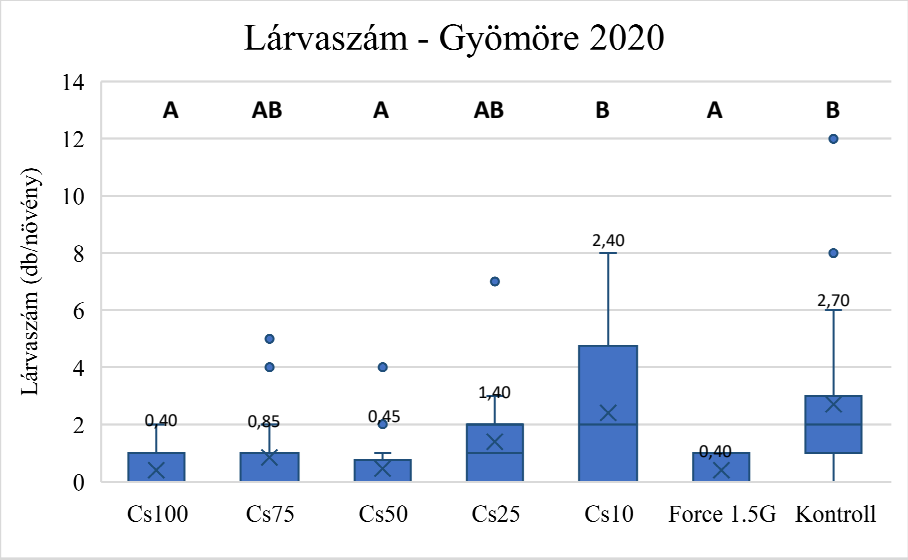
Ezen vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy a *Heterorhabditis bacteriophora* rovarpatogén fonálférget tartalmazó Dianem készítménnyel – megfelelő odafigyeléssel kijuttatva – sikeresen védekezhetünk az egyik legnagyobb területen termesztett kultúrnövény egyik legveszélyesebb károsítója ellen.

3.2. AZADIRACHTIN HATÓANYAGGAL ELVÉGZETT CSÁVÁZÁSOS KÍSÉRLETEK EREDMÉNYEI

3.2.1. A 2020. évi gyömörei kísérlet

A Gyömörén 2020-ban végzett kísérlet eredményei alapján a vizsgáltba bevont kezelések közül a kezeletlen kontroll (2,7±3,05 lárva/növény) parcellában volt a legnagyobb a lárvaszám. A csávázott (azadirachtin hatóanyaggal kezelt) parcellák közül a legmagasabb lárvaszámmal a 10%-os koncentráció volt jellemezhető (2,4±2,50 lárva/növény), ezt a 25%-os (1,40±1,64 lárva/növény), a 75%-os (0,85±1,39 lárva/növény), az 50%-os (0,45±1,00 lárva/növény) és a 100%-os (0,40±0,60 lárva/növény) koncentrációk követték. Látható, hogy az azadirachtin

hatóanyag koncentrációjának növekedésével csökken a lárvaszám. A Force 1,5G-vel kezelt terület esetén a 100 %-os koncentrációval megegyezően alacsony a lárvaszám értéke (0,40±0,50) (19. ábra).



19. ábra. Átlagos növényenkénti lárvaszámok alakulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Gyömöre 2020.

Az SPSS programmal elvégzett one-way ANOVA elemzés alapján elmondható, hogy szignifikáns különbség van ($p<0,05$) a kezelések között lárvaszám-értékek tekintetében ($p=0,000$; $F=6,109$). A Tukey HSD Post hoc teszt eredményei szerint a kontroll parcella szignifikánsan különbözik ($p<0,05$) a 100%-os (SE= 0,557 pTukey=0,001), a 75%-os (SE=0,557 pTukey=0,019), az 50%-os (SE=0,557 pTukey=0,002) dózissal és a Force 1,5 G hatóanyaggal

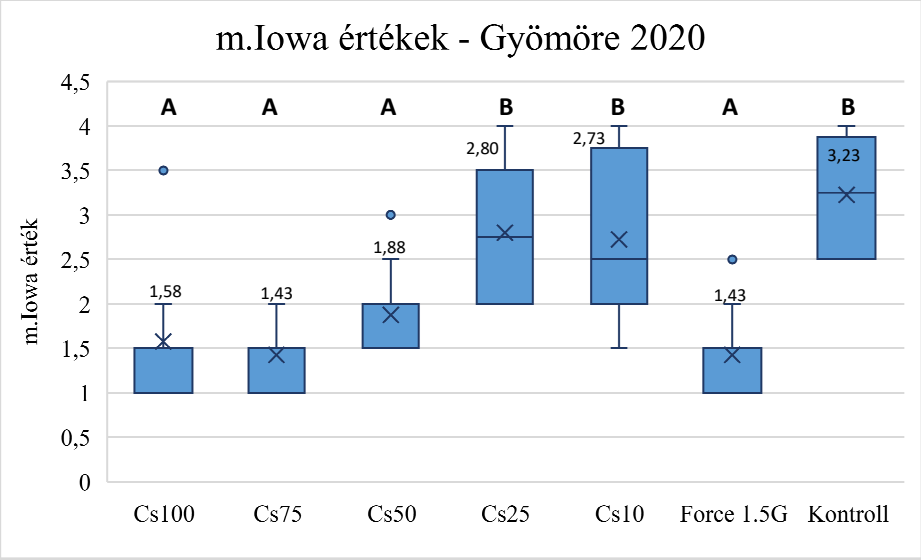
kezelt (SE=0,557 pTukey=0,001) parcelláktól. A 10%-os dózissal kezelt parcella szignifikánsan eltér a 100%-os (SE=0,557 pTukey=0,008) és az 50%-os (SE=0,557 pTukey=0,011) dózissal és a Force 1,5 G hatóanyaggal kezelt (SE=0,557 pTukey=0,008) kísérleti területektől (27. táblázat).

27. táblázat. A 2020-as gyömörei csávázásos kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Cs100	Cs75	Cs50	Cs25	Cs10	Force 1,5G	Kontroll
Cs100	-	0,984	1,000	0,554	**0,008**	1,000	**0,001**
Cs75	0,984	-	0,991	0,956	0,087	0,984	**0,019**
Cs50	1,000	0,991	-	0,614	0,011	1,000	**0,002**
Cs25	0,554	0,956	0,614	-	0,554	0,554	0,236
Cs10	**0,008**	0,087	**0,011**	0,554	-	**0,008**	0,998
Force 1,5G	1,000	0,984	1,000	0,554	**0,008**	-	**0,001**
Kontroll	**0,001**	**0,019**	**0,002**	0,236	0,998	**0,001**	-

Ebben az évben a kísérletbe vont parcellák közül a legnagyobb mérvű gyökérkártétel a negatív kontroll parcellán volt tapasztalható (m.Iowa: 3,23±0,60). A csávázott formában felvitt azadirachtin hatóanyaggal kezelt vetőmaggal bevetett parcellák közül a gyökérvisszarágottság mértéke a 25%-os koncentráció esetében volt a legmagasabb (2,8±0,68), ezt a 10%-os (2,73±0,85), az 50%-os (1,88±0,51) és a 100%-os (1,58±0,71) koncentrációk követik. A csávázott vetőmagok közül a 75%-os koncentrációban felvitt azadirachtin hatóanyag

esetében mértem a legalacsonyabb mértékű károkozást (1,43±0,34). A Force 1,5G-vel kezelt terület esetén szintén alacsony a kár mértéke (1,43±0,41) (20. ábra).



20. ábra. Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása az azadiarchtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Gyömöre 2020.

Az SPSS programmal elvégzett elemzés alapján elmondható, hogy szignifikáns különbség van ($p<0,05$) a parcellák között az m.Iowa értékek alapján ($p=0,000$; $F=30,441$). A Tukey HSD Post hoc teszt eredményei szerint a kontroll parcella szignifikánsan különbözik ($p<0,05$) a 100%-os (SE=0,1920 pTukey=0,000), a 75%-os (SE=0,1920 pTukey=0,000), az 50%-os (SE=0,1920 pTukey=0,000) dózissal és a Force 1,5 G hatóanyaggal (SE=0,1920 pTukey=0,000)

kezelt parcelláktól. A 10%-os és a 25%-os dózissal kezelt területek statisztikailag igazolható különbséget mutatnak a 100%-os (SE=0,1920 pTukey=0,000), a 75%-os (SE=0,1920 pTukey=0,000) és az 50%-os (SE=0,1920 pTukey=0,000) dózissal, valamint a Force 1,5 G hatóanyaggal (SE=0,1920 pTukey=0,000) kezelt parcelláktól.

Az eredmények alapján Gyömörén a kár mértéke a vizsgált parcellák közül csak a kontroll parcella esetében közelítette meg 3,5-es Iowa értéket, ez jól mutatja, hogy a csávázószer (azadirachtin) és a Force 1,5G alkalmazásával a kár mértékét lényegesen a gazdasági kár határértéke alá lehet szorítani (28. táblázat).

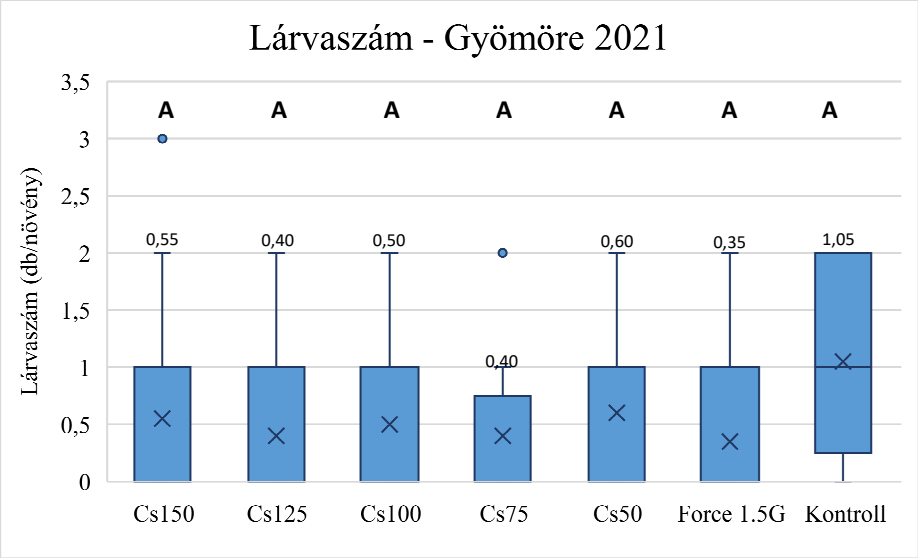
28. táblázat. A 2020-as gyömörei csávázásos kísérlet p értékei, átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Cs100	Cs75	Cs50	Cs25	Cs10	Force 1,5G	Kontroll
Cs100	-	0,986	0,706	**0,000**	**0,000**	0,986	**0,000**
Cs75	0,986	-	0,231	**0,000**	**0,000**	1,000	**0,000**
Cs50	0,706	0,231	-	**0,000**	**0,000**	0,231	**0,000**
Cs25	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-	1,000	**0,000**	0,295
Cs10	**0,000**	**0,000**	**0,000**	1,000	-	**0,000**	0,133
Force 1,5G	0,986	1,000	0,231	**0,000**	**0,000**	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	0,295	0,133	**0,000**	-

3.2.2. A 2021. évi gyömörei kísérlet

A 2021-es adatokat elemezve megállapítható, hogy Gyömörén a vizsgáltba bevont parcellák közül a kezeletlen kontroll (1,05±0,76 lárva/növény) esetében mértem a legnagyobb lárvaszámot. A csávázott (azadirachtin hatóanyaggal kezelt) vetőmaggal bevetetett

kezelések közül a legnagyobb lárvaszámot az 50%-os koncentráció esetében tapasztaltam (0,60±0,75 lárva/növény), ezt a 150%-os (0,55±0,94 lárva/növény), a 100%-os (0,50±0,69 lárva/növény), a 125%-os (0,40±0,60 lárva/növény) és a 75%-os (0,40±0,75 lárva/növény) koncentráció követi. A Force 1,5G-vel kezelt parcellán volt a legkisebb a lárvaszám (0,35±0,59) (21. ábra). A vizsgált területek az átlagos növényenkénti lárvaszám alapján elkülönülnek a kezeletlen kontroll parcellától, de a különbség nem szignifikáns.



21. ábra. Átlagos növényenkénti lárvaszám alakulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Gyömöre 2021.

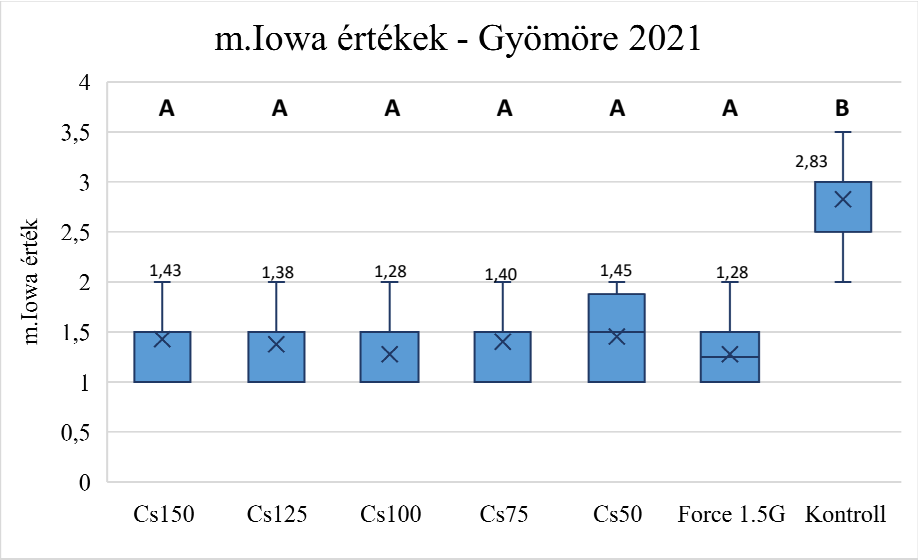
Az SPSS programmal elvégzett one-way ANOVA elemzés alapján elmondható, hogy nincs szignifikáns különbség (p>0,05) a parcellák

között a lárvaszám tekintetében (p=0,058; F=2,098) (29. táblázat).

29. táblázat. A 2021-as gyömörei csávázásosi kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Cs150	Cs125	Cs100	Cs75	Cs50	Force 1,5G	Kontroll
Cs150	-	0,995	1,000	0,995	1,000	0,978	0,329
Cs125	0,995	-	0,999	1,000	0,978	1,000	0,084
Cs100	1,000	0,999	-	0,999	0,999	0,995	0,221
Cs75	0,995	1,000	0,999	-	0,978	1,000	0,084
Cs50	1,000	0,978	0,999	0,978	-	0,934	0,460
Kontroll	0,978	1,000	0,995	1,000	0,934	-	0,058
Force 1,5G	0,329	0,084	0,221	0,084	0,460	0,058	-

A gyökérvisszarágottság tekintetében a vizsgált parcellák közül a negatív kontroll parcellán tapasztaltam a legnagyobb mértékű kárt (m.Iowa: 2,83±0,47). Az azadirachtin hatóanyaggal kezelt parcellák közül a gyökérvisszarágottság mértéke az 50%-os koncentráció esetében volt a legnagyobb (1,45±0,39), amit a 150%-os (1,43±0,37), a 75%-os (1,40±0,35), a 125%-os (1,38±0,39) és a 100%-os (1,28±0,34) koncentráció követ. A Force 1,5G-vel kezelt terület esetén volt a legkisebb a gyökérkárosítás (1,28±0,3), mely megegyezik a 100%-os koncentrációjú azadirachtinnal kezelt parcella értékével (22. ábra).



22. ábra. Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Gyömöre 2021.

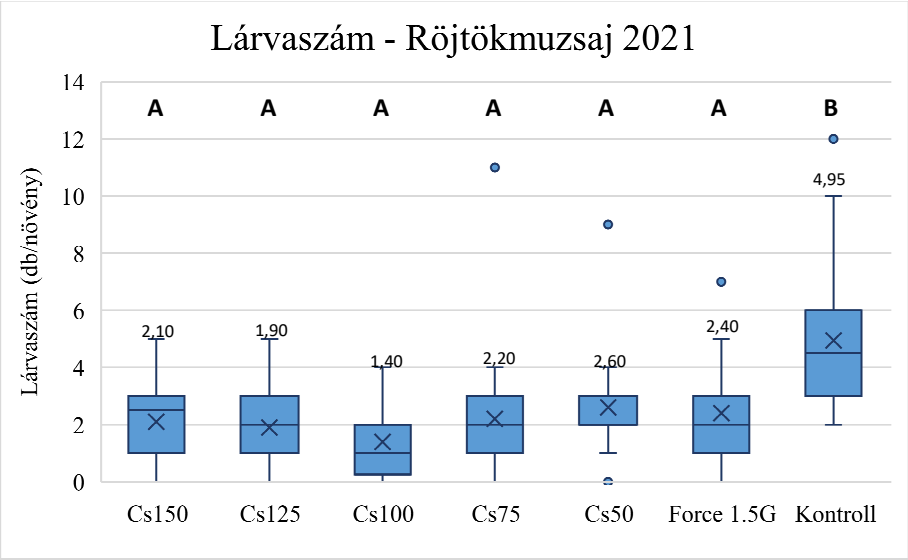
Az elvégzett one-way ANOVA elemzés szerint elmondható, hogy szignifikáns különbség van ($p<0,05$) a parcellák között az m.Iowa értékek esetében ($p=0,000$; $F=43,338$). A Tukey HSD Post hoc teszt eredményei alapján a kontroll parcella minden kezeléstől szignifikánsan különbözik ($p<0,05$), az egyes kezelések között nem mutatkozik szignifikáns különbség ($p>0,05$) (30. táblázat).

30. táblázat. A 2021-as gyömörei csávázásos kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Cs150	Cs125	Cs100	Cs75	Cs50	Force 1,5G	Kontroll
Cs150	-	1,000	0,870	1,000	1,000	0,870	**0,000**
Cs125	1,000	-	0,980	1,000	0,996	0,980	**0,000**
Cs100	0,870	0,980	-	0,942	0,764	1,000	**0,000**
Cs75	1,000	1,000	0,942	-	1,000	0,942	**0,000**
Cs50	1,000	0,996	0,764	1,000	-	0,764	**0,000**
Force 1,5G	0,870	0,980	1,000	0,942	0,764	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

3.2.3. A 2021. évi röjtökmuzsaji kísérlet

A 2021-es adatokat elemezve, Röjtökmuzsajon a kezeletlen kontroll parcellában számoltam a legtöbb lárvát (4,95±2,68 lárva/növény). A csávázott (azadirachtin hatóanyaggal kezelt) vetőmaggal bevetetett parcellák közül a legnagyobb lárvaszám az 50%-os koncentráció esetében volt megfigyelhető (2,60±1,85 lárva/növény), ezt a Force 1,5 G hatóanyaggal kezelt (2,40±1,79 lárva/növény), a 75%-os (2,20±2,42 lárva/növény), a 150%-os (2,10±1,59 lárva/növény) és a 125%-os (1,90±1,41 lárva/növény) csávázási koncentrációk követik. A 100%-os koncentrációjú azadirachtinnal kezelt területeken volt a legkisebb a lárvák száma (1,40±1,19 lárva/növény) (23. ábra).



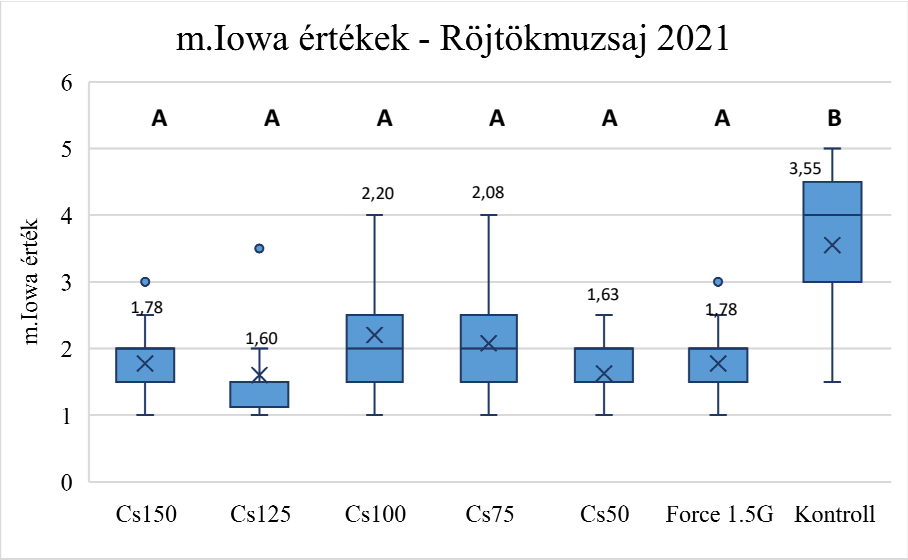
23. ábra. Átlagos növényenkénti lárvaszám alakulása
az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Röjtökmuzsaj 2021.

Az SPSS programmal elvégzett one-way ANOVA elemzés alapján elmondható, hogy szignifikáns különbség van ($p<0,05$) a parcellák között ($p=0,000$; $F=7,151$). A Tukey HSD Post hoc teszt eredményei tükrében a negatív kontroll parcella minden kezeléstől szignifikánsan eltér ($p<0,05$). Az eredmények alapján elmondható, hogy a kezelések mindegyike jól elkülönül a kontroll parcellán tapasztalt lárvaszámtól, tehát a kezelés hatása kimutatható. Az egyes kezelések között nem található szignifikáns különbség ($p>0,05$) a lárvaszám-értékek alapján (31. táblázat).

31. táblázat. A 2021-as röjtökmuzsai csávázásos kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Cs150	Cs125	Cs100	Cs75	Cs50	Force 1,5G	Kontroll
Cs150	-	1,000	0,908	1,000	0,982	0,999	**0,000**
Cs125	1,000	-	0,982	0,999	0,908	0,982	**0,000**
Cs100	0,908	0,982	-	0,840	0,429	0,648	**0,000**
Cs75	1,000	0,999	0,840	-	0,994	1,000	**0,000**
Cs50	0,982	0,908	0,429	0,994	-	1,000	**0,003**
Force 1,5G	0,999	0,982	0,648	1,000	1,000	-	**0,001**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,003**	**0,001**	-

A gyökérvisszarágottság tekintetében végzett kísérlet eredményei szerint a vizsgáltba bevont kezelések közül a negatív kontroll esetében tapasztaltam a legnagyobb mértékű kárt (m.Iowa:3,55±1,07). Az azadirachtin hatóanyaggal kezelt parcellák közül a gyökérvisszarágottság mértéke a 100%-os koncentrációnál volt a legnagyobb (2,20±0,71), ezt a 75%-os (2,08±0,88), illetve a 150%-os (1,78±0,44) koncentráció, valamint a Force 1,5G-vel kezelt parcella (1,78±0,47) követi. A legkisebb gyökérvisszarágottság az 50%-os (1,63±0,39) és a 125%-os (1,60±0,64) azadirachtinnal kezelt vetőmaggal bevetett parcellák esetén mutatkozott (24. ábra).



24. ábra. Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság
az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Röjtökmuzsaj 2021.

Az eredmények alapján Röjtökmuzsajon a kár mértéke vizsgált parcellák közül csak a negatív kontroll esetében haladta meg a 3,5-es Iowa értéket. Ez jól mutatja, hogy ebben az esetben a csávázószer (azadirachtin) és a Force 1,5G alkalmazásával a kár mértéke a gazdasági kár határértéke alá szorítható.

Az SPSS programmal elvégzett one-way ANOVA elemzés szerint elmondható, hogy szignifikáns különbség van ($p<0,05$) a parcellák között ($p=0,000$; $F=19,088$). A Tukey HSD Post hoc teszt eredményei alapján a kontroll kezelés minden parcellától szignifikánsan különbözik ($p<0,05$). Az eredmények alapján a kezelések mindegyike jól elkülönül a kontroll parcella esetében megfigyelt gyökérvisszarágottságtól. Az

egyes kezelések között nincs szignifikáns különbség (p>0,05) az m.Iowa értékek alapján (32. táblázat).

