



MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

**A LÍTIUM-KLORID HATÁSOSSÁGA ÉS ALKALMAZÁSI
LEHETŐSÉGEI A *VARROA DESTRUCTOR* (ANDERSON AND
TRUEMAN, 2000) ATKA ELLENI VÉDEKEZÉSBEN**

DOI: 10.54598/006450

Kolics-Horváth Éva

Keszthely

2025

A doktori iskola

megnevezése: Festetics Doktori Iskola

tudományága: Környezettudományok

vezetője: Dr. habil. Anda Angéla
egyetemi tanár, DSc
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Georgikon Campus,
Növénytermesztési-tudományok Intézet, Agronómia Tanszék

Témavezető: Dr. Kondorosy Előd
egyetemi tanár, CSc
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Georgikon Campus,
Vadgazdálkodási és Természetvédelmi Intézet,
Természetvédelmi Biológia Tanszék

Társtémavezető: Petrovicsné Dr. Mátyás Kinga Klára
tudományos munkatárs
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Georgikon Campus,
Genetika és Biotechnológia Intézet,
Mikrobiológia és Alkalmazot Biotechnológia Tanszék

.....
Az iskolavezető
jóváhagyása

.....
A témavezető(k)
jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés.....	4
2. Célkitűzések	5
3. Irodalmi áttekintés.....	6
3.1 A mézelő méh jelentősége	6
3.2 A <i>Varroa</i> atka jelentősége a méhegészségügyben	9
3.3 A <i>Varroa</i> atka elleni védekezés lehetőségei és a védekezéshez jelenleg használt szerek	15
3.3.1 Az atkák elleni védekezésre jelenleg használt hatóanyagok - szintetikus akaricidek ..	15
3.3.2 Az atkák elleni védekezésre jelenleg használt hatóanyagok – Szerves savak	19
3.3.3 Illóolajok	21
3.3.4 Kémiai kommunikáción alapuló módszerek.....	22
3.3.5 Mikrobiológiai módszerek	22
3.3.6 Természetes ellenségek.....	23
3.4 A Litium ion, mint potenciális varroacid jelentősége.....	24
3.4.1 A lítium ion általános jellemzése	24
3.4.2 A lítium ion <i>Varroa</i> elleni hatásmechanizmusa.....	30
4. Anyag és módszer	34
4.1 A lítium kontakt <i>Varroa</i> elleni hatásosságának kimutatása	34
4.1.1 Laboratóriumi modellkísérlet (<i>ex situ</i>) kontakt hatásosság vizsgálatok	34
4.1.2 <i>In situ</i> kontakt hatásosság vizsgálatok	37
4.2 Oxálsav és lítium <i>Varroa</i> atka elleni hatékonyságának összehasonlítása	39
4.3 A lítium-klorid kezelések méhészeti gyakorlat szerinti releváns kijuttatási módjainak összehasonlítása.....	41
5. Eredmények és azok megvitatása.....	48
5.1 A lítium kontakt <i>Varroa</i> elleni hatásosságának kimutatása	48
5.2 Az oxálsav és lítium <i>Varroa</i> atka elleni hatékonyságának összehasonlítása	51
5.3 A lítium-klorid kezelések méhészeti gyakorlat szerinti releváns kijuttatási módjainak összehasonlítása.....	53
5.3.1 Meleg és hideg ködöléses módszerek	54
5.3.2 Tartós hordozón történő kijuttatás (impregnált papírcsíkok).....	55
5.3.3 Csorgatásos módszer.....	55
5.3.4 Cukor adjuváns hatásának tisztázása	59
6. Következtetések és javaslatok	61
7. Új tudományos eredmények.....	65
8. Összefoglalás	66

9. Summary	69
10. Mellékletek.....	72
1. Melléklet – Irodalomjegyzék.....	72
2. Melléklet - Publikációk jegyzéke	86
11. Köszönetnyilvánítás	89

1. BEVEZETÉS

A nyugati mézelő méh (*Apis mellifera*, Linnaeus, 1758) kiemelkedő szerepet tölt be az ökoszisztémában: nem csupán mézet és egyéb méhészeti termékeket szolgáltat, hanem beporzó tevékenysége révén az élelmiszer-termelésre közvetett hatást gyakorol. A méhészetek számos kihívással szembesülnek, amely veszélyeztetik az ágazat jövőjét és a beporzásra gyakorolt pozitív hatását. A klímaváltozás okozta szélsőséges időjárás nemcsak a méhekre, de a méhlegelőkre is negatív hatással van. Ezeken kívül a mézpiaci bizonytalanságok, a növényvédőszer problémák, valamint az olyan paraziták és betegségek, mint az ázsiai sárgalábú lódarázs (*Vespa velutina nigrithorax*, du Buysson, 1905), a *Varroa* atka (*Varroa destructor*, Anderson and Trueman, 2000), az amerikai nyúlós költésrothadás vagy a *Microsporidia* kórokozó, a *Vairimorpha* (korábban *Nosema*), stb. is komoly kihívások elé állítják a méhészeti ágazatot. Ezek közül a *Varroa* atka jelenti a legjelentősebb globális problémát, mivel a méhészek számára az ellene való védekezés egy folyamatos kihívás. A keleti mézelő méh (*Apis cerana*, Fabricius, 1793) eredeti parazitájaként a *Varroa destructor* a gazdaváltást követően gyorsan elterjedt világszerte. Ha nem kezelik, akkor egy-két éven belül, de nagy méhsűrűségű területen akár egy méhészeti szezonon belül is elpusztíthatja a méhcsaládokat. A védekezést nehezíti, hogy az atka a fedett fiasításban szaporodik, ahová a legtöbb varroacid hatóanyag nem képes behatolni. A hangyasav ugyan némiképp kivételt képez, ám hatékonysága jelentősen függ a környezeti hőmérséklettől, és hatásossága inkonzisztens lehet, ezért alkalmazása korlátozott a méhészeti gyakorlatban. A méhészek ezért gyakran méhészeti technológiákkal, például fiasításmentes állapot kialakításával egészítik ki az atka elleni védekezést. E módszer lehetővé teszi, hogy az atkák a sejtekből a kifejlett méhekre vándoroljanak, ahol így célzott kezeléssel hatékonyabban lehet őket elpusztítani. A jelenleg alkalmazott szerek hatékonysága gyakran nem kielégítő, emellett rezisztencia és szermaradvány-problémákkal terhelt. Éppen ezért folyamatos az igény új hatóanyagok kifejlesztésére. Ziegelmann és mtsai 2018-ban RNS interferencia (RNAi) kutatásai során fedezték fel a lítium-klorid atkaölő hatását, amit eredetileg vivőanyagként használtak kísérleteikben. A lítium-klorid viszonylag olcsó és könnyen hozzáférhető szer, ezért is ígéretes alternatíva lehet a méhészek számára. A lítium-klorid méhészeti alkalmazásával kapcsolatosan nem álltak rendelkezésre kísérleti adatok Ziegelmann és munkatársai (2018) eredményein kívül, ezért kutatásainkat az ebben a tanulmányban foglalt eredményeikre alapozva kezdtük meg. Kísérleteink célja a lítium-klorid átfogó vizsgálata volt, hogy minél több információt szerezzünk erről a potenciális hatóanyagról annak eldöntése végett, hogy milyen kockázatok mellett, milyen kijuttatási módon és dózissal alkalmazható a Li⁺ ion varroacidként a méhészetben, lehetővé téve a méhészek számára a biztonságos és hatékony atka elleni védekezést, amennyiben a lítium-klorid engedélyezett atkaellenes készítmény lesz.

2. CÉLKITŰZÉSEK

1. A lítium-klorid kontakt hatásának vizsgálata laboratóriumi modellkísérletben (*ex situ*) és *in situ* körülmények között, lehetséges új kijuttatási módok meghatározása érdekében.
2. A lítium-klorid és az oxálsav hatékonyságának összehasonlító vizsgálata a *Varroa destructor* elleni védekezési stratégiában.
3. A méhészeti gyakorlatban releváns, alternatív kijuttatási módok és azok hatékonyságának összehasonlító vizsgálata, úgymint a meleg ködölés, a hideg ködölés, a tartós hordozó és a csorgatásos módszerek esetén.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1 A MÉZELŐ MÉH JELENTŐSÉGE

A nyugati mézelő méh vagy házi méh (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) a selyemhernyó mellett az egyetlen házasított rovar. A vadméhek hasznosítása kb. 10 000 évvel ezelőtt kezdődhetett (Weber, 2013, Crittenden 2011), azonban méhekkal, mézzel kapcsolatos legkorábbi ábrázolások sziklarajzokon (kb. 40 000 - 80 000 évvel ezelőtt) láthatóak Spanyolországban, Indiában, Dél-Afrikában és Ausztráliában (Crittenden, 2011). A házi méh Európában, Nyugat-Ázsiában és Afrikában őshonos. Betelepítése Észak-Amerikába brit gyarmatosítók révén a 17. században kezdődött, és mára a világ szinte minden táján megtalálható (Sammataro and Avitabile, 1998, Winston et al., 1981). A mézelő méh (*A. mellifera*) a hártyásszárnyúak (*Hymenoptera*) rendjén belül a méhfélék (*Apidae*) családjába tartozik (Rothenbuhler et al., 1968). Az *Apidae* családon belül az *Apis* nembe jelenleg 8 faj tartozik, melyek a törpe méh (*Apis florea* Fabricius, 1787), a bokor- vagy bozótméh (*Apis andreniformis* F. Smith, 1858), a keleti vagy indiai méh (*Apis cerana* Fabricius, 1793), a nyugati mézelő méh (*Apis mellifera* Linnaeus 1758, korábban *mellifica*), az óriás méh (*Apis dorsata* Fabricius, 1798), a szirti vagy himalájai méh (*Apis laboriosa* F. Smith, 1871), a vörös méh (*Apis koschevnikovi* Buttel-Reepen, 1906) és a Borneón található méh (*Apis nuluensis* Tingek-Koeniger and Koeniger, 1996). Az *A. mellifera* fajon belül a földrajzi elterjedésnek megfelelően négy ökológiai csoport alakult ki 1. Balkáni és appenini (krajnai) méhek csoportja, 2. Észak- és nyugat-európai, észak-afrikai méhek csoportja, 3. Közel-keleti méhek csoportja, 4. Trópusi méhek csoportja (Ruttner and Lindauer, 1992).

