



Növényvédelmi Intézet

Diflovidazin és hexitiazox hatóanyagok keresztrezisztenciájának vizsgálata közönséges takácsatkán

TDK dolgozat

Sás Csilla

Növényorvosi mesterképzés

Témavezetők: Dr. Szabó Árpád
Szentésiné Nagy Viktória

**Budapest
2022.**

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS.....	3
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	5
2.1. A közönséges takácsatka (<i>Tetranychus urticae</i> Koch).....	5
2.2. A takácsatkák elleni védekezés nehézségei almaültetvényekben.....	6
2.3. Magyarországon és az Európai Unióban jelenleg felhasználható akaricidek és egyéb, atkaölő hatású anyagok.....	7
2.4. A diflovidazin (Flumite 200) bemutatása.....	9
2.5. A hexitiazox (Nissorun 10 WP) bemutatása.....	10
2.6. Atkaölő szerekkel szembeni rezisztencia	11
2.7. A rezisztencia-vizsgálatok módszertana.....	13
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	15
3.1. Felhasznált anyagok	15
3.2. A tenyészetek fenntartása	15
3.3. A vizsgálatok környezeti körülményei	15
3.4. A vizsgálathoz szükséges egységek	16
3.5. A kísérlet menete	16
3.6. Az adatok kezelése	20
4. EREDMÉNYEK	21
4.1. A hatékony dózistartomány vizsgálatának eredményei.....	21
4.2. A tanszéki laborszelektált törzs hexitiazox érzékenysége vizsgálatára	21
4.3. A diflovidazinra nagyfokú rezisztenciát mutató atka populáció hexitiazox érzékenysége vizsgálatára.....	23
4.4. Az érzékeny és a rezisztens törzsek keresztrezisztenciája.....	24
5. KÖVETKEZTETÉSEK	25
6. ÖSSZEFOGLALÁS.....	27
7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	28
8. IRODALOMJEGYZÉK.....	29

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

A takácsatkák kártételének megelőzése az egyre intenzívebbé váló mezőgazdasági növénytermesztésben nélkülözhetetlen. Hazánkban az atkák közül a növénytermesztésben legnagyobb gondot okozó faj a közönséges takácsatka (*Tetranychus urticae* Koch). A takácsatkák kis méretük miatt nehezen észrevehetők, így kártételük sok esetben csak akkor vehető észre, mikor már nem lehet ellenük eredményesen védekezni. Polifág táplálkozásuknak és nagyfokú szaporodási képességüknek köszönhetően hajlamosak a rezisztencia gyors kialakítására és fenntartására, emiatt fokozott figyelemmel kell kísérni a növényállományban való megjelenésüket.

A kártevő atkák elleni okszerű és környezetbarát védekezés gyakran nehéz feladat a gazdálkodó és a növényvédelmi szakember számára is. A ragadozó atkák, valamint egyéb hasznos szervezetek populáció-szabályozó képessége nem megfelelő az üzemi ültetvényekben, vagyis nem előzi meg a gazdasági kártételt, emiatt az atkaölőszerek használata elkerülhetetlen. Az akaricidek nem megfelelő használata számos veszéllyel járhat, hiszen ez a kártevőcsoport rendkívül gyorsan képes a rezisztencia kialakítására, valamint a különböző készítmények a hasznos szervezetekre gyérítő hatással lehetnek. Másrészt a speciális akaricidek a kártevő atkák különböző fejlődési alakjai ellen hatnak. Az atkaölők két csoportra oszthatók fel, e tekintetben egyesek a tojásokat nem, csak a mozgó alakokat pusztítják, míg a másik csoportba tartozó hatóanyagok tojás és lárva ölők, és a kifejlett alakokra nincsenek hatással. Ezért ezeket a készítményeket sok esetben kombinációban lenne érdemes kijuttatni. Növekvő problémát jelent a védekezés megtervezése során, hogy az utóbbi években számos hatóanyagot vontak vissza a felhasználási engedélyét, ezzel szemben az új hatóanyagok megjelenése a piacon igen lassú ütemben zajlik.

Dolgozatomban a közönséges takácsatka két akaricid hatóanyaggal, a diflovidazinnal és a hexitiazoxszal szembeni rezisztenciájával foglalkozom, és ezen hatóanyagok közti keresztrezisztencia jelenlétét és annak mértékét vizsgálom, két atkapopuláción. Az egyik a Rovartani Tanszéken fenntartott laborszelektált érzékeny törzs, míg a másik egy jakabszállási üzemi almaültetvényből származó törzs. A jakabszállási almaültetvényből származó atkapopulációt több éven keresztül diflovidazin hatóanyaggal kezelték, ennek következtében a kártevő az évek során egyre gyengébb érzékenységet mutatott a hatóanyaggal szemben, és az erős rezisztencia bizonyítást nyert. Kísérleteim során kíváncsi voltam arra, hogy a hexitiazox hatóanyaggal szemben is fennáll-e a rezisztencia ebben a populációban, illetve a két hatóanyag között ez alapján fennáll-e a keresztrezisztencia veszélye. Korábbi kutatások kimutatták az

atkanövekedés-gátlók csoportjában megjelenő keresztrezisztenciát más hatóanyagok között, de a fenti hatóanyagok keresztrezisztenciájáról nincs szakirodalmi adat, így munkám úttörő e tekintetben.

Eredményeim a gyakorlati növényvédelem számára is nagyon fontos információkkal szolgálnak.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A közönséges takácsatka (*Tetranychus urticae* Koch)

A kétfoltos takácsatka (*Tetranychus urticae* Koch) a pókszabásúak (Arachnida) osztályába, az atkák (Prostigmata) rendjébe, azon belül a takácsatkák (Tetranychidae) családjába tartozik. Méretük igen kicsi, a nőstény 360-470 µm, a hím 220-450 µm nagyságú. A kifejlett egyedeknél megfigyelhető ivari dimorfizmus már lárváiban is jelen van. A nőstények nagyobbak, kerekdedek, míg a hímek kisebbek, a hátsó részük V-alakú (Bognár, 1996). Színük a fajtól, fejlettségi foktól, táplálkozási állapottól és az évszaktól függően lehet sárga, narancssárga, zöld és barna (Haltrich, 2021). A kifejlett egyedeknél 4 pár, lárváknál 3 pár láb található. A tojás szabad szemmel nem látható, kezdetben áttetsző, majd gyöngyházfehér, később sárgás színű. A takácsatkák szűrő-szívó szájszervű fajok, melyek növényi nedvek szívogatásával táplálkoznak. A megtermékenyített nőstények telelnek a fás részekben (Haltrich, 2021), és a lehullott avarban, illetve a talaj felső részében.



1. ábra *Tetranychus urticae* Koch nőstények és tojásaik (Fotó: Sás Csilla, 2022)

Szaporodásuk részleges partenogenezissel (arrhenotókiával) történik, ami azt jelenti, hogy a megtermékenyítetlen nőstény tojásaiból csak haploid hímek kelnek ki. A megtermékenyített nőstény létrehozhat nőstény és hím utódokat is. A takácsatkák az arrhenotók

szaporodásukkal őrzik meg genetikai variabilitásukat, és ennek segítségével képesek a gyors felszaporodásra is (Hoy, 2011). A megtermékenyített telelő nőtény tavasszal lerakott tojásaiból kelnek ki a lárvák. Ezt követően a lárvák protonimfává, majd deuteronimfává alakulnak. Az egyes fejlődési stádiumok között úgynevezett krizális (nyugalmi) állapot figyelhető meg. Fejlődésük gyorsaságát befolyásolja a hőmérséklet, a relatív páratartalom és a táplálék minősége (Hoy, 2011). Szabadföldön a fény- és hőmérsékletváltozás hatására nyár végén, ősz elején megjelennek a telelő nőtények (Bognár, 1996).

Táplálkozásuk következményeképp a levelek színi oldalán apró fehéres, sárgás foltok figyelhetők meg. A levelek később elsárgulnak, majd elszáradnak. Kártételük korai lombvesztéshez vezethet, ezáltal befolyásolják a termés hozamot és a termés minőségét is (Haltrich, 2021).

2.2. A takácsatkák elleni védekezés nehézségei almaültetvényekben

A takácsatkák elleni kémiai védekezés során a legnagyobb kihívást a fajok magas szaporodási rátája, genetikai variabilitásuk és rövid életciklusuk okozza. Ezeknek a tényezőknek köszönhetően rendkívül gyorsan képesek az atkaölő szerekkel szembeni rezisztencia kialakítására (Hoy, 2011; Van Leeuwen, 2009; Stumpf és Nauen, 2001).

A védekezést tovább nehezíti, hogy mire a populáció eléri azt az igen nagy egyedszámot, amelynél már szabad szemmel is észlelhetőek a károsítás tünetei, addigra a kultúrnövény levelén minden fejlődési alak (tojás, lárv, nimfa, adult) megtalálható (Bognár, 1996). Problémát jelent továbbá, hogy a levél fonáki oldalán, majd a kolónia növekedésével mindenütt a növényen az állat sűrű szövedéket készít, mely megvédi a permetlével való közvetlen találkozástól, így a növényvédelmi kezelés hatékonysága csökken (Hoy, 2011). További nehezítő körülmény a permetlé megfelelő borítottságának biztosítása a lombon, illetve a lombtömeghez igazított dózis alkalmazása (Van de Vrie, 1985).