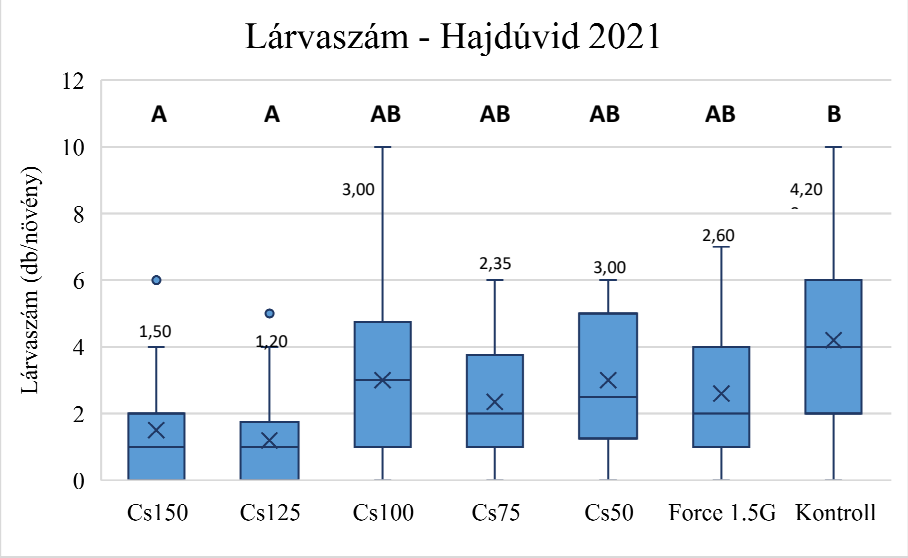
32. táblázat. A 2021-as röjtökmuzsaji csávázásos kísérlet p értékei, átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Cs150	Cs125	Cs100	Cs75	Cs50	Force 1,5G	Kontroll
Cs150	-	0,985	0,469	0,823	0,994	1,000	**0,000**
Cs125	0,985	-	0,103	0,331	1,000	0,985	**0,000**
Cs100	0,469	0,103	-	0,998	0,134	0,469	**0,000**
Cs75	0,823	0,331	0,998	-	0,398	0,823	**0,000**
Cs50	0,994	1,000	0,134	0,398	-	0,994	**0,000**
Force 1,5G	1,000	0,985	0,469	0,823	0,994	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

3.2.4. A 2021. évi hajdúvidi kísérlet

Hajdúvidi terület lárvaszám-adatait elemezve megállapítható, hogy a vizsgálatbavont parcellák közül a kezeletlen kontrollon volt a legnagyobb a lárvák száma (4,20±2,91 lárva/növény), ezt az 50%-os (3,00±2,00 lárva/növény) és 100%-os (3,00±2,53 lárva/növény) koncentrációban felvitt azadirachtin hatóanyaggal kezelt területek követik. Ennél kisebb átlagos növényenkénti lárvaszám a Force 1,5 G hatóanyaggal kezelt (2,60±2,06 lárva/növény), a 75%-os (2,35±1,76 lárva/növény) és a 150%-os (1,50±1,61 lárva/növény) koncentrációval kezelt parcellákon fordult elő. A 125%-os koncentrációjú

azadirachtinnal kezelt magvak esetén tapasztaltam a legkisebb lárvaszámot (1,20±1,40 lárva/növény) (25. ábra).



25. ábra. Átlagos növényenkénti lárvaszámok alaklulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Hajdúvid 2021.

Az SPSS programmal elvégzett one-way ANOVA elemzés alapján elmondható, hogy szignifikáns különbség van ($p<0,05$) a parcellák között a lárvaszám-értékek tekintetében ($p=0,000$; $F=4,621$). A Tukey HSD Post hoc teszt eredményei szerint a negatív kontroll csak a 150%-os dózisú kezeléstől (SE=0,663 pTukey=0,002) és a 125%-os dózisú kezeléstől (SE=0,663 pTukey=0,000) különbözik szignifikánsan ($p<0,05$). A kezelt parcellák egymással összehasonlítva szignifikanciát nem mutatnak ($p>0,05$). A lárvaszámra szignifikáns hatást a

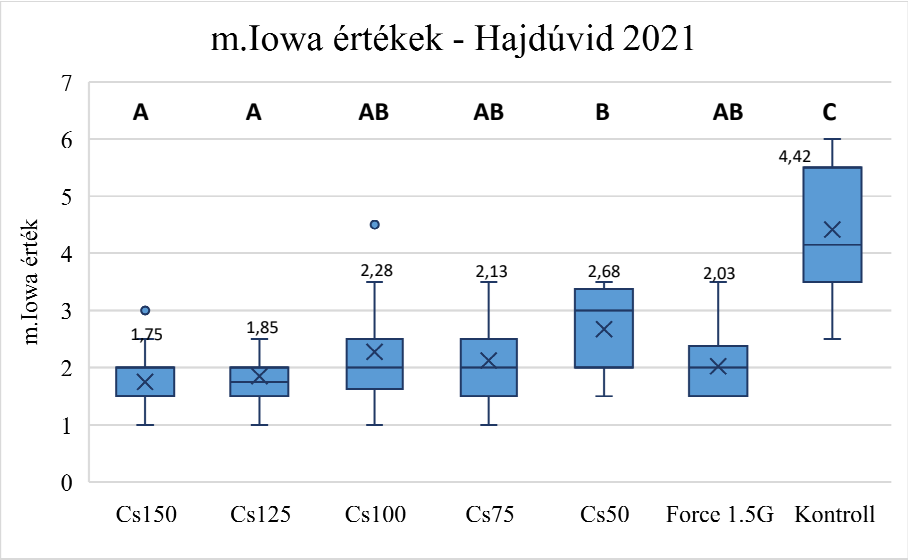
kontrollhoz képest csak a 150% és 125%-os dózissal végzett kezelés gyakorolt (33. táblázat).

33. táblázat. A 2021-es hajdúvidi csávázásos kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Cs150	Cs125	Cs100	Cs75	Cs50	Force 1,5G	Kontroll
Cs150	-	0,999	0,270	0,859	0,270	0,644	**0,002**
Cs125	0,999	-	0,103	0,594	0,103	0,352	**0,000**
Cs100	0,270	0,103	-	0,957	1,000	0,997	0,544
Cs75	0,859	0,594	0,957	-	0,957	1,000	0,085
Cs50	0,270	0,103	1,000	0,957	-	0,997	0,544
Force 1,5G	0,644	0,352	0,997	1,000	0,997	-	0,201
Kontroll	**0,002**	**0,000**	0,544	0,085	0,544	0,201	-

Gyökérkártétel tekintetében a vizsgált kezelések közül a kezeletlen kontroll esetében tapasztaltam a legnagyobb mértékű kárt (m.Iowa: 4,42±1,16). Ez az érték lényegesen meghaladja a gazdasági kár határának tekintett 3,5-ös m.Iowa értéket. Az azadirachtin hatóanyaggal kezelt területek közül a gyökérvisszarágottság mértéke az 50%-os koncentrációnál volt a legnagyobb (2,68±0,75), ezt a 100%-os (2,28±0,92), a 75%-os (2,13±0,67) koncentráció, valamint a Force 1,5G-vel kezelt parcella értéke (2,03±0,60) követi. A legkisebb gyökérvisszarágottságot a 125%-os (1,85±0,49) és a 150%-os (1,75±0,62) azadirachtin- koncentrációval kezelt parcellák esetében tapasztaltam (26. ábra).

Az eredmények alapján elmondható, hogy a kár mértéke csak a kontroll parcella esetében haladta meg a 3,5-es m.Iowa értéket. Ez jól szemlélteti, hogy ebben az esetben a csávázó szer (azadirachtin) és a Force 1,5G alkalmazásával a kár mértéke az ökonómiai kár határértéke alá szorítható.



26. ábra. Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Hajdúvid 2021.

Az SPSS programmal elvégzett one-way ANOVA elemzés alapján megállapítható, hogy szignifikáns különbség van ($p<0,05$) a parcellák között az m.Iowa értékek alapján ($p=0,000$; $F=28,322$). A Tukey HSD Post hoc teszt eredményei szerint a negatív kontroll minden kezeléstől szignifikánsan különbözik ($p<0,05$). A kezelések mindegyike jól

elkülönül a kontroll parcella esetében mért gyökérvisszarágottságtól. A kísérleti parcellák közül csak pár esetében található szignifikancia (p<0,05). A 150%-os dózisú kezelés szignifikánsan különbözik az 50%-os dózisú kezeléstől (SE=0,2445 pTukey=0,004) (34. táblázat).

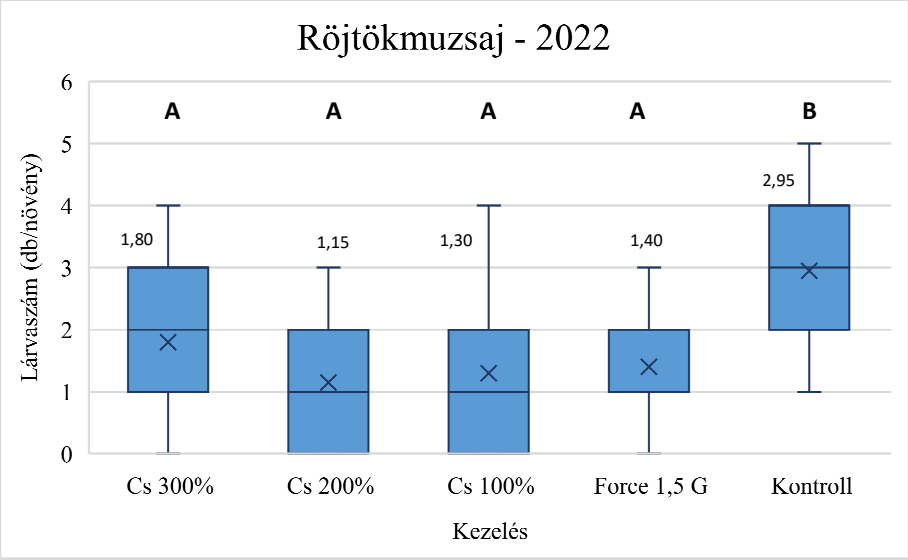
34. táblázat. A 2021-as hajdúvidi csávázásos kísérlet p értékei, átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Cs150	Cs125	Cs100	Cs75	Cs50	Force 1,5G	Kontroll
Cs150	-	1,000	0,332	0,724	**0,004**	0,919	**0,000**
Cs125	1,000	-	0,592	0,919	**0,016**	0,991	**0,000**
Cs100	0,332	0,592	-	0,996	0,659	0,948	**0,000**
Cs75	0,724	0,919	0,996	-	0,277	1,000	**0,000**
Cs50	**0,004**	**0,016**	0,659	0,277	-	0,117	**0,000**
Force 1,5G	0,919	0,991	0,948	1,000	0,117	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

3.2.5. A 2022. évi röjtökmuzsaji kísérlet

Röjtökmuzsajon a különböző koncentrációjú azadirachtinos kezeléseket és a kontrollokat (pozitív és negatív) összehasonlítva megállapítható, hogy a legnagyobb átlagos lárvaszám a negatív kontroll parcellán alakult ki (2,95±1,15 db/növény). Az azadirachtin hatóanyaggal kezelt területek közül a 300%-os (1,80±1,28 db/növény) kezelésben volt a legmagasabb az átlagos növényenkénti lárvaszám, melyet a 100%-os (1,30±1,13 db/növény) és a 200%-os (1,15±1,09 db/növény) kezelések követnek. A pozitív kontroll (Force 1,5G)

lárvaszáma 1,40±1,00 db/növény, ami a 300%-os és a 100%-os csávázási dóziskoncentrációk között helyezkedik el (27. ábra).



27. ábra. Átlagos növényenkénti lárvaszámok alakulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Röjtökmuzsaj 2022.

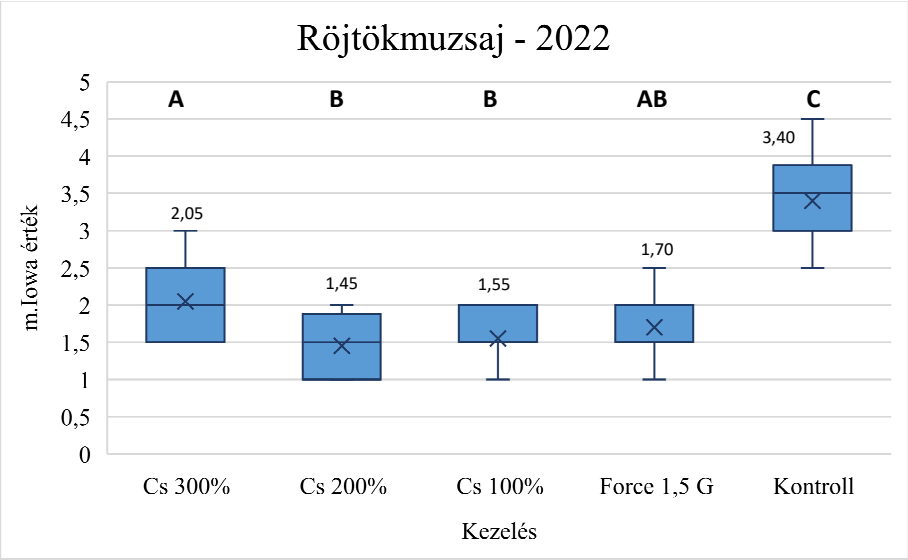
Az one-way ANOVA elemzés alapján megállapítható, hogy van legalább két olyan parcella, melyek között szignifikáns különbség van ($p<0,05$) a növényenkénti átlagos lárvaszám-értékek alapján ezen a területen ($p=0,000$; $F=8,286$). A Tukey HSD Post hoc teszt eredményei szerint a kontroll parcella a 300%-os ($p_{Tukey}=0,015$), a 200%-os ($p_{Tukey}=0,000$), a 100%-os ($p_{Tukey}=0,000$) azadirachtin hatóanyaggal és a Force 1,5G-vel ($p_{Tukey}=0,000$) kezelt parcelláktól egyaránt

szignifikánsan magasabb átlagos lárvaszám-értékkel jellemezhető. A kezelt parcellák között nincs statisztikailag igazolható különbség (35. táblázat).

35. táblázat. A 2022-as röjtökmuzsai csávázásos kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Cs 100%	Cs 200%	Cs 300%	Force 1,5G	Kontroll
Cs 100%	-	0,993	0,631	0,797	**0,015**
Cs 200%	0,993	-	0,371	0,956	**0,000**
Cs 300%	0,631	0,371	-	0,999	**0,000**
Force 1,5G	0,797	0,956	0,999	-	**0,000**
Kontroll	**0,015**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

A különböző koncentrációjú azadirachtin hatóanyaggal történő kezelések és a kontrollok (pozitív és negatív) összehasonlítása alapján a legjelentősebb átlagos gyökérkártétel a negatív kontroll parcellán alakult ki (3,40±0,53), amit a 300%-os (2,05±0,54), a Force 1,5G (1,70±0,44), a 100%-os (1,55±0,36) és a 200%-os (1,45±0,39) azadirachtin hatóanyaggal kezelt területek követnek. A kontroll parcellához képest minden kezelésben kisebb m.Iowa értékek voltak tapasztalhatóak (28. ábra).



28. ábra. Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Röjtökmuzsaj 2022.

A különbségek vizsgálatára alkalmazott one-way ANOVA elemzés eredménye szerint elmondható, hogy van legalább két olyan kezelés, melyek között szignifikáns különbség mutatható ki a gyökér-visszarágottság-értékek alapján (p=0,000; F=61,092). A Tukey HSD Post hoc teszt eredményei tükrében a negatív kontroll parcella a 300%-os (p_{Tukey}=0,000), a 200%-os (p_{Tukey}=0,000), a 100%-os (p_{Tukey}=0,000) azadirachtin hatóanyaggal és a Force 1,5G-vel (p_{Tukey}=0,000) kezelt parcelláktól egyaránt szignifikánsan magasabb gyökérvisszarágottság-értékkel jellemezhető. A 300%-os azadirachtin hatóanyaggal kezelt parcella szignifikánsan magasabb gyökérkárosítási értékkel jellemezhető, mint a 200%-os (p_{Tukey}=0,001) és a 100%-os (p_{Tukey}=0,007) hatóanyagokkal kezelt, de nem különbözik

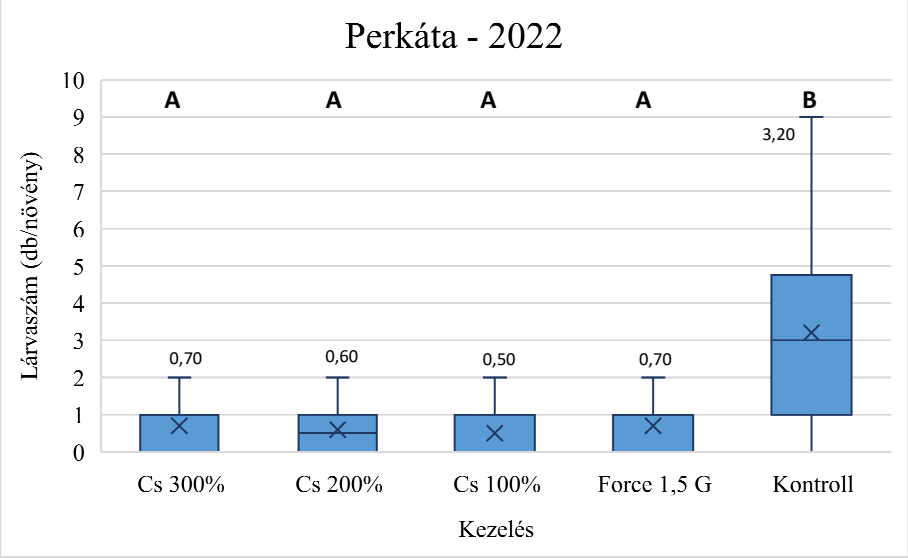
szignifikánsan a Force 1,5G hatóanyaggal kezelt területtől (p_{Tukey}=0,119) (36. táblázat).

36. táblázat. A 2022-as röjtökmuzsai csávázásos kísérlet p értékei, átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Cs 100%	Cs 200%	Cs 300%	Force 1,5G	Kontroll
Cs 100%	-	0,958	**0,007**	0,119	**0,000**
Cs 200%	0,958	-	**0,001**	0,421	**0,000**
Cs 300%	**0,007**	**0,001**	-	0,837	**0,000**
Force 1,5G	0,119	0,421	0,837	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

3.2.6. A 2022. évi perkátai kísérlet

Perkátán a különböző koncentrációjú azadirachtinos magkezelések és a kontrollok (pozitív és negatív) összehasonlítása alapján megállapítható, hogy a legmagasabb átlagos lárvaszámmal a negatív kontroll parcella jellemezhető (3,20±2,46 db/növény). A kezelések átlagos lárvaszáma a negatív kontrollnál lényegesen kisebb. A kezelt területek közül a 300%-os (0,70±0,73 db/növény) azadirachtin hatóanyaggal csávázott és a Force 1,5G hatóanyaggal kezelt (0,70±0,66 db/növény) parcellán volt a legtöbb lárva, amit a 200%-os (0,60±0,68 db/növény) és a 100%-os (0,50±0,76 db/növény) kezelések követnek (29. ábra).



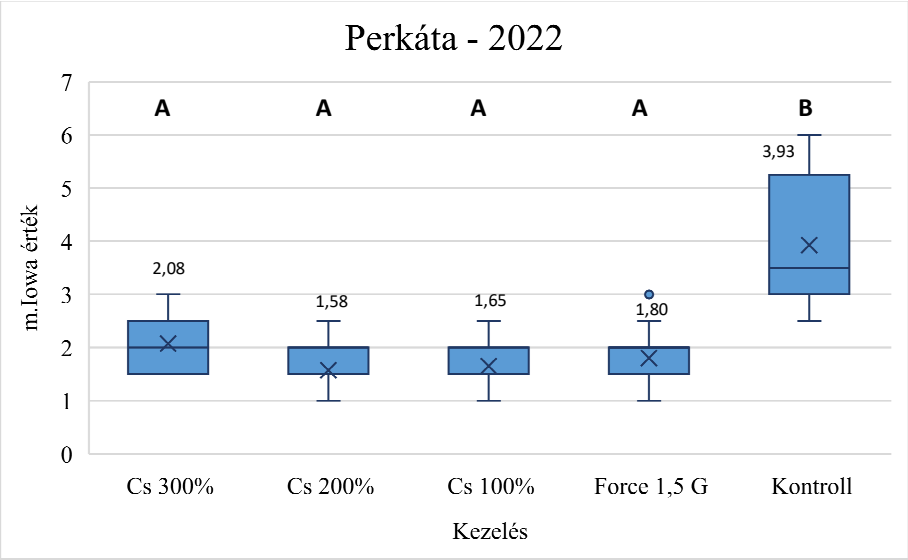
29. ábra. Átlagos növényenkénti lárvaszámok alakulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Perkáta 2022.

A one-way ANOVA elemzés alapján biztosak lehetünk abban, hogy a kísérlet során vannak olyan kezelések, melyek között statisztikailag igazolható különbség van (p=0,000; F=16,510). A Tukey HSD Post hoc teszt eredményei szerint megállapítható, hogy a negatív kontroll minden kezelt parcellától szignifikánsan eltér a vizsgált paraméter tekintetében (p<0,05). A kezelt parcellák (csávázások és Force 1,5G) azonban nem mutatnak szignifikanciát egymáshoz képest. Összességében a kezelt parcellák szignifikánsan alacsonyabb átlagos növényenkénti lárvaszám-értékkel jellemezhetők, mint a kezeletlen kontroll parcella (37. táblázat).

37. táblázat. A 2022-as perkátai csávázásos kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Cs 100%	Cs 200%	Cs 300%	Force 1,5G	Kontroll
Cs 100%	-	0,999	0,987	1,000	**0,000**
Cs 200%	0,999	-	0,999	0,999	**0,000**
Cs 300%	0,987	0,999	-	0,987	**0,000**
Force 1,5G	1,000	0,999	0,987	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

Perkáta mintaterület esetében a különböző koncentrációjú azadirachtin hatóanyaggal történő kezelések és a kontrollok (pozitív és negatív) összehasonlítása alapján a legnagyobb átlagos gyökérvisszarágottság a kontroll parcellán alakult ki (3,93±1,23) , amit a 300%-os (2,08±0,49), a Force 1,5G-vel (1,80±0,57), a 100%-os (1,65±0,40) és a 200%-os (1,58±0,41) azadirachtin hatóanyaggal kezelt területek követnek. A negatív kontroll parcella esetében a gyökérvisszarágottság értéke meghaladja a gazdasági kár határának tekintett 3,5-ös m. Iowa -skála értéket, míg a kezelt parcellák esetében ezen küszöbérték alatt marad (30. ábra).



30. ábra. Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Perkáta 2022.

A különbségek vizsgálatára alkalmazott one-way ANOVA elemzés eredménye alapján van legalább két olyan parcella, melyek között szignifikáns különbség mutatható ki (p=0,000; F=39,989). A Tukey HSD Post hoc teszt eredményeire támaszkodva a kontroll parcella a 300%-os (p_{Tukey}=0,000), a 200%-os (p_{Tukey}=0,000), a 100%-os (p_{Tukey}=0,000) azadirachtin hatóanyaggal és a Force 1,5G-vel (p_{Tukey}=0,000) kezelt parcelláktól egyaránt szignifikáns eltérést mutat. A kezelt parcellák között nem mutatható ki statisztikailag igazolható különbség, vagyis az eltérő koncentrációjú azadirachtin hatóanyaggal és a Force 1,5G-vel történő kezelések ugyanolyan hatékonynak bizonyultak. Összességében megállapítható, hogy a különböző koncentrációjú azadirachtin hatóanyaggal, valamint a Force 1,5G

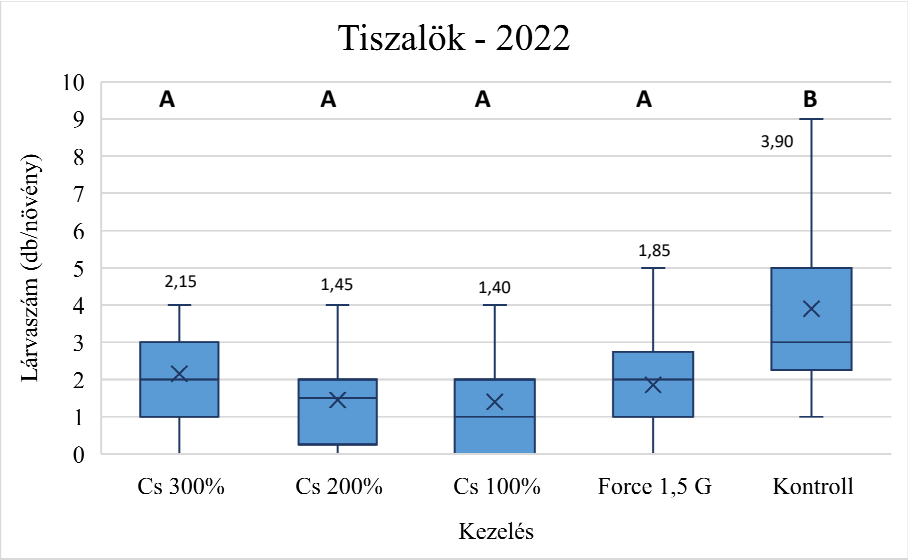
hatóanyaggal történő kezeléseknél a gyökérvisszarágottság értéke szignifikánsan kisebb, mint a negatív kontroll területen (38. táblázat).