Gazdasági szempontból a nyugati mézelő méhnek (*A. mellifera*) és a keleti mézelő méhnek (*A. cerana*) van nagyobb jelentősége (Rothenbuhler et al., 1968). A nyugati mézelő méh (*A. mellifera*) fajon belül gazdaságilag jelentős alfajok, azaz méhfajták a krajnai (*A. m. carnica* Pollmann 1797), az olasz (*A. m. ligustica* Spinola 1806), a kaukázusi (*A. m. caucasica* Pollmann 1889), valamint az északi vagy fekete méh (*A. m. mellifera* Linnaeus 1758) (Rothenbuhler et al., 1968) (1. ábra). Magyarországon többnyire a krajnai méh pannon ökotípusával méhészkednek.



1. ábra Az *Apis mellifera* evolúciós vonalainak és alfajainak megközelítő természetes elterjedése Európában (De la Rúa et al., 2009)

Az akaricid alapú védekezési megközelítés alternatívája lehet a méhek rezisztencia tenyésztése. A házi méh több alfajának keresztezéséből (*A. m. scutellata*, *A. m. ligustica*, *A. m. iberiensis*) létrejött afrikanizált méhet 1956-ban Warwick E. Kerr hozta létre Braziliában (Kerr, 1957). A célja az volt, hogy olyan mézelő méhfajt tenyesszen, amely jobban alkalmazkodik Dél-Amerika trópusi éghajlatához. A tenyésztésbe vont méhcsaládokból azonban 26 raj kirajzott, a keresztezések így kontrollálatlanul és spontán folytatódtak, és ezek a méhek terjedtek el az amerikai trópusokon keresztül először Mexikóban (Kerr, 1967, Fierro et al., 1987), fokozatosan az egész országot benépesítve, majd a trópusi és szubtrópusi területeken is uralkodóvá váltak (Quezada-Euán, 2007). Az USA déli államait már 1985-ben elérte, emellett Dél-Amerika több országában is megjelentek. Kezdetben ez a méh komoly problémákat okozott a méhészek számára vadsága okán, mivel erős védekező ösztönrel rendelkeznek. Mára azonban a méhészek sikeresen alkalmazkodtak hozzájuk és technikai fejlesztésekkel viszonylag kezelhetővé váltak. Az afrikanizált méhek az európai rokonaikhoz képest számos előnnyel rendelkeznek. Ezek a méhcsaládok sokkal gyorsabban fejlődnek, ellenállóbbak a betegségekkel szemben, ezáltal jobb beporzók, több mézet termelnek (De Jong, 1996). Azonban az európai mézelő méhekkel szemben rajzóbb hajlamúak, a csökkenő táplálékforrásra akár a kaptárból történő kiköltözéssel reagálhatnak.

A termelésben az afrikanizált mézelő méh meghatározó előnye a *Varroa* atkával szembeni toleranciája (De Jong et al., 1982, Medina Flores et al., 2014, Oddie et al., 2018), amely parazitát 1977-ben észleltek először Braziliában (Goncalves et al., 1979). Több tanulmány kísérletesen is

bizonyította, hogy az afrikanizált mézelő méhek a *V. destructor*-ral szemben, az európai fajtákkal összevetésben is ellenállóbbak (Moretto et al., 1991, Guzman-Novoa et al., 1996, Guzmán-Novoa et al., 1999, Moretto and Mello Jr, 1999, Arechavaleta-Velasco and Guzmán-Novoa, 2001, Medina Flores et al., 2014). Nem ismert azonban, hogy ez a különbség befolyásolja-e a *V. destructor* által terjesztett vírusfertőzésekre való fogékonyságukat. Továbbá kevés ismeret áll rendelkezésre arról mind az afrikanizált, mind az európai méhek tekintetében, hogy a méhek melyik stádiuma (a fiasítás vagy a kifejlett egyed) érzékenyebb a vírus átvitelére és szaporodására. Annak ellenére hogy számos publikáció számolt be arról, hogy a *Varroa* fertőzés következtében csökken az afrikanizált méhek mérete és súlya (De Jong et al., 1982b, Reyes-Quintana et al., 2019, De Jong and De Jong, 1983, Mattos and Chaud-Neto, 2012, Koleoglu et al., 2018), a braziliai méhészek általában nem védekeznek a *Varroa* atka ellen, helyette a méh azon képességére hagyatkoznak, hogy megbirkózik ezzel a parazita atkával (De Jong, 1996, Castilhos et al., 2021). Ez a szintetikus akaricidek nélküli méhészkedés az érintett területeken lehetővé teszi a bioméhészkedést.

A mézelő méhek beporzóként gazdasági szempontból nézve stratégiai szerepet játszanak a mezőgazdaságban. Az élelmiszertermeléshez való globális gazdasági hozzájárulásukat évente 235 és 285 milliárd USD közé becsülik (Lautenbach et al., 2012). Számos tanulmány igazolja, hogy a mézelő méhek, elsősorban az *Apis mellifera*, növényi monokultúrák gazdasági szempontból legfontosabb beporzói világszerte (Watanabe, 1994, McGregor, 1976). A kereskedelmi célú beporzási szolgáltatások közel 90%-a mézelő méhhez köthető, így a legfontosabb kereskedelmi célú beporzók világszerte (Genersch et al., 2010). Összességében a rovar általi beporzás globális szempontból jelentős növényfajok 75 százalékának terméshozamához járul hozzá (Klein et al., 2007), beleértve számos vadon élő növényfajt is (Tarrant, 2011). A FAO (Food and Agriculture Organization) becslése szerint a világ élelmezésének 90%-át adó mintegy 100 növényfajból 71 növényfaj beporzása méhek által biztosított (<https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/bee-health>). A gazdasági növényeken túlmenően a mézelő méhek különböző vadon termő virágos növény megporzói is, mellyel hozzájárulnak az ökoszisztéma fenntartásához (ökoszisztéma szolgáltatás) (Le Conte and Navajas, 2008, Klein et al., 2007, Rader et al., 2009, Paudel et al., 2015).

A méhcsaládok száma a világ számos pontján csökkenő tendenciát mutat (Delaplane and Mayer, 2000, Matheson, 1996, Williams et al., 1991). A méhpopulációkat számos tényező veszélyezteti, köztük az élőhelyek fragmentációja, a peszticideknek való kitettség (Ingram et al., 1996), az atkák (pl. *Varroa destructor*, *Tropilaelaps mercedesae*, *Tropilaelaps clareae*) és más kórokozók okozta károsítások és fertőzések, különböző egyéb kártevők (pl. *Vespa velutina nigrithorax*, kis kaptárbogár – *Aethina tumida*), valamint a genetikai sokféleség csökkenése. A mézelő méhek csökkenő száma jövőbeni beporzó hiányt okozhat (Bauer and Wing, 2010).

Az USA-ban a méhészek 2006-ban méhcsaládok megmagyarázhatatlan eltűnését figyelték meg. Ezt a jelenséget Colony Collapse Disorder-nek (CCD) (kaptárelhagyási szindróma) (Ratnieks and Carreck, 2010, Tylianakis, 2013) nevezik. A jellemző tünetei, hogy a kifejlett dolgozók eltűnnek a méhcsaládokból, amelyet jól jelez az elhullott méhek hiánya a kaptáron belül vagy kaptáron kívül; további tünet a kártevők késleltetett megjelenése, valamint a szomszédos méhcsaládok kleptoparazitizmusa (Cox-Foster et al., 2007). Ezt a jelenséget mára világszerte megfigyelték (Council, 2007, Potts et al., 2010, Meixner, 2010). A beporzók csökkenő tendenciája negatív hatással van a növénytermesztésre (Bauer and Wing, 2010), az ökológiai sokéleségre és gazdaságra is egyaránt kihatással van.