A kétfoltos takácsatka elleni védekezés tervezésekor nem elhanyagolható tényező, hogy az állat a kéregrepedésekben telel, illetve számos tápnövénye van a gyomnövények között, melyek egy állókultúrában folyamatosan jelen vannak. Mivel a gyomnövényeken is képes elszaporodni, így kiemelten fontos azok időben elvégzett irtása vagy kaszálása (Van de Vrie, 1985).

A takácsatkák elleni védekezés az integrált és ökológiai gazdálkodású ültetvényekben egyre nehezebbé válik, mivel az EU-ban és Magyarországon az ellenük használható növényvédő szerek száma csökken. Nagy nehézséget okoz, hogy jelenleg nincs kereskedelmi

forgalomban szisztemikus atkaölő szer, csak kontakt, illetve transzlamináris hatással rendelkező (EU Pesticides Database, 2022; NÉBIH, 2022).

A takácsatkák elleni hatékony védekezés az integrált növényvédelmi technológia betartásával valósítható meg. Az integrált növényvédelem keretein belül a takácsatkák elleni védekezést lehetőség szerint az egyedszám rendszeres megfigyelésére alapozva időzítjük, és a hasznos szervezeteket, leginkább a ragadozó atkákat kímélő készítményeket részesítjük előnyben (Hoy, 2011).

2.3. Magyarországon és az Európai Unióban jelenleg felhasználható akaricidek és egyéb, atkaölő hatású anyagok

Hazánkban jelenleg olyan akaricid készítmények rendelkeznek engedéllyel, melyek a növényben való kinetikájuk szempontjából kontakt vagy transzlamináris tulajdonságúak. A kontakt hatóanyagok esetében a kipermetezett növényvédő szernek közvetlenül érintkeznie kell az állattal ahhoz, hogy hatását kifejtse, míg a transzlamináris tulajdonsággal rendelkezők esetében a hatóanyag bejut a növény szövetébe, így a levél ellentétes oldalán táplálkozó egyed is képes felvenni azt. Az utóbbi kategóriába tartozó hatóanyagok kevésbé függenek a környezeti tényezőktől, UV-stabilabbak, valamint felszívódásukat követően esőállóak (Ochiai et al., 2007). A szintetikus hatóanyagok mellett néhány természetes eredetű atkaölő hatású anyag is forgalomban van.

Az Európai Unió hatóanyag-felülvizsgálati eljárásának következtében számos atkaölő hatóanyagnak szűnt meg a felhasználási engedélye. A hatóanyagok számának csökkenése növényvédelemi szempontból kedvezőtlen. A szűkülő szerhasználati lehetőségek a rezisztenciát könnyen kialakító állatcsoportok, így a takácsatka-félék elleni kémiai megoldások esetén a forgalomban lévő hatóanyagok értékét rövid távon növelik, hosszútávon viszont a rezisztencia-veszély miatt rontják. Jelenleg 15 hatóanyag rendelkezik uniós engedéllyel (1. táblázat). Ebből Magyarországon 9, valamint szükséghelyzeti engedéllyel a diflovidazin alkalmazható az atkák elleni védelemben (1. táblázat). Ez leírva soknak tűnhet, de amennyiben növénykultúránként vizsgáljuk meg az akaricidek elérhetőségét, akkor szembesülhetünk, hogy számos esetben csak 1-2 lehetőség adott, vagy egy sem.

1. táblázat: Az Európai Unióban és Magyarországon engedélyezett atkaölő hatóanyagok hatásmód szerinti csoportosítása, IRAC besorolással és a növényi felvehetőség feltüntetésével, kiegészítve a Magyarországon szükséghelyzeti engedéllyel rendelkező diflovidazinnal (EU Pesticides Database, 2022)

HU	Hatóanyag	IRAC besorolás	Mode of Action	Növényi felvehetőség
igen	abamektin	6	GLUCL	transzlamináris
igen	milbemektin	6	GLUCL	transzlamináris
nem	acequinocil	20B	MET-I 3	kontakt
igen	bifenazát	20D	MET-I 3	kontakt
nem	fenpiroximát	21A	MET-I 1	kontakt
igen	tebufenpirád	21A	MET-I 1	transzlamináris
nem	fenazaquin	21A	MET-I 1	kontakt
igen	piridaben	21A	MET-I 1	kontakt
igen	spiromezifen	23	A-CO-A-I	transzlamináris
igen	spirotetramát	23	A-CO-A-I	transzlamináris
igen	hexitiazox	10A	MGI	kontakt
igen	diflovidazin	10A	MGI	transzlamináris
nem	klofentezin	10A	MGI	kontakt
nem	etoxazol	10B	MGI	transzlamináris
nem	ciflumetofen	25A	MET-I 2	kontakt
igen	azadirachtin	UN		kontakt

A felhasználható hatóanyagok közül a legtöbb a mitokondriális elektrontranszport inhibitorok (MET-I) közül kerül ki. Ezek a hatóanyagok egy respirációs célponton hatnak, azaz a mitokondriális légzési folyamatba avatkoznak be, hatásuk általában gyors. Ilyen hatóanyagok például az acequinocil, a bifenazát, a fenpiroximát, a piridaben. A másik nagyobb számú hatóanyagot tartalmazó csoport az atkanövekedés-gátlóké (MGI), melyek a növekedési hormonok utánpótlásával, és a kitinszintézis folyamatának gátlásával fejtik ki hatásukat, emiatt a fiatal egyedeket pusztítják, a kifejlett egyedeken csak bizonyos mértékű sterilizáló hatásuk van. Ezek az anyagok lassan fejtik ki hatásukat, közéjük sorolható a hexitiazox, a klofentezin, a diflovidazin, és az etoxazol (IRAC, 2022; Sörös, 2019). A ligandfüggő kloridcsatorna-antagonisták (GLUCL) közé tartoznak az abamektin és milbemektin hatóanyagok, melyek a receptorkötődés következtében a kloridionok sejtbe áramlását megnövelik, így az állat bénulást szenved, és elpusztul (Sörös, 2019). A spiromezifen és spirotetramát hatóanyagok a lipid-bioszintézis gátlók közé tartoznak, melyek az ACCáz enzim működését gátolják, ezáltal a sejtek

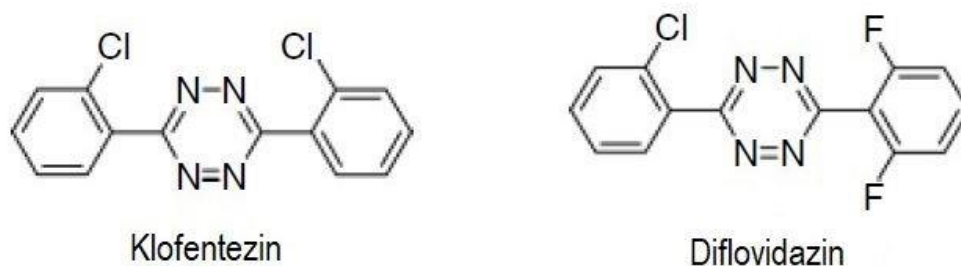
szétesnek, a membrán-közvetített folyamatok sérülnek, és ez a sejtek pusztulásához vezet (Sörös, 2019).

Az atkák elleni védekezésben egyéb atkaölő hatású anyagok használata is számításba jöhet. Ezek általában kontakt hatásmóddal jellemezhetők. Szakirodalmi adatok alapján az azadirachtin, mint természetes inszekticid hasonló mortalitási értékeket mutatott, mint az abamektin. Alkalmazását követően gyorsabban lebomlik a környezetben (7 nap), mint az abamektin. A populáció megfelelő mértékű csökkentése érdekében több kezelés ajánlott. Az azadirachtin hatóanyag a ragadozó atkákra kis toxicitást mutat (Bernardi et al., 2012).

Egyéb olajos hatóanyagok is jelen vannak a piacon, mint például a szójaolaj vagy a repceolaj, melyek alkalmazhatók atkák ellen (Marcic et al., 2009; Lancaster et al., 2002). Kimutatták a rozmaringolaj atkaölő hatását, laboratóriumi körülmények között olyan dózisban, ami a növény számára még nem fitotoxikus (Miresmailli et al., 2006). Ez az ökológiai gazdálkodásban egy ígéretes alternatíva lehet a későbbiekben.

2.4. A diflovidazin (Flumite 200) bemutatása

A diflovidazin –régi nevén flufenzin– egy magyar fejlesztésű szelektív akaricid hatóanyag. A vegyületet 1996-ban Flumite 200 néven, 200 g/l hatóanyagtartalmú szuszpenzió koncentrátum (SC) formában hozták forgalomba. Hosszú hatástartam, és az atkák között széles hatásspektrum jellemző rá (Pap, 1995). Molekuláris szerkezetét tekintve hasonlít a klofentezinhez (2. ábra). Az IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) besorolása szerint az atkanövekedés-gátlók csoportjába tartozik (Bretschneider és Nauen, 2007).