38. táblázat. A 2022-as perkátai csávázásos kísérlet p értékei, átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Cs 100%	Cs 200%	Cs 300%	Force 1,5G	Kontroll
Cs 100%	-	0,997	0,304	0,72	**0,000**
Cs 200%	0,997	-	0,160	0,843	**0,000**
Cs 300%	0,304	0,160	-	0,959	**0,000**
Force 1,5G	0,72	0,843	0,959	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

3.2.7. A 2022. évi tiszalöki kísérlet

A Tiszalökön beállított csávázásos kísérlet eredménye alapján a vizsgált parcellák közül a legmagasabb átlagos növényenkénti lárvaszámmal a negatív kontrollparcella jellemezhető (3,90±2,13 db/növény), amit a 300%-os (2,15±1,23 db/növény) azadirachtin hatóanyaggal kezelt, a Force 1,5G hatóanyaggal kezelt (1,85±1,31 db/növény), a 200%-os (1,45±1,15 db/növény) és a 100%-os (1,40±1,23 db/növény) azadirachtin hatóanyaggal kezelt parcellák követnek (31. ábra).



31. ábra. Átlagos növényenkénti lárvaszám alakulása
az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Tiszalök 2022.

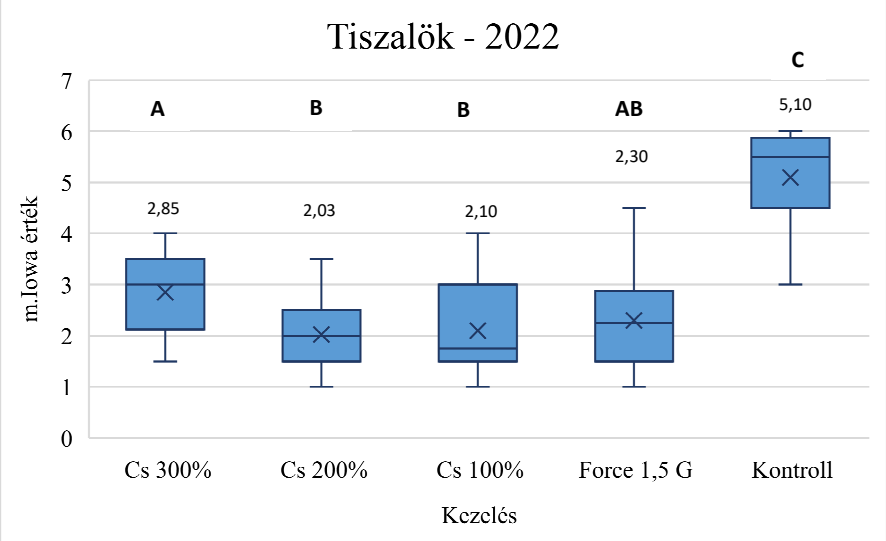
Az one-way ANOVA elemzés szerint megállapítható, hogy van legalább két olyan parcella, melyek között szignifikáns különbség tapasztalható ($p<0,05$) a növényenkénti átlagos lárvaszám-értékek vonatkozásában Tiszalök mintaterületen ($p=0,000$; $F=9,955$). A Tukey HSD Post hoc teszt eredményei azt mutatják, hogy a kontroll parcella a 300%-os ($p_{Tukey}=0,002$), a 200%-os ($p_{Tukey}=0,000$), a 100%-os ($p_{Tukey}=0,000$) azadirachtin hatóanyaggal és a Force 1,5G-vel ($p_{Tukey}=0,000$) kezelt területektől egyaránt szignifikánsan nagyobb átlagos lárvaszámmal jellemezhető. A kezelt parcellák nem különböznek egymástól szignifikánsan. Összességében a különböző koncentrációjú azadirachtin hatóanyaggal, és a Force 1,5G hatóanyaggal kezelt parcellákon tapasztalt lárvaszám szignifikánsan

kisebb, mint a kezeletlen kontroll parcellában. Az azadirachtinos csávázás nem mutat szignifikanciát a pozitív kontrollnak tekintett Force 1,5G-s kezeléstől (39. táblázat).

39. táblázat. A 2022-as tiszalöki csávázásos kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Cs 100%	Cs 200%	Cs 300%	Force 1,5G	Kontroll
Cs 100%	-	1,000	0,481	0,966	**0,002**
Cs 200%	1,000	-	0,550	0,907	**0,000**
Cs 300%	0,481	0,550	-	0,864	**0,000**
Force 1,5G	0,966	0,907	0,864	-	**0,000**
Kontroll	**0,002**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

A különböző koncentrációjú azadirachtinos csávázások és a kontrollok (pozitív és negatív) összehasonlítása alapján a legmagasabb átlagos gyökérvisszarágottsággal a negatív kontroll parcella (5,10±0,90) jellemezhető, amit a 300%-os (2,85±0,83), a Force 1,5G-vel (2,30±0,89), a 100%-os (2,10±0,87) és a 200%-os (2,03±0,68) azadirachtin hatóanyaggal kezelt kísérleti parcellák követnek (32. ábra). A kontroll parcellán a a gyökérkárosítás elérte az 5,1 értéket, ami jelentősen meghaladja a gazdasági kár határának tekintett 3,5-ös m.Iowa értéket. A kontrollhoz képest minden kezelt parcellán kisebb m.Iowa értékek alakultak ki, azaz a kontrollhoz viszonyítva a kezelt parcellákban kisebb a kukoricabogár lárvája által okozott kár.



32. ábra. Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Tiszalök 2022.

A különbségek vizsgálatára alkalmazott one-way ANOVA elemzés eredménye alapján arra következtethetünk, hogy van legalább két olyan kezelés, melyek között szignifikáns különbség mutatható ki a gyökérvisszarágottság-értékek tekintetében (p=0,000; F=47,117). A Tukey HSD Post hoc teszt eredményei azt szemléltetik, hogy a kontroll parcella a 300%-os (p_{Tukey}=0,000), a 200%-os (p_{Tukey}=0,000), a 100%-os (p_{Tukey}=0,000) azadirachtin hatóanyaggal és a Force 1,5G-vel (p_{Tukey}=0,000) kezelt parcelláktól egyaránt szignifikánsan nagyobb gyökérvisszarágottság-értékeket mutat. Ezen túlmenően a 300%-os azadirachtinnal csávázott parcella szignifikánsan nagyobb gyökérvisszarágottsággal jellemezhető, mint a 200%-os (p_{Tukey}=0,020)

és a 100%-os (p_{Tukey}=0,044) koncentrációval kezelt parcellák (40. táblázat).

40. táblázat. A 2022-as tiszalöki kísérlet p értékei, átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05.

	Cs 100%	Cs 200%	Cs 300%	Force 1,5G	Kontroll
Cs 100%	-	0,999	**0,044**	0,943	**0,000**
Cs 200%	0,999	-	**0,020**	0,837	**0,000**
Cs 300%	**0,044**	**0,020**	-	0,238	**0,000**
Force 1,5G	0,943	0,837	0,238	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

3.2.8. A csávázásos kezelések eredményeinek értelmezése

A Diabrotica lárvája elleni védekezést nagymértékben megnehezíti az a tény, hogy a kukorica vetése és az áttelelő tojásokból kikelő lárvák megjelenése között hosszú idő telik el (5–8 hét), ebből kifolyólag előtérbe kerülnek a hosszú tartamhatással rendelkező, a rezisztencia kialakulásának ütemét csökkentő biopeszticidek. Az azadirachtin hatóanyaggal folytatott vizsgálataim során arra voltam kíváncsi, hogy megfelelő tartamhatással és hatékonysággal rendelkezik-e ez a botanikai inszekticid, ha csávázásos techológiával viszem fel a vetőmagmag felszínére.

Három éven keresztül, több helyszínen, különböző lárvadenzitás alatt álló területeken folytattam kutatásokat a témával kapcsolatban.

Gyömörén 2020-ban igazoltam, hogy ez a hatóanyag csávázásos technológiával alkalmazva képes felvenni a harcot a kukoricabogár lárvájával szemben és mérsékelni tudja a kialakuló gyökérkárosítás mértékét. A gyömörei mintaterület – ahogy a kontroll parcella m.Iowa-skála értékéből kiderül (3,23) – szerényebb lárvanyomás alatt áll. Ezen vizsgálatba vont helyszínen a kezelések 50%-os dóziskoncentráció felett mutattak jó hatást a lárvával szemben, melyek a pozitív kontrollként alkalmazott teflutrin hatóanyagú Force 1,5 G készítménnyel azonos hatékonyságot prezentáltak.

2021-ben Röjtökmuzsajon, Gyömörén és Hajdúviden végeztem kísérleteket. A mintaterületek közül Röjtökmuzsaj és Hajdúvid jellemezhető a legnagyobb lárvapopulációval, ami megmutatkozik a kezeletlen parcellákon tapasztalt m.Iowa-skála értékekből is, Röjtökm□zsaj: 3,55; Hajdúvid: 4,42. A tenyészidőszakban heti rendszereséggel végeztem szántóföldi szemrevételezést és kimondottan az alföldi területen azt tapasztaltam, hogy az 50–100%-ig alkalmazott csávázási dóziskoncentrációkkal bevetett parcellákban – annak ellenére, hogy a növények szépen fejlődtek – a száron enyhe megdőlési tünetek voltak láthatók (sokkal kisebb mértékben, mint a kezeletlen kontroll parcellán), melyek nem voltak megfigyelhetők a két magasabb dózissal (125%, 150%) kezelt területen. Az általam végzett megfigyelést a statisztika is igazolta, ugyanis a legjobb eredményt – még a pozitív kontroll parcellát is megelőzve – a 125% és 150%-os dóziskoncentrációval kezelt magvak esetében lehetett kimutatni. Ez alapján az a konklúzió volt levonható, hogy ott, ahol kimagasló a

kukoricabogár-populáció, még nagyobb csávázási dózisokra lehet szükség, ami segített a 2022-es kísérletek megtervezésében. 2022-ben tehát olyan területket választottam vizsgálataim helyszínéül, ahol a várható lárvasűrűség magas lesz és így teszteltem a 100%-os, 200%-os, valamint a 300%-os csávázási dóziskoncentrációkat.

Nagy meglepetésemre ez a kísérleti év különös dolgokat eredményezett. Rendkívüli aszály uralkodott az egész ország területén, különösen az alföldi tájegységen, de érzékelhető volt a nyugat-dunántúli területen is. Szántóföldi szemrevételezéseim alkalmával megfigyeltem, hogy különösen a 300%-os dózisnál egyenletlenül, későn keltek a növények. A perkátai terület idővel csapadékot kapott és a növények fejlődésbeli lemaradottsága a tenyészidőszak közepére eltűnt, ez nem mondható el a tiszalöki és a röjtökmuzsaji területekről, ezt a tényt alátámasztja a kísérlet statisztikai vizsgálata is, ahol mind a két említett területen a 300%-os kezelés szignifikánsan rosszabb eredményt mutatott, mint a 100%-os és a 200%-os csávázási dóziskoncentrációk. Erősen elgondolkodtatott, hogy mi lehet az oka annak, hogy egy nagyobb hatóanyagmennyiséggel kezelt mag miért mutat gyengébb hatékonyságot a kártevő ellen. Arra a következtetésre jutottam, hogy ez csak a felhasznált készítmény formulációjából adódhat. A Neemazal F 5% azadirachtin hatóanyagú termék 95%-a növényi olaj, ez került felvitelre nagy koncentrációban a vetőmag felszínére. A nagy olajkoncentráció és a csapadékban szegény időjárás együttes hatására a csírázó mag vízfelvétele nehéz volt, ezért alakult ki az egyenletlen kelés. A még fejletlen, fiatal kukoricanövényeket a

nagyobb fejlődésű stádiumban lévő kukoricabogár-lárvák (L2; L3) jobban károsították. Ezen szélsőséges esetek ellenére is elmondható, hogy a 300%-os csávázási dóziskoncentráció is szignifikánsan jobb eredményt hozott, mint a kezeletlen kontroll parcella.

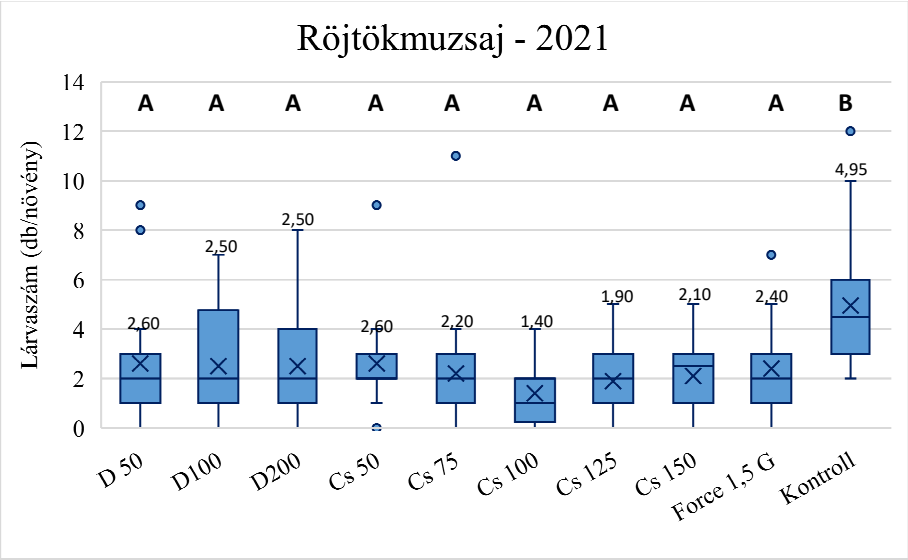
Kezdeti hipotézisem itt is beigazolódott, mely szerint az azadirachtin megfelelő koncentrációban csávázva, hosszú tartamhatással rendelkezik, így biztos védelmet nyújt az amerikai kukoricabogár lárvájával szemben.

3.3. A KÉT BIOLÓGIAI ÁGENS HATÉKONYSÁGÁNAK ÖSSZEVETÉSE

2021-ben Gyömörén és Röjtökmuzsajon, 2022-ben Röjtökmuzsajon és Perkátán ugyanazon a kísérleti helyszíneken végeztem fonálférges, mind pedig azadirachtinos csávázásos kísérleteket. Meglátásom szerint célszerű elvégezni a két biológiai készítmény összehasonlító elemzését egymáshoz mért hatékonyságuk szempontjából is.

3.3.1. A 2021. évi röjtökmuzsaji összehasonlító kísérlet

Röjtökmuzsajon a 2021-es évben végzett kezelések közül a kezeletlen kontroll parcellán volt a legtöbb lárva (4,95±2,68 lárva/növény). A kezelt parcellák közül a legnagyobb lárvaszám-értékkel a Dianem 50-nel (2,60±2,39 lárva/növény) kezelt terület jellemezhető, ezt az 50%-os azadirachtin hatóanyaggal (2,60±1,85 lárva/növény), a Dianem 100-zal (2,50±2,07 lárva/növény), a Dianem 200-zal (2,50±2,12 lárva/növény), a Force 1,5G-vel (2,40±1,79 lárva/növény), a 75%-os, (2,20±2,42 lárva/növény), a 150%-os (2,10±1,59 lárva/növény), a 125%-os azadirachtin hatóanyaggal (1,90±1,41 lárva/növény) kezelt parcellák követik. A legkevesebb lárva a 100%-os koncentrációval (1,40±1,19 lárva/növény) kezelt parcella esetében volt tapasztalható. Az eredmények alapján a vizsgált parcellák mindegyike jól elkülönül a negatív kontroll parcellától (33. ábra).



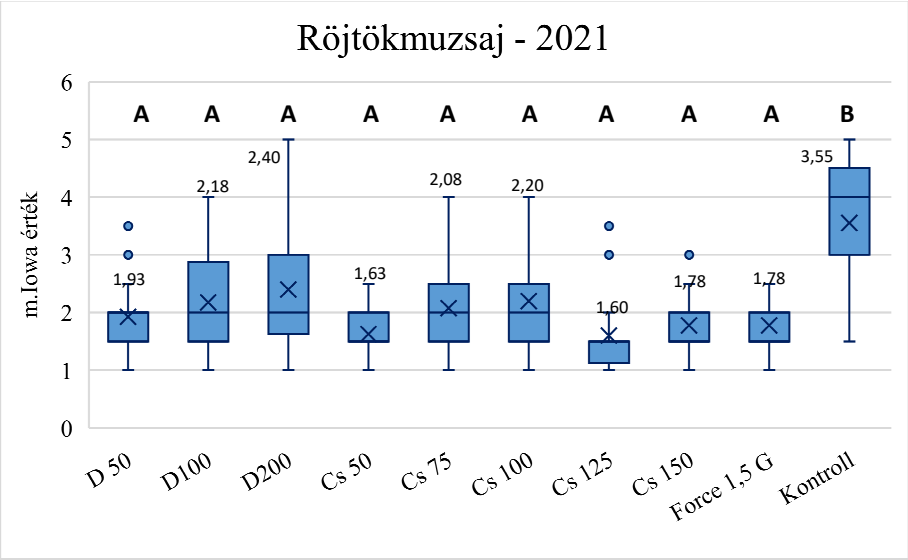
33. ábra. Átlagos növényenkénti lárvaszámok alakulása a két biológiai készítmény alkalmazását követően, Röjtökmuzsaj 2021.

A kontroll- és a kezelt parcellák közötti különbségek statisztikai alapon történő vizsgálatához one-way ANOVA elemzést végeztem, melyet Tukey Post hoc teszttel egészítettem ki. Az elemzés eredményei alapján ezen a területen a 2021-es évben a vizsgált parcellák között van legalább két olyan terület, melyek szignifikánsan különböznek egymástól a lárvaszám-értékek alapján 5%-os szignifikanciaszinten (p=0,001; F=4,356). A Tukey Post hoc teszt eredményei alapján megállapítható, hogy a kezelések mindegyike (Dianem 50, 100, 200, Cs50, Cs75, Cs100, Cs125, Cs150, Force 1,5G) szignifikánsan különbözik a kontroll parcellától, azonban az egyes vizsgált kezelések között nincs statisztikailag igazolható különbség (41. táblázat).

41. táblázat. A két biológiai készítmény hatékonyságának összehasonlítása következtében alakuló p értékek a lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05, Röjtökmuzsaj 2021.

	D50	D100	D200	Cs50	Cs75	Cs100	Cs125	Cs150	Force1,5G	Kontroll
D50	-	1,000	1,000	1,000	1,000	0,672	0,984	0,999	1,000	**0,010**
D100	1,000	-	1,000	1,000	1,000	0,772	0,995	1,000	1,000	**0,006**
D200	1,000	1,000	-	1,000	1,000	0,772	0,995	1,000	1,000	**0,006**
Cs50	1,000	1,000	1,000	-	1,000	0,672	0,984	0,999	1,000	**0,010**
Cs75	1,000	1,000	1,000	1,000	-	0,960	1,000	1,000	1,000	**0,001**
Cs100	0,672	0,772	0,772	0,672	0,960	-	0,999	0,984	0,856	**0,000**
Cs125	0,984	0,995	0,995	0,984	1,000	0,999	-	1,000	0,999	**0,000**
Cs150	0,999	1,000	1,000	0,999	1,000	0,984	1,000	-	1,000	**0,000**
Force1,5G	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,856	0,999	1,000	-	**0,003**
Kontroll	**0,010**	**0,006**	**0,006**	**0,010**	**0,001**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,003**	-

Röjtökmuzsajon 2021-ben a legmagasabb gyökérvisszarágottság-értéket (m.Iowa érték) a kezelésben nem részesült kontroll parcellán tapasztaltam (m.Iowa: 3,55±1,07). Ez az érték meghaladja a gazdasági kár határának tekintett 3,5-ös ökonómiai küszöbhatárt. A kezelt parcellák esetében a gyökérvisszarágottság értéke a gazdasági kár határértéke alatt van. A legmagasabb m.Iowa érték (2,40±1,08) a Dianem 200-zal kezelt területen alakult ki. A legalacsonyabb m.Iowa értéket a 125%-os azadirachtin koncentrációval kezelt területen tapasztaltam (1,60±0,64) (34. ábra). Mivel a kezelések mindegyike a gyökérvisszarágottságot a gazdasági kár határértéke alatt tartotta, megállapítható, hogy minden kezelés csökkentette a gyökérkár kialakulását.



34. ábra. Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása
a két biológiai készítmény alkalmazását követően, Röjtökmuzsaj 2021

A kezelések közötti különbségek vizsgálatához one-way ANOVA elemzést végeztem, mely alapján megállapítható, hogy van legalább két olyan parcella, melyek szignifikánsan különböznek egymástól az átlagos m.Iowa értékek alapján (p=0,000; F=10,923). A Tukey Post hoc teszt elvégzését követően elmondható, hogy a kezelések mindegyike szignifikánsan alacsonyabb gyökérvisszarágottság-értékkel jellemezhető, mint a negatív kontrollparcella. A negatív kontroll minden kezelt területtől szignifikánsan különbözik az átlagos gyökérvisszarágottság (m.Iowa) alapján. A kezelések között azonban nem mutatható ki szignifikáns különbség (42. táblázat).

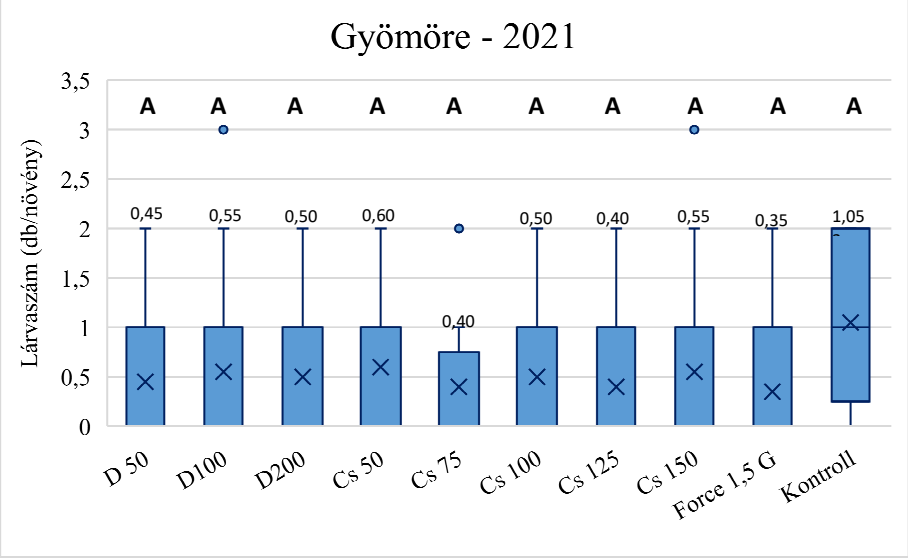
42. táblázat. A két biológiai készítmény hatékonyságának összehasonlítása során alakuló p értékek a gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05, Röjtökmuzsaj 2021.

	D50	D100	D200	Cs50	Cs75	Cs100	Cs125	Cs150	Force1,5G	Kontroll
D50	-	0,990	0,637	0,967	1,000	0,981	0,945	1,000	1,000	**0,000**
D100	0,990	-	0,996	0,424	1,000	1,000	0,358	0,827	0,827	**0,000**
D200	0,637	0,996	-	0,054	0,945	0,998	0,040	0,243	0,243	**0,000**
Cs50	0,967	0,424	0,054	-	0,706	0,358	1,000	1,000	1,000	**0,000**
Cs75	1,000	1,000	0,945	0,706	-	1,000	0,637	0,967	0,967	**0,000**
Cs100	0,981	1,000	0,998	0,358	1,000	-	0,297	0,770	0,770	**0,000**
Cs125	0,945	0,358	0,040	1,000	0,637	0,297	-	0,999	0,999	**0,000**
Cs150	1,000	0,827	0,243	1,000	0,967	0,770	0,999	-	1,000	**0,000**
Force1,5G	1,000	0,827	0,243	1,000	0,967	0,770	0,999	1,000	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

3.3.2. A 2021. évi gyömörei összehasonlító kísérlet

Gyömörén a 2021-ben vizsgált parcellák közül a kezeletlen kontroll parcellán volt a legnagyobb növényenkénti lárvaszám (1,05±0,76 lárva/növény). A kezelt parcellák közül a legtöbb lárvát az 50%-os koncentrációval kezelt területen találtam (0,60±0,75 lárva/növény). Ezt a Dianem 100-zal (0,55±0,89 lárva/növény), a 150%-os azadirachtin hatóanyaggal (0,55±0,95 lárva/növény), a Dianem 200-zal (0,50±0,89 lárva/növény), a 100%-os azadirachtin hatóanyaggal (0,50±0,69 lárva/növény), a Dianem 50-nel (0,45±0,61 lárva/növény), a 75%-os azadirachtin hatóanyaggal (0,40±0,75 lárva/növény) és a 125 %-os azadirachtin hatóanyaggal (0,40±0,60 lárva/növény) kezelt parcellák követik. A legkevesebb lárva a Force 1,5G-vel kezelt parcellán fordult elő (0,35±0,59 lárva/növény). Az eredmények alapján

a kezelt parcellák mindegyike elkülönül a negatív kontroll parcellán kialakult növényenkénti lárvaszámoktól (35. ábra).