3.2 A *VARROA* ATKA JELENTŐSÉGE A MÉHEGÉSZSÉGÜGYBEN

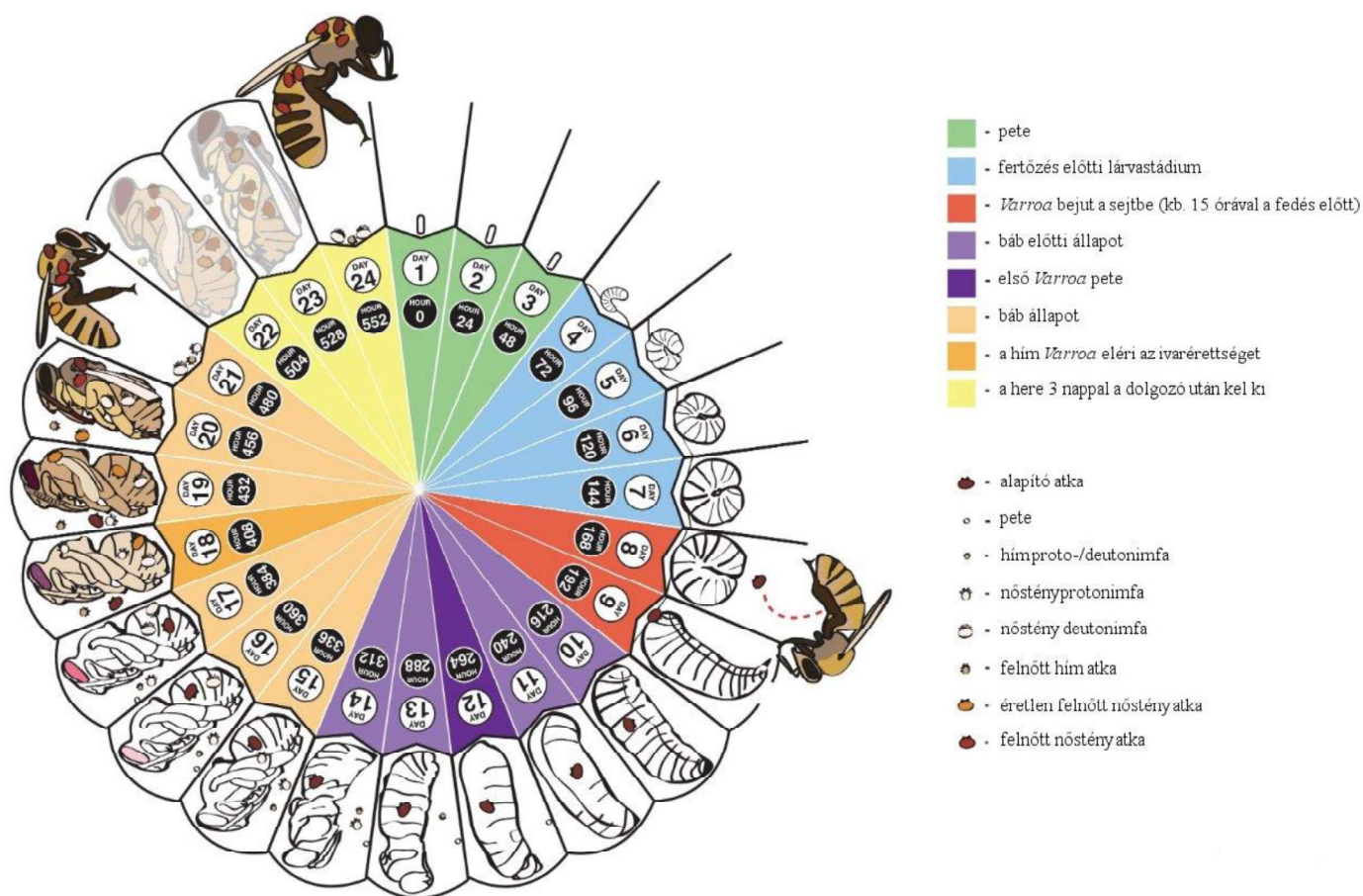
Az Európai Unión belül Magyarország a legmagasabb a méhsűrűségű országok közé tartozik, ami nagyban hozzájárul a különböző méhbetegségek (pl. varroózis, vírusok, nozemózis, költésmeszesedés stb.) terjedéséhez. Ez kihívás elé állítja az ágazatot, mivel a méhészeti tevékenység jelentős részét teszi ki a betegségekkel szembeni védekezés.

A nyugati mézelő méh legelterjedtebb parazitája világszerte a *Varroa* atka (2. ábra).



2. ábra A *Varroa* atka fejlődési stádiumai - A *Varroa* atka szaporulat fedett lépsejten belüli korösszetétele, 11 nappal a fiasítás befedése után. Felső sor balról jobbra: *protonympha*, *deutonympha*, *deutochrysalis*. Alsó sor balról jobbra: frissen vedlett fiatal nőstény, anya atka, kifejlett hím. (Rosenkranz et al., 2010)

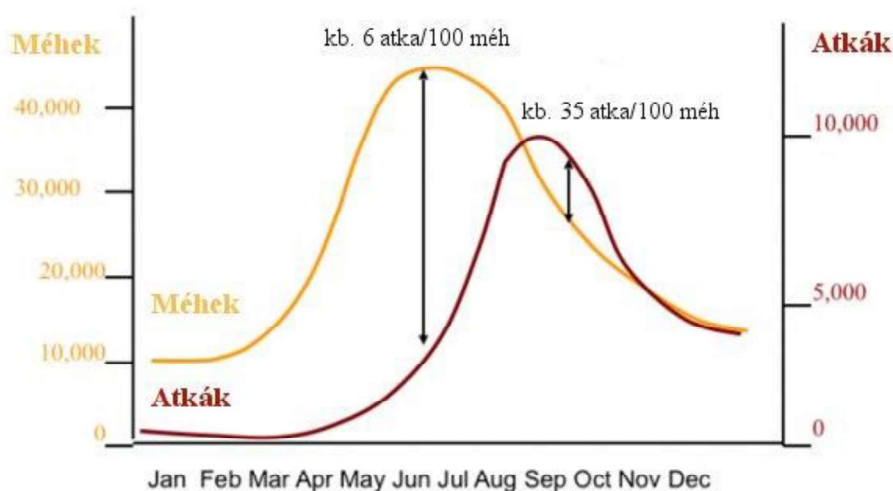
A *Varroa* atkának négy faja ismeretes: a *V. destructor*, a *V. jacobsoni*, a *V. rindereri* és a *V. underwoodi* (Traynor et al., 2020). Ezek közül a *V. destructor* a legelterjedtebb és gazdaságilag a legtöbb kárt okozza a méhészetekben. Ez a faj eredetileg az *Apis cerana*, a keleti mézelő méh parazitája volt (Rath, 1999), melyről először 1904-ben Oudemans számolt be Jáván (Oudemans, 1904). A *Varroa* atka az 1800-as években gazdát váltott az *Apis mellifera*-ra az *Apis cerana*-ról. Az 1950-es években behurcolták Moszkvába keletről származó méhekkal (Oldroyd, 1999), majd innen terjedt el egész Európába és világszerte (van Alphen and Fernhut, 2020). A globális kártevőt az ezredfordulóig *V. jacobsoni*-nak feltételezték, 2000-ben Anderson és Trueman írta le először a faji különbségeket (Anderson and Trueman, 2000). A *V. destructor* gyors globális terjedését elősegítette a kontinenseken átívelő legális és illegális méhkereskedelem. Közel fél évszázad alatt szinte az egész Földön elterjedt, kivéve Ausztráliát, egészen 2022-ig, amikor is az első *Varroa* fertőzéseket detektálták (<https://www.voanews.com/a/australia-fights-honeybee-mite-infestation/6643349.html>) (Phaboutdy and Ward, 2024). Az *Apis cerana* alkotta méhcsaládokban az atka elsősorban a kifejlett méheken tartózkodik, de kizárólag a herefiasításban szaporodik, a dolgozó populációban nem okoz kárt (Boot et al., 1997). Az *Apis cerana*-ra emellett erőteljes higiénikus és tisztogató viselkedés jellemző (Lin et al., 2016). Ezek alapján úgy tűnhet, hogy az *Apis cerana* tökéletes megoldást jelenthetne a *Varroa* atka elleni küzdelemben, azonban ez az apróbb testű, alacsony mézhozamú méh egyéb olyan betegségekre hajlamos, amelyek miatt nem alkalmas az európai mézelő méhek helyettesítésére. A *Varroa* atka a gazdaállat váltás eredményeként az *A. mellifera* fajon jóval nagyobb károkat tud okozni. Az atka szívesen választja bújóhelyül a lárva potrohának alsó szelvényeit (sternitjeit) (Fernández et al., 1993), így méhészeti gyakorlatban nem észrevehető és szemrevételezéssel nem számszerűsíthető. Ennek oka, hogy az első pár sternit közelében találhatóak a táplálékforrásul szolgáló zsírtestek (Ramsey et al., 2019). Ritkán fordul elő, hogy a munkásméhek tor részébe kapaszkodó atkákat látunk. Ha van fiasítás a családban, akkor a nőtény atkák még éppen a lépsejt lefedése előtt igyekeznek abba bejutni. Az atkák a kairomonokat, „kémiai kémkedés” egy formáját használják a megfelelően idős lárvasejtek megtámadására (Nazzi and Le Conte, 2016). A *Varroa* nőtények képesek felismerni a felnőtt méh életkorát és/vagy funkcióját. Az atka egy lépsejtet takarító méh egyedre kapaszkodva hagyja el a lépsejtet, amiből kikelt. Az atka elsősorban a dajkáló méheket részesíti előnyben, a gyűjtő méhekkal szemben, mivel ez a fiasítás gondozásért felelős korosztály biztosítja számára a folyamatos szaporodás lehetőségét azáltal, hogy a fedés előtti stádiumokhoz szállítja az atkát (Kraus, 1993, Kuenen and Calderone, 1997). A dajkaméhek tehát az atkával legfertőzöttebbek a felnőtt méhek közül a méhcsaládban (Kraus et al., 1986, Steiner, 1993).