2. ábra Klofentezin és diflovidazin molekuláris szerkezete

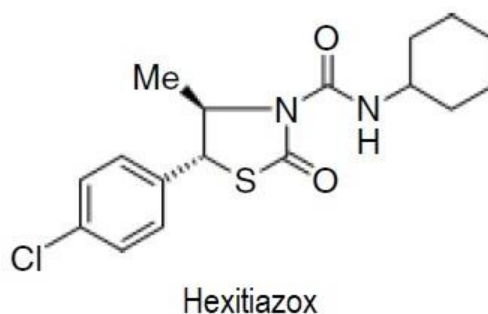
A készítmény a legjobb ovicid hatású atkaölők közé tartozik. Transzlamináris hatásmódjának köszönhetően a hatóanyag a kezeléssel ellentétes levéloldalon is megjelenik, így az ott lerakott tojásokra is gátló hatással van. A hatóanyagra transzovariális aktivitás is jellemző, azaz a Flumite 200-zal kezelt nőtények a táplálkozásuk során felveszik a

hatóanyagot, amely az ováriumba jutva sterilizáló hatású a tojásokra nézve. A diflovidazinnal kezelt tojások piros szemes állapotig fejlődnek (Bleicher, 2003). Hazai vizsgálatokban megfigyelték lárvaölő hatását a krizális alakok fejlődésének gátlásával. A hatóanyaggal kezelt felületen táplálkozó nőtények tojástermésének szignifikáns csökkenését is kimutatták. A diflovidazin piros-gyümölcsfa takácsatka áttelelő tojásai ellen is kiváló hatással rendelkezik (Pap, 1995).

Szelektivitásának köszönhetően csak a növényt károsító atka fajok ellen hatékony, a hasznos ízeltlábú rovarokat és ragadozó atkákat kíméli (Bretschneider és Nauen, 2007). A diflovidazin használata Magyarországon almatermésűekben, csonthéjasokban, szőlőben, bogyósokban, dióban, dísznövényekben és néhány szántóföldi kultúrában engedélyezett. A készítmény hosszú hatástartama miatt, illetve a rezisztencia kialakulásának elkerülése miatt egy tenyészidőszakban és egy növénykultúrában csak egy alkalommal használható fel (Agro-Chemie, 2022).

2.5. A hexitiazox (Nissorun 10 WP) bemutatása

A hexitiazox a diflovidazinhoz hasonlóan az atkanövekedés-gátlók csoportjába tartozik, mely az atkák fejlődését gátolja minden juvenilis (tojás, lárva, nimfa) stádiumban, a kifejlett alakokra gyenge hatást mutat. Kémiaileg a tiozolidinonok közé sorolható hatóanyag (3. ábra) (Bretschneider és Nauen, 2007). A kémiai csoportba tartozó hexitiazox és klofentezin között keresztrezisztenciát figyeltek meg (Herron és Rophail, 1993; Van Leeuwen et al., 2014).



3. ábra Hexitiazox kémiai szerkezete

A hatóanyagot 1980-ban fejlesztette ki a Nippon Soda vállalat, majd 1985-ben forgalomba hozta Nissorun kereskedelmi néven, ezzel egyidőben az AgrEvo Cesar, a BASF pedig Ordoval néven (Bretschneider és Nauen, 2007). A készítmény 100 g/kg hatóanyagot tartalmaz, nedvesíthető por formájában (Nisso Chemical Europe, 2015). Hatástartama hosszú, *Brevipalpus phoenicis* elleni permetezés után még 127 nappal is kimutatták a hexitiazox

hatását. Széles hatásspektrummal rendelkeznek, azaz több kártevő atka faj ellen hatásos, mint a *Tetranychus*, és *Panonychus* fajok. Kontakt kinetika jellemző rá. Legjobb hatását a tojások ellen fejti ki, de rendelkezik lárva ölü hatással is, a kifejlett egyedeken hatása csekély (Bretschneider és Nauen, 2007).

Szelektivitásának köszönhetően a diflovidazinhoz hasonlóan kedvező ökotoxikológiai megítélésű, a ragadozó atkákat és a hasznos ízeltlábú rovarokat kíméli. Ez a tulajdonság lehetővé teszi, hogy integrált növényvédelem keretein belül, és biológiai növényvédelem alkalmazása mellett biztonságosan használható legyen (Bretschneider és Nauen, 2007). Használata hazánkban jelenleg almatermésűek, szőlő, bogyós gyümölcsűek, zöldségfélék, szamóca és dísnövény kultúrákban engedélyezett. Hosszú hatástartama miatt egyes kultúrákban egy vegetációban csak egyszer használható fel (Nisso Chemical Europe, 2015).

2.6. Atkaölő szerekkel szembeni rezisztencia

A rezisztencia evolúciós vagy genetikai válaszreakció a növényvédő szerekkel történő kezelésre. Rezisztencia kialakulásáról akkor beszélünk, ha a populáció egyedeinek egy adott hatóanyaggal szembeni érzékenysége csökken, ennek következményeképpen nagyobb dózis alkalmazása válik szükségessé ugyanolyan mértékű biológiai hatás eléréséhez. Multirezisztenciáról beszélünk, ha egy egyedben több különböző hatóanyaggal szemben a rezisztencia egyszerre van jelen (Hoy, 2011). Keresztrezisztenciáról van szó, ha a várt hatás egyszerre több olyan hatóanyaggal szemben marad el, amellyel a rezisztens törzs még nem találkozott, azaz párhuzamosan egy másik hatóanyagra való rezisztencia alakult ki. Ez megtörténhet azonos hatóanyagcsoportba tartozó vegyületek, vagy akár hatóanyagcsoportok között is (Sörös, 2019). Keresztrezisztencia eltérő kémiai szerkezet ellenére is kialakulhat (Hoy, 2011). A rezisztenciakérdéssel a rovarok és atkák kapcsán az IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) foglalkozik.

Egyre nagyobb ütemben jelennek meg világszerte növényvédő szerekkel szemben ellenálló populációk, és ez egyre nagyobb problémát jelent mind a rovarok, és legfőképpen az atkák elleni védekezésben. A károsító atkafajok körében már majdnem az összes hatóanyaggal szemben mutattak ki rezisztenciát, többek között az etoxazollal, klofentezinnel, hexitiazoxszal vagy az abamektinnel szemben (Stumpf és Nauen, 2001; Hoy, 2011).

Mivel a takácsatkák soknemzedékes, arrhenotók szaporodású állatok, kiváló adottsággal rendelkeznek ahhoz, hogy genetikai mutáció révén alakítsanak ki rezisztenciát, és ezt fenn is tartásák. A rezisztencia kialakulásának mechanizmusai három csoportra oszthatók. Az egyik a hatóanyag célhelyén bekövetkező változás, és így csökkent válaszreakció a célszervezet

részéről. A második csoportja a csökkenő penetráció, azaz a hatóanyag kisebb mértékű felszívódása a kültakarón át. A harmadik csoportba tartozik a fokozott ütemű anyagcsere (Van Leeuwen et al., 2010). A genetikai mutáció lehet domináns vagy recesszív öröklődésű. Ha egy adott hatóanyagból az alkalmazott dózis elpusztítja a heterozigóta egyedeket, akkor recesszív öröklődésről beszélünk. Ha viszont az öröklődés domináns jellegű, akkor a heterozigóta egyedek is túlélnek a kezelést, és a rezisztencia gyorsan terjed. A genetikai rezisztencia mellett megfigyelhető a hatóanyag felgyorsult metabolizációja, melyben három enzim csoport vesz részt, az észterázok, a glutation-S-transzferázok, és a mono-oxigenázok (Kim et al., 2004, Van Leeuwen, 2010). Célszerű kerülni az azonos csoportba tartozó hatóanyagok egymás utáni vagy egy időben történő használatát, különben a hatóanyagot metabolizáló enzimek aktivitása fokozódik (Sörös, 2019). Ilyen például az abamektin-rezisztencia, melyben a citokróm-oxidáz enzim (P450) végzi a metabolizmust (Riga et al., 2014).