35. ábra. Átlagos növényenkénti lárvaszám alakulása
a két biológiai készítmény alkalmazását követően, Gyömöre 2021.

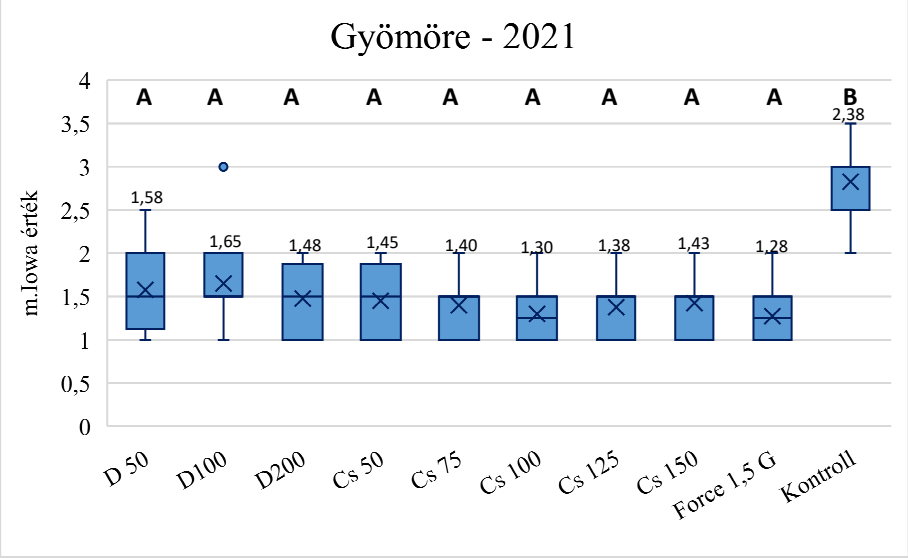
Az ANOVA elemzés alapján megállapítható, hogy 5%-os szignifikanciaszint mellett nincs szignifikáns különbség a parcellák között a lárvaszám-értékek tekintetében a gyömörei mintaterületen (p=0,209; F=1,36) (43. táblázat).

43. táblázat. A két biológiai készítmény hatékonyságának összehasonlítása során alakuló p értékek a lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05, Gyömöre 2021.

	D50	D100	D200	Cs50	Cs75	Cs100	Cs125	Cs150	Force1,5G	Kontroll
D50	-	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,271
D100	1,000	-	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	0,537
D200	1,000	1,000	-	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,395
Cs50	1,000	1,000	1,000	-	0,998	1,000	0,998	1,000	0,989	0,682
Cs75	1,000	1,000	1,000	0,998	-	1,000	1,000	1,000	1,000	0,174
Cs100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	1,000	1,000	1,000	0,395
Cs125	1,000	1,000	1,000	0,998	1,000	1,000	-	1,000	1,000	0,174
Cs150	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	0,998	0,537
Force1,5G	1,000	0,998	1,000	0,989	1,000	1,000	1,000	0,998	-	0,106
Kontroll	0,271	0,537	0,395	0,682	0,174	0,395	0,174	0,537	0,106	-

A gyökérkártétel mértéke a kezeletlen kontroll parcellán volt a legnagyobb (2,83 ±0,47). A második legmagasabb átlagos gyökérvisszarágottságot a Dianem 100-zal kezelt parcella esetében tapasztaltam (1,65±0,46), melyet a Dianem 50-nel (1,58±0,47), a Dianem 200-zal (1,48±0,38), az 50%-os azadirachtin hatóanyaggal (1,45±0,39), a 150%-os azadirachtin hatóanyaggal (1,43±0,37), a 75%-os azadirachtin hatóanyaggal (1,40±0,35), a 125%-os azadirachtin hatóanyaggal (1,38±0,39) és a 100%-os azadirachtin hatóanyaggal (1,30±0,34) kezelt parcellák követnek. A legalacsonyabb m.Iowa értéket a Force 1,5G-vel kezelt terület eredményezte (1,28±0,30). A

vizsgálatba vont készítmények a negatív kontroll parcellához képest jelentősen csökkentették a gyökérkártételt (36. ábra).



36. ábra. Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása a két biológiai készítmény alkalmazását követően, Gyömöre 2021.

A statisztikai elemzés alapján megállapítható, hogy a vizsgált parcellák között van legalább két olyan terület, melyek szignifikánsan különböznek egymástól 5%-os szignifikanciaszinten (p=0,000; F=26,225). A Tukey Post hoc teszt eredményei alapján elmondható, hogy a kezelések mindegyike szignifikánsan alacsonyabb gyökérvisszarágottság-értékkel jellemezhető, mint a kontroll parcella. A kezelések között azonban nem mutatható ki szignifikáns különbség,

tehát a vizsgált kilenc kezelés ugyanolyan hatékonynak tekinthető (44. táblázat).

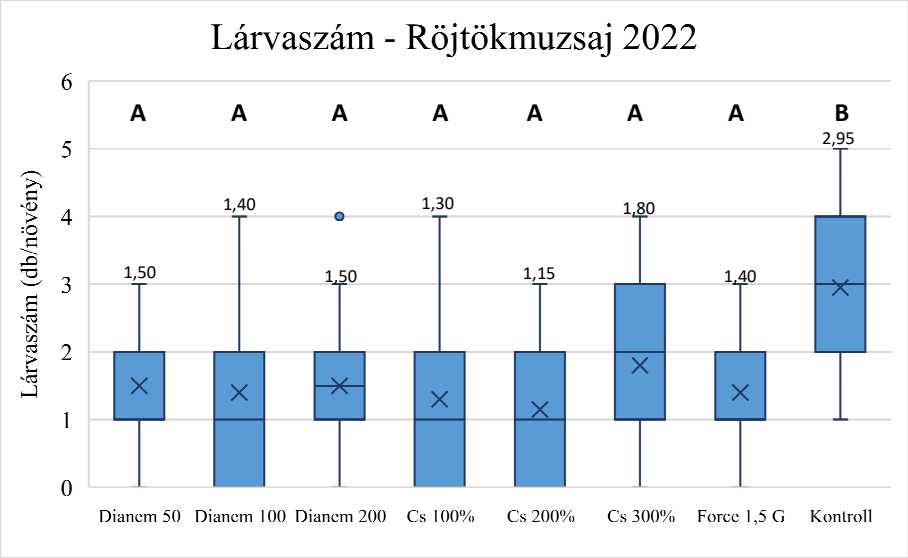
44. táblázat. A két biológiai készítmény hatékonyságának összehasonlítása során alakuló p értékek a gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05, Gyömöre 2021.

	D50	D100	D200	Cs50	Cs75	Cs100	Cs125	Cs150	Force1,5G	Kontroll
D50	-	1,000	0,999	0,992	0,927	0,464	0,849	0,972	0,335	**0,000**
D100	1,000	-	0,927	0,849	0,603	0,146	0,464	0,737	0,089	**0,000**
D200	0,999	0,927	-	1,000	1,000	0,927	0,999	1,000	0,849	**0,000**
Cs50	0,992	0,849	1,000	-	1,000	0,972	1,000	1,000	0,927	**0,000**
Cs75	0,927	0,603	1,000	1,000	-	0,999	1,000	1,000	0,992	**0,000**
Cs100	0,464	0,146	0,927	0,972	0,999	-	1,000	1,000	0,999	**0,000**
Cs125	0,849	0,464	0,999	1,000	1,000	1,000	-	1,000	0,972	**0,000**
Cs150	0,972	0,737	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	0,972	**0,000**
Force1,5G	0,335	0,089	0,849	0,927	0,992	0,999	0,972	0,972	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

3.3.3. A 2022. évi röjtökmuzsaji összehasonlító kísérlet

2022-ben Röjtökmuzsajon a legnagyobb lárvaszámot a kontroll parcellán tapasztaltam (2,9±1,15 lárva/növény), melyet a 300%-os koncentrációjú azadirachtinnal (1,80±1,28 lárva/növény), a Dianem 50-nel (1,50±0,89 lárva/növény), Dianem 200-zal (1,5±1,10 lárva/növény) és Dianem 100-zal (1,4±1,23 lárva/növény) kezelt területek követnek.

A pozitív kontrollként alkalmazott Force 1,5G-s kezelések átlagos lárvaszáma 1,4(±0,99) lárva/növény. A legkevesebb lárva 100%-os (1,30±1,13 lárva/növény) és a 200%-os (1,15±1,09 lárva/növény) koncentrációjú azadirachtin hatóanyaggal kezelt területeken fordult elő. Minden kezelt parcella a kontrollhoz viszonyítva alacsonyabb lárvaszám-értékkel jellemezhető (37. ábra).



37. ábra. Átlagos növényenkénti lárvaszám alakulása
a két biológiai készítmény alkalmazását követően, Röjtökmuzsaj 2022.

A statisztikai elemzés (one-way ANOVA) alapján elmondható, hogy szignifikáns különbség van ($p<0,05$) a parcellák között a növényenkénti átlagos lárvaszám értékek alapján ($p=0,000$; $F=5,184$).

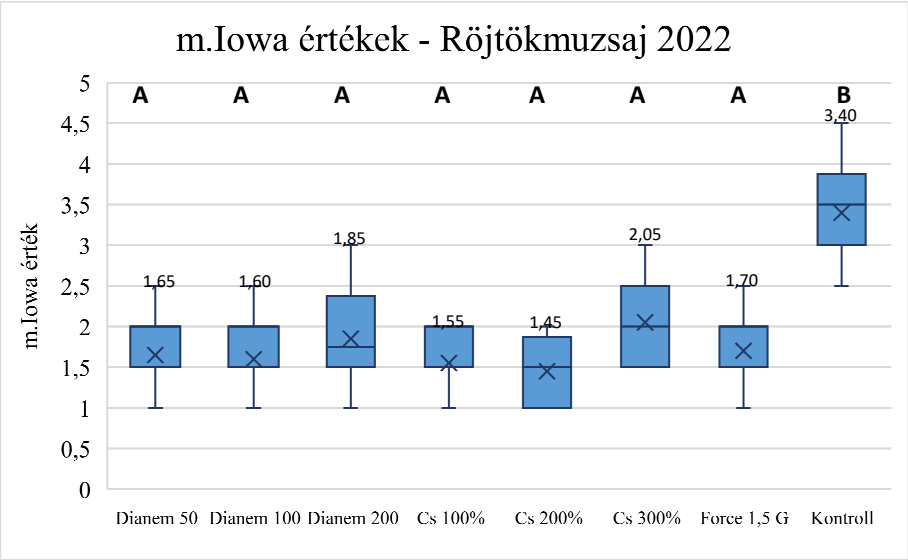
A Post hoc teszt eredményeit figyelembe véve, megállapítható, hogy a kezelések mindegyike szignifikánsan különbözik a negatív kontrolltól (SE=0,35, p_{Tukey}=0,000 - p_{Tukey}=0,029). Tehát a kezelt parcellák a kontrollhoz képest szignifikánsan kisebb lárvaszámmal jellemezhetők. A kezelések között nincs statisztikailag igazolható különbség, ebből arra következtethetünk, hogy az összes vizsgált kezelés hatékonyan vette fel a harcot a kártevő lárvaalakjával szemben (45. táblázat).

45. táblázat. A két biológiai készítmény hatékonyságának összehasonlítása során alakuló p értékek a lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05, Röjtökmuzsaj 2022.

	D50	D100	D200	Cs100	Cs200	Cs300	Force 1,5G	Kontroll
D50	-	1,000	1,000	0,999	0,975	0,990	1,000	**0,002**
D100	1,000	-	1,000	1,000	0,997	0,948	1,000	**0,001**
D200	1,000	1,000	-	0,999	0,975	0,990	1,000	**0,002**
Cs100	0,999	1,000	0,999	-	1,000	0,847	1,000	**0,000**
Cs200	0,975	0,997	0,975	1,000	-	0,59	0,997	**0,000**
Cs300	0,990	0,948	0,990	0,847	0,590	-	0,948	**0,029**
Force 1,5G	1,000	1,000	1,000	1,000	0,997	0,948	-	**0,001**
Kontroll	**0,002**	**0,001**	**0,002**	**0,000**	**0,000**	**0,029**	**0,001**	-

A gyökérvisszarágottsági vizsgálatokat illetően elmondható, hogy a kontroll parcellán volt mérhető a legmagasabb átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság (m.Iowa: 3,40±0,53). A második legnagyobb mértékű gyökérkártétel a 300%-os koncentrációjú azadirachtinos

parcella esetén volt tapasztalható (m.Iowa: 2,05±0,54), amit a különböző mennyiségű vízzel kijutatott fonálférges kezelések követtek. A legenyhébb átlagos gyökérvisszarágottsággal a 100%-os (m.Iowa: 1,55±0,36) és a 200%-os (m.Iowa: 1,45±0,39) koncentrációjú azadirachtinnal kezelt területek jellemezhetők. A kezelések mindegyike jól elkülönül a kontrolltól az m.Iowa értékek alapján. A kontrollhoz képest a legnagyobb különbség (1,95-dal alacsonyabb m.Iowa érték) a 200%-os koncentrációjú azadirachtinos parcella esetében alakult ki (38. ábra).



38. ábra. Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása a két biológiai készítmény alkalmazását követően, Röjtökmuzsaj 2022.

A növényenkénti átlagos gyökérvisszarágottság (m.Iowa értékek) alapján a vizsgált parcellák szignifikánsan eltérnek egymástól (p=0,000; F=37,600). A Post hoc teszt eredményei szerint a kontroll-parcella minden kezelt területtől szignifikánsan különbözik (p<0,05) (SE=0,15, p_{Tukey}=0,000). Az egyes kezelések között nincs szignifikáns különbség (p>0,05), ami arra utal, hogy a kezelések gyökérvisszarágottságra gyakorolt hatása közel megegyező (46. táblázat).

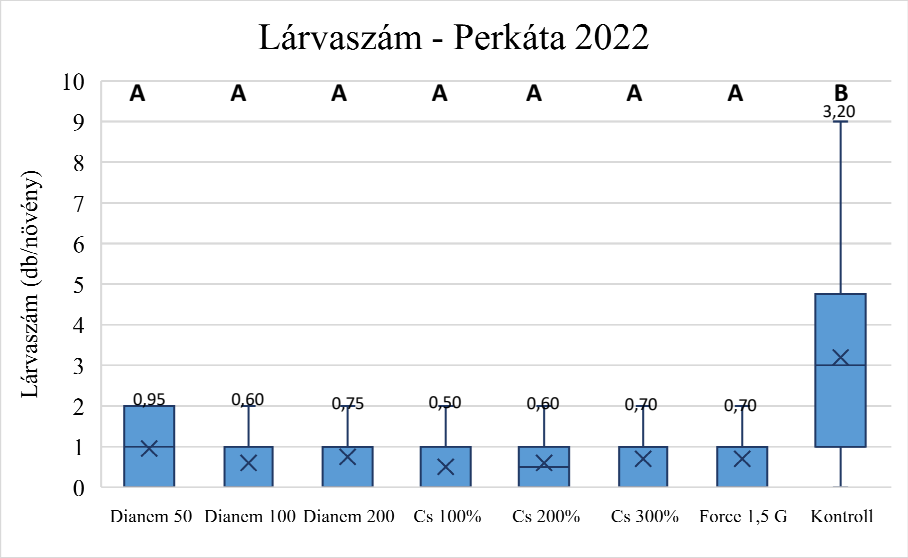
46. táblázat. A két biológiai készítmény hatékonyságának összehasonlítása során alakuló p értékek a gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05, Röjtökmuzsaj 2022.

	D50	D100	D200	Cs100	Cs200	Cs300	Force 1,5G	Kontroll
D50	-	1,000	0,868	0,997	0,868	0,117	1,000	**0,000**
D100	1,000	-	0,677	1,000	0,969	0,058	0,997	**0,000**
D200	0,868	0,677	-	0,446	0,117	0,868	0,969	**0,000**
Cs100	0,997	1,000	0,446	-	0,997	0,057	0,969	**0,000**
Cs200	0,868	0,969	0,117	0,997	-	0,072	0,677	**0,000**
Cs300	0,117	0,058	0,868	0,057	0,072	-	0,248	**0,000**
Force 1,5G	1,000	0,997	0,969	0,969	0,677	0,248	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

3.3.4. A 2022. évi perkátai összehasonlító kísérlet

Perkátán 2022-ben a legnagyobb átlagos lárvaszámmal a negatív kontroll parcella volt jellemezhető (3,20±2,46 lárva/növény), amit a Dianem 50-nel (0,95±0,94 lárva/növény) és a Dianem 200-zal (0,75±0,79 lárva/növény) kezelt területek követnek. A 100%-os azadirachtinnal csávázott parcellán volt a legkisebb az átlagos

növényenkénti lárvaszám (0,50±0,76 lárva/növény). Az eredményeket vizsgálva megállapítható, hogy minden kezelt parcella a kontrollnál alacsonyabb értékkel jellemezhető. A kontrollhoz képest a legkisebb eltérés (2,25 lárva/növény) a Dianem 50-es kezelésnél, míg a legnagyobb különbség (2,7 lárva/növény) a 100%-os azadirachtinos parcella esetében mutatható ki (39. ábra).



39. ábra. Átlagos növényenkénti lárvaszám alakulása
a két biológiai készítmény alkalmazásánál, Perkáta 2022.

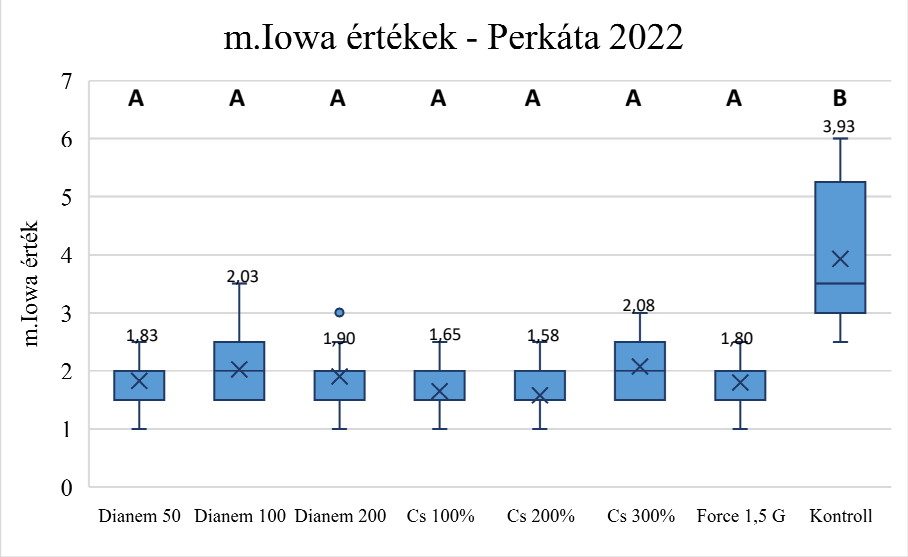
A one-way ANOVA elemzés alapján megállapítható, hogy szignifikáns különbség van ($p<0,05$) a parcellák között az átlagos növényenkénti lárvaszámok esetében ($p=0,000$; $F=12,601$). A Post hoc teszt eredményei alapján megállapítható, hogy a kezelések mindegyike

szignifikanciát mutat a negatív kontrollhoz képest (SE=0,36, p_{Tukey}=0,000). A vizsgálatba vont készítmények hatására szignifikánsan csökkentek az átlagos növényenkénti lárvaszámok. A kezelések egymáshoz képest nem mutatnak statisztikailag igazolható különbséget (47. táblázat).

47. táblázat. A két biológiai készítmény hatékonyságának összehasonlítása során alakuló p értékek a lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05, Perkáta 2022.

	D50	D100	D200	Cs100	Cs200	Cs300	Force 1,5G	Kontroll
D50	-	0,977	0,999	0,913	0,977	0,997	0,997	**0,000**
D100	0,977	-	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	**0,000**
D200	0,999	1,000	-	0,997	1,000	1,000	1,000	**0,000**
Cs100	0,913	1,000	0,997	-	1,000	0,999	0,999	**0,000**
Cs200	0,977	1,000	1,000	1,000	-	1,000	1,000	**0,000**
Cs300	0,997	1,000	1,000	0,999	1,000	-	1,000	**0,000**
Force 1,5G	0,997	1,000	1,000	0,999	1,000	1,000	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

A gyökérvisszarágottságot tekintve Perkátán a legnagyobb mérvű károsítást a kontroll parcella esetében lehet kimutatni (m.Iowa: 3,93±1,23), amely érték meghaladja a gazdasági kár határának tekintett 3,5-t. A második legmagasabb gyökérvisszarágottsággal a 300%-os koncentrációjú azadirachtinnal csávázott terület bír (m.Iowa: 2,08±0,49), amit a különböző mennyiségű vízzel injektált fonálférges területek követnek. A leggyengébb gyökérvisszarágottsággal a 100%-os (m.Iowa: 1,65±0,40) és a 200%-os (m.Iowa: 1,58±0,41) azadirachtin hatóanyaggal kezelt parcellák jellemezhetők (40. ábra).



40. ábra. Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása a két biológiai készítmény alkalmazását követően, Perkáta 2022.

Az elvégzett one-way ANOVA elemzés eredményei alátámasztják, hogy Perkátán a vizsgált parcellák szignifikánsan eltérnek egymástól a növényenkénti átlagos gyökérvisszarágottság (m. Iowa értékek) tekintetében (p=0,000; F=28,700). A Post hoc teszt eredményei szerint a kontroll parcella minden kezeléstől szignifikánsan különbözik (p<0,05) (SE=0,20, p_{Tukey}=0,000). Az eredmények alapján megállapítható, hogy a kezelések szignifikánsan csökkentették a gyökérvisszarágottság mértékét, a gazdasági kár határértéke alá. A vizsgálatba vont készítmények hatása között nem volt statisztikailag igazolható különbség (p>0,05) 5%-os szignifikanciaszinten (48. táblázat).

48. táblázat. A két biológiai készítmény hatékonyságának összehasonlítása során alakuló p értékek a gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05, Perkáta 2022.

	D50	D100	D200	Cs100	Cs200	Cs300	Force 1,5G	Kontroll
D50	-	0,974	1,000	0,988	0,915	0,915	1,000	**0,000**
D100	0,974	-	0,998	0,571	0,329	1,000	0,950	**0,000**
D200	1,000	0,998	-	0,915	0,735	0,988	1,000	**0,000**
Cs100	0,988	0,571	0,915	-	1,000	0,404	0,995	**0,000**
Cs200	0,915	0,329	0,735	1,000	-	0,204	0,950	**0,000**
Cs300	0,915	1,000	0,988	0,404	0,204	-	0,867	**0,000**
Force 1,5G	1,000	0,950	1,000	0,995	0,950	0,867	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

3.3.5. A két biológiai készítmény hatékonysági eredményeinek értelmezése

2021-ben Röjtökmuzsajon és Gyömörén, 2022-ben Röjtökmuzsajon és Perkátán a tesztelt két biológiai készítmény egy kísérleti helyszínre került, így lehetőség van a fonálférgek és a botanikai inszekticid hatékonyságának összehasonlító értékelésére. A 2021-es évben a nagyobb lárvakártételt a röjtökmuzsaji területeken észleltem, ahol a módosított Iowa-skála szerinti gyökérvisszarágottság értéke meghaladta a gazdasági küszöbszintet, míg a gyömörei mintaterületen alacsonyabbnak bizonyult. Elmodható, hogy minden biológia készítmény eredményesen vizsgázott mind a magasabb, mind pedig az alacsonyabb lárvadenzitással jellemezhető területeken. A két biológiai ágens – ahogy a korábbiakban írt statisztikai eredményekből is látszik – egymáshoz képest nem mutatott szignifikanciát, azonban az entomopatogén fonálférgek, valamint az azadirachtinnal mint növényi

kivonattal végzett csávázás közül a botanikai inszekticid tendenciózusan jobb eredményeket produkált.

2022-ben mind a két kísérleti helyszínen nagy Diabrotica lárvakártétellel találkoztam, a módosított Iowa-skála értéke Perkátán 3,93 volt, ami jóval meghaladta a gazdasági küszöbértéket. Még az ilyen kiemelkedő kártevőnyomás esetében is -a 2021-es évhez hasonlóan- mindkét készítmény esetében jó eredmények figyelhetőek meg. A rovarpatogén fonálférgek és a biológiai peszticid hatékonysága között nem volt statisztikailag igazolható eltérés egyik dózisban sem. Szintén elmodható, hogy a csávázásos kezelések rendszerint nagyobb mértékben szorították vissza a lárvaszámokat és jobban mérsékelték a kialakuló gyökérkártételt. Azonban meg kell említeni, hogy a 2022-ben a 300%-os dóziskoncentrációban beállított kezelés hatékonysága rendszerint elmarad a többi kezelés hatékonyságától. Ennek indoklására a korábbiakban már kitértem, amely valószínűleg nem a hatóanyag hibájából, mennyiségéből, hanem a Neemazal F készítmény formulációjából adódik.