3. ábra *Varroa* atka és a házi méh fejlődési stádiumai Forrás: (Evans and Cook, 2018)

Az alapító nőstény atka a sejt alján lévő méhpempőbe rejtőzködik, míg a lépsejtet a méhek le nem fedik. Az atka a fedett fiasítás védelmében hamarosan a fejlődő méhlárva zsírtestjeit kezdi fogyasztani oly módon, hogy a kutikula lágy részein táplálkozó nyílást kapar és a kicsorduló nedvet felszívogatja (Ramsey et al., 2019). A lépsejt lezárását követő 70 órán belül az alapító nőstény atka egy hím (haploid) petét rak (Steiner et al., 1994, Ifantidis, 1983). Ezt követően körülbelül minden 30. órában egy nőstény (diploid) petét rak (Ifantidis, 1990, Martin, 1994, Rehm and Ritter, 1989) (3.ábra). Ezekből *protonympha*, majd *deutonympha* állapot után lesz kifejlett egyed. Először a hím atka fejlődik ki hat nap alatt, és válik ivaréretté. Mikor az első nőstény atka is ivaréretté válik, párosodik a hímmel. A hímek kizárólag a frissen vedlett nőstényekkel párosodnak, és akkor hagyják abba a többszöri párosodást az idősebb nőstényekkel, amikor egy fiatalabb nőstény befejezi az utolsó felnőttkori vedlését, és meg nem érkezik arra a helyre, ahol a hím tartózkodik (Ziegelmann et al., 2013). Amikor a dolgozó méh a 21. napon kikel, a kifejlett, érett nőstény atkák elhagyják a sejtet - nem lesz azonban minden nőstény *nympha*-ból ivarérett

egyed. Az alapító nőtény atka jellemzően 0,7-1,45 ivarérett nőtényt hoz létre a munkássejtben (Rosenkranz et al., 2010), mire a méh kikel. A hím atkák gyakran elpusztulnak a gazdaszervezet bábozódása során, mivel a bábmozgás és a báb lábai elzárják a táplálkozóhelyhez való hozzáférést (Donzé and Guerin, 1997). A kifejletlen nőtényeket és az el nem pusztult hímeiket az alapító nőtény atkák hátrahagyják a sejtekben, és azok hamarosan éhen halnak. Mivel a hereméhek kifejlődéséhez a dolgozókhöz képest további három napra van szükség, az atkáknak így több - átlagosan 1,6-2,5 ivarérett nőtény - utódot van lehetőségük létrehozni a herefiasításban (Rosenkranz et al., 2010). A herefiasítások ezért 8-10-szer fertőzöttebbek, mint a dolgozó fiasítás (Boot et al., 1995, Calderone and Kuenen, 2001, Calderone and Lin, 2001, Le Conte et al., 1989, Fuchs, 1990). A herefiasítás nagyobb arányú megfertőződésének egy további oka, hogy a dolgozó lárva a lépsejt fedése előtt 15-20 órával, a herefiasítás pedig 40-50 órával fertőződik meg (Boot et al., 1992, Ifantidis, 1988). Befolyásoló tényező még a herefiasítás gyakoribb és intenzívebb gondozása, emiatt a dajkaméheken lévő atkáknak több lehetőségük van elérni a herefiasítást, mint a dolgozó fiasítást (Fuchs, 1990, Calderone and Kuenen, 2003). Amikor az atkák száma emelkedik a méhcsaládban, a dajka és a gyűjtögető méhek kémiai jelei átfedhetnek, ami elősegíti, hogy az atkák a gyűjtögető méhekbe kapaszkodva szétszóródjanak más méhcsaládokba (Cervo et al., 2014, Dynes et al., 2017). A méhcsalád és atka fejlődési dinamikáját mutató ábrából (4. ábra) jól látszik, hogy a méhpopuláció gyorsabb ütemben növekszik a nyár közepéig, mint az atkapopuláció. Az atkák fejlődése a tavasz végén, nyáron indul felfutásnak, mivel akkor már jelentős számú herefiasítás található a méhcsaládokban. Az atkának azt a biológiai sajátosságát, hogy az intenzíven gondozott fiasítást, ezen belül a herefiasítást részesíti előnyben, ki lehet használni méhészeti technológiával történő atkagyérítésre, a herefiasítás eltávolításával.



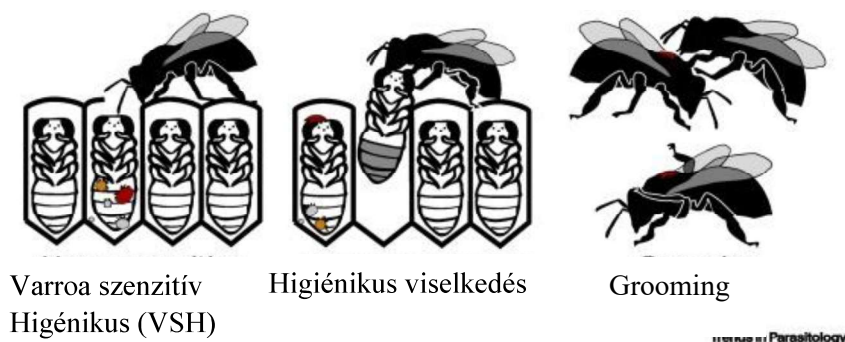
4. ábra A méhcsalád és az atka fejlődési dinamikája Forrás:

<https://scientificbeekeeping.com/ipm-3-strategy-understanding-Varroa-population-dynamics/>

A *Varroa* atka a mérsékelt égövön megfelelő kezelés hiányában 1-2 éven belül, nagy méhsűrűségű területen akár méhészeti szezonon belül is a méhcsaládok, de sokszor teljes méhészetek pusztulásához vezethet (Rademacher and Harz, 2006, Boecking and Genersch, 2008). Már enyhébb varroózis is a méhcsalád legyengülését okozhatja, mely a virágpor- és nektárgyűjtés visszaesését eredményezi.

A nagyfokú *Varroa* atka fertőzöttség mértéke főként a paraziták reprodukciós ciklusának a függvénye. Ezt befolyásolhatják a méhek atka ellenes viselkedései, melyet az 5. ábra mutat be.

1. A mézelő méhek higiénikus viselkedése a *Varroa* atkák elleni védekezés egyik legfontosabb mechanizmusa. Ez a tulajdonság magában foglalja a fertőzött bábok felismerését, a sejtek felbontását és a fertőzött fiasítás eltávolítását. A higiénikus viselkedés csökkenti az atkák szaporodási sikerességét és korlátozza a méhcsalád természetes újratermelődési képességét (Spivak, 1996)
2. A higiénikus viselkedés egy specifikus formája a *Varroa* Szenzitív Higiénikus (VSH) viselkedés. Ez az egyik legrégebb óta ismert atka elleni viselkedés, melyet először Rothenbuhler (Rothenbuhler, 1964) írt le. Ezen viselkedés alatt azt értjük, amikor az atkával fertőzött vagy elpusztult fiasításos sejtet felnyitják a méhek, és eltávolítják a sejtől a beteg fiasítást.
3. Egy másik, szintén a *Varroa* fertőzéssel összefüggésbe hozható viselkedési tulajdonság a méheknél az úgynevezett grooming, vagy szociális tisztogató viselkedés. Ez azt jelenti, hogy a fertőzött méh egyed képes eltávolítani saját (auto-grooming) vagy társai (allo-grooming) testéről az atkát. Ezt a tulajdonságot először Peng és mtsai írták le egy erre a viselkedésre irányuló kísérlet alapján (Peng et al., 1987).
4. Egy harmadik, szintén az atkák ellen irányuló viselkedési tulajdonság az SMR (Suppression of Mite Reproduction – atkaszaporodás gátlás). E tulajdonság alatt a méhcsaládoknak azon öröklött viselkedését értjük, amely során a *Varroa destructor* populáció az SMR expresszált méhcsaládokban lassabban tud szaporodni (Ruttner et al., 1984). Ez a tulajdonság leginkább a *proto*- és *deutonympha* stádiumok vagy a hímek hiányával számszerűsíthető. Az SMR hatására az atkák egyedfejlődésében törés következik be, ami csökkent atkaszaporodást eredményez.