Mivel sok, egyező hatásmechanizmussal rendelkező hatóanyag került forgalomba egyszerre, a MET-I (Mitokondriális Elektron-Transzport Inhibitor) hatóanyagokkal szemben, –így a fenpiroximáttal szemben is– kezdett a rezisztencia problémát jelenteni (Sparks és DeAmicis, 2007). Az egyes MET-I hatóanyagok között, a hatóanyag fokozott ütemű metabolizmusán alapuló keresztrezisztencia léphet fel, illetve az egyes hatóanyagokra kialakult célhely-mutáció alapú rezisztencia. Ez utóbbi csak anyai ágon öröklődik, és további szelekciós nyomás nélkül is fennmarad laboratóriumi körülmények között (Stumpf és Nauen, 2001). A fenpiroximát rezisztencia jelentőségét tovább erősíti az is, hogy szakirodalmi adatok szerint a hatóanyaggal szemben kialakított rezisztencia stabil, és szelekciós nyomás hiányában sem csökken a populációban (Sato et al., 2004). Külföldi kutatók a fenpiroximát metabolikus rezisztenciájának hátterében álló egyes detoxifikációs enzimek aktivitását vizsgálták. Megállapították, hogy a MET-I akaricidek metabolizációjában elsősorban a mono-oxigenázok vesznek részt, de kisebb aktivitásban az észterázok is. A MET-I-k közötti keresztrezisztencia-hajlam oka, hogy az ide tartozó hatóanyagok molekuláris tulajdonságaikban hasonlóak, és a lebontásuk a molekula azonos helyén történik (Sparks és DeAmicis, 2007).

Az atkanövekedés-gátlók csoportjába tartozó hatóanyagok között is egyre nagyobb gondot jelent a rezisztencia. Az MGI hatóanyagok közül az etoxazollal szemben mutattak ki külföldi kutatók nagy fokú rezisztenciát (Lee et al., 2003). Az etoxazol rezisztencia anyai úton öröklődik, azaz a citoplazma mitokondriális DNS-ének mutációja okozza. Az akaricidekkel szembeni rezisztencia általában monogén, de előfordulhat poligén öröklődés (Osakabe et al., 2009). Szabadföldön többnyire monogén rezisztencia fordul elő, a poligén inkább a laboratóriumban szelektált atkapopulációkban jellemző (Croft és Van de Baan, 1988). A

hexitiazox hatóanyag esetében előfordulhat, hogy a rezisztenciát okozó gén egyazon lókuszon fordul elő, akárcsak az etoxazollal szemben (Asahara et al., 2008).

Adott populációban a rezisztencia mértékét mutató arányszámként a rezisztenciahányados ($RR = \text{Resistance Ratio}$) értéket használják, amely az adott hatóanyaggal szemben érzékenyre szelektált populáció LC_{50} értékének és a vizsgált populáción mért LC_{50} értéknek a hányadosa. Az RR érték alapján az egyes populációk érzékenységét kategóriákba sorolhatjuk a rezisztencia mértéke alapján. Ha az $RR < 10$, a rezisztencia mértéke a populációban alacsony vagy nincs jelen rezisztencia; ha $10 < RR < 40$, akkor mérsékelt; ha $40 < RR < 160$, magas; ha $RR > 160$, akkor a rezisztenciát extrém erősnek tekinthetjük (Kim et al., 2004).

Nagy szaporodási potenciáljukon kívül jelentős szerepet játszott a rezisztencia egyre gyakoribb kialakulásában, hogy az atkaölő szerek használata jelentős mértékben nőtt (Knowles, 1997). A továbbiakban számolnunk kell azzal, hogy a klímaváltozás miatti hőmérséklet-emelkedés és az aszályos körülmények hatására az atkák populációszabályozása egyre nagyobb kihívást fog jelenteni (Adesanya et al., 2021), csökkenő hatóanyagválaszték mellett.

2.7. A rezisztencia-vizsgálatok módszertana

A rezisztencia-menedzsmenttel globális szinten az IRAC foglalkozik. Módszertani ajánlásuk szerint a különböző fajok, és a különböző fejlődési alakok hatóanyag-érzékenységének vizsgálata eltérő módszerrel lehetséges.

Vizsgálataim során az IRAC által leírt módszertantól a vizsgálati egységek felépítésében némileg eltérő Bleicher, (2003) által leírt módszert alkalmaztam. Ebben az esetben a vizsgálatokhoz egy speciális kanócos építmény használata javasolt. A Petri-csészébe egy vattával kitömött üveg- vagy PVC gyűrűt állítunk, melyre két réteg 50 mm átmérőjű szűrőpapírt helyezünk, az alsó papíron két sugárirányú bevágást ejtve, ez lesz a kanóc, majd erre kerül a második szűrőpapír réteg. A Petri-csészét feltöltjük vízzel, így képezve folyamatosan nedves, frissentartó felületet a levélkorongok számára. A szűrőpapírra más szervezetektől mentes, kezeletlen és egészséges levélkorongokat kell helyezni, majd ezekre a levelekre kerülnek a vizsgálni kívánt atkák (IRAC, 2009).

Az egyes vizsgálati módszerekhez különböző növényfajok levelének használata ajánlott, általában alma vagy szilva leveleket használnak, de a közönséges takácsatka számára a bablevél is megfelelő. Legjobb, ha a felhasznált levél fiatal, de már teljesen kifejlett, valamint fontos, hogy a leveleket fonákkal felfelé helyezzük el, mert a közönséges takácsatkát természetes körülmények között is a levél fonáki oldalán találjuk meg elsősorban. Az állatok

mozgatásához ecset használata szükséges (IRAC, 2009; Nauen et al., 2001). Az egyes kezeléseket a tojások esetében legalább 4 ismétlésben ajánlott elvégezni. Lehetőség szerint alacsony fényintenzitás mellett és 20-25 °C-on kell tartani a nevelőedényeket a vizsgálat ideje alatt (IRAC, 2009).

A hatóanyaggal kezelték mellett fontos, hogy kontroll, vizes kezelést is beállítsunk. A kezeléshez szükséges folyadékokat üvegedényben készítjük elő. A közönséges takácsatka tojásainak vizsgálatához ajánlott 10-15 kifejlett nőtényt elhelyezni a levéldarabokon. A lerakott tojások számát 24 óra elteltével ellenőrizzük, a nőtényeket eltávolítjuk. A levéldarabokat bemeztetéses módszerrel kezeljük, 5 másodpercig tartjuk a folyadékban, utána visszahelyezzük a szűrőpapírra, majd a rajtuk található tojások számát feljegyezzük. A kezelés után napi rendszerességgel feljegyezzük a tojások számát, a kontroll sorozat segítségével korrigáljuk az eredményeket Abbott-formulával (Abbott, 1925; IRAC, 2009).

Mivel ezek a kísérletek laboratóriumi körülmények között zajlanak, így nem kapunk teljesen reális képet arról, hogy a növényvédő szeres permetezés során mekkora lenne a mortalitás szabadföldön. A laboratóriumi kezeléseknél a hatóanyagot semmilyen külső hatás nem éri, melyek csökkentenék a hatékonyságát, valamint a permetlé-borítottság is közel tökéletesnek mondható, szemben az állományban történő permetezéssel. Így kijelenthetjük, hogy a kísérletek eredményei önmagukban nem alkalmasak arra, hogy teljesen pontos képet kapjunk a szer szabadföldön eltérő hatékonyságáról (Hoy, 2011).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. Felhasznált anyagok

A kísérlet során közönséges takácsatka kolóniákkal dolgoztam, melyet a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Budai Campusának Rovartani Tanszékén tartottam fenn. A kísérlethez egy diflovidazinra és hexitiazoxra érzékeny populációt és egy jakabszállási almaültetvényből származó diflovidazinra erős rezisztenciát (RR=) mutató populációt használtam fel, amely populációról részletes adatokat mutat be pályatársam, Erdélyi Ádám diplomadolgozata. Az állatok mozgatása vékony ecsettel történt, külön ecsetet használtam a már kezelt és a még nem kezelt sorozatokhoz. A vizsgálat során Zeiss Stemi 2000 sztereómikroszkóp volt segítségemre.

A vizsgálatok elvégzésére 2022.02.01. – 2022. 09.06. között került sor. Vizsgálatom során a hexitiazox hatóanyagú Nissorun 10 WP atkaölő szert használtam. A bekeveréshez szükségem volt különböző méretű, tiszta keverő poharakra, üvegbotra, csipeszre és egy megfelelő pontosságú mérlegre, mellyel a szükséges mennyiségű növényvédő szert mértem ki.

3.2. A tenyészetek fenntartása

Az atkatenyészetek fenntartásához vattában nevelt, egyhetes babnővényeket használtam. A populációhoz és a kísérlethez szükséges növényeket izolált palántanevelőben állítottam elő, és folyamatosan adagoltam a tenyészetekhez. A fertőzött atkás leveleket a friss levelekre helyezve szaporítottam fel a populációt a kísérlet elvégzése előtt.

Az atkák által kolonizált növényeket izolált vízcsapdára helyeztem, ezzel távol tartva a máshonnan származó takácsatkákat. A két kolóniát különböző szobákban tartottam fenn, ezzel megakadályozva azt, hogy egymással keveredjenek.