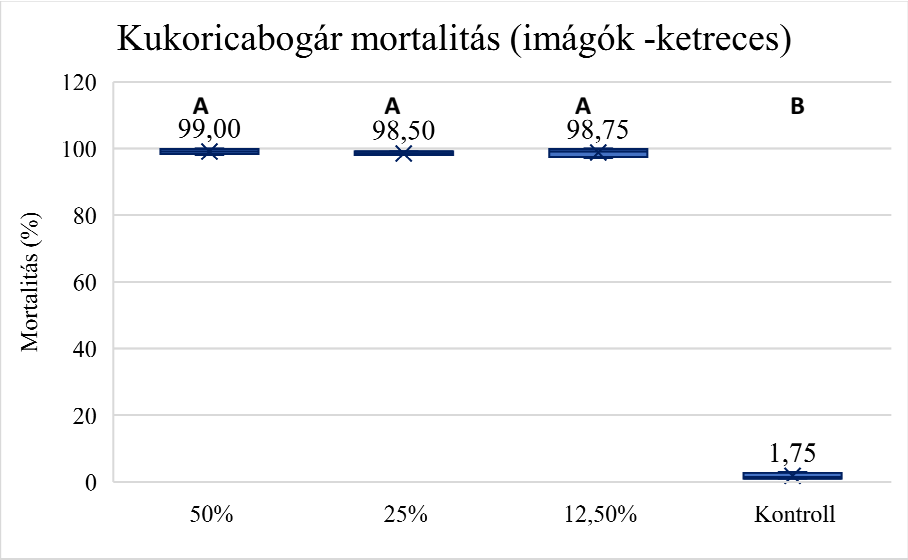
Összességében elmondható, hogy a kétféle vizsgálatba vont rovarölőszer közül, az azadirachtin hatóanyag csávázásos alkalmazása egyszerűbben kivitelezhető, mivel technológiai alkalmazása nem tér el a növényvédelemben régóta használt gyakorlattól. Ezzel szemben a rovarpatogén fonálférgek sérülékeny élő szervezetek, tárolásuk, szállításuk, felhasználásuk nagymértékű elővigyázatosságot igényel. Nagy figyelmet kell fordítani a felhasználásuk során arra, hogy vitalitásuk megmaradjon és ne legyenek hosszú időn keresztül kitéve

napsugárzásnak, vagy száraz körülményeknek. E szabályokat figyelembe véve és betartva, a rovarpatogén fonálférgekkel is eredményesen védekezhetünk a kukoricabogár lárvája ellen.

3.4. A KUKORICABOGÁR IMÁGÓJA ELLEN VÉGZETT KEZELÉSEK

3.4.1. Laboratóriumi vizsgálatok 2021

A ketreces kísérlet eredményei alapján a legnagyobb mortalitást az 50%-os acetamiprid hatóanyag és az 5 l/ha uborkalé keveréke okozta a bogaraknál. Ennél a hatóanyag-kombinációnál a vizsgált imágók 99,00%-a (±0,82%) elpusztult. Ezt a 12,5%-os acatamiprid+5 l/ha uborkalé (98,75±1,26%), valamint a 25%-os acetamiprid+5 l/ha uborkalével (98,50±0,58%) végzett kezelések követték. A kontroll ketrec esetében a mortalitási ráta nagyon alacsony volt (1,75±0,96%) (41. ábra).



41. ábra. Az amerikai kukoricabogár kifejlett egyedeinek mortalitása labortaóriumi körülmények között csökkentett acetamiprid hatóanyagokkal, uborkalé attraktáns alkalmazása mellett (2021)

A különböző koncentrációjú acetamiprides kezelések mortalitási rátája lényegesen nagyobb a kontrollhoz képest. A különbségek vizsgálatára alkalmazott one-way ANOVA elemzés alapján van legalább két olyan beállítás, melyek 5 %-os szignifikanciaszint mellett különböznek egymástól a mortalitási ráta tekintetében (p=0,000; F=10753,333).

A Post hoc teszt eredményei szerint az acetamiprid+uborkalé kombinációval végzett kezelések mindegyike szignifikánsan nagyobb mortalitási rátával jellemezhető, mint a kontroll populáció (p_{Tukey}=0,000). Ez alapján megállapítható, hogy a kezelések mindegyike hatásosnak tekinthető, hiszen a negatív kontroll ketrechez képest szignifikánsan magasabb mortalitást idézett elő a vizsgált

populációban. Az egyes kezelések között nem mutatható ki statisztikailag igazolható különbség (p>0,05) (49. táblázat).

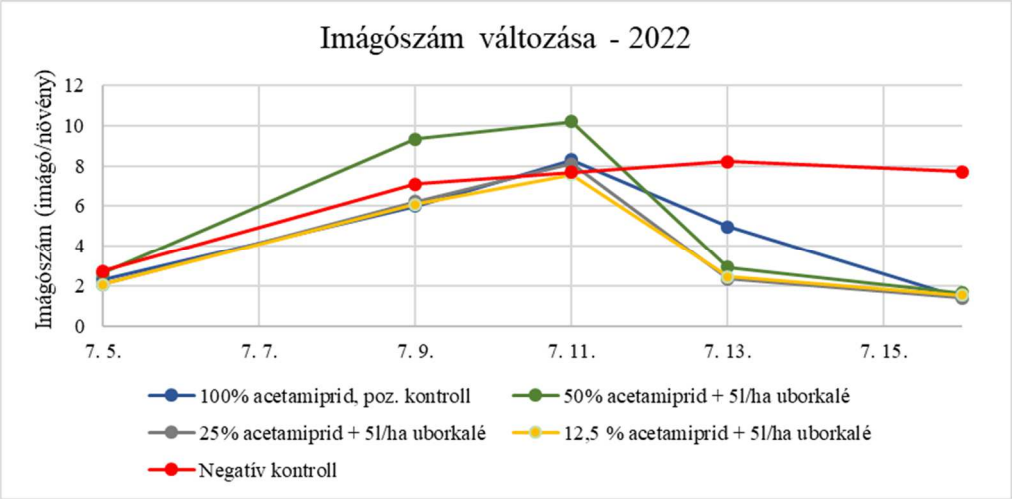
49. táblázat. Az amerikai kukoricabogár kifejlett egyedeinek kezelések hatására bekövetkező, szignifikáns mortalitását mutató p értékek, laboratóriumi körülmények között, szignifikáns a különbség, ha p<0,05 (2021).

	50% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	25% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	12,5% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	Kontroll
50% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	-	0,872	0,981	**0,000**
25% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	0,872	-	0,981	**0,000**
12,5 % acetamiprid + 5 l /ha uborkalé	0,981	0,981	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

3.4.2. Szántóföldi vizsgálat 2022

Az imágószám változását kezelésenként és időpontonként a 42. ábra és a 43. ábra mutatja be. A csapdázási eredmények alapján jól látható, hogy a vizsgálati időszak kezdetén 07.05-én a növényenkénti átlagos imágószám 2,37 (±1,37) volt, ami a 07.09-i felmérés idejére 6,95 (±2,42) értékre növekedett. A 07.05-i felvételezésnél mind az öt terület közel azonos bogárszámmal jellemezhető. A csúcsrajzás időszakát megelőző utolsó felvételezés időpontjában 07.11-én átlagosan 8,37 (±2,34) imágó volt növényenként. A kezelést követő első ellenőrzésre 07.13-án került sor, ahol az átlagos imágószám 4,18 (±2,56) volt. A második ellenőrzés során 07.16-án 2,74 (±2,76) kifejlett egyedet számoltam. A kezelés hatására a kontroll kivételével minden táblán

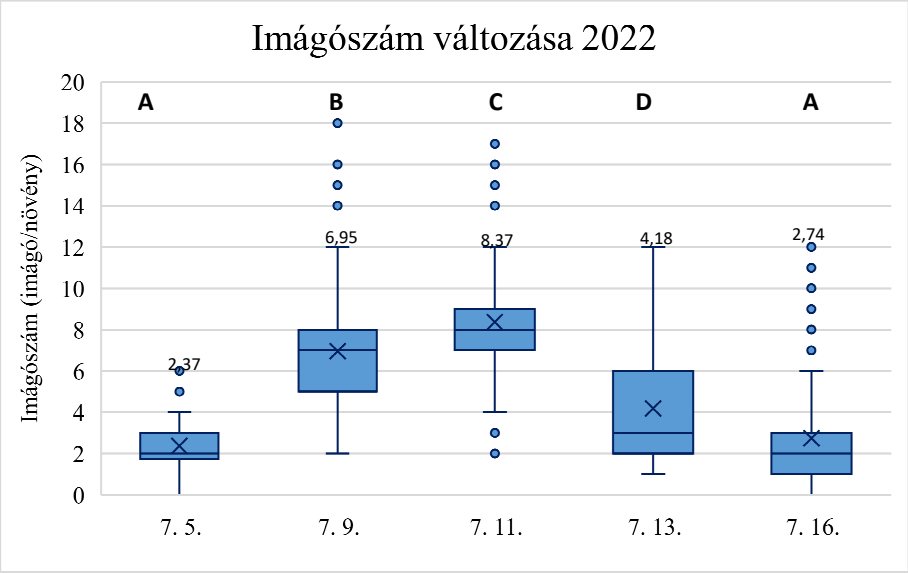
csökkent a bogarak száma a 07.11-i felvételezéshez képest. A 07.13-i és a 07.16-i felvételezés időpontjában is kevesebb kifejlett bogár volt a vizsgált táblákban. A 07.16-i felmérés idejére a kezelt táblák esetében a bogárszám elérte a 07.05-i kiindulási időpont értékeit.



42. ábra. Az amerikai k□k□ricab□gár rajzásdinamikájának ny□m□nkövetése a kezelések előtt és □tán, 2022.

Az egyes időpontokban a teljes területen felmért imágók számát ANOVA elemzés segítségével hasonlítottam össze, melynek eredményei szerint van legalább két olyan időpont, melyek között szignifikáns különbség van (p=0,000; F=317,772). A Post hoc teszt eredményei mutatják, hogy a július 5-i felvételezés során mért átlagos imágószám szignifikánsan alacsonyabb a július 7-én (p_{Tukey}=0,000), a július 9-én (p_{Tukey}=0,000) és a július 13-án (p_{Tukey}= 0,000) mért

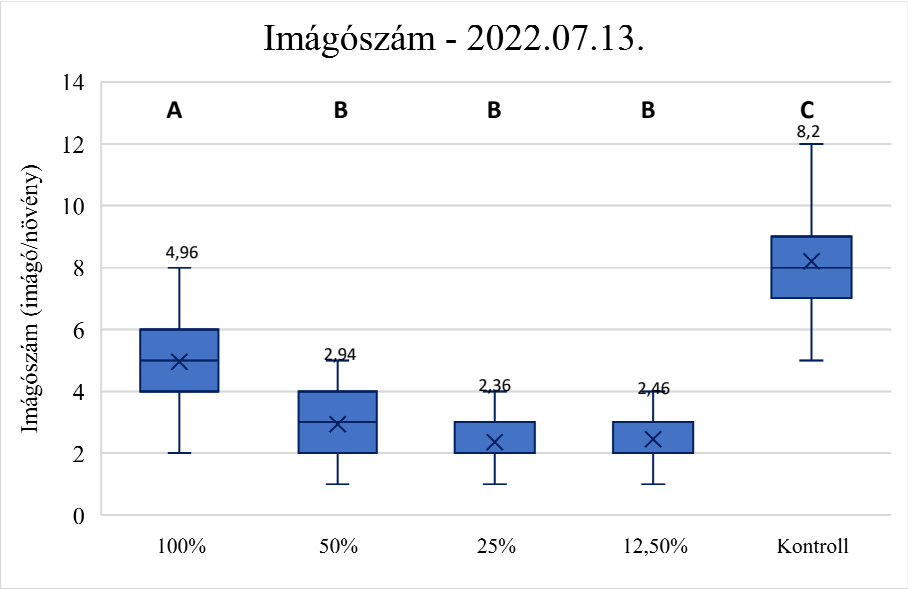
eredményeknél, de nem különbözik statisztikailag igazolható módon a július 16-án mért eredményektől (p_{Tukey}=0,387). Az előrejelzésre használt módszer a 2022-es évben megfelelőnek bizonyult, hiszen minden vizsgált előrejelzési időpont (07.09. és 07.11.) szignifikánsan magasabb kifejlett egyedszámmal jellemezhető, mint az azt megelőző időpont.



43. ábra. Az amerikai kukoricabogár egyedszámváltozása a kezelések hatására 2022.

A 2022.07.13-i felvételezés

A szántóföldi kísérlet során a kezelést (07.12.) követően felvételeztem az imágók számát. 07.13-án a bogarak növényenkénti átlagos száma a kezelésben nem részesült negatív kontroll táblában volt a legnagyobb 8,20 (±1,73). A permetezett táblák közül a legmagasabb egyedszám a pozitív kontrollnak számító 100%-os acetamiprid hatóanyaggal kezelt területen volt tapasztalható (4,96±1,63), melyet az 50%-os (2,94±0,96), a 12,5%-os (2,46±0,91) és a 25%-os (2,36±0,96) koncentrációjú acetamiprid hatóanyaggal és 5 l/ha uborkalével kezelt táblák követtek (44. ábra). Az eredmények alapján jól látható, hogy a különböző koncentrációjú inszekticides kezelések hatására csökkent a növényenkénti imágószám.



44. ábra. A növényenkénti átlagos kukoricabogár imágószám a kezeléseket követő első felvételezés időpontjában

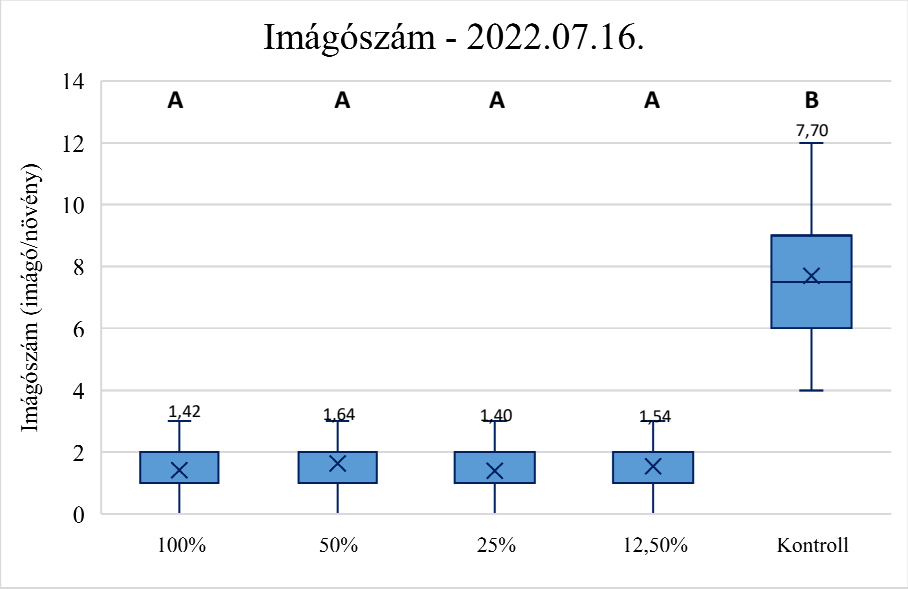
A különbségek vizsgálatára alkalmazott one-way ANOVA elemzés szerint van legalább két olyan terület, melyek a vizsgált paraméterek tekintetében különböznek egymástól 5%-os szignifikanciaszinten (p=0,000; F=185,078). A Post hoc teszt eredményei tükrében a kontroll tábla szignifikánsan különbözik minden kezelt területtől (p_{Tukey}=0,000). Ezen kívül a 100%-os koncentrációjú acetamipriddel végzett kezelés az imágószám alapján szignifikanciát mutat az 50%-os (p_{Tukey}=0,000); a 25%-os (p_{Tukey}=0,000) és a 12,5%-os (p_{Tukey}=0,000) koncentrációjú, uborkalével kiegészített kezelésektől. Összességében a kontrollhoz képest mindegyik vizsgált készítmény képes volt hatékonyan csökkenteni a kifejlett bogarak számát (50. táblázat).

50. táblázat. A növényenkénti átlagos kukoricabogárszám szinifikáns különbségeket szemléltető p értékei a kezeléseket követő első felvételezés időpontjában, szignifikáns a különbség, ha p<0,05 (2022).

	100% acetamiprid, poz. kontroll	50% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	25% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	12,5 % acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	Kontroll
100% acetamiprid, poz. kontroll	-	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**
50% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	**0,000**	-	0,165	0,340	**0,000**
25% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	**0,000**	0,165	-	0,995	**0,000**
12,5 % acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	**0,000**	0,340	0,995	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

A 2022.07.16-i felvételezés

A 07.16-án elvégzett felvételezés eredményei alapján a legtöbb imágó (7,7±1,92) a kezelésben nem részesült kontroll táblán fordult elő. A különböző acetamiprid koncentrációval kezelt területek mindegyikében a negatív kontrollnál kevesebb imágószámot regisztráltam: 50%-os (1,64±0,82), 12,5%-os (1,54±0,95), 100%-os (1,42±0,95) és 25%-os (1,40±0,95) (45. ábra).



45. ábra. A növényenkénti átlagos kukoricabogár imágószám a kezeléseket követő második felvételezés időpontjában

A különböző koncentrációjú acetamiprides kezelések és a kontroll tábla eredményei közötti különbség vizsgálatához az one-way ANOVA

elemzést alkalmaztam. E szerint a vizsgált öt tábla közül van legalább kettő olyan, melyek statisztikailag igazolható módon különböznek egymástól az imágószám tekintetében (p=0,000; F=267,407). A Post hoc teszt eredményei alapján a kontroll tábla szignifikanciát mutat a 100%-os (p_{Tukey}=0,000); az 50%-os (p_{Tukey}=0,000); a 25%-os (p_{Tukey}=0,000) és a 12,5%-os koncentrációjú acetamiprid ható-anyaggal+ 5 l/ha uborkalével kezelt tábláktól. A kezelt táblák között nem mutatható ki szignifikáns különbség (51. táblázat).

51. táblázat. A növényenkénti átlagos kukoricabogárszám szinifikáns különbségeket szemléltető p értékei a kezeléseket követő második felvételezés időpontjában, szignifikáns a különbség, ha p<0,05 (2022).

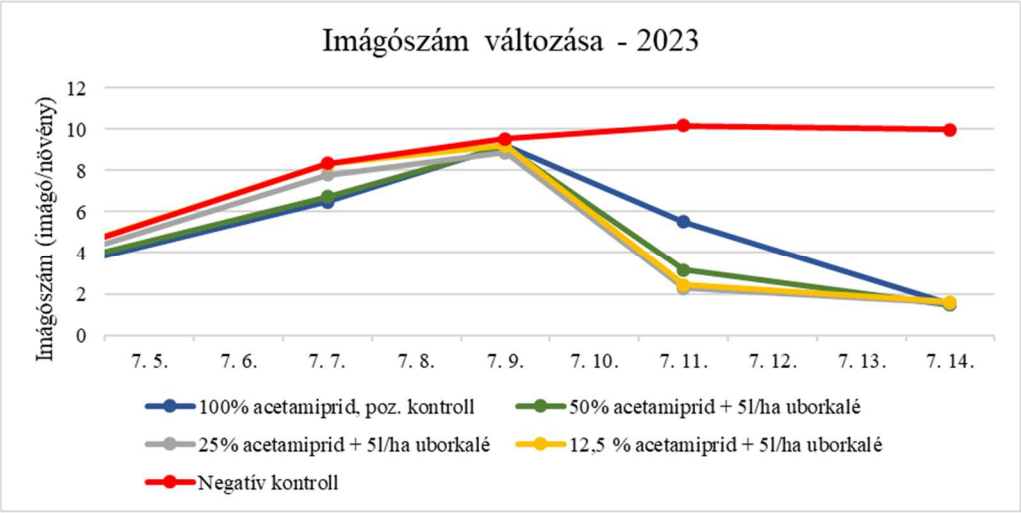
	100% acetamiprid, poz. kontroll	50% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	25% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	12,5 % acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	Kontroll
100% acetamiprid, poz. kontroll	-	0,890	1,000	0,987	**0,000**
50% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	0,890	-	0,855	0,994	**0,000**
25% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	1,000	0,855	-	0,977	**0,000**
12,5 % acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	0,987	0,994	0,977	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

Az eredmények alapján megállapítható, hogy az imágók száma mind a 07.13-i, mind a 07.16-i felvételezés időpontjában a kontrollhoz képest szignifikánsan kisebb volt a különböző koncentrációjú acetamiprid

hatóanyaggal kezelt táblákban. A kezelések közötti különbség a második felvételezés idejére eltűnt.

3.4.3. Szántóföldi vizsgálat 2023

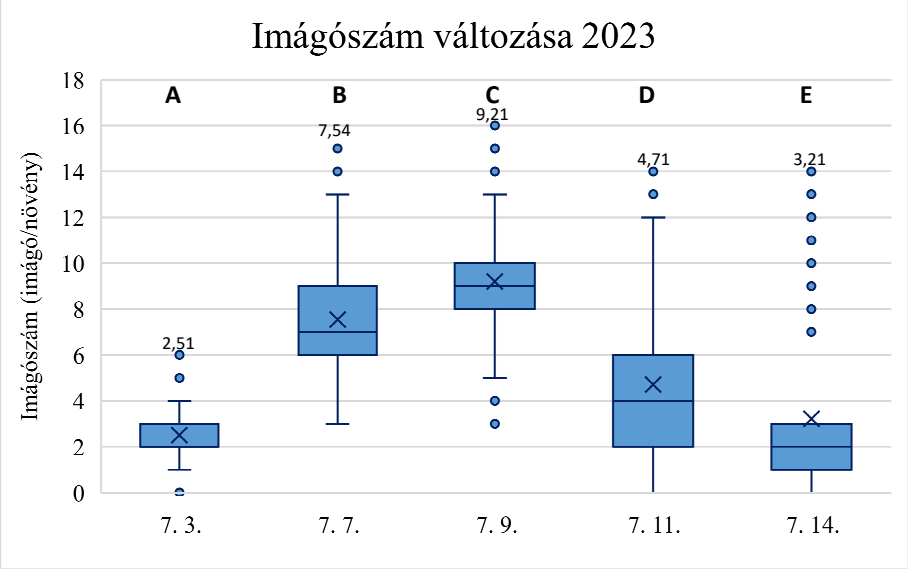
Az imágószám változását kezelésenként a 46. ábra, időpontonként a 47. ábra mutatja be. A felvételezés eredményei alapján jól látható, hogy a vizsgálati időszak kezdetén, 07.03-án a növényenkénti átlagos bogárszám 2,51 (±1,28) volt, ami a 07.09-i felmérés idejére 7,54-re (±2,06) növekedett. A 07.07-i felvételezéskor mind az öt terület közel azonos egyedszámmal jellemezhető. A csúcsrajzás időszakát megelőző utolsó felvételezés időpontjában 07.09-én az átlagos imágószám 9,21 (±2,00) volt. A kezelést követő első ellenőrzéskor 07.11-én 4,71 (±3,25), a második növénybonitálási vizsgálat alkalmával 07.14-én 3,21 (±3,58) imágót számláltam növényenként. A kezelés hatására a kontroll kivételével minden táblán csökkent az átlagos bogárszám a 07.09-i felvételezéshez képest. A 07.14-i felmérés idejére a kezelt táblákon az imágószám a 07.03-i kiindulási időpont értékei alá süllyedt.



46. ábra. Az amerikai k□k□ricab□gár rajzásdinamikájának ny□m□nkövetése a kezelések előtt és □tán, 2023

Az egyes felvételezési dátumokban a teljes területen felmért kifejlett egyedek számát az one-way ANOVA elemzés segítségével hasonlítottam össze, a kapott eredmények alapján van legalább két olyan időpont, melyek között szignifikáns különbség van az átlagos imágószámok tekintetében (p=0,000; F=554,845).

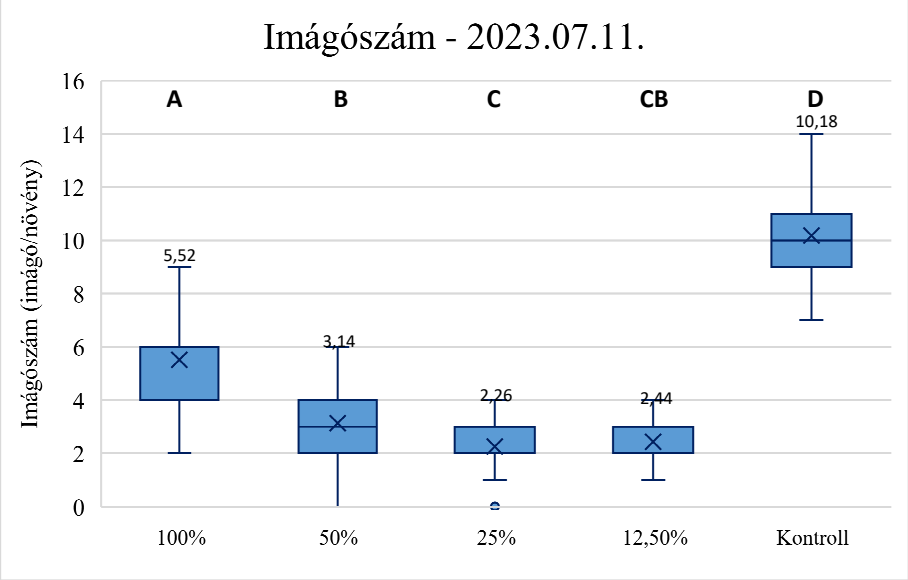
A Post hoc teszt eredményei szerint elmondható, hogy minden vizsgált időpont között szignifikáns különbség (p_{Tukey}= 0,000) van. Az előrejelzésre használt módszer a 2023-as évben megfelelőnek bizonyult, hiszen minden vizsgált előrejelzési időpont (07.07. és 07.09.) szignifikánsan magasabb imágószámokkal jellemezhető, mint az azt megelőző.