5. ábra A méhek atka elleni szociális viselkedési formái
Forrás: (Traynor et al., 2020)

A *Varroa destructor* atka és a házi méh közötti kapcsolat egy parazitizmus, ahol az atka a méh létfontosságú erőforrásait aknázza ki, súlyosan befolyásolva ezzel a gazdaszervezet egyedeinek és az egész méhcsaládnak az egészségét és túlélését, fogékonyabbá téve őket a különféle egyéb kórokozókval szemben (Di Prisco et al., 2013). A *Varroa* atkák jelentősen befolyásolják a méhek viselkedését, érintve azok táplálékszerzését, tájékozódását és kommunikációját (Iqbal and Müller, 2007, Pizzorno et al., 2021). A fertőzött méhek gyakran csökkentett táplálékszerző aktivitást mutatnak a fiziológiai stressz és az atkák által a fejlődésük során okozott károk miatt, ami a teljes méhcsalád gyengüléséhez vezethet (Barroso-Arévalo et al., 2019).

Az atkák táplálkozása során a méhek zsírtestjeinek mennyisége és funkciója csökken, ami közvetlenül gyengíti a méhek vitalitását és ellenállóképességét (Ramsey et al., 2019). A *Varroa* atkák jelenléte a kaptáron belüli kémiai kommunikációt is megzavarja, mivel ezek a paraziták kihasználják a fiasítási feromonokat, amelyek elengedhetetlenek a méhek közötti társadalmi szervezet és viselkedés szabályozásához (Nazzi and Le Conte, 2016). A *Varroa* és a deformált szárny vírus (DWV) közötti kölcsönhatás súlyosbítja ezeket a viselkedésbeli változásokat, mivel a vírus manipulálhatja a gazda viselkedését, ami idő előtti táplálékszerzéshez és megváltozott társadalmi dinamikához vezet (Traniello et al., 2020).

Az atkák nem csak terjesztik a vírusokat, hanem aktiválhatják a látens fertőzéseket, és növelhetik a vírusok virulenciáját (Martin et al., 2012). A méhvírusok közül a költéstömlősödés vírusának létezését viszonylag korán felfedezték (White, 1917), ám az első méhvírusokat (az idült méhbénulás vírust - CBPV és a heveny méhbénulás vírust - ABPV) csak 1963-ban írták le (Bailey et al., 1963, Allen and Ball, 1996), az azóta eltelt időszakban további 18 különböző, méheket fertőző vírust azonosítottak. A hazai vizsgálatok eredményeként bizonyítást nyert, hogy a környező országokban felismert vírusfertőzések a hazai méhállományban is jelen vannak, kimutathatók az ország különböző pontjain található méhészetekben. A vírusok mindegyike

átvihető a *Varroa* által, azonban eddig a gyakorlatban a deformált szárny vírus (*Deformed wing virus* - DWV), az akut méhbénulás vírus (*Acute bee paralysis virus* - ABPV) esetében van egyértelmű *Varroa*-vektor kapcsolat (Martin and Brettell, 2019, De Miranda and Genersch, 2010), de további vírusfertőzések esetén is kimutatták az atkák közvetítő hatását, úgymint a lárvatömlősödés (*Sacbrood virus* - SBV), az idült méhbénulás (*Chronic bee paralysis virus* - CBPV), a kasmír vírus (*Kashmir Bee Virus* – KBV), a fekete anyabölcső vírus (*Black Queen Cell Virus* – BQCV).

A parazita elleni hatékony védekezés a méhek természetes védekezési mechanizmusainak megértésén, a hatékony kezelési stratégiák kidolgozásán és alkalmazásán, valamint toleráns méhek tenyésztésén alapul.

3.3 A *VARROA* ATKA ELLENI VÉDEKEZÉS LEHETŐSÉGEI ÉS A VÉDEKEZÉSHEZ JELENLEG HASZNÁLT SZEREK

A *Varroa* atka elleni védekezés a méhészet egyik legösszetettebb és folyamatos kihívást jelentő területe. Az atkák azon biológiai sajátossága, miszerint a lezárt fiasítású sejtekben szaporodnak, nagymértékben megnehezíti a hatékony védekezést, hiszen a védekezési stratégiák csak a sejten kívül tartózkodó egyedekre irányulhatnak.

A komplex védekezési technológia több pilléren nyugszik. A *Varroa* toleráns méhállományok tenyésztése ígéretes megoldást jelenthet a genetikai alapok erősítésével. A méhészeti technológiák, mint például a fiasításmentes állapot létrehozása, a herefiasítás eltávolítása, a családok megosztása és a műrajok képzése, mind hozzájárulhatnak az atka populáció csökkentéséhez. A gyógyszeres védekezés továbbra is fontos szerepet játszik, azonban a rezisztencia kialakulásának veszélye miatt a gyógyszerek körültekintő és szerrotációban történő alkalmazása elengedhetetlen. A kémiai kommunikáción alapuló, valamint a mikrobiológiai módszerek és a természetes ellenségek bevonása újabb perspektívákat nyithatnak a hatékony védekezés területén.

3.3.1 AZ ATKÁK ELLENI VÉDEKEZÉSRE JELENLEG HASZNÁLT HATÓANYAGOK - SZINTETIKUS AKARICIDEK

3.3.1.1 Amitráz

Kontakt és légúti hatású akaricid, inszekticid, főleg azonban akaricidként hatásos. Az oktopamin receptorral lép kölcsönhatásba (Evans and Gee, 1980, Hollingworth and Murdock,

1980), melynek során neurotoxikus hatást okoz. Amitrázt a vegetációs időben is engedélyezett használni, azonban a hordás befejezése után, illetve olyan családok esetén, amelyekről tudjuk, hogy mézet az adott szezonban nem fogunk elvenni tőlük. Számos, méhészetben alkalmazható tartós hordozón kijuttatható készítmény tartalmaz amitráz hatóanyagot, így a hazánkban engedélyezett atkaellenes készítmény például az Apivar (Véto Pharma, Franciaország), az Apitraz készítmények. Hasonló néven számos európai országban használnak amitrázt tartalmazó impregnált tartós hordozókat a *Varroa* elleni kezelések során. Ezeket a leghatékonyabb szintetikus akaricid alapú készítmények között tartják számon (Semkiw et al., 2013),

Amitráz kijuttatásának egy további, méhészeti gyakorlatban alkalmazott módja a meleg ködöléses eljárás, amelynek során legtöbbször úgynevezett „Furetto” (Gremigni s.r.l., Firenze, Olaszország) típusú készülékkel juttatják ki a hatóanyagot hordozó vegyület, paraffinolaj, etanol, valamint - egyre ritkábban - petróleum ködképző anyagok segítségével. Ezen alkalmazási mód taglózó, nem tartós hatású; előnye azonban, hogy szermaradvány expozíció csak viszonylag rövid ideig áll fenn. Hátrányának tekinthető, hogy alkalmazásával esetenként méhanya veszteséggel kell számolni. Erre a kijuttatási módra Magyarországon jelenleg engedélyezett szer a Tik-Tak (hatóanyag tartalom: 125 mg/ml) készítmény. Ugyanezt a készítményt alkalmazzák füstölő csíkra impregnálva is, melynek során az amitrázzal csepegtetett, előzetesen salétrommal átitatott papírcsíkot meggyújtják, és a parázsló, lánggal nem égő csíkot behelyezik a kaptárba, jellemzően a higiénikus aljdeszkára. A kezelés optimális külső hőmérséklete 14-15 °C; jellemzően az utolsó mézpergetés utáni időszakban alkalmazható, illetve késő őszi záró kezelésként, amikor már nincs fiasítás a kaptárban, és a méhek nem repülnek.

Az amitrázt az USA-ban több mint 20 éve alkalmazzák a *Varroa* atka ellen. Annak ellenére, hogy amitráz rezisztenciát már röviddel az első használat után jelentették (Elzen et al., 2000), rezisztencia tömeges fellépését hosszú ideig nem írták le. Jelenleg a méhészeti gyakorlatban az amitráz hatékonyságának csökkenése és változó sikere figyelhető meg, ami hazai amitráz-rezisztens *Varroa* populációkat feltételez. Az USA-ban (Elzen et al., 2000), Argentínában (Maggi et al., 2010), Csehországban (Kamler et al., 2016) és Európa számos régiójában (Milani, 1999, Mathieu and Faucon, 2000, Pires et al., 2005, Pires et al., 2007) is megfigyeltek kialakult, de nem kiterjedt, tömegesen jelentkező amitráz rezisztenciát a méhészetekben.

3.3.1.2 Kumafosz

Az Egyesült Államokban 1998-ban engedélyezték a CheckMite+ kumafosz tartalmú műanyag csíkokat, melyek lassan engedik ki a hatóanyagot és hatásuk tartós. Jeff. S. Pettis (Pettis,

2004) 2004-es kutatásban a CheckMite+ hatását vizsgálta 4 méhészet bevonásával. Három év használat után megállapították, hogy kialakult a kumafosz rezisztencia azokban a méhészetekben, ahol minden évben használták a CheckMite+-t. Ezért nagy hangsúlyt kell fektetni a szerrotációra, mivel gyorsan elveszhet a kis kaptárbogárral szembeni egyetlen hatékony konvencionális szer atkairtó hatása. Argentínában 2008-ban mutattak ki rezisztenciát, de a kutatás nem ismerteti a korábbi kezelésekre vonatkozó technológiát a vizsgált méhészetekben, ezért azt lehet feltételezni, hogy szerrotáció nélkül használták a tartós hordozót (Maggi et al., 2009).