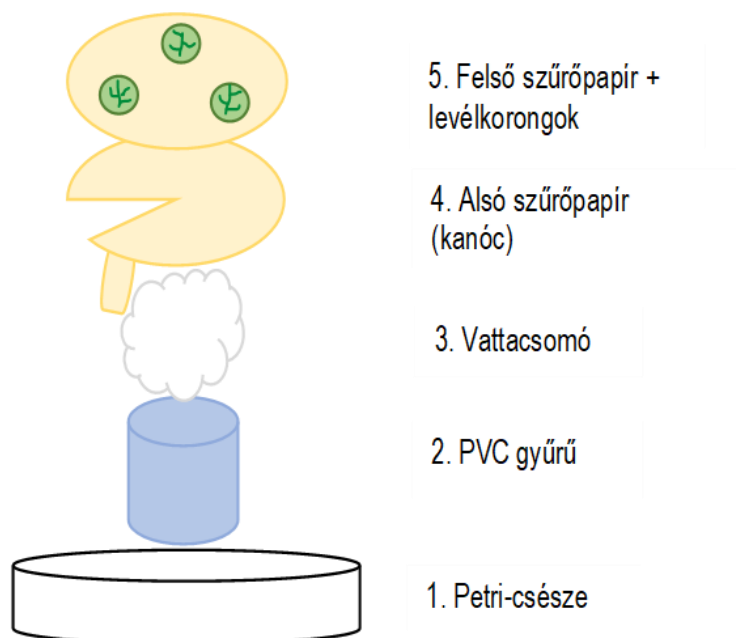
3.3. A vizsgálatok környezeti körülményei

A vizsgálatok alatt próbáltam maximum 5 °C-os hőmérséklet-ingadozás mellett dolgozni, valamint a páratartalmat is viszonylag egyenletesen tartani, maximum 20%-os ingadozással.

A fényt a téli időszakban, a populációk felett elhelyezett lámpákkal pótoltam, melyekhez időzítőkapcsolót alkalmaztam, ezzel biztosítva a 16 órás megvilágítást, az áttelelő alakok megjelenésének elkerülésére.

3.4. A vizsgálathoz szükséges egységek

A kísérlethez speciális kanócos építményt alkalmaztam (4. ábra). Az előre levágott 2,5 cm átmérőjű és 2,5 cm magasságú PVC gyűrűket vattával kitömtem, majd a tetejére 5 cm átmérőjű szűrőpapírt helyeztem, melyen előzőleg sugárirányban két bevágást ejtve kanócot képeztem és a vatta mellé csúsztattam, általa biztosítva az állandóan nedves felületet. Az így elkészült építményeket egy nagyobb méretű Petri-csészébe állítottam, melyet vízzel töltöttem meg. A szűrőpapír tetejére egy másik szűrőpapírt tettem, erre felírtam ceruzával a kolónia származását, a dózist, valamint az ismétlések számát. A számozások mentén elhelyeztem fonákkal felfelé a rovaroktól és atkáktól mentes, egészséges, friss, 1,8 cm átmérőjű, babról származó levélkorongokat.



4. ábra A vizsgálathoz használt kísérleti egység vázlatos rajza

3.5. A kísérlet menete

A vizsgálataimat a kanócos építmények (kísérleti egységek) összeállításával kezdtem. A szűrőpapír tetejére felírtam a származás (kolónia) kezdőbetűjét, és a vizsgálni kívánt dózisokat, valamint a tálcára is felírtam a kolónia származását a jobb átláthatóság kedvéért. Egy építményen 3 darab levélkorongot helyeztem el, fonákkal felfelé, majd ezek után levélkorongonként 5 kifejlett nőstény takácsatkát egy ecset segítségével áthelyeztem az

atkákkal fertőzött bab növényekről (5. ábra). 24 óra múlva a nőstényeket eltávolítottam, a lerakott tojásokat megszámláltam, számukat feljegyeztem. A mérőpoharakba kimértem a bekeveréshez szükséges vízmennyiséget, majd hozzáadtam a mérlegen előre kimért hexitiazox hatóanyagú Nissorun 10 WP-t. Az így kapott permetlébe egy hegyes végű csipesz segítségével belemártottam a levélkorongokat. A legkisebb koncentrációtól az egyre töményebbek felé haladva kezeltem a levélkorongokat. A korongokat 5 másodpercig tartottam a permetlében, majd visszahelyeztem a nedves szűrőpapírra, fonákkal felfelé. Ezt a folyamatot elvégeztem az összes vizsgálni kívánt dózissal. A kezelés végén a Petri-csészéket feltöltöttem vízzel, hogy a szűrőpapír folyamatosan nedves tudjon maradni. 2-4 nap múlva a lárvák kelésekor mikroszkóp alatt a kikelt lárvákat megszámláltam, és eltávolítottam az ecset segítségével, a megmaradt tojásokat is megszámláltam, majd egy füzetbe feljegyeztem az adatokat.



5. ábra A kísérlet egy ismételése (Fotó: Sás Csilla, 2022)

Kísérletemet az előzetes dózissor vizsgálatával kezdtem, melynek célja az volt, hogy felmérjem, hogy az adott populáció milyen dózistartományban kezd el pusztulni a

hexitiazoxtól, és ezáltal a végső dózissort megtudjam határozni (2. táblázat). Kontrollként beállítottam a kiválasztott dózissort az ismert érzékenységu tanszéki populáción, valamint minden populáción az egyedek életképességének ellenőrzésére beállítottam egy 0 ppm-es, sima vizes kezelést is. Az előzetes dózissor vizsgálatához 2x2 darab kanócos építményt állítottam össze. Minden dózist ismétlés nélkül állítottam be kolóniánként.

2. táblázat: A kísérlethez használt előzetes dózissor és keverési táblája.

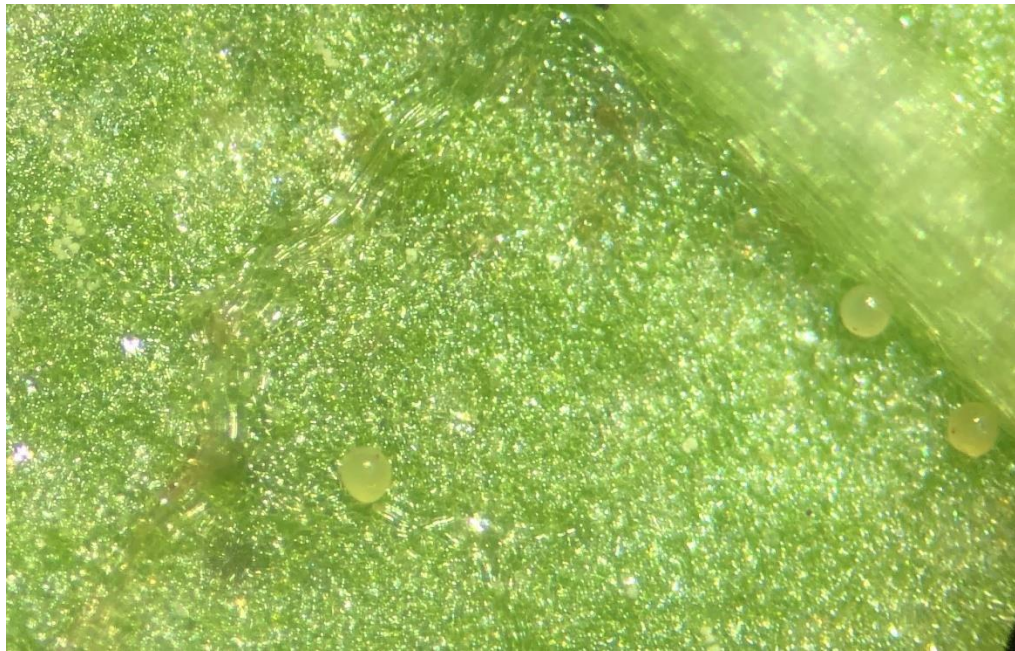
Kolónia	Dózis (ppm a.i.)	Készítmény (g)	Víz (dl)
Érzékeny + Jakabszállásról származó	0,05	1dl a 0,5 ppm-es permetléből, hígítással	9
	0,5	0,025	5
	5	0,025	0,5
	50	0,25	0,5
	500	2,5	0,5

A fő kísérlethez szükséges dózisokat az előzetes vizsgálat eredménye alapján állapítottam meg (3. táblázat). Minden végleges dózissal három ismétlésben, egyúttal három eltérő időpontban végeztem el az érzékenységi vizsgálatot, három párhuzamossal (összesen 9 levélkorongon minden dózis esetén). Ezzel lehetőségem volt arra, hogy ha esetleg az első ismétlés dózissorában nem kaptam 0%-os vagy 100%-os mortalitást, akkor alakítani tudjak a megállapított dózissoron Kramer és Nauen (2011) módszertanának mintájára. Kolóniánként minden alkalommal legalább öt különböző töménységű permetlevet használtam. Az alacsony dózisokat hígítással értem el. Kontrollként itt is beállítottam egy 0 ppm-es, sima vizes kezelést mindkét populációban.

3. táblázat: A fő kísérlethez használt dózissorok és keverési táblájuk.