47. ábra. Az amerikai kukoricabogár egyedszámváltozása
a kezelések hatására 2023

A 2023.07.11-i felvételezés

2023-ban a kezelést követő első felvételezésre 07.11-én került sor. Ekkor a vizsgált öt tábla közül a kezelésben nem részesült kontroll táblán találtam a legtöbb imágót (10,18±1,57). A kezelt táblák közül a legmagasabb értéket a pozitív kontrollnak számító 100%-os koncentrációjú acetamipriddal kezelt táblában lehetett tapasztalni (5,52±1,43), ezt az 50%-os (3,14±1,58), a 12,5%-os (2,44±0,71) és 25%-os (2,26±1,01) koncentrációjú acetamiprid + 5 l/ha uborkaleves kezelések követték. Az eredmények alapján jól látható, hogy a különböző koncentrációjú acetamiprides kezelések hatására kisebb lett a növényenkénti bogárszám , mint a kontroll tábla esetében (48. ábra).



48. ábra. A növényenkénti átlagos kukoricabogár imágószám a kezeléseket követő első felvételezés időpontjában

Az imágószámban mérhető különbségek vizsgálatára alkalmazott one-way ANOVA elemzés alapján a vizsgált öt tábla közül van legalább kettő olyan, melyek szignifikánsan különböznek egymástól az növényenkénti átlagos imágószám vonatkozásában (p=0,000; F=323,95). A Post hoc teszt eredményei szerint megállapítható, hogy a kontroll tábla szignifikánsan különbözik a 100%-os (p_{Tukey}=0,000), az 50%-os (p_{Tukey}=0,000), a 25%-os (p_{Tukey}=0,000) és a 12,5%-os koncentrációjú acetamiprid hatóanyaggal+ 5 l/ha uborkalével kezelt tábláktól. Továbbá a 100%-os koncentrációjú acetamiprides kezelés statisztikailag igazolható különbséget mutat az 50%-os (p_{Tukey}=0,000),

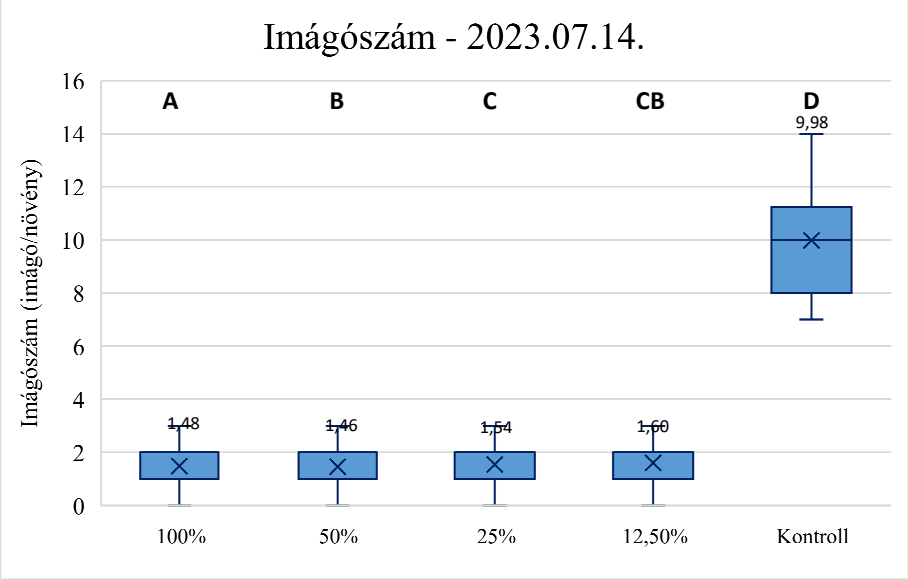
a 25%-os (p_{Tukey}=0,000) és a 12,5%-os (p_{Tukey}=0,000) acetamiprid hatóanyaggal + 5 l/ha uborkalével kezelt tábláktól. Összességében a kontrollhoz képest mindegyik kezelés hatékonyan csökkentette az imágók számát (52. táblázat).

52. táblázat. A növényenkénti átlagos kukoricabogárszám szinifikáns különbségeket szemléltető p értékei a kezeléseket követő első felvételezés időpontjában, szignifikáns a különbség, ha p<0,05 (2023).

	100% acetamiprid, poz. kontroll	50% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	25% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	12,5 % acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	Kontroll
100% acetamiprid, poz. kontroll	-	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**
50% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	**0,000**	-	**0,008**	0,060	**0,000**
25% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	**0,000**	**0,008**	-	0,959	**0,000**
12,5% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	**0,000**	0,060	0,959	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

A 2023.07.14-i felvételezés

07.14-én megismételt felvételezés eredményei alapján a legnagyobb növényenkénti átlagos imágószám a kezelésben nem részesült kontroll táblán alakult ki (9,98±1,92). A többi, különböző koncentrációban acetamipriddel kezelt táblán a kontrollnál kevesebb kukoricabogár-számot regisztráltam: 12,5%-os (1,60±0,88), 25%-os (1,54±0,93), 100%-os (1,48±0,89) és 50%-os (1,46±0,73) (49. ábra).



49. ábra. A növényenkénti átlagos kukoricabogár imágószám a kezeléseket követő második felvételezés időpontjában

A kezelések és a kontroll közötti különbségeket vizsgálva megállapítható, hogy a táblák között van legalább kettő olyan, melyek szignifikánsan különböznek egymástól a növényenkénti átlagos imágószám tekintetében (p=0,000; F=537,503). A Post hoc teszt eredményei tükrében a negatív kontroll terület szignifikanciát mutat a 100%-os (p_{Tukey}=0,000), az 50%-os (p_{Tukey}=0,000), a 25%-os (p_{Tukey}=0,000) és a 12,5%-os koncentrációjú acetamiprid hatóanyag + 5 l/ha uborkalével kezelt tábláktól. Az egyes vizsgálati területek között nem mutatható ki szignifikáns különbség, azaz a kezelések

imágószámra gyakorolt hatásuk alapján nem különböztek egymástól a 07.14-i felvételezés alkalmával.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy mind a 07.11-i, mind a 07.14-i felvételezéskor a kontrollhoz képest szignifikánsan alacsonyabbak voltak a különböző acetamiprid koncentrációkkal kezelt táblák imágószám értékei. A vizsgált készítmények között az első felvételezés időpontjában még kimutathatók voltak a különbségek, míg a második felvételezés időpontjában már nem (53. táblázat).

53. táblázat. A növényenkénti átlagos kukoricabogárszám szinifikáns különbségeket szemléltető p értékei a kezeléseket követő második felvételezés időpontjában, szignifikáns a különbség, ha p<0,05 (2022)

	100% acetamiprid, poz. kontroll	50% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	25% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	12,5 % acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	Kontroll
100% acetamiprid, poz. kontroll	-	1,000	0,999	0,985	**0,000**
50% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	1,000	-	0,997	0,974	**0,000**
25% acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	0,999	0,997	-	0,999	**0,000**
12,5 % acetamiprid + 5 l/ha uborkalé	0,985	0,974	0,999	-	**0,000**
Kontroll	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	-

3.4.4. Az amerikai kukoricabogár imájója ellen végzett kezelések eredményeinek értelmezése

Az előzőekben ismertetettek szerint három éven keresztül végeztem vizsgálatokat az amerikai kukoricabogár kifejlett egyedei ellen. Hipotézisemet, mely szerint a jelenleg legnagyobb mértékben felhasznált inszekticid engedélyokiratában meghatározott mennyiségének közel 90%-os csökkentése attraktáns anyag felhasználásával eredményes lehet-e, sikerült igazolnom.

Laboratóriumban végzett kezeléseim során előzetes várakozásomat is felülmúlta, hogy a kísérleti anyagok kijuttatását követően pár perc múlva (5–10 perc) a kifejlett egyedek a földön fekve paralitikus tüneteket produkáltak és gyakorlatilag 100%-uk elpusztult. A fenntarthatóság tükrében laboratóriumi körülmények között kapott eredményeim nagy jelentőséggel bírhatnak a növényvédelmi gyakorlatban, hisz akár közel tizedére is lehet csökkenteni a kémiai inszekticid hatóanyag mennyiségét. A laborvizsgálatok eredményeire alapozva végeztem két éven keresztül táblaszintű, nagyparcellás szántóföldi kísérleteket. Mivel a kukoricabogár imágója repüléséből adódóan nagy távolságok megtételére képes, külön táblákon végeztem kezeléseimet. Meg szerettem volna győződni arról, hogy szabad környezetben képes-e a csalogatóanyag kiváltani attraktáns hatását. A korábbiakban ismertetett módon nagy hangsúlyt fektettem arra, hogy a kísérleti anyagok kijuttatása a csúcsrajzás időpontjában legyen. Mind 2022-ben, mind pedig 2023-ban , a kezelések nagy hatékonyságot mutattak üzemi körülmények között is, igazolva hipotézisemet.

Mindkét év eredményeiből egyértelműen megfigyelhető, hogy az uborkalével – mint csalogatóanyaggal – kevert csökkentett acetamiprid hatóanyagmennyiségek a helikopteres kipermetezést követően sokkal gyorsabban kifejtették hatásukat, mint a pozitív kontrollként használt, engedélyokiratban meghatározott acetamiprid hatóanyagmennyiség. A kezelést követő harmadik napon már a pozitív kontroll is hozta az uborkaleves kezelésekhez hasonló eredményt. Ennek magyarázata a következő: az acetamiprid hatóanyag a neonikotinoid hatóanyag-csoportba sorolható, és gyomorméregként működik. Hagyományos módon való felhasználása során a fotoszintetikusan aktív növényi felületeken keresztül szívódik fel, majd a növényi nedvkeringésbe kerülve akropetális áramlást követően a föld feletti részekben felhalmozódik. A kukoricabogár imágója az elfogyasztott növényi részek révén találkozik a hatóanyaggal, így kerül be emésztőrendszerébe, ezt követően tapasztalható pusztulása. Az általam alkalmazott technológia során a rovarok ínyencségét használtam ki azért, hogy gyorsan, nagy koncentrációban juttassam a bogarakat a hatóanyaghoz. Ennél a csalogatóanyagos technológiánál nem kell megvárni azt az időt, míg a hatóanyag a növénybe felszívódik, és onnan a károsító felveszi azt. Kísérleteim során megfigyelhető volt, hogy permetezést követően a bogarak a kukoricahajakat hátrahagyva, gyors tempóban rohamozták meg az uborkaleves permetcseppeket és a benne található inszekticidtől pár percen belül el is pusztultak. Egyedszámuk gyorsan a növényenkénti meghatározott ökonómiai küszöbérték alá csökkent. A felhasznált növényvédelmi eljárás teljes mértékben integrálható a mezőgazdasági gyakorlatba, eredményes védelmet nyújt

a kukoricabogár imágójával szemben. Az acetamipridet attraktáns uborkalével együtt felhasználva nem csak a környezeti terhelést csökkenthetjük, hanem az esetlegesen kialakuló rezisztens egyedek megjelenését is jelentősen lassíthatjuk.

4. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Annak tudatában, hogy a nagy kukoricatermesztő körzetekben-különösen ott, ahol nagy arányú a növény monokultúrás termesztése-jelentős problémát okoz az amerikai kukoricabogár lárvája és imágója elleni védekezés. Az utóbbi években a fenntartható mezőgazdasági/növényvédelmi gyakorlatot szem előtt tartva felértékelődnek a biológiai eredetű, hasznos szervezeteket védő készítmények, melyek lehetnek élő szervezetek, valamint botanikai extraktumok. PhD-képzésem ideje alatt két biológiai készítménnyel végeztem vizsgálatokat több éven keresztül.

Az egyik ilyen felhasznált kísérleti anyag egy élő szervezet, a Heterorhabditis nemzetségbe tartozó *Heterorhabditis bacteriophara* rovarpatogén fonálféreg volt.

Számos kutató foglalkozott már az entomopatogén nematódák kukoricabogár lárvája elleni hatékonyságával.

Santos és kutatótársai (SANTOS et el., 2011) kísérleti eredményei azt mutatták, hogy a *Steinernema* és a *Heterorhabditis* nemzetségbe tartozó nematódák a leghatásosabbak a Diabrotica lárvák ellen.

Toepfer és társai (TOEPFER et al., 2010/b) bizonyították, hogy a *Heterorhabditis bacteriophora* 14–54%-kal csökkentette a gyökérvisszarágottság mértékét.

Ezen élő szervezetek hatékonyságát nagymértékben befolyásolja a talajba juttatás módja. Hazai kísérletekben 2004–2007 között Toepfer és kutatótársai (TOEPFER et al.,2010) a fonálférgek hatékonyságát értékelték talajba injektálás és talajra permetezés vonatkozásában. Vizsgálataik során azt tapasztalták, hogy mindkét módszer csökkentette a lárvakártétel mértékét. Megfigyelték, hogy a legeredményesebb védekezés akkor következett be, mikor a nematódákat közvetlenül a megnyitott magágyba jutatták 200 l/ha-os vízmennyiséggel.

A fonálférgek hatékonysága mellett véleményem szerint lényeges kérdés a legmegfelelőbb kijuttatási mód, mely megtartja az élő szervezetek vitalitását és larvicid hatását, mindezt úgy, hogy a vetés területteljesítménye nem csökken. Ezt úgy lehet elérni, hogy megkeressük a minimális kijuttatási, injektálási vízmennyiséget.

Több éven keresztül, több helyszínen, különböző lárvanyomás alatt álló területeken végeztem kísérleteket 50, 100 és 200 l/ha-os injektálási vízdózisok alkalmazásával. Az elvégzett vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy a különböző vízmennyiségek egymáshoz képest nem mutattak szignifikáns különbséget sem a lárvaszám, sem a gyökérvisszarágottság mértékét tekintve, amiből arra következtethetünk, hogy a fonálférgek életben maradtak és megtartották lárvaölő képességüket alacsonyabb vízdózisok alkalmazása mellett is.

Gyakorlati szempontból ezen technológiának óriási jelentősége van, mivel a korábbiakban megjelent publikációkban közölt injektálási vízmennyiség a negyedére csökkenthető.

A másik vizsgálatba vont készítmény egy azadirachtin hatóanyagú botanikai inszekticid volt. A Diabrotica lárvái elleni védekezést nagymértékben megnehezíti az a tény, hogy a kukorica vetése és az áttelelő tojásokból kikelő L1-es lárvák megjelenése között rendkívül hosszú idő telik el, körülbelül 5–8 hét (RADICS, 2012). Ebből kifolyólag előtérbe kerülnek a hosszú tartamhatással rendelkező, rezisztencia kialakulásának ütemét csökkentő biopeszticidek, mint például az azadirachtin.

Ezen hatóanyag talajlakó kártevők elleni hatásáról több közelmúltban megjelent tanulmány is beszámolt.

Xie és kutatótársai (XIE et al., 1991) laborkísérleteket végeztek, melyek során talajba öntözéssel, valamint fiatalkori növények leveleinek permetezésével vizsgálták az azadirachtin hatóanyag hatását kukoricabogár lárváira, biztató eredményekről beszámolva. Tanulmányukból megtudhatjuk, hogy az azadirachtin hatóanyag hatékony lehet a kukoricabogár lárvája ellen, főleg talajba való beöntözés révén. A lárvák elleni hatákonyság jelentősen csökkent abban az esetben, ha a fiatal növényeken lombpermetezést végeztek. Saját vizsgálataimat a Xie és társai kísérletével (XIE et al. ,1991) összevetve elmondható, hogy szántóföldi körülmények között teszteltem ezt a hatónyagot, kisparcellás kísérletek keretein belül. A vetéssel egymenetben juttattam ki ezt a botanikai inszekticidet csávázásos formában, mely a mezőgazdaságban bevált egyszerű megoldás, és bizonyítottam az azadirachtin hatóanyag rendkívül hosszú

tartamhatását. Ez a védelem elérte, sőt egyes helyeken meg is haladta az általánosan használt teflutrin hatékonyságát.

Toepfer és társai (TOEPFER et al., 2020; TÓTH et al., 2021) üvegházi körülmények között egy azadirachtin hatóanyagot tartalmazó granulátummal folytattak kísérleteket a kukoricabogár lárvája ellen. Kísérleteik során bizonyítást nyert, hogy a 200 g/ha hatóanyagot tartalmazó granulátum a nagyobb károsodástól megfelelő védelmet nyújtott, viszont a tökéletes hatás eléréséhez 380 g/ha hatóanyagot tartalmazó granulátummennyiségre van szükség.

Korábban én is végeztem kísérleteket ezen granulátummal és azt tapasztaltam, hogy a viszonylag száraz, csapadékszegényes tenyészidőszakban a gyökérzónában még a gyökérfelvételezés során is felfedezhető volt feloldatlan granulátumszemcse. A disszertációmban ismertetett csávázásos technológia előnye, hogy a mag felületére felvitt azadirachtin hatóanyagot a csíranövény nagy százalékban közvetlenül fel tudja venni, ezáltal tartós védelmet biztosít a károsítók ellen. Ennek köszönhető az a tény, hogy több éven keresztül, több helyszínen, különböző lárvanyomás alatt álló területeken végzett kísérleteimben lényegesen kevesebb 1,54 g/ha (50%) – 9,1 g/ha (300%)-ig terjedő hatóanyagmennyiség is megfelelő védelmet nyújtott. Kutatásom során megállapítottam, hogy a magasabb lárvefertőzöttségű területeken magasabb csávázási dóziskoncentrációk használata (125–300%) indokolt, míg az alacsonyabb lárvadenzitás alatt álló területek esetében az 50-100%-os dózisok is eredményes védelmet nyújtanak.

A kukoricabogár lárvák elleni védekezésen túl fontos a kifejlett egyedek nagyfokú gyérítése is, hiszen ezzel csökkenthetjük az imágók által kialakított kár mértékét, valamint mérsékelhetjük a jövő évi lárvapopuláció nagyságát. Ebből kifolyólag kezdtem el 2021-től kezdődően több éven keresztül a kifejlett bogarak elleni védekezéssel is foglalkozni. Vizsgálataim során egyértelműen bebizonyosodott, hogy üzemi körülmények között, nagy parcellás kísérletekben az általam alkalmazott uborkalé (attraktáns, csalogatóanyag) felhasználása mellett a nagy népszerűségnek örvendő acetamiprid hatóanyag engedélyokiratában meghatározott kijuttatási dózisát 12,5%-ra csökkentve is nagyarányú és gyors imágómortalitást lehet elérni. Ez az eljárás kiemelkedő jelentőséggel bírhat a növényvédelemben, hiszen a közel egytizednyi hatóanyagkijuttatás révén jelentős költségmegtakarítást érhetünk el, mindezt úgy, hogy nem terheljük környezetünket.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A kukorica az egyik legnagyobb területen termesztett növényünk a világon. Legfőbb termőterületei Észak- és Dél-Amerika, Kína, Európa, valamint Közép-Ázsia. A monokultúrában történő termesztés miatt egyre nagyobb gazdasági kárt okoz az amerikai kukoricabogár. Az Európai Unioban a fokozott hatóanyagkivonások következtében rendívül megnehezedett a kártevővel szembeni védekezés. A felhasználható inszekticidek száma oly mértékben redukálódott, hogy fennáll a veszélye annak, hogy a jelenleg forgalomban lévő hatásos kemikáliákra az idő előrehaladtával rezisztencia alakulhat ki. Ennek tükrében szükség van új, eredményesen működő, az integrált mezőgazdasági, növényvédelmi gyakorlatba beilleszthető védekezési lehetőségekre.

Kísérleteimben élő szervezeteket, rovarpatogén fonálférgeket (*Heterorhabditis bacteriophora*) és egy növényi extraktumot (azadirachtin) vizsgáltam. Kerestem a választ arra, hogy ezen biológiai ágenseket hogyan lehet a szántóföldi gyakorlatban felhasználni és a növényvédelmi rendszerbe szervesen integrálni. A kipróbált védekezési lehetőségekkel nagyon jó hatást értem el, bebizonyosodott, hogy a hatóanyagok eredményesen alkalmazhatók a kukoricabogár lárvái elleni védekezésben.

Vizsgálataim során megállapítottam, hogy az általam használt készítmények elérték, vagy sok esetben meghaladták a pozitív kontroll hatékonyságát. További előnyük, hogy nem terhelik a környezetet,

nincsenek káros hatással a hasznos szervezetekre, valamint a munkát végző személyek egészségére sem. A kísérletbe volt készítmények mindegyike akár az ökológiai gazdaságokban is felhasználható.

Az azadirachtin hatóanyag hosszú tartamhatása csávázásos technológia révén alkalmazva a talajlakó kártevők ellen forradalmian új megoldásnak bizonyult, melynek eredményességét, újdonságértékét és gyakorlati alkalmazhatóságát az Európai Szabadalmi Hivatal is elismerte részemre.

A csávázásos technológiával hektáronként kis hatóanyag-mennyiségekkel védekezhetünk eredményesen, amiből az következik, hogy a jelenleg elterjedt talajinszekticidekhez képest a hektáronkénti költségvonzat jóval kedvezőbb.

Az integrált növényvédelmi szempontot figyelembe véve disszertációm témája volt még a kifejlett egyedek elleni hatékony, költségtakarékos, környezetkímélő technológiai eljárás kidolgozása is. A korábbi fejezetekből látható, hogy egy attraktáns anyag jelenléte mellett a drasztikusan csökkentett kemikáliamennyiség eredményesen vette fel a harcot az amerikai kukoricabogár imágójával szemben.

PhD-tanulmányaim során mindig arra törekedtem, hogy a gazdálkodók szemszögéből vizsgáljam a jelenségeket, és olyan használható technológiákat dolgozzak ki, melyek könnyen beépíthetők a gazdálkodási munkafolyamatokba.

Bízom benne, hogy az általam kidolgozott védekezési eljárások a közeljövőben elterjednek és a gazdálkodók javára válnak.

6. TÉZISEK

(1,) Megállapítottam, hogy a *Heterorhabditis bacteriophora* rovartpatogén fonálféreg 2 mrd/ha dózisban 50 l/ha-os injektálási vízmennyiséggel a vetési sorba kijuttatva megtartotta vitalitását és larvicid hatását így a kezeletlen kontrollhoz képest szignifikánsan csökkentette a kukoricabogár lárvák számát, valamint a gyökérvisszarágottság mértékét, alacsony és magas lárvafertőzöttség mellett.

(2,) Kísérleteim során elsőként használtam az azadirachtin hatóanyagot csávázásos technológiával talajlakó kártevők ellen.

(3,) Az azadirachtin hatóanyaggal kapcsolatban megállapítottam, hogy alacsony kukoricabogárlárva-denzitás (átlagosan:1,88 db/növény; m. Iowa-skála: 3,03) esetében az 50–100%, míg nagyobb lárvanyomás (átlagosan: 3,84 db/növény; m. Iowa-skála: 4,08) esetében 125–300%-os a hatékony csávázási dóziskoncentráció.

(4,) Vizsgálataim során elsőként igazoltam az azadirachtin hatóanyag kukoricabogár lárvája elleni kifejezetten hosszú, 4-6 hetes tartamhatását.

(5,) Laboratóriumi körülmények között igazoltam, hogy az uborkalé, mint csalogatóanyag, kellő attraktáns hatást fejt ki a kukoricabogár imágókra.

(6,) Szántóföldi kísérletek keretin belül bizonyítottam, hogy az acetamiprid engedélyokiratban meghatározott eredeti dózisa közel 90%-kal csökkenthető uborkalé (5 l/ha) jelenléte mellett úgy, hogy hatékonysága a kártevővel szemben nem csökken.

(7,) Kísérleteim során bizonyítást nyert, hogy a *Heteroerhabditis bacteriophora* entomopatogén fonálféreg 2 mrd/ha dózisban, 50 l/ha injektálási vízmennyiséggel közvetlenül a vetés pillanatában, a vetési sorba kijuttatva, hatékonyságát tekintve nem marad el a teflutrinos talajfertőtlenítőtől (Force 1,5 G) a kukoricabogár lárvája tekintetében.