Kumafosz tartalmú készítmények voltak a Perizin valamint a Destruktor, jelenleg pedig az Apifosz, melyeket a méhészek használnak a hazai méhészeti gyakorlatban. Ezen készítmények kijuttatása az amitráztól eltérően léputcába csorgatással történhet. Taglózó hatású szer, mely bekerül a méhek szervezetébe és az atkákhöz a méhek zsírtestjein keresztül jut el, azonban szermaradványt hagy maga után, ami nemcsak a viaszban, de a mézben is kimutatható (Van Buren et al., 1992). Az Apifosz csorgatással történő kijuttatása vízzel vagy híg, kb. 30 °C-os cukorsziruppal történik. A cukros oldat jobban tapad a méhekre, és jellemzően szívesebben is fogyasztják, mintha vízbe kevernék be szert. Perizin esetén az élelmezés-egészségügyi várakozási idő 42 nap. Amennyiben a kijuttatása és a hordás megkezdése előtt ennél rövidebb idő telik el, úgy az a méz, amit ez időben nyernek sem emberi fogyasztásra, sem a méhek táplálására nem használható. A kinyert viasz szintén nem használható sem élelmiszeripari, sem kozmetikai és sem gyógyszeripari felhasználásra. Kizárólag technikai viaszként, a lépek megújítására műlép hengerelhető belőle.

A szintetikus atkaölő szerek viaszban való fokozatos felhalmozódása káros hatással van a méhekre, főként a fejlődés különböző szakaszaiban lévő egyedekre (Johnson et al., 2009, Medici et al., 2012, Orantes-Bermejo et al., 2010). Olyan méhcsaládok esetén is kimutattak akaricid szennyezést a viaszban, ahol korábban a méhcsaládokban nem alkalmaztak ilyen atkaölő szereket. Egy tanulmányban leírták, hogy a kumafosz a viaszban előforduló leggyakoribb akaricid, valamint összefüggést állapítottak meg a kumafosz-maradékok és a rezisztencia között (Medici 2015).

3.3.1.3 Flumetrin

A flumetrin szintetikus piretroid, kontakthatású akaricid hatóanyag, mellyel az atkák közvetlenül érintkezve elpusztulnak. Ezt a hatóanyagot a Bayvarol® csíkok tartalmazzák, melyeket a léputcákba (a keretek közötti tér) kell elhelyezni, hogy a méhek mindkét felületén közlekedhessenek a megfelelő mennyiségű hatóanyaggal történő érintkezés végett. A kezelés legalább 15 napig, de legfeljebb 6 hétig tarthat. Alkalmazása nyár végén javasolt, azonban bizonyos atkatörzsek jól tolerálják a hatóanyagot, így használatát ki kell egészíteni más

hatóanyagú készítmények alkalmazásával (pl. amitráz füstölés). Élelmezés-egészségügyi várakozási idő mézre 0 nap. Emberre kevésbé veszélyes. A változó testhőmérsékletű állatok, mint pl. rovarok, halak, kételtűek idegrendszerében hiányzik az idegpályákat védő mielin hüvely, ezért az idegmembrán könnyebben hozzáférhető a piretroidok számára, szemben az állandó testhőmérsékletű emlősállatokkal. Ezzel is magyarázható a csekély toxicitása emlősökre. Orálisan alkalmazva a méhekre erősen mérgező hatású (Oruc et al., 2012). A világ számos pontjáról jelentettek méhészetekben flumetrinnel szembeni rezisztenciát (Mitton et al., 2016, Milani, 1995, Goodwin et al., 2005, Thompson et al., 2002).

3.3.1.4 TAU-Fluvalinát

A piretroidok csoportjába tartozó tau-fluvalinát-ot vagy fluvalinátot rovarirtó szerként széles spektrumban alkalmazzák a mezőgazdaságban (pl. alma, repce, szőlő, lucerna, és egyéb kultúrák permetezésére).

Korábban méhészetekben is hatékonyan és eredményesen alkalmazták a *Varroa* atka ellen fluvalinát hatóanyagot tartalmazó szereket, például a Klartan, Mavrik, Varotom, Apistan, Apihelt. Magyarországon jelenleg azonban nincs engedélyezett fluvalinát tartalmú szer a *Varroa* ellen. Ennek egyik legfőbb oka, hogy mára számos országban jelentették a fluvalináttal szemben kialakult rezisztenciát, így használata visszaszorulóban van (Kamler et al., 2016, Martin, 2004, Wang et al., 2002)(Gracia-Salinas et al., 2006, Bak et al., 2012, Elzen et al., 1998, Mozes-Koch et al., 2000, Thompson et al., 2002). A méhekre halálos dózis 10 %-a is elég a *Varroa* atka elpusztításához. A tau-fluvalinátot műanyag vagy fa furnér lapokra impregnálva alkalmazták; a műanyag csíkra itatott változat hatékonyabbnak bizonyult. Az atkaölő szerként alkalmazott inszekticidek toxikussága nagymértékben függ a méhek életkorától. A fiatal méhek érzékenyebbek, az idősebb egyedek kevésbé. A *Varroa* és a méhek letális dózisa közötti különbség ősszel a legnagyobb, így emiatt is ebben a viszonylag fiasításszegény időszakban lehet a legeredményesebb az atkairtás. Ugyanakkor a méhcsalád sikeres átteleléséhez szükséges fiasítás késői fele ekkor fejlődik ki, s ezek a fiatal méhek különösen érzékenyek az atkaírtó szerekre. Hosszan tartó kezelés után előfordulhat, hogy telelő méh nélkül marad a család és egyáltalán nem lesz képes áttelelni, vagy nem termelő családként éri meg a tavaszt.

3.3.2 AZ ATKÁK ELLENI VÉDEKEZÉSRE JELENLEG HASZNÁLT HATÓANYAGOK – SZERVES SAVAK

Az atka ellen hatásos szerves savak többsége az emberi egészségre is veszélyt jelent, ezért az adagolás, kijuttatás módja, a kezelés időtartama, a kezelés optimális ideje és a kezelési módok ismerete és betartása a sikeresség érdekében elengedhetetlen. Fiasítás mentes időszakban az oxálsavnak és a tejsavnak, míg fiasítási időszakban a hangyasavnak van hatásossága. Méhészeti felhasználás szempontjából, fontossági sorrendben a következő szerves savak bírnak jelentőséggel.

3.3.2.1 Oxálsav

Az oxálsav egy természetes vegyület, a méz természetes összetevője, amelynek *Varroa* elleni hatásossága több évtizede ismert (Popov et al., 1989); az atkák rezisztenciájáról a mai napig nem számoltak be (Maggi et al., 2017). Az oxálsav hatásmechanizmusa nem tisztázott, nagy valószínűség szerint savas kémhatása révén valósul meg, a helyi alkalmazást követően pár órán belül átjut az atkák kutikuláján. Egy másik nézet szerint az oxálsavval történő érintkezés következtében az atka lábain keresztül az oxálsav bejut a hemolímfabá elpusztítva az atkát (Aliano et al., 2006, Papežíková et al., 2017).

Az oxálsav kijuttatása történhet szublimációval, csorgatással vagy glicerines hordozót tartalmazó papírcsíkkal. Csorgatás során az oxálsavat feloldják cukoroldatban és az oldatot közvetlenül a méhcsaládokra, a léputcákba csorgatják (Charrière and Imdorf, 2002, Rademacher and Harz, 2006). A mérsékelt éghajlaton elsősorban késő ősszel, fiasítás mentes állapotban szublimációval juttatják ki az oxálsavat a méhészek (Rademacher and Harz, 2006). Hatásosságáról több tanulmány is beszámol, mely során az oxálsavat fiasítás mentes állapotban juttatták ki (Imdorf et al., 1997, Nanetti and Stradi, 1997, Brødsgaard et al., 1999). Több publikáció is ellentmondó eredményeket közölt azzal kapcsolatban, hogy melyik a leghatékonyabb kijuttatási mód (Al Toufailia et al., 2015, Gregorc et al., 2016, Papežíková et al., 2017). Az oxálsavat általában fiasítás mentes állapotban tartják a leghatékonyabbnak (Charrière and Imdorf, 2002, Gregorc and Planinc, 2001, Gregorc et al., 2016, Gregorc et al., 2017), mivel az oxálsav nem jut át a fiasítási sejtek viaszfedelén, ahol az atkák jelentős része megtalálható, viszont a kint lévő úgynevezett foretikus (kifejlett méhegyedeken található atkák) atkák ellen hatékony. Az oxálsav fokozza a méhek tisztogató viselkedését, ezáltal az atkák eltávolításában is szerepet játszik (Schneider et al., 2012). A méhek azonban kevésbé tolerálják az oxálsavat, a méhek fejlődésre, viselkedésére, fiziológiájára és élettartamára negatív hatással van (Higes et al., 1999, Schneider et al., 2012, Rademacher et al.,

2017). Az oxálsav nemcsak a méhekre káros, hanem az emberre is veszélyes szer, mivel belélegezve tüdővizenyőt okoz, ezért kijuttatása nagy gondosságot, elővigyázatosságot és komoly védőfelszerelést igényel szublimálás esetén.