Kolónia	Dózis (ppm a.i.)	Készítmény (g)	Víz (dl)
Érzékeny	0,007	0,5dl a 0,125 ppm-es permetléből	15,5
	0,015	0,5dl a 0,125 ppm-es permetléből	7,5
	0,03	0,5dl a 0,125 ppm-es permetléből	1,5
	0,0625	0,5dl a 2 ppm-es permetléből	15,5
	0,125	0,5dl a 2 ppm-es permetléből	7,5
	0,25	0,5dl a 2 ppm-es permetléből	3,5
	0,5	0,5dl a 2 ppm-es permetléből	1,5
	1	0,5dl a 2 ppm-es permetléből	0,5
	2	0,01	5
Jakabszállás	156,25	0,625	4
	312,5	0,625	2
	625	0,625	1
	1250	0,625	0,5
	2500	1,25	0,5
	5000	2,5	0,5
	10 000	5	0,5
	20 000	10	0,5

A fő kísérlet során szintén kanócos építményt használtam. A szűrőpapír tetejére három levélkorongot tettem, azokra pedig 5 kifejlett nőtényt. 24 óra elteltével a nőtényeket eltávolítottam, a tojásokat pedig megszámláltam. Ezek után a levélkorongokat a különböző töménységű permetlevelekkel kezeltem, bemártással. 4-7 nap múlva a lárvák elkezdtek kelni, ekkor a kikelt lárvákat és a megmaradt tojásokat megszámláltam (6. ábra), az adatokat feljegyeztem. A tömeges lárvakelés általában 2-3 nap alatt lezajlott.



6. ábra A kezelés hatására elpusztult tojások (Fotó: Sás Csilla, 2022)

3. 6. Az adatok kezelése

Az eredményeket Excel programban gyűjtöttem és kezeltem. A kísérlet lezárulta után külső konzulensem segítségével az adatokból dózis-hatás görbét készítettünk, melyből nemlineáris regresszióanalízissel kiszámoltuk a populációra jellemző LC_{50} értéket. Ebből az értékből megállapíthattuk az érzékeny populáció LC_{50} értékével összehasonlítva, hogy a rezisztencia jelenlévő-e a vizsgált atka törzsben, és amennyiben igen, az milyen mértékű. A kapott LC_{50} értékek segítségével kiszámoltam az RR értéket, amely a keresztrezisztenciára jellemző hányados. Az adatok statisztikai elemzéséhez IBM SPSS Statistics 27 programot használtunk (Armonk, NY:IBM Corp., 2020).

4. EREDMÉNYEK

4.1. A hatékony dózistartomány vizsgálatának eredményei

A Jakabszállásról származó *Tetranychus urticae* atkatörzs 500 ppm-es dózisban 0%-os mortalitást mutatott, míg a kontroll populációban a tojások 100%-a elpusztult (4.táblázat). Az érzékeny törzs esetében az 5 ppm-es dózissal kezelt tojások mindegyike elpusztult, valamint 0,5 ppm-es koncentrációnál is közel 100%-os volt a mortalitás, így a fő kísérletben használt dózisokat ezektől a dózisoktól lefelé határoztam meg.

4. táblázat: Az előzetes vizsgálat dózisa hatására elpusztult tojások aránya a két populációban.

	Dózis (ppm a.i.)	Mortalitás (%)
Kontroll	0	0,0
	0,5	92,9
	5	100,0
	50	76,5
	500	100,0
	5000	83,3
Jakabszállás	0	0,0
	0,5	0,0
	5	20,0
	50	9,1
	500	0,0
	5000	14,3

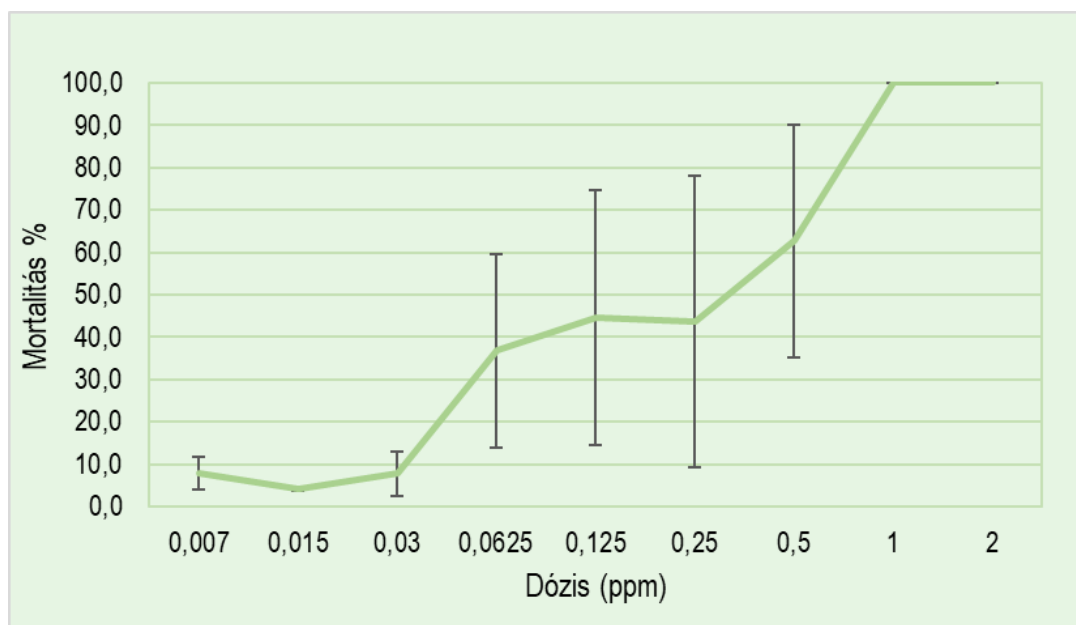
4.2. A tanszéki laborszelektált törzs hexitiazox érzékenységének vizsgálata

Az előzetes vizsgálat eredményeire alapozottan felező dózissorokat alakítottam ki. Először 6 dózissal dolgoztam, de így nem kaptam 0%-hoz közelítő mortalitást, ezért 0,5 ppm-től lefelé kibővítettem további 3 dózissal, így végül összesen 9 koncentrációban kezeltem az atkatojásokat. A mért adatokból kialakított dózis-hatás görbe alapján megfigyelhető, hogy a legnagyobb mortalitást az 1 ppm-es és a 2 ppm-es dózisok adták, viszont a legkisebb dózisoknál

is mérhető volt némi mortalitás (5. táblázat, 7. ábra). A dózis-hatás görbe a populációra jellemző LC₅₀ érték az érzékeny törzs esetében 0,27 ppm volt (7. táblázat).

5. táblázat: Érzékeny atkakolónia ismétlésekre lebontott tojásmortalitása különböző dózisok hatására, és azok átlaga.

Dózisok (ppm a.i.)	Ismétlés sorszáma			Átlag (%)
	1	2	3	
0,007	13,0	6,6	3,9	7,8
0,015	4,6	3,7	3,9	4,0
0,03	4,9	15,0	3,2	7,7
0,0625	68,0	28,6	13,6	36,7
0,125	84,4	11,4	37,9	44,6
0,25	92,2	16,5	22,3	43,7
0,5	100,0	53,4	34,7	62,7
1	100,0	100,0	100,0	100,0
2	100,0	100,0	100,0	100,0



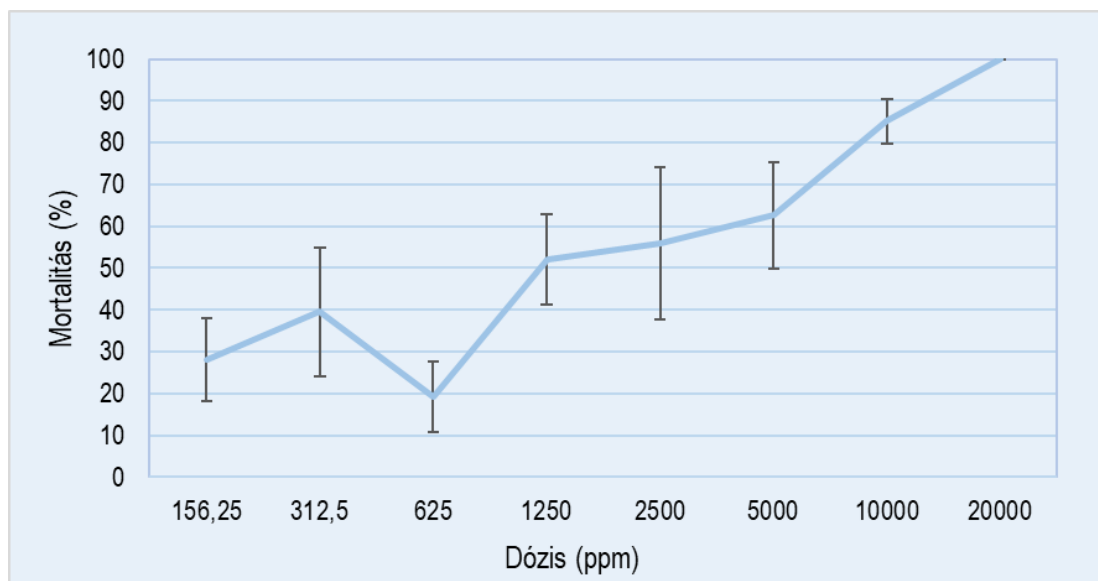
7. ábra A tanszéki (diflovidazinra érzékeny) kolónia hexitiazox érzékenységét jellemző dózis-hatás görbe.