(8,) Kísérletei során bizonyítást nyert, hogy az azadirachtin hatóanyag csávázásos technológiával alkalmazva 50%-300%-ig terjedő csávázási dóziskoncentrációkban hatékonyságát tekintve nem tért el a teflutrinos talajfertőtlenítőtől (Force 1,5 G) a kukoricabogár lárvája tekintetében.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani konzulenseimnek, Ledóné Dr. Ábrahám Rita tanárnőnek, valamint Markóné Dr. Nagy Krisztina fejlesztőmérnöknek PhD-képzésem során nyújtott értékes segítségükért.

Köszönettel tartozom Dr. Stefan Toepfernek, Dr. Tóth Szabolcsnak és Dr. Bart Vandenbosschennek a fonálférges kísérletek során nyújtott értékes segítségükért, továbbá szeretnék köszönetet mondani Najat Attilának, a Biocont Hungaria Kft. ügyvezetőjének a kísérleti anyagok biztosításáért.

Köszönetet szeretnék mondani a röjtökmuzsaji Nébih Kísérleti telep munkatársainak, Poós Bernátnak és Péntek Ákosnak, akik több éven keresztül helyet biztosítottak vizsgálataim elvégzéséhez.

Lekötelezett köszönettel tartozom szüleimnek, akik mindvégig megértéssel, valamint szakmai tapasztalataikkal támogattak kutatásom során, ezzel legnagyobb mértékben hozzájárulva PhD-disszertációm elkészítéséhez.

8. FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Antal J. (szerk.) 2005. *A növénytermesztés alapjai.* Mezőgazda Kiadó, Budapest.
2. Bača F. 1993. New member of the harmful entomofauna of Yugoslavia Diabrotica virgifera virgiferaLeConte (Coleoptera: Chrysomelidae). *Zastita Bilja*, 45, pp. 125–131.
3. Badendreier D. – Jeanneret P. – Pilz C., – Toepfer S. 2015. Non-target effects of insecticides, entomopathogenic fungi and nematodes applied against western corn rootworm larvae in maize. *Journal of Applied Entomology*, 139. (6), pp. 457–467.
4. Ball H.J. 1957. On the biology and egg-laying habits of the western corn rootworm. *Journal of Economic Entomology*, 50, pp. 126–128.
5. Baufeld P. – Enzian S. – Motte G. 1996. Estabilishment potential of Diabrotica virgifera in Germany. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 26. (3–4), pp. 511-518.
6. Bayar K. – Komaromi J.– Kiss J. 2002. Egg production of western corn rootworm (Diabrotica virgifera virgiferaLeConte) in laboratory rearing. *Növenyvédelem*, 38, pp. 543–545.
7. Bayar K. – Komáromi J. – Kiss J. – Edwards, C.R. – Hatala-Zsellér I. – Széll E. 2003. Az amerikai kukoricabogár (Diabrotica virgiferavirgiferaLeConte) populációjának jellemzői kukorica monokultúrában. *Növénytermelés*, 52, pp. 185-202.
8. Biomark 2003. Új ígéretes eljárás kukoricabogár ellen: az Invite technológia. *Gyakorlati agrofórum*, (14) 7, pp. 53–54.
9. Boetel M.A. – Fuller B.W. 1997. Seasonal emergence-time effects on adult longevity, fecundity, and egg viability of northern and western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology*, 26, pp. 1208–1212.
10. Boriani N. – Agost M. – Kiss J. – Edwards C.R. 2006. Sustainable management of the western corn rootworm, Diabrotica virgifera virgifera LeConte (Coleoptera: Chrysomelidae), in infested areas: experiences in Italy, Hungary and the USA. *Bulletin OEPP/EPPO*, (36) 3, pp. 531–537.
11. Brahmachari G. 2004. Neem—An Omnipotent Plant: A retrospection. *ChemBioChem*, 5 (4), pp. 408–421. https://doi.org/10.1002/cbic.200300749
12. Branson T.F. – Johnson R.D. 1973. Adult western corn rootworms: oviposition, fecundity, and longevity in the laboratory. *Journal of Economic Entomology*, 66, pp. 417–418.

13. Campos EVR. – Lima R. – Fraceto FL. – Oliveira LJ. – Pascoli M. 2016. Neem oil and crop protection: From Now to the Future. Front. Plant. Sci, (7), 1, https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01494

14. Čamprag D. (ed.) 1995. *Kukoruzna zlatica (Diabrotica virgifera virgifera).* Drustvo za zastitutu bilja Srbije, Beograd. 112.

15. Čamprag D. – Sekulič R. – Bača F. 1994. A kukorica új kártevője az amerikai gyökérféreg Jugoszláviában. *Agrofórum*, 4 (7), pp. 41–42.

16. Chaudhary S. – Kanwar R.K. – Sehgal A. – Cahill D.M. – Barrow C.J. – SehgalL R. – Kanwar J.R. 2017. Progress on Azadirachta indica Based Biopesticides in Replacing Synthetic Toxic Pesticides. *Frontiers in Plant Science*, 8, 610.

17. Chiang H.C. 1973. Bionomics of the northern and western corn rootworms. *Annual Review of Entomology*, 18, pp. 47–72.

18. Ciche T. A. 2007. *The biology and genome of Heterorhabditis bacteriophora.* WormBook. doi: 10.1895/wormbook.1.135.1

19. Ciche T.A. – Jerald J.C. 2003. For the insect pathogen Photorhabdus luminescens, which end of a nematode is out? Applied and Environmental Microbiology, 69 (4), pp. 1890–1897.

20. Cox C. 2002. Pyrethrins/pyrethrum Insecticide Factsheet. *Journal of Pesticide Reform*, 22 (1), pp. 14–20.

21. Culey MD. – Edwards CR. – Cornelius JR. 1992. Effect of silk feeding by western corn rootworm (Coleoptera, Chrysomelidae) on yield and quality of inbred corn in seed corn production fields. *Journal of Economic Entomology*, 85 (6), pp. 2440–2446. https://doi.org/10.1093/jee/85.6.2440

22. Csorba CS. 2003. Védekezési lehetőségek csávázással az amerikai kukoricabogár ellen. *Gyakorlati Agrofórum*, 14 (E-4), 32.

23. Darnell S.J. – Meinke L.J. – Young L.J. 2000. Influence of corn phenology on adult western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) distribution. *Environmental Entomology*, 29, pp. 587–595.

24. Davis P.M. 1994. Comporison of economic injury levels for western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) infesting silage and grain corm. *Journal of Economic Entomology*, 87, pp. 1086–1090.

25. Dillman A.R. – Sternberg P.W. 2012. Entomopathogenic Nematodes. *Current Biology*, 22 (11), pp. 430–431.

26. Doves Y. – Meihls L.N. – Kiss J. – Hibbard B.E. 2013. Resistance evolution to the first generation of genetically modified Diabrotica-active Bt-maize events by western corn rootworm: management and monitoring considerations. *Transgenic Research*, 22, pp. 269–299.

27. Dzoic D. – Ivezic M. – Raspudic E. – Brmez M. 2010. Development of model for emergence prediction of adult corn rootworm (Diabrotica virgifera virgifera LeConte) in east Slavonia. In Marić S. – Lončarić Z. 2010. *45. hrvatski i 5. Međunarodni simpozij agronoma, 15-19 veljače 2010, Opatija, Hrvatska. Zbornik Radova*. Poljoprivredni fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek. pp. 702-706.

28. Edwards C.R.– Gerber C. – Bledsoe L.W. – Barna GY. – Kiss J. 1998. Comparisons of Hungarian Pheromone and Pherocon AM traps under economic Western Corn Rootworm populations in Indiana, USA. *Pflanzenschutzberichte*, 57 (2), pp. 3–14.

29. Elliott N.C. – Gustin R.D. – Hanson S.L. 1990. Influence of adult diet on the reproductive biology and survival of the western corn rootworm, Diabrotica virgifera virgifera. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 56, pp. 15-21.

30. Feng R. – Isman M.B. 1995. Selection for resistance to azadirachtin in the green peach aphid, *Myzus persicae. Experimentia*, 51, pp. 831–833. https://doi.org/10.1007/BF01922438

31. Ferguson J.E. – Metcalf R.L. 1985. Cucurbitacins: plant-derived defense compounds for diabroticites (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of economic entomology*, 11 (3), pp. 311–318.

32. Ferracini C. – Blandino M. – Rigamonti I.E. – Jucker C. – Busato E. – Saladini M.A. – Reyneri A. – Alma A. 2021. Chemical-based strategies to control the western corn rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte. *Crop Protection*, 139. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105306

33. Fisher J.R. – Sutter G.R. – Branson T.F. 1991. Influence of corn planting date on the survival and on some reproductive parameters of Diabrotica virgifera virgifera (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology*, 20, pp. 185–189.

34. Forim M.R. – Fernandes D.S.M.F. – Fernandes J.B. – Vieira P.C. 2014. *Processo de Obtenção de Nanopartículas Biopoliméricas Contendo Óleo e Extratos de Azadirachta Indica a. Juss (neem). Nanopartículas Biopoliméricas e Micropartículas em pó*. WO2014113860A1

35. Formentini M.A. – Alves L.F.A. – Schapovaloff M.E. 2016. Insecticidal activity of neem oil against Gyropsylla spegazziniana (Hemiptera: Psyllidae) nymphs on Paraguay tea seedlings. *Brazilian Journal of Biology*, 76, pp. 951-954.

36. Fromm E.A. – Bernklau E.J. – Bjostad L.B. 1999. *Simple Technique for scouting Corn Rootworm Larve*. BSPM Dept., Colorado State University, Fort Collins.

37. Gillette C.P. 1912. Diabrotica virgiferaas a corn rootworm. *Journal of Economic Entomology*, 5, pp. 364–366.

38. Godfrey L.D. – Meinke L.J. – Wright R.J. – Hein G.L. 1995. Environmentak and edafic effects on western corn rootworm (Coleoptera, Chrysomelidae)

overwintering egg survival. *Journal of Economic Entomology*, 88, pp. 1445–1454.

39. Gonzalez-Coloma A. – Reina M. – Diaz C.E. – Fraga B.M. – Santana-Meridas O. 2013. Natural Product-Based Biopesticides for Insect Control. *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering* DOI:10.1016/B978-0-12-409547-2.02770-0

40. Gyeraj A. – Szalai M. – Pálinkás A. – Edwards CR. – Kiss J. 2021. Effects of adult western corn rootworm (Diabrotica virgiferaLeConte, Coleoptera: Chrysomelidae) silk feeding on yield parameters of sweet maize. *Crop Protection*, 140. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105447

41. Hallem E.A. – Dillman A.R. – Hong A.V. – Zhang Y. – Yano J.M. – DeMarco S.F. – Sternberg P.W. 2011. A sensory code for host seeking in parasitic nematodes. *Current Biology*, 21 (5), pp. 377–383.

42. Hammack L. 1995. Calling behavior in female western corn rootworm beetles (Coleoptera: Chrysomelidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 88, pp. 562–569.

43. Hammack L. – Ellsbury M.M. – Roehrdanz R.L. – Pikul, J. L. JR. 2003. Larval sampling and instar determination in field population of northern and western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Economic Entomology*, 96, pp. 1153–1159.

44. Hataláné ZS.I. – Ripka G. 2001. A kukoricabogár biológiája és életciklusa. *Gyakorlati Agrofórum*, 12 (5), pp. 7–8.

45. Hill R.E. 1975. Mating, oviposition patterns, fecundity and longevity of the western corn rootworm. *Journal of Economic Entomology*, 68, pp. 311–315.

46. Hills T.M. – Peters D.C. 1971. A method of evaluating postplanting insecticide treatments for control of western corn rootworm larvae. *Journal of Economic Entomology*, 64, pp. 764–765.

47. Horváth A. 2003. A kukoricabogár elleni védekezésre engedélyezett rovarölő szerek az engedélyokiratok alapján. *Gyakorlati Agrofórum Extra*, 4, p. 15.

48. Immaraju J. 1998. The commercial use of azadirachtin and its integration into viable pest control programmes. *Pesticide Science*, 54 (3), pp. 285–289.

49. Ivezić M. – Tollefson J.J. – Raspudic E. – Brkic I. – Brmez M. – Hibbard B.E. 2006. Evaluation of corn hybrids for tolerance to corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) larval feeding. *Cereal Research Communications*, 34 (2–3), pp. 1101–1107.

50. Kahler A.L. – Olness A.E. – Sutter G.R. – Dybing C.D. – Devine O.L. 1985. Root damage by western corn rootworm and nutrient content in maize. *Agronomy Journal*, 77, pp. 769–774.

51. Keszthelyi S. 2019. *Veszélyes kártevők: a talajlakók.* Agrofórum online. https://agroforum.hu/szakcikkek/novenyvedelem-szakcikkek/veszelyes-kartevok-a-talajlakok/

52. Kiss J. – Edwards C.R. 2001. A kukoricabogár európai elterjedése (European distribution of western com rootworm). *Gyakorlati Agrofórum*, 12 (5), 2–3.

53. Kiss J. – Edwards C.R. – Berger H.K. – Cate P. – Cean M. – Cheek J.D. – Festic H. – Furlan L. – Igrc-Barcic J. – Ivanova I. – Lammers W. – Omelyuta V. – Princzinger G. – Reynaud P. – Sivcev I. – Sivicek P. – Urek G. – Vahala O. 2005. Monitoring of western corn rootworm (Diabrotica virgifera virgifera LeConte) in Europe 1992–2003. In Vidal, S. – Kuhlman, U. – Edwards, C.R. (eds.) 2005. *Western Corn Rootworm Ecology and Management.* CABI Publishing, pp. 29–39.

54. Komáromi J. – Edwards C.R. – Kiss J. 2000. Comparison of absolute and relative sampling methods for WCR in Bácska region. *IWGO Newsletter*, XXI, pp. 10–11.

55. Krawczyk K. – Forys J. – Nakonieczny M. – Tranawska M. – K. Beres P. 2021. Transmission of Pantoea ananatis, the causal agent of leaf spot disease of maize (Zea mays), by western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte). *Crop Protection*, 141.

56. Krysan J.L. 1982. Diapause in the nearctic species of the virgifera group of Diabrotica: evidence for tropical origin and temperate adaptations. *Annals of the Entomological Society of America*, 75, pp. 136–142.

57. Krysan J.L. – Smith R.F. 1987. Systematics of the virgifera species group of Diabrotica (Coleoptera: Chrysomelidae: Galeruciane) Entomography, 5, pp. 375-484.

58. Krysan J.K. – Miller T.A. 1986. *Methods for the Study of Pest Diabrotica.* Springer Series in Experimental Entomology, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.

59. Krysan J.L. – Branson T.F. – Castro G.D. 1977. Diapause in Diabrotica virgifera Coleoptera: Chrysomelidae: a comparison of eggs from temperate and subtropical climates. *Entomologia Experimantalis et Applicata*, 22, pp. 81–89.

60. Krysan J.L. – Smith R.F. – Branson T.F. – Guss P.L. 1980. A new subspecies of Diabrotica virgifera (Coleoptera: Chrysomelidae): description, distribution, and sexual conpatibility. *Annals of the Entomological Society of America*, 82, pp. 574–581.

61. Krysan J.L. 1986. Introduction: Biology, Distribution, and Identification of Pest Diabrotica. In Krysan J.L. – Miller T.A. (eds.) 1986. *Methods for the Study of Pest Diabrotica.* Springer-Verlag, New York, USA. pp. 1–23. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4868-2_1

62. Kuhar T.P. – Youngman R.R. 1995. Sex ratio and sexual dimorphism in western corn rootworm adults (Coleoptera: Chrysomelidae) on yellow sticky traps in corn. *Environmental Entomology*, 24, pp. 1408–1413.

63. Lang G. 1976. *Szántóföldi növénytermesztés*. Mezőgazda Kiadó.

64. Lengai G.M.W. – Muthomi J.W. – Mbega E.R. 2020. Phytochemical activity and role of botanical pesticides in pest management for sustainable agricultural crop production. *Scientific African*, 7.

65. Levine E. – Spencer J.L. – Onstand D.W. – Gray M.E. 2002. Adoptation of the western corn rootworm to crop rotation: Evolution of a new strain in response to a management practice. *American Entomologist*, 48, pp. 94–107.

66. Lew A.C. – Ball H.J. 1979. The structure of the apparent pheromone secreting cells of female Diabrotica virgifera. *Annals of the Entomological Society of America*, 71, pp. 685–688.

67. Li S.Y. – Skinner A.C. – Rideout T. – Stone D.M. – Crummey H. – Holloway G. 2003. Lethal and sublethal effects of a neem-based insecticide on balsam fir sawfly (Hymenoptera: Diprionidae). *Journal of Economic Entomology*, 96, pp. 35–42. https://doi.org/10.1093/jee/96.1.35

68. Luckmann W.H. – Chiang H.C. – Ortman E.E. – Nichols M.P. 1974. A bibliography of the northern corn rootworm, Diabrotica longicornis (Say), and the western corn rootworm, Diabrotica virgifera LeConte (Coleoptera: Chrysomelidae). *Illinois Natural History Survey Biological Notes*, 90.

69. Ludwig K.A. – Hill R.E. 1975. Comparisons of gut contents of adult western and northen corn rootworms in northeast Nebraska. *Environmental Entomology*, 4, pp. 435-438.

70. Mancebo F. – Hilje L. – Mora G.A. – Salazar R. 2002. Biological activity of two neem (Azadirachta indica A. Juss., Meliaceae) products on Hypsipyla grandella (Lepidoptera: Pyralidae) larvae. *Crop Protection*, 21 (2), pp. 107–112. https://doi.org/10.1016/S0261-2194(01)00069-2

71. Manninger G.A. 1960. *Szántóföldi növények állati kártevői*. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó.

72. Mayo Z.B. 1986. Field evalution of insecticides for control of larvae of corn rootworms In Krysan, J.L. and Miller, T.A. (eds.) 1986. *Methods for the study of pest Diabrotica.* Spinger-Verlag, New York. 1–23. pp. 183–203.

73. Mendoza C.E. – Peters D.C. 1964. Species differentiation among mature larvae of Diabrotica undecimpunctata howardi, D. virgifera, and D. longicornis. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 37, pp. 123–125.

74. Michereff-Filho M. – Torres J.B. – Andrade L.N. – Nunes M.U.C. 2008. Effect of some biorational insecticides on Spodoptera eridania in organic cabbage. *Pest Management Science*, 64 (7), pp. 761–767. https://doi.org/10.1002/ps.1554

75. Miller N.J. – Giordano R. – Siegfried B.D. – Gray M.E. – Meinke L.J. – Sappington T.W. 2009. Genes, gene flow and adoptation of Diabrotica virgifera virgifera. *Agricultural Forest Entomology*, 11, pp. 47–60.

76. Moeser J. 2003. *Nutritional ecology of the invasive maize pest Diabrotica v. virgiferaLeConte in Europe.* PhD thesis, Faculty of Agricultural Sciences. Georg-August-University, Goettingen.

77. Mordue A.J. – Artes R.J. 1997. Feeding Deterrence and Toxicity of Neem Triterpenoids. *Journal of Chemical Ecology*, 23, pp. 2117–2132.

78. Mordue A.J. – Black A. 1993. Azadirachtin: an update. *Journal of Inscet Physiology*, 39 (11), pp. 903–924.

79. Morgan E.D. 2009. Azadirachtin, a scientific gold mine. *Bioorganic & Medical Chemistry*, 17 (12), pp. 4096–4105. https://doi.org/10.1016/j.bmc.2008.11.081

80. Mulla M.S. – Su T. 1999. Activity and biological effects of neem products against arthropods of medical and veterinary importance. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 15 (2), pp. 133–152.

81. Musick G.L. – Suttle P.J. 1972. *Ohio northern corn rootworm research. Part 1: Chemical control. Annual report.* Ohio Agricultur development and Reserach Center, Wooster, Ohio.

82. Nicoletti M. – Petitto V. – Gallo F.R. – Multari G. – Federic E. – Palazzino G. 2012. The modern analytical determination of botanicals and similar novel natural products by the HPTLC fingerprint approach. *Studies in Natural Products Chemistry*, 37, pp. 217-258. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59514-0.00008-0

83. Niu X. – Kassa A. – Hu X. – Robenson J. – McMahon M. – Richtman N.M. – Steimel J.P. – Kernodle B.M. – Crane V.C. – Sandhl G. – Ritland J.L. – Persanil J.K. – LU Albert L. – Wu G. 2017. Control of Western Corn Rootworm (Diabrotica virgifera virgifera) Reproduction through Plant-Mediated RNA Interference. *Nature, Scientific reports*, 7 (1).

84. Norten E. – Pütz J. 1999. *Neem: India's Miraculous Healing Plant.* Inner Traditions/Bear & Co, Rochester, USA.

85. Pálfay G. 2001. Talajfertőtlenítéssel a kukoricabogár ellen ("Soil disinfection to control corn rootworm"). *Gyakorlati Agrofórum,* 12 (5), p. 6.

86. Pereira A. E. – Wang H. – Zukoff S.N. – Meinke L.J. – French B.W. – Siegfried B.D. 2015. Evidence of Field-Evolved Resistance to Bifenthrin in Western Corn Rootworm (Diabrotica virgifera virgifera LeConte) Populations in Western Nebraska and Kansas. *Plos One*, 10 (11).

87. Pilz C. – Wegensteiner R. – Keller S. 2007. Selection of entomopathogenic fungi for the control of the western corn rootworm Diabrotica virgifera virgifera. *Journal of Applied Entomology*, 131 (6), pp. 426-431.

88. Princzinger G. 1996. Monitoring of western corn rootworm (Diabrotica virgifera virgifera LeConte) in Hungary 1995. *IWGO Newsletter*, XVI (1), pp. 7–11.

89. Pruess K.P. – Weekmann G.T. – Somerhalder B.R. 1968. Western corn rootworm egg distribution and adult emergence under two corn tillage systems. Journal of Economic Entomology, 61, pp. 1424–1427.

90. Qiao J. – Zou X. – Lai D. – Yan Y. – Wang Q. – Li W., Deng S. – Xu H. – Gu H. 2014. Azadirachtin blocks the calcium channel and modulates the cholinergic miniature synaptic current in the central nervous system of Drosophila. *Pest Management Science*, 70, pp. 1041-1047 https://doi.org/10.1002/ps.3644

91. Radics G. 2019. Fenntartható szemléletű szántóföldi növénytermesztéstan. *Agroinform*, 2, pp. 90–91.

92. Raja R.K. – Padmanaban K. – Sivaramakrishnan S. 2011. *Entomopathogenic Nematodes: A Best Bio-control Agent for Insect Pest: Isolation and Identification of Entomopathogenic Nematodes from Agricultural land.* Lambert Academic Publishing.

93. Rasmann S. – Köllner T.G. – Degenhardt J. – Hiltpold I. – Toepfer S. – Kuhlmann U. – Gershenzon J. – Turlings J. 2005. Recruitment of entomopathogenic nematodes by insect-damaged maize roots. *Nature*, 434 (7), pp. 732–738.

94. Rice, M.E. 2018. Transgenic rootworm corn: Assessing potential agronomic, economic, and environmental benefits. *Plant Health Progress*, https://doi.org/10.1094/PHP-2004-0301-01-RV

95. Ripka, G. – Hataláné Zs.I. – Kiss, J. 2000. Hol tart ma az amerikai kukoricabogár Európában? *Gyakorlati Agrofórum*, 11 (3), pp. 106–108.

96. Rudeen M.L. – Jaronski S.T. – Petzold-Maxwell J.L. – Gassmann A.J. 2013. Entomopathogenic fungi in cornfields and their potential to manage larval western corn rootworm Diabrotica virgifera virgifera. *Journal of Invertebrate Pathology*, 144 (3), pp. 329–332.

97. Sampson K. – Zatiseva J. – Stauffer M. – Berg B.K. – Guo R. – Tomso D. – McNulty B. – Desai N. – Balasubramanian D. 2017. Discovery of a novel insecticidal protein from Chromobacterium piscinae, with activity against Western Corn Rootworm, Diabrotica virgifera virgifera. *Journal of Invertebrate Pathology,* 142, pp. 34–43.

98. Santos V. – Junior A.M. – Andaló V. – Moreira C.C. – Alves de Olinda R. 2011. Virulence of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae and Heterorhabditidae) for the control of Diabrotica speciosa germar (coleoptera: chrysomelidae). *Ciencia e Agrotecnologia*, 35 (6).

99. Schmutterer H. 1988. Potential of azadirachtin-containing pesticides for integrated pest control in developing and industrialized countries. *Journal of*

Insect Physiology, 34 (7), pp. 713–719 https://doi.org/10.1016/0022-1910(88)90082-0

100. Senthil N.S. – Kalaivani K. – Sehoon K. – Murugan K. 2006. The toxicity and behavioural effects of neem limonoids on Cnaphalocrocis medinalis (Guenée), the rice leaf folder. *Chemosphere*, 62 (8), pp. 1381–1387. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.07.051

101. Souza D. – Peterson J.A. – Wright R.J. – Meinke L.J. 2020. Field efficacy of soil insecticides on pyrethroid-resistant western corn rootworms (Diabrotica virgifera virgifera LeConte). *Pest Management Science*, 76 (2), pp. 827–833.