3.3.2.2 Hangyasav

A hangyasav egyik előnye, hogy nem csak a foretikus atkákat képes elpusztítani, hanem magasabb koncentrációban a fedett fiasításban is hat (Fries, 1989, Calis et al., 1998, Calderon et al., 2000, Amrine Jr and Noel, 2006). Van Engelsdorp 2008-as vizsgálatában leírta (Van Engelsdorp et al., 2008), hogy a rövid távú 50%-os hangyasavas kezelésnek nincs számottevő hatása a fiasításra. További előnye a hangyasavnak, hogy csekély mennyiségben ugyan, de a méz természetes összetevője, valamint a szerrel szemben még nem alakult ki dokumentált rezisztencia (VonPosern, 1988). Megfelelő használat esetén nem hagy maga után szermaradványt (Liu, 1991), és általában nem károsítja a kifejlett dolgozó méheket (Koeniger and Rau, 1980, Garg et al., 1984, Westcott and Winston, 1999, Lupo and Gerling, 1990). Számos vizsgálatban kimutatták a fedetlen és fedett fiasításra gyakorolt negatív hatását (Fries, 1991, Bolli et al., 1993). Hatékonysága a *Varroa* atka elleni védekezésben a jelenleg használatos módszerek esetén jelentősen változó (Calderone, 1999, Skinner et al., 2001), számos tényező befolyásolhatja hatékonyságát (Charrière et al., 1992). A hangyasavat hordás, mézeltetés időszakában nem célszerű alkalmazni, mert a szermaradványok olyan magasak lehetnek, hogy megváltoztathatják a méz ízét (Bogdanov et al., 2002), azonban ha megfelelően alkalmazzák, alacsony a szermaradvány kockázat. A hangyasav használata anyavesztést okozhat (Underwood and Currie, 2004).

3.3.2.3 Tejsav

A tejsav kijuttatása történhet permetezéssel és csorgatásos módszerrel (Kraus et al., 1994). Előnye, hogy mivel természetes anyag, nem halmozódik fel sem a viaszban, sem a mézben, továbbá alacsony a valószínűsége a rezisztencia kialakulásának. A méhcsaládokat fiasítás mentes állapotban kell kezelni (Emsen and Dodologlu, 2009, Higes et al., 1999). A felhasználásának javasolt időpontja október-november. Fontos szempont a kijuttatásnál, hogy a méhek a kezelés időszakában ne járjanak ki a kaptárból, ezért a környezeti hőmérsékletnek 5 °C körül kell lennie. A felnőtt méhekkel borított összes lépet 15%-os tejsavval kell lepermetezni, oldalanként 5-8 ml-t (Colin, 1997). A kezelés a méhekre nem jár negatív hatással, lényegesen kíméletesebb, mint a hangyasav. A kezelés hatása kb. egy nap után mutatkozik meg. A tejsav elsősorban tél előtti záró kezelésként alkalmazható. Fiasításos időszakban is kifejti hatását, ebben az esetben azonban a

petéket károsítja, mely a 70%-ot is elérheti; ennek elkerülése végett a permetezést ilyen esetben a lép 45 fokban történő megdöntésével kell elvégezni.

3.3.3 ILLÓOLAJOK

Az illóolajok a folyékony, erősen illékony növényi vegyületek gyűjtőneve, amelyeket intenzív, jellegzetes illat jellemez. Szinte minden növénynek van illóolaj tartalma, de csak a 0,1 %-nál több olajat tartalmazó növény nevezhető illóolaj forrásnak. Az illóolajok a növény bármely részében jelen lehetnek: virágokban, gyümölcsökben, magokban, levelekben, gyökerekben vagy fában (Imdorf et al., 1999). Az illóolajok a növényekben különböző szerepet töltenek be; lehetnek vonzó hatásúak a rovarbeporzók számára, de lehetnek taszító hatásúak is, ezáltal védelmet nyújtva a növényevő rovarok ellen. Számos illóolajnak van gomba- és baktériumölő hatása, így védik a növényeket a mikroorganizmusoktól. Az egyes növényfajok illóolaj-összetétele általában egyedi, néhány növényfaj esetén vannak változatok, az úgynevezett kemotípusok, amelyek illóolaj-összetétele változó. A kakukkfűnek (*Thymus vulgaris*) például legalább hét kemotípusa van. Az egyik csoportot az úgynevezett „erős kemotípusok” alkotják, amelyek magasabb koncentrációban tartalmazzák a fenolokat (timol, karvakrolt), míg a második csoportba, az „enyhe kemotípusokba” olyan fajták tartoznak, amelyek nagyobb mennyiségben tartalmazzak alkoholokat (pl. geraniol, linalol és thujanol). Az illóolaj kémiai összetétele gyakran függ a termesztési és éghajlati viszonyoktól. Az összetételét az előállításához használt különleges extrakciós eljárás is befolyásolhatja (Imdorf et al., 1999).

Többféle illóolaj mutat hatásosságot a *Varroa* atka ellen, pl. kakukkfűolaj (timol), szegfűszegolaj, borókaolaj, fahéjolaj stb. Ezeket az anyagokat egyre gyakrabban használják, mert általában olcsók, és kevesebb egészségügyi kockázatot jelentenek mind az ember, mind a méhek számára (Isman, 2000), azonban hatékonyságuk nagy eltéréseket tud mutatni. Több vizsgálat alapján hatásos alternatívát jelenthetnek az alacsonyabb atkafertőzöttségi szinttel rendelkező méhcsaládokban (Imdorf et al., 1999). Hatásuk abban nyilvánul meg, hogy nem az atkákat pusztítják el, hanem az atka tájékozódását zavarják meg (Imdorf et al., 1999). Az atkák nem találják meg a szaporodásukhoz szükséges fiasítási sejteket, ezáltal a szaporodási mechanizmusukat megzavarva, így csökkentve annak népesedési határfokát. Az eredmény olyan kisszámú atkanépesség, amely a méhcsalád teljesítményére nincs számottevő befolyással. Vannak olyan illóolajok, amelyek vonzzák (szegfűszegolaj, mentol, fahéjolaj), míg mások (bergamottolaj, rózsolaj, rozmarinolaj, citromolaj) taszítják az atkát. A szercsoport jelentőségét az adja, hogy ezek természetes anyagok és így sokkal kíméletesebb védekezést biztosítanak az atka ellen.

Méhészeti szempontból a timol (kakukkfűolaj) a legelterjedtebb illóolaj (Tihelka, 2018). A timol negatív hatással lehet a méhekre, beleértve a fiasításra gyakorolt toxicitást, az anyagcserezavarokat, a méhek viselkedésében bekövetkezett változásokat stb. (Gunes et al., 2017, Charpentier et al., 2014, Bergougnoux et al., 2013, Tananaki et al. 2014, Floris et al., 2004, Colin et al., 2019).

3.3.4 KÉMIAI KOMMUNIKÁCIÓN ALAPULÓ MÓDSZEREK

A *Varroa* atka elleni küzdelemben a feromon alapú stratégiák lehetséges alternatívát jelentenek a kémiai kezelések mellett. Ezek a stratégiák a méhcsaládokon belüli komplex kémiai kommunikációs rendszereket használják ki. A méhek és az atkák egyaránt számos kémiai jelet használnak a kommunikációhoz és a társas kohézió fenntartásához (Plettner et al., 1997, Plettner et al., 2017, Slessor et al., 1988). A fiasítás feromonok szintén kulcsszerepet játszanak a méhek közötti társadalmi szerveződés és viselkedés szabályozásában. A méhanya is feromonokat bocsát ki, amelyek befolyásolják a dolgozók viselkedését és a petefészkek fejlődését (Keeling et al., 2003). Az idősebb méhek feromonjai jelzik a dajkáknak, hogy a fiasítás készen áll a lezárásra (Le Conte et al., 2001), míg a fiatalabb fiasítások olyan anyagokat bocsátanak ki, amelyek serkentik a dajkák táplálkozási aktivitását (Maisonnasse et al., 2010). A *Varroa* atkák a kémiai jeleket kihasználva találják meg a megfelelő gazdaszervezeteket, különösen a fiasítás stádiumában, ami kritikus fontosságú a szaporodásukhoz (Nazzi and Le Conte 2016, Donzé et al., 1998, Le Conte et al., 1990, Rosenkranz et al., 2010).

A feromonon alapuló megközelítés célja, hogy megzavarják az atkák kémiai érzékelését a parazita-gazda interakció során (Plettner et al., 2017). A természetes fiasítás-feromonokat utánzó szintetikus analógok alkalmazása potenciálisan megzavarja az atkákat, melyek így a dajkaméhek helyett a gyűjtőgető méheket részesítik előnyben (Eliash et al., 2014, Pernal et al., 2005, Plettner et al., 2017, Singh et al., 2015).

3.3.5 MIKROBIOLÓGIAI MÓDSZEREK

A *Varroa* atka elleni védekezésben további megközelítés az entomopatogén gombák mint biokontroll ágensek alkalmazása.