4.3. A diflovidazinra nagyfokú rezisztenciát mutató atka populáció hexitiazox érzékenységének vizsgálata

Az előzetes vizsgálat alapján először 5 dózissal dolgoztam, de miután ez esetben sem kaptam 0%-os mortalitást, ezért kibővítettem további 3 dózissal, így végül összesen 8 koncentrációban kezeltem a tojásokat. A diflovidazin hatóanyagú Flumite 200 atkaölővel szemben nagy mértékű rezisztenciát mutató atka populáció esetében csak a 20 000 ppm-es dózissal kezelt atkák mutattak érzékenységet a hexitiazox hatóanyagra (8. ábra). A lerakott tojások 28%-a nem kelt ki a legkisebb, 156,25 ppm-es kezelésben részesített levélkorongokon (6. táblázat). A dózis-hatás görbe adatainak statisztikai elemzésével kiszámoltam a populációra jellemző LC_{50} értéket. Ez az érték a diflovidazinra rezisztens populáció esetében 1940,61 ppm volt (7. táblázat).

6. táblázat: A rezisztens atka populáció tojásmortalitása az ismétlésekre lebontva, és azok átlaga

Dózisok (ppm a.i.)	Ismétlés sorszáma			Átlag (%)
	1	2	3	
156,25	24,2	41,6	18,2	28,0
312,5	29,8	61,1	27,5	39,5
625	7,9	28,2	21,7	19,3
1250	47,2	66,9	41,9	52,0
2500	30,8	63,6	73,6	56,0
5000	63,4	77,8	46,6	62,6
10000	84,5	91,8	78,9	85,1
20000	100,0	100,0	100,0	100,0



8. ábra A Jakabszállásról származó diflovidazinra rezisztens törzs hexitiazox érzékenységét jellemző dózis-hatás görbe.

4.4. Az érzékeny és a rezisztens törzsek keresztrezisztenciája

A jakabszállási, diflovidazinra nagyfokú rezisztenciát mutató populáció LC_{50} értéke 1940,61 ppm-nek adódott, míg a diflovidazinra és a hexitiazoxra érzékeny törzs esetén ugyanez 0,27 ppm volt. Ezek alapján a rezisztenciahányados ($RR = \text{Resistance Ratio}$) érték 7187,4. Mivel az $RR > 160$, így megállapítható, hogy a rezisztencia szintje a populációban extrém erős (7. táblázat).

7. táblázat: A közönséges takácsatka populációk hexitiazoxra meghatározott LC_{50} értékei, és a diflovidazinra rezisztens populáció hexitiazoxra vonatkozó rezisztenciahányadosa (RR).

	LC_{50}	RR érték
Érzékeny labortörzs	0,27	-
Jakabszállási törzs	1940,61	7187,4

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgált rezisztens populáció egy jakabszállási almaültetvényből származott, ahol évek óta az atkák elleni védekezés alapját a diflovidazin hatóanyagú Flumite 200 növényvédő szer adta. A gazda az ültetvényben a mintavétel évében és az azt megelőző 5 év során a Flumite 200 atkaölőszert évente egy alkalommal használta, azt némileg túldozírozva, feltehetően a lombkorona mérete miatt. Ez alatt az időszak alatt az atkák ellen diflovidazinon kívül csak más hatóanyagcsoportokba tartozó hatóanyagokat juttatott ki. Szakirodalmi adatok alapján a hatóanyagcsoporton belül is előfordul keresztrezisztencia (Adesanya, 2017), ennek következtében számítottam a rezisztencia megjelenésére más, egyező hatásmechanizmusú hatóanyagokkal szemben is. Ennek oka, hogy a takácsatkák arrhenotók szaporodásúak, mellyel képesek megőrizni genetikai sokféleségüket (Hoy, 2011). Az előzetes vizsgálati eredményeim alapján már következtetni tudtam arra, hogy a jakabszállási populáció esetében nagyfokú rezisztenciát fogok tapasztalni.

A laborszelektált érzékeny törzs esetében várakozásomnak megfelelően a hexitiazox hatóanyagra megfelelő érzékenységet tapasztaltam, már a legkisebb koncentrációban kezelt tojásoknál is mutatkozott egy kismértékű ovicid hatás. Az elpusztult tojások mind pirosszemes állapotig fejlődtek, ami a tojáshéjon belül fejlődő prelárva (calyptostatic prelara) fejlődési rendellenességét mutatja, azaz a hexitiazox is, mint a kémiai család többi tagja valójában csak tojásölő, tulajdonképpen a prelárva lárvává alakulását gátolja (Walter és Krantz, 2009). Ez a jelenség a diflovidazinnal kezelt tojások esetében is ismert (Bleicher, 2003).

A diflovidazinra nagyfokú rezisztenciát mutató atkanépeség jelentős ellenállósága mutatkozott meg a hexitiazoxszal szemben, amely a két hatóanyag keresztrezisztenciájára utal. A jakabszállási törzs esetében tapasztalt extrém erős ($RR = 7187,4$) hexitiazox-rezisztencia, avagy a keresztrezisztencia ismereteim szerint tudományra új adat, és egybevág azzal, hogy korábban a hexitiazox és klorfentezin között is kimutattak keresztrezisztenciát (Herron és Rophail, 1993; Van Leeuwen et al., 2014; Adesanya, 2017), ugyanis mindhárom hatóanyag az atkanövekedés-gátlók csoportjába tartozik (Bretschneider és Nauen, 2007).

Ezen új eredményeket a gyakorlati növényvédelem szempontjából kiemelkedő fontosságúnak értékelem, hiszen rávilágít arra az erős bizonyosságra, hogy a két hatóanyagot a felhasználásukra engedélyezett növénykultúrákban rezisztencia szempontból egyként kell kezelnünk, ezáltal tovább csökkentve az egy tenyészidőszakban rendelkezésre álló hatóanyagok számát. A hexitiazoxszal szemben kis mortalitást mutató populációkat

semmiképpen nem érdemes diflovidazinnal kezelni, és fordítva. Ilyen esetben más hatóanyagcsoportból kell választani megfelelő mortalitással bíró hatóanyagot.

A keresztrezisztencia teljes bizonyossággal történő megállapításához szükségesnek tartok egy további, megerősítő vizsgálatot, amely egy diflovidazinra rezisztens törzs kisselektálása történne egy diflovidazinra és hexitiazoxra is érzékeny törzsből. Amennyiben ez a kifejezetten diflovidazin-rezisztenciára szelektált törzs sem mutat mortalitást a hexitiazoxra, akkor a keresztrezisztencia igazolása teljesértékű.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A takácsatkák számos növénykultúra termesztésben meghatározó jelentőségű fajok. Az ellenük való védekezés során fontos figyelembe vennünk, hogy nagy reprodukciós rátájuk és genetikai variabilitásuk miatt rendkívül gyorsan képesek a rezisztencia kialakítására. Ennek megelőzésére fontos lenne a hatóanyagok rotációja, valamint az integrált növényvédelmi technológia elemeinek betartása, a hasznos szervezetek kímélése. A kártevő atkák esetében is egyre több hatóanyagcsoporttal szemben alakult ki rezisztencia, ilyen például a légzésszabályozók vagy a fejlődésszabályozók. Az utóbbi csoportba tartozik az általam vizsgált hatóanyag is.

Vizsgálataim során két atkapopuláció hexitiazox érzékenysége alakulását vizsgáltam. A populációk egy laborszelektált diflovidazinra és hexitiazoxra érzékeny törzsből és egy jakabszállási üzemi almaültetvényből származtak, melyben megállapítást nyert a diflovidazin-rezisztencia jelenléte.

Eredményeim alapján megállapítható, hogy a két populáció érzékenysége eltérő volt. Az üzemi almaültetvényből származó atkák érzékenysége sokkal kisebb volt, mint a kontroll atkáké. Következtetésem szerint, a diflovidazin és a hexitiazox között nagy valószínűséggel keresztrezisztencia áll fenn.

Az állókultúrákban az atkák elleni védekezés hatástalansága többek között az érzékenység-csökkenésre és a hatóanyag-rotáció hiányára vezethető vissza, valamint arra, hogy a kezeléseket nem a megfelelő időben végzik el. A gyorsan szaporodó, nagy genetikai sokszínűséget mutató atkafajok elleni védekezés alfája és ómegája az időzítés, azaz alapos, mikroszkópos megfigyelést követően kis egyedszámnál, a kolónia kialakulása előtt kell az atkaölő szereket felhasználni.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Első sorban köszönettel tartozom témavezetőmnek Dr. Szabó Árpádnak a munkám során nyújtott segítségéért és tanácsaiért.