102. Spencer J.L. – Hibbard B.E. – Moeser J. – Ostand D.W. 2009. Behaviour and ecology of the western corn rootworm (Diabrotica virgifera virgifera LeConte). *Agricultural and Forest Entomology*, 11 (1), pp. 9–27.

103. Spike B.P. – Tollefson J.J. 1991. Yield response of corn subjected to western corn rootworm (Coleoptere, Chrysomelidae) infestation and lodging. *Journal of Economic Entomology*, 84, pp. 1585–15.

104. Stamm D.E. – Mayo Z.B. – Bambell J.B. – Witkowski J.F. – Andersen L.W. – Kozub R. 1985. Western corn rootworm (Coleoptera, Chrysomelidae) beetle counts as a means of larvae control recommendations in Nebraska. *Journal of Economic Entomology*, 78, pp. 794–798.

105. Stock S.P. – Goodrichblair H. 2008. Entomopathogenic nematodes and their bacterial symbionts: The inside out of a mutualistic association. *Symbiosis*, 46 (2), pp. 65–75.

106. Strnad S.P. – Bergman M.K. 1987. Movement of first instar Western Corn Rootworms (Coleoptera: Chrysomelidae) in Soil. *Environmental Entomology*, 16, pp. 975–978.

107. Sutter G.R. – Branson T.F. – Fisher J.R. – Elliott N.C. 1991. Effect of insecticides on survival, development, fecundity, and sex ratio in controlled infestations of western corn rootworm (Coleoptera, Chrysomelidae). *Journal of Economic Entomology*, 84, pp. 1905–1912.

108. Szalai M. – Kiss J. – Kövér SZ. – Toepfer S. 2014. Simulating crop rotation strategies with a spatiotemporal lattice model to improve legislation for the management of the maize pest Diabrotica virgifera virgifera. *Agricultural Systems*, 124, pp. 39–50.

109. Szemán A. – Takács A. 2004. Az amerikai kukoricabogár elleni védekezés stratégiáinak végiggondolása és kidolgozása. *Gyakorlati Agrofórum Extra*, 8, pp. 47–49.

110. Takács J. 2009. *Az amerikai kukoricabogár várható kártételének előrejelzése, és a rovar ellen használható alternatív védekezési módok.* Doktori (Ph.D.) értekezés, Pannon Egyetem, Keszthely.

111. Tavares W.S. – Costa M.A. – Cruz I. – Silveira R.D. – Serrão J.E. – Zanuncio J.C. 2010. Selective effects of natural and synthetic insecticides on mortality of Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae) and its predator Eriopis connexa (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Environmental Science and Health, Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 45, pp. 557–561. https://doi.org/10.1080/03601234.2010.493493

112. Tímár A. 2003. Komoly kihívásra, komoly válasz… . *Gyakorlati Agrofórum Extra*, 2, pp. 13–89.

113. Tirpin F.T. – Dumenil L.C. – Perers D.C. 1972. Edafic and agronomic characters that effect potential for rootworm damage to corn in Iowa. *Journal of Economic Entomology*, 65, pp. 1615–1619.

114. Toepfer S. – Burger R. – Ehlers R.U. – Peters A. – Kuhlmann U. 2010. Controlling western corn rootworm larvae with Entomopathogenic nematodes: effect of application techniques on plant-scale efficacy. *Journal of Applied Entomology*, 134 (5), pp. 467–480.

115. Toepfer S. – Gueldenzoph C. – Ehlers R.U. – Kuhlmann U. 2005. Screening of entomopathogenic nematodes for virulence against the invasive western corn rootworm, Diabrotica virgifera virgifera (Coleoptera: Chrysomelidae) in Europe. *Bulletin of Entomological Research*, 95 (5), pp. 473–482.

116. Toepfer S. – Guldenzoph C. – Ehlers R.U. – and Kuhlmann U. 2007. Screening of entomopathogenic nematodes for virulence against the invasive western corn rootworm, Diabrotica virgifera virgifera (Coleoptera: Chrysomelidae) in Europe. *Bulletin of Entomological Research*, 95 (5), pp. 473–482.

117. Toepfer S. – Hatala-Zseller I. – Ehlers R.U. – Peters A. 2010b. The effect of application techniques on field-scale efficacy: Can the use of entomopathogenic nematodes reduce damage by western corn rootworm larvae? *Agricultural and Forest Entomology*, 12 (4).

118. Toepfer S. – Knuth P. – Glas M. – Tóth Sz. – Zellner M. 2019. Field level dose-efficacy response of entomopathogenic nematodes at controlling at Diabrotica v. virgifera (Coleoptera: Chrysomelidae). Poszter. *65. Növényvédelmi Tudományos Napok Budapest, február 19–20.*

119. Toepfer S. – Tóth Sz. 2020. Entomopathogenic nematode application against root-damaging Diabrotica larvae in maize: what, when, and how? Microbial and Nematode control of Invertebrate Pests. *IOBC-WPRS Bulletin*, 150, pp. 185-188.

120. Tóth M. – Nagy B. 1995. Amerikából jöttem… A kukoricabogár. *Élet és Tudomány*, 8, pp. 227–229.

121. Tóth Sz. – Szalai M. – Vörös L. – Ledóné Ábrahám R. – Doshi P. – Toepfer S. 2021. Az azadirachtin aktív hatóanyagot tartalmazó biológiai talajfertőtlenítő szerek képesek védelmet nyújtani a Diabrotica v. virgifera (Coleoptera: chrysomelidae) lárvái ellen. In Koczor Á. – Lukácsi N.E. – Ádám J. – Palkovics

L. (szerk.) 2021. 67. *Növényvédelmi Tudományos Napok Konferenciakiadványa.* Budapest.

122. Tóth Sz. – Szalay M. – Zellner M. – Knuth P. – Glas M. – Kiss, J. – Toepfer S. 2019. A Diabrotica v. virgifera (Coleoptera: Chrysomelidae) lárvája elleni kémiai és biológiai védekezési lehetőségek hatékonyságának időbeli különbségei szabadföldön. Poszter. *65. Növényvédelmi Tudományos Napok Budapest, február 19–20.*

123. Tóth V. 2005. Protection against western corn rootworm adults (Diabrotica virgifera virgifera LeConte) in Baranya county (Hungary). *Journal of Central European Agriculture*, 6 (3), pp. 309–316.

124. Tuska T. – Kiss J. – Edwards C.R. – Szabó Z. – Ondriusz I. – Miskucza P. – Garai A. 2002. Az amerikai kukoricabogár (Diabrotica virgifera virgiferaLeConte) imágóveszélyességi küszöbértékének (biberágás) meghatározása vetőmag-kukoricában. *Növényvédelem*, 38, pp. 505–511.

125. Vörös G. 2002a. Újabb kukorica-ellenség: Az amerikai kukoricabogár. *Gyakorlati Agrofórum, Gyakorlati Agrofórum füzetek*, (6), 35.

126. Vörös G. 2002b. Az amerikai kukoricabogár hat éve Tolna megyében. *Növényvédelem*, 38 (10), pp. 547–550.

127. Vörös G. 2004. Az áru kukorica kártevői elleni védekezés. *Gyakorlati Agrofórum Extra*, 5, pp. 43–46.

128. Vörös L. 2019. *Options for the control of western corn rootworm (Diabrotica virgifera virgifera) larvae.* MSc Thesis, Széchenyi István University, Mosonmagyaróvár

129. Vörös L. 2021. Az amerikai kukoricabogár elleni védekezési eljárások áttekintése. *Acta Agronomica Óváriensis*, 62 (2), pp. 141–162.

130. Weathersbee A.A. – McKenzie C.L. 2005. Effect of a neem biopesticide on repellency, mortality, oviposition, and development of diaphorina citri (homoptera: psyllidae). *Florida Entomologist*, 88, pp. 401–407.

131. Weiss N.J. – Seewers K.P. – Mayo Z.B. 1985. Influence of WCR larval densities and damage on corn rootworm survival, development time, size and sex ratio (Coleoptera Chrysomelidae). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 58, pp. 397–402.

132. Wilde G.E. 1971. Temperature effect on developement of western corn rootworm eggs. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 44, pp. 185–187.

133. Wilps H. – Kirkilionis E. – Muschenich K. 1992. The effects of neem oil and azadirachtin on mortality, flight activity, and energy metabolism of Schistocerca gregaria forskal – A comparison between laboratory and field locusts. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C Toxicology and Pharmacology*, 102 (1), 67–71.

134. Wright R. J. 1999. *Managing corn rootworm adults. Corn rootworm Adult IPM Guide.* http://entomology.unl.edu/pmguides/crwadult.htm

135. Xie Y.S. – Gagnon D. – Arnason J.T. – Philogene B.J.R. – Lambert J.D.H. – Kaminski J. – Morand P. – Timmins G. – Werstiuk N.H. 1991. Effects of azadirachtin on the western corn rootworm, Diabrotica virgifera virgifera (Coleoptera: Chrysomelidae). *The Canadian Entomologist*, 123 (3), pp. 707-710.

MELLÉKLETEK

PUBLIKÁCIÓS LISTA

1. *VÖRÖS L., ÁBRAHÁM R., ENZSÖL E. (2020): The effect of chemical and biological control on the western corn rootworm larvae (Diabrotica virgifera virgifera LeConte) in field trials. Acta Agronomica Óváriensis. Vol.61(2): 53–72.) (cikk)*

2. *VÖRÖS L., ÁBRAHÁM R., TÓTH SZ., NAGY K., SZALKA É., TOEPFER S. (2021): A rovarpatogén Heterorhabditis bacteriophora Poinar, mint biológiai védekezési lehetőség az amerikai kukoricabogár lárvái ellen. Növényvédelmi Tudományos napok. p.60. (poszter)*

3. *TÓTH SZ., SZALAI M., VÖRÖS L., LEDÓNÉ ÁBRAHÁM R., DOSHI P., TOEPFER S. (2021): Azadirachtin aktív hatóanyagot tartalmazó talajfertőtlenítőszerek képesek védelmet nyújtani a Diabrotica v. virgifera (Coleoptera: Chrysomelidae) lárvái ellen. Növényvédelmi Tudományos napok. p.24. (előadás)*

4. *TÓTH SZ., SZALAI M., VÖRÖS L., LEDÓNÉ ÁBRAHÁM R., DOSHI P., TOEPFER S. (2021): Azadirachtin aktív hatóanyagot tartalmazó talajfertőtlenítőszerek képesek védelmet nyújtani a Diabrotica v. virgifera (Coleoptera: Chrysomelidae) lárvái ellen. I. Debreceni Alkalmazott Rovartani Konferencia. p.38. (előadás)*

5. *VÖRÖS L., ÁBRAHÁM R., TÓTH SZ., NAGY K., TOEPFER S. (2021): Fenntartható védekezési eljárások az amerikai kukoricabogár (Diabrotica virgifera virgifera) lárvája ellen XXXVIII Óvári Tudományos Nap: Absztraktkötet p. 127. (előadás)*

6. *VÖRÖS L. (2021): Az amerikai kukoricabogár elleni védekezési eljárások áttekintése. Acta Agronomica Óváriensis: 62 (2): 141–162. (szemle cikk)*

7. *TÓTH SZ., SZALAY M., VÖRÖS L., ÁBRAHÁM R., DOSHI P., TOEPFER S. (2021): Azadirachtin based granular soil biopesticides can control larvae of Diabrotica v. virgifera (Coleoptera: Chrysomelidae): 67. Növényvédelmi tudományos napok: 9. 24. (poszter)*

8. *VÖRÖS L., ÁBRAHÁM., NAGY K., TÓTH SZ., TOEPFER S. (2022): Entomopatogén fonálférgek (Heterorhabditis bacteriophora) gyakorlati alkalmazása az amerikai kukoricabogár (Diabrotiva virgifera virgifera) lárvái ellen. 68. Növényvédelmi tudományos napok: Magyar Növényvédelmi társaság, p.19. (előadás)*

9. *VÖRÖS L., ÁBRAHÁM R., NAGY K., TÓTH SZ., STEFAN T. (2022): Megtartják-e a Heterorhabditis bavteriophora fonálférgek a kukoricabogár lárvára (Diabrotica virgifera virgifera) gyakorolt ölő hatást kisebb vízmennyiséggel történő kijuttatás esetén is? Növényvédelem: 83 (58): 192-200. (cikk)*

10. *VÖRÖS L., ÁBRAHÁM R. (2022): Rovarpatogén fonálférgek (Heterorhabditis Bacteriophora) alkalmazása az amerikai kukoricabogár (Diabrotica virgifera virgifera) lárvái ellen. Biokultúra 32 (6): 21–23. (cikk)*

11. *VÖRÖS L. (2022): Azadirachtin for seed dressing of field crops. International research report. International Publication Number: WO 2022 /195308 A1 (szabadalmi közlöny)*

12. *VÖRÖS L., LEDÓNÉ ÁBRAHÁM R. (2023): Effect of azadirachtin applied as seed dressing on the larval density of and root injury caused by the western corn rootworm/Diabrotica virgifera virgifera JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION (1861-3829 1861-3837): 130 pp 757–767.* DOI:10.1007/s41348-023-00763-3 (*cikk*)

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra . A kukoricabogár terjedése az Egyesült Államokban (KISS és EDWARDS, 2001) 17
2. ábra . Az amerikai kukoricabogár terjedése Európában (KISS és EDWARDS, 2001) 18
3. ábra . Az amerikai kukoricabogár hím egyede (saját fotó) 20
4. ábra . Az amerikai kukoricabogár petéje (saját fotó) 21
5. ábra . Az amerikai kukoricabogár lárvája (saját fotó) 23
6. ábra . Az amerikai kukoricabogár szabadbábja (saját fotó) 24
7. ábra . Az amerikai kukoricabogár életciklusa (agupdate.com) 25
8. ábra . Módosított Iowa-skála szerinti gyökérvisszarágottság képekben (saját fotó) 29
9. ábra . Átlagos növényenkénti lárvaszámok alakulása Dianemes kezelések hatására, Röjtökmuzsaj 2020. 72
10. ábra . Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása Dianemes kezelések hatására, Röjtökmuzsaj 2020. 74
11. ábra . Átlagos növénenkénti lárvaszámok alakulása Dianemes kezelések hatására, Röjtökmuzsaj 2021. 76
12. ábra . Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása a Dianemes kezelések hatására, Röjtökmuzsaj 2021 78
13. ábra . Átlagos növényenkénti lárvaszámok alakulása a Dianemes kezelések hatására, Gyömöre 2021. 80
14. ábra . Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása a Dianemes kezelések hatására, Gyömöre 2021. 82

15. ábra . Átlagos növényenkénti lárvaszámok alakulása a Dianemes kezelések hatására, Röjtökmuzsaj 2022. 84
16. ábra . Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása a Dianemes kezelések hatására, Röjtökmuzsaj 2022. 86
17. ábra . Átlagos növényenkénti lárvaszámok alakulása Dianemes kezelések hatására, Perkáta 2022. 88
18. ábra . Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása a Dianemes kezelések hatására, Perkáta 2022. 90
19. ábra . Átlagos növényenkénti lárvaszámok alakulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Gyömöre 2020. 96
20. ábra . Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása az azadiarchtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Gyömöre 2020. 98
21. ábra . Átlagos növényenkénti lárvaszám alakulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Gyömöre 2021. 100
22. ábra . Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Gyömöre 2021. 102
23. ábra . Átlagos növényenkénti lárvaszám alakulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Röjtökmuzsaj 2021. 104
24. ábra . Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Röjtökmuzsaj 2021. 106

25. ábra . Átlagos növényenkénti lárvaszámok alaklulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Hajdúvid 2021. 108
26. ábra . Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Hajdúvid 2021. 110
27. ábra . Átlagos növényenkénti lárvaszámok alakulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Röjtökmuzsaj 2022. 112
28. ábra . Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Röjtökmuzsaj 2022. 114
29. ábra . Átlagos növényenkénti lárvaszámok alakulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Perkáta 2022.116
30. ábra . Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Perkáta 2022.118
31. ábra . Átlagos növényenkénti lárvaszám alakulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Tiszalök 2022..... 120
32. ábra . Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása az azadirachtin hatóanyaggal történő csávázás hatására, Tiszalök 2022. 122
33. ábra . Átlagos növényenkénti lárvaszámok alakulása a két biológiai készítmény alkalmazását követően, Röjtökmuzsaj 2021. 128
34. ábra .. Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása a két biológiai készítmény alkalmazását követően, Röjtökmuzsaj 2021 130

35. ábra . Átlagos növényenkénti lárvaszám alakulása a két biológiai készítmény alkalmazását követően, Gyömöre 2021. 132
36. ábra . Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása a két biológiai készítmény alkalmazását követően, Gyömöre 2021. 134
37. ábra . Átlagos növényenkénti lárvaszám alakulása a két biológiai készítmény alkalmazását követően, Röjtökmuzsaj 2022. 136
38. ábra . Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása a két biológiai készítmény alkalmazását követően, Röjtökmuzsaj 2022.. 138
39. ábra . Átlagos növényenkénti lárvaszám alakulása a két biológiai készítmény alkalmazásánál, Perkáta 2022. 140
40. ábra . Átlagos növényenkénti gyökérvisszarágottság alakulása a két biológiai készítmény alkalmazását követően, Perkáta 2022. 142
41. ábra . Az amerikai kukoricabogár kifejlett egyedeinek mortalitása labortaóriumi körülmények között csökkentett acetamiprid hatóanyagokkal, uborkalé attraktáns alkalmazása mellett (2021).... 146
42. ábra . Az amerikai kukoricabogár rajzásdinamikájának nyomonkövetése a kezelések előtt és után, 2022. 148
43. ábra . Az amerikai kukoricabogár egyedszámváltozása a kezelések hatására 2022. 149
44. ábra . A növényenkénti átlagos kukoricabogár imágószám a kezeléseket követő első felvételezés időpontjában 150
45. ábra . A növényenkénti átlagos kukoricabogár imágószám a kezeléseket követő második felvételezés időpontjában 152
46. ábra . Az amerikai kukoricabogár rajzásdinamikájának nyomonkövetése a kezelések előtt és után, 2023 155

47. ábra . Az amerikai kukoricabogár egyedszámváltozása a kezelések hatására 2023 156
48. ábra . A növényenkénti átlagos kukoricabogár imágószám a kezeléseket követő első felvételezés időpontjában 157
49. ábra . A növényenkénti átlagos kukoricabogár imágószám a kezeléseket követő második felvételezés időpontjában 159

TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat . A hagyományos Iowa-skála értékei 27
2. táblázat . A módosított Iowa-skála értékei 28
3. táblázat . Az amerikai kukoricabogár előrejelzésére rendelkezésre álló csapdatípusok (forrás: csolomon.hu)..... 35
4. táblázat . Az elvégzett fonálférges kezelések során alkalmazott anyagmennyiségek hektáronként és kisparcellánként (2020;2021;2022) 51
5. táblázat . 2020-ban a Neemazal T/S készítmény felhasználásával alkalmazott hatóanyagmennyiségek, magonként és hektáronként..... 54
6. táblázat . 2021-ban a Neemazal F készítmény felhasználásával alkalmazott hatóanyagmennyiségek, magonként és hektáronként..... 55
7. táblázat . 2022-ban a Neemazal F készítmény felhasználásával alkalmazott hatóanyagmennyiségek, magonként és hektáronként..... 56
8. táblázat . Randomizált kísérleti parcella elosztás, Gyömöre 2020. 57
9. táblázat . Randomizált kísérleti parcella-elosztás, Röjtökmuzsaj 2020..... 59
10. táblázat . Randomizált kísérletiparcella-elosztás, Röjtökmuzsaj 2021..... 60
11. táblázat . Randomizált kísérletiparcella-elosztás, Röjtökmuzsaj 2022..... 60
12. táblázat . Randomizált kísérletiparcella-elosztás, Hajdúvid, 2021. 61
13. táblázat . Randomizált kísérletiparcella-elosztás, Tiszalök 2022. 62

14. táblázat . Az évek során elvégzett kísérletek helyszínei és a kezelések 63
15. táblázat . Laboratóriumi körülményedk között elvégzett kezelések során felhasznált hatóanyag- és attraktánsmennyiségek 67
16. táblázat . Szántóföldi körülmények között elvégzett kezelések során felhasznált hatóanyag-, valamint attraktánsmennyiségek 69
17. táblázat . A 2020-as röjtökmuzsai fonálférges kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 73
18. táblázat . A 2020-as röjtökmuzsai fonálférges kísérlet p értékei, átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 75
19. táblázat . A 2021-as röjtökmuzsai fonálférges kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 77
20. táblázat . A 2021-es röjtökmuzsai fonálférges kísérlet p értékei, átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 79
21. táblázat . A 2021-as gyömörei fonálférges kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 81
22. táblázat . A 2021-as gyömörei fonálférges kísérlet p értékei, átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 83

23. táblázat . A 2022-as röjtökmuzsai fonálférges kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 85
24. táblázat . A 2022-as röjtökmuzsai fonálférgeskísérlet p értékei, átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 87
25. táblázat . A 2022-as perkátai fonálférges kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 89
26. táblázat . A 2022-as perkátai fonálférges kísérlet p értékei átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 91
27. táblázat . A 2020-as gyömörei csávázásos kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 97
28. táblázat . A 2020-as gyömörei csávázásos kísérlet p értékei, átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 99
29. táblázat . A 2021-as gyömörei csávázásosi kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 101
30. táblázat . A 2021-as gyömörei csávázásos kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 103

31. táblázat . A 2021-as röjtökmuzsai csávázásos kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 105
32. táblázat . A 2021-as röjtökmuzsaji csávázásos kísérlet p értékei, átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 107
33. táblázat . A 2021-es hajdúvidi csávázásos kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 109
34. táblázat . A 2021-as hajdúvidi csávázásos kísérlet p értékei, átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 111
35. táblázat . A 2022-as röjtökmuzsai csávázásos kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 113
36. táblázat . A 2022-as röjtökmuzsai csávázásos kísérlet p értékei, átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 115
37. táblázat . A 2022-as perkátai csávázásos kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 117
38. táblázat . A 2022-as perkátai csávázásos kísérlet p értékei, átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 119

39. táblázat . A 2022-as tiszalöki csávázásos kísérlet p értékei, átlagos növényenkénti lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05..... 121
40. táblázat . A 2022-as tiszalöki kísérlet p értékei, átlagos gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05. 123
41. táblázat . A két biológiai készítmény hatékonyságának összehasonlítása következtében alakuló p értékek a lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05, Röjtökmuzsaj 2021. 129
42. táblázat . A két biológiai készítmény hatékonyságának összehasonlítása során alakuló p értékek a gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05, Röjtökmuzsaj 2021. 131
43. táblázat . A két biológiai készítmény hatékonyságának összehasonlítása során alakuló p értékek a lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05, Gyömöre 2021. 133
44. táblázat . A két biológiai készítmény hatékonyságának összehasonlítása során alakuló p értékek a gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05, Gyömöre 2021. 135
45. táblázat . A két biológiai készítmény hatékonyságának összehasonlítása során alakuló p értékek a lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05, Röjtökmuzsaj 2022. 137
46. táblázat . A két biológiai készítmény hatékonyságának összehasonlítása során alakuló p értékek a gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05, Röjtökmuzsaj 2022. 139

47. táblázat . A két biológiai készítmény hatékonyságának összehasonlítása során alakuló p értékek a lárvaszám tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05, Perkáta 2022. 141
48. táblázat . A két biológiai készítmény hatékonyságának összehasonlítása során alakuló p értékek a gyökérvisszarágottság tükrében, szignifikáns a különbség, ha p<0,05, Perkáta 2022. 143
49. táblázat . Az amerikai kukoricabogár kifejlett egyedeinek kezelések hatására bekövetkező, szignifikáns mortalitását mutató p értékek, laboratóriumi körülmények között, szignifikáns a különbség, ha p<0,05 (2021). 147
50. táblázat . A növényenkénti átlagos kukoricabogárszám szinifikáns különbségeket szemléltető p értékei a kezeléseket követő első felvételezés időpontjában, szignifikáns a különbség, ha p<0,05 (2022). 151
51. táblázat . A növényenkénti átlagos kukoricabogárszám szinifikáns különbségeket szemléltető p értékei a kezeléseket követő második felvételezés időpontjában, szignifikáns a különbség, ha p<0,05 (2022). 153
52. táblázat . A növényenkénti átlagos kukoricabogárszám szinifikáns különbségeket szemléltető p értékei a kezeléseket követő első felvételezés időpontjában, szignifikáns a különbség, ha p<0,05 (2023). 158
53. táblázat . A növényenkénti átlagos kukoricabogárszám szinifikáns különbségeket szemléltető p értékei a kezeléseket követő második felvételezés időpontjában, szignifikáns a különbség, ha p<0,05 (2022) 160