Külön köszönettel tartozom Szentesiné Nagy Viktóriának a témaválasztásban kapott segítségért, valamint köszönöm, hogy kérdéseimmel mindig fordulhattam hozzá, alázatos segítőkészségével, jótanácsaival támogatott.

Ezúton szeretném köszönetemet kifejezni a Rovartani Tanszék munkatársainak, akik a kísérleteim során mindenben a segítségemre voltak.

8. IRODALOMJEGYZÉK

- Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*. 18. évf., 2. sz. p. 265 — 267.
- Adesanya A.W., Morales M.A., Walsh D.B., Lavine L.C., Lavine M.D., Zhu F. 2017. Mechanisms of resistance to three mite growth inhibitors of *Tetranychus urticae* in hops. *Bulletin of Entomological Research*. Cambridge University Press. p. 1 — 12.
- Adesanya A.W., Lavine M.D., Moural T.W., Zhu F., Walsh D. 2021. Mechanisms and management of acaricide resistance for *Tetranychus urticae* in agroecosystems. *Journal of Pest Science*. p. 1 — 25.
- Agro-Chemie 2022. Flumite 200 atkaölöszer szükséghelyzeti engedélye (6300/1571-3/2022). Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal. Növény-, Talaj- és Agrárkörnyezet-védelmi Igazgatóság. Budapest.
- Armonk, NY:IBM Corp. Main L, Morris R. 2004.
- Asahara M., Uesugi R., Osakabe M.H. 2008. Linkage between one of the polygenic hexythiazox resistance genes and an etoxazole resistance gene in the twospotted spider mite (Acari:Tetranychidae). *Journal of Economic Entomology*. 101. évf., 5. sz. p. 1704 — 1710.
- Bernardi D., Botton M., Silva da Cunha U., Bernardi O., Malausa T., Garcia M.S., Nava D.E. 2012. Effects of azadirachtin on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and its compatibility with predatory mites (Acari: Phytoseiidae) on strawberry. *Society of Chemical Industry*. 69. évf. p 75 — 80.
- Bleicher, E. 2003. Akaricidek tesztelésének komplex módszere laboratóriumban. Doktori értekezés. Gödöllő. Szent István Egyetem.
- Bognár, S. 1996. Közöséges takácsatka (*Tetranychus urticae* Koch). In: Jermy, T., Balázs, K. (szerk.): A növényvédelmi állattan kézikönyve 6. köt., Budapest. Akadémiai Kiadó. p. 77 — 81.
- Bretschneider T., Nauen R. 2007. Mite growth inhibitors: clofentezine, hexythiazox, etoxazole. *Modern crop protection compounds*, 3, p. 1012 — 1027.

- Croft B.A., Van de Baan H.E. 1988. Ecological and genetic factors influencing evolution of pesticide resistance in Tetranychide and Phytoseiid mites. *Experimental and Applied Acarology*. 4. évf. p. 277 — 300.
- EU Pesticides Database, 2022. Active substances, safeners and synergists.
<https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/start/screen/active-substances>
- Haltrich A. (szerk.). 2021. Növényvédelmi állattan. Budapest. Szent István Egyetem Kertészettudományi Kar Rovartani Tanszék.
- Herron G.A., Rophail J. 1993. Genetics of hexythiazox resistance in two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. *Experimental and Applied Acarology*. 17. évf. p. 423 — 430.
- Hoy M.A. 2011. Agricultural acarology: Introduction to integrated mite management. University of Florida. CRC Press.
- IBM Corp. Released 2020. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 27.0
- IRAC 2009. Insecticide Resistance Action Committee. Susceptibility Test Methods Series. Version: 3. No: 003.
- IRAC 2022. Acaricide Mode of Action Classification <https://irac-online.org/>
- Kim Y.J., Lee S.H., Ahn Y.J. 2004. Fenpyroximate resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae): cross-resistance and biochemical resistance mechanisms. *Pest Management Science*. 60. évf. p. 1001 — 1006.
- Knowles C.O. 1997. Mechanisms of resistance to acaricides. In: *Molecular mechanisms of resistance to agrochemicals*. New York. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kramer T., Nauen R. 2011. Monitoring of spiroticlofen susceptibility in field populations of European red mites, *Panonychus ulmi* Koch (Acari:Tetranychidae), and the cross-resistance pattern of laboratory selected strain. *Pest Management Science*. 67. évf. p. 1285 — 1293.
- Lancaster A.L., Deyton D.E., Sams C.E., Cummins J.C., Pless C.D., Fare D.C. 2002. Soybean oil controls two-spotted spider mites on burning bush. *Journal of Environmental Horticulture*. 20. évf., 2. sz. p. 86 — 92.

- Lee Y.S., Song M.H., Ahn K.S., Kim J.W., Kim G.H. 2003. Monitoring of acaricide resistance in two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) population from rose greenhouses in Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 6. évf., 1. sz. p. 91 — 96.
- Marcic D., Peric P., Prijovic M., Ogurlic I. 2009. Field and greenhouse evaluation of rapeseed spray oil against spider mites, green peach aphid and pear psylla in Serbia. *Bulletin of Insectology*. 62. évf., 2. sz. p. 159 — 167.
- Miresmailli S., Bradbury R., Isman M.B. 2006. Comparative toxicity of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil and blend of its major constituents against *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on two different host plants. *Pest Management Science*. 62. évf. p. 366 — 371.
- Nauen R., Stumpf N., Elbert A., Zebitz C.P., Kraus W. 2001. Acaricide toxicity and resistance in larvae of different strains of *Tetranychus urticae* and *Panonychus ulmi* (Acari: Tetranychidae). *Pest Management Science*. 57. évf. p. 253 — 261.
- NÉBIH, 2022. Növényvédő szer hatóanyag lista. <https://portal.nebih.gov.hu/novenyvedo-szer-hatoanyag-lista>
- Nisso Chemical Europe 2015. Nissorun 10 WP rovarölő permetezőszer forgalomba hozatali és felhasználási engedélyének felülvizsgálata (04.2/8677-2/2015). Nemzeti Élelmiszerláncbiztonsági Hivatal. Növény-, Talaj- és Agrárkörnyezet-védelmi Igazgatóság. Budapest
- Ochiai N., Mizuno M., Mimori N., Miyake T., Dekeyser M., Canlas L. J., Takeda M. 2007. Toxicity of bifenazate and its principal active metabolite, diazene, to *Tetranychus urticae* and *Panonychus citri* and their relative toxicity to the predaceous mites, *Phytoseiulus persimilis* and *Neoseiulus californicus*. *Experimental and Applied Acarology*, 43. évf., 3. sz. p. 181 — 197.
- Osakabe M., Uesugi R., Goka K. 2009. Evolutionary aspects of acaricide-resistance development in spider mites. Hindawi Publishing Corporation. Psyche.
- Pap L. 1995. Flufenzin: egy új szelektív atkaölő szer. *Növényvédelem*. 31. évf., 9. sz. p. 439 — 44.
- Riga M., Tsakireli D., Ilias A., Morou E., Stepanou E.G., Nauen R., Dermauw W., Van Leeuwen T., Paine M., Vontas J. 2014. Abamectin is metabolized by CYP392A16, a

- cytochrome P450 associated with high levels of acaricide resistance in *Tetranychus urticae*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*. 46. évf. p. 43 — 53.
- Sato M.E., Miyata T., Da Silva M., Raga A., De Souza Filho F. 2004. Selections for fenpyroximate resistance and susceptibility, and inheritance, cross-resistance and stability of fenpyroximate resistance in *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Applied Entomology and Zoology*. 39. évf., 2. sz. p. 293 — 302.
- Sörös Cs. 2019. Növényvédelmi kémia és toxikológia. Typotex Kiadó.
- Sparks T. C., DeAmicis C. V. 2007. Inhibitors of mitochondrial electron transport: acaricides and insecticides. *Modern crop protection compounds*, 3, p. 885 — 908
- Stumpf N., Nauen R. 2001. Cross-resistance, inheritance, and biochemistry of mitochondrial electron transport inhibitor-acaricide resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Journal of Economic Entomology*. 94. évf. 1. sz. p. 1577 — 1583.
- Van de Vrie M. 1985. Apple. In: *Spider mites: their biology, natural enemies and control*. Vol. 1B. p. 311 — 325
- Van Leeuwen T., Vontas J., Tsagkarakou A., Tirry L. 2009. Mechanisms of acaricide resistance in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae*. *Biorational Control of Arthropod Pests*. Springer Netherlands. p. 347 — 393.
- Van Leeuwen T., Vontas J., Tsagkarakou A., Dermauw W., Tirry L. 2010. Acaricide resistance mechanisms in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and other important Acari: A review. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*. 40. évf. p. 563 — 572.
- Van Leeuwen T., Tirry L., Yamamoto A., Nauen R., Dermauw W. 2014. The economic importance of acaricides in the control of phytophagous mites and an update on recent acaricide mode of action research. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. p. 1 — 10.
- Walter D.E., Krantz G.W. 2009. Oviposition and life stages. In: *A manual of Acarology*. Texas Tech University Press. p. 57 — 61.