Kanga és mtsai laboratóriumi és terepi kísérletekben vizsgálták a *Hirsutella thompsonii* és a *Metarhizium anisopliae* gombafajok *Varroa* ellenes hatékonyságát (Kanga et al., 2003, Kanga et al., 2002). A *M. anisopliae* egy gyakori talajlakó gomba, amely számos rovarfaj patogén ágense lehet. A gomba konídiumai a rovar kutikulájához tapadnak, kicsíráznak, és behatolnak a

gazdaszervezetbe, majd elpusztítják azt. Kaptárakban is tesztelték a *H. thompsonii* hatékonyságát, valamint a méhekre gyakorolt esetleg káros hatását. A *H. thompsonii* jelentősen csökkentette az atkák számát a kezelt kaptárakban, nem okozott méh mortalitást, nem befolyásolta a méhanya petézési képességét. Kanga és munkatársai (2003) kétféle kijuttatási módszert teszteltek *M. anisopliae* gomba konídiumaival impregnált műanyag csíkokat és gombaspórákat tartalmazó porokat (Kanga et al., 2003). Mindkét esetben kimutatták, hogy a *M. anisopliae* hatékonyan csökkentette a *Varroa* atkák populációját a méhcsaládokban. A legjobb eredményeket a csíkokkal történő alkalmazás hozta az atkák elpusztítása szempontjából, nem károsította a méheket, és nem befolyásolta hátrányosan a méhcsalád fejlődését. Eredményeik alapján az optimális időpont a kezelésre kora tavaszi vagy késő őszi időpont fiasításmentes állapotban. A gomba spórái a kezelés után akár 42 napig is életképesek maradtak a kaptárban.

A *Beauveria bassiana* egy másik elterjedt entomopatogén gomba, amelyet a *Varroa* atkák elleni védekezésben vizsgáltak. Meikle és munkatársai (2007) terepi kísérletben kimutatták, hogy a *B. bassiana* spóráival kezelt kaptárakban jelentősen megnőtt a fertőzött atkák aránya (Meikle et al., 2007). A gomba hatékonyan terjedt a kezeletlen kaptárakban is, ami a méhek általi spóraszórásnak köszönhető. A *B. bassiana* gomba a méhek számára ártalmatlan, és nem befolyásolta hátrányosan a kaptár fejlődését

Az entomopatogén gombák alkalmazása a *Varroa* atkák elleni védekezésben számos előnnyel jár a szintetikus akaricidekkel szemben. A biokontroll ágensek általában specifikusak a célzott kártevőre, és nem károsítják a méheket, illetve a kaptár egyéb hasznos élőlényeit. Ezenkívül nem szennyezik a méhészeti termékeket, és nem járulnak hozzá a rezisztencia kialakulásához.

3.3.6 TERMÉSZETES ELLENSÉGEK

A *Varroa* atka elleni kémiai védekezés mellett egyre nagyobb hangsúlyt kap a biológiai védekezés, amely a természetes ellenségek, például ragadozó atkák és álskorpiók felhasználásán alapul. A ragadozó atkák közül a *Stratiolaelaps scimitus* (Acari: Mesostigmata; Laelapidae) fajt vizsgálták behatóan (Rangel and Ward, 2018). Ez a polifág atka eredetileg a talajban él, és más atkákkal, tripszekkel, gombaszúnyogokkal táplálkozik. Üvegházakban és más mezőgazdasági területeken már sikeresen alkalmazzák kártevők elleni védekezésre. Kimutatták, hogy a *S. scimitus* képes elfogyasztani a *Varroa* atkákat *ex situ*, de a méheken élősködőket nem tudta eltávolítani. Emellett a felkínált méhpetéket is elfogyasztotta, ami nem kívánatos hatás (Rondeau et al., 2018). A vizsgálatokban kiderült, hogy bár jól tolerálja az üvegházak klímáját, a *S. scimitus* hőigénye nem felel meg a kaptárban uralkodó magasabb hőmérsékletnek (Rangel and Ward, 2018). Egy másik ragadozó atkafaj, a *Macrocheles glaber* (Acari: Mesostigmata; Macrochelidae) szintén

ígéretes alternatíva lehet a *Varroa* elleni védekezésben. Ez a faj a kaptárak aljdeszkáján él és kutat táplálék után (Kontschán J., 2017). Egy vizsgálat során bizonyítást nyert, hogy a *M. glaber* gyorsabb fejlődése miatt kevesebb zsákmányt ejt, mint a *S. scimitus*, ezért hatékonysága még ehhez a fajhoz képest sem kielégítő (Wen et al., 2019).

Az álskorpiók vagy könyvskorpiók (*Pseudoscorpiones*) rendjének tagjai szintén potenciális védekezési ágensek lehetnek a *Varroa* ellen. Ezek az élőlények szintén a kaptártörmelékben élnek, és más apró rovarokkal, atkával és a méhek élősködőivel táplálkoznak. Fagan és mtsai (2011) kimutatták, hogy mesterséges körülmények között az álskorpiók hatékonyan vadásztak a *Varroa* atkákra, és nem veszélyeztették a méhlárvákat (Fagan et al., 2012). Két új-zélandi álskorpió faj, a *Nesochernes gracilis* és a *Heterochernes novaezealandiae* szaporítását is megkísérelték (Read et al., 2014). Kiderült, hogy mindkét faj számára 18 °C az optimális hőmérséklet a szaporodásra. Az álskorpiók kokonban nevelik utódaikat a fák kérgének repedéseiben. Ezeket a reprodukciós helyeket azonban bolygatás hatására elhagyják, ezért szaporításuk nehézkes, ezen kívül jellemző rájuk a kannibalizmus is. Mivel tartásuk és táplálásuk idő és energiaigényes, ezért a *Varroa* elleni védekezésben történő alkalmazásuk nem rentábilis.

Bár a természetes ellenségek széles körben elterjedtek a biológiai védekezésben, a méhészetben eddig nem sikerült olyan fajt találni, amely hatékonyan használható lenne a *Varroa* atka ellen.

3.4 A LÍTIUM ION, MINT POTENCIÁLIS VARROACID JELENTŐSÉGE

3.4.1 A LÍTIUM ION ÁLTALÁNOS JELLEMZÉSE

A lítium a földkéreg 27. legnagyobb mennyiségben előforduló eleme. Geokémiaiilag a lítium egy nagy mobilitású elem; a talajokban elsősorban az agyagfrakciókban található (Sapek and Sapek, 1983), 7 és 200 µg/g közötti értékben (Bowen, 1966, Weiner 1991). A lítium nagy koncentrációban jellemzően csak kétféle anyagban található meg: szilikát ásványok és ásványi anyagokban gazdag sóoldatokban (Garrett, 2004). Lítium ásványokat bányásznak a világ különböző országában, mint például Zaire, Zimbabwe, Nyugat-Ausztrália, Kanada, Oroszország, Kína (Moores, 2007). A lítium olcsó ásványi anyagokban gazdag sóoldatokból történő előállítása több lítium ásványi bánya bezárásához vezetett (Gruber et al., 2011). Ennek oka, hogy a sós forrásból származó lítium előállításához szükséges tőkeköltés alacsonyabb, mint az ásványi forrásból származó tőkeköltés.

A lítium egy sokoldalú fém, számos felhasználási területtel. A lítium fő felhasználási területe az üveg- és kerámiaipar. A lítium-klorid és a lítium-bromid rendkívül higroszkópos, és a gázáramok szárítóanyagaként használják. A lítium-kloridot gyakran használják kifinomult légkondicionáló rendszerekben, ipari páratlanításra és szárításra. A szerves lítiumvegyületeket bázisként értékesítik a kereskedelemben, és kiváló minőségű tiszta vegyszerek előállításához használják fel. Molekuláris laborokban a lítium-kloridot RNS szelektív kicsapására és izolálására alkalmazzák. A Li^6 és Li^7 mindkét stabil izotópját nukleáris fegyverek gyártásához használják. A kohászatban folyasztószerként használják, mivel elősegíti a fémek összeolvadását forrasztás vagy hegesztés során. Az újratölthető akkumulátor gyártás ma a lítiumforrások legnagyobb felhasználója (Kavanagh et al., 2018). A lítium környezetre káros formája az elhasznált lítium akkumulátorok. Ennek oka, hogy ezek az akkumulátorok gyakran más hulladékkal együtt a kommunális hulladékok közé kerülnek. Általában az ártalmatlanított elhasznált fogyasztói lítiumelemek nem jelentenek környezeti vagy biztonsági kockázatot, mivel a lítiumfém már nem reaktív, és az akkumulátor lemerülése után nem reaktív lítium-oxidá alakul át (Aral and Vecchio-Sadus, 2008).

Ma a világ lítiumkészletének hozzávetőlegesen 59 %-a sóoldatban, 25 %-a ásványi anyagokban található, a fennmaradó rész agyagokban, geotermikus vizekben és olajmezők sóoldatában (Swaine, 1956, Gruber et al., 2011). Gruber és mtsai szerint a világ lítiumkészletének 57 %-a mindössze három helyen található, a chilei Salar de Atacama-ban, a bolíviai Salar de Uyuni-ban és a King Mountain övben, USA-ban (Gruber et al., 2011). A lítiumot sóoldatból lítium-karbonát vagy lítium-klorid formájában vonják ki lepárlással. A lítium ásványok három általános osztályba sorolhatók: komplex alumínium-szilikátok, foszfátok és csillámok (Kabata-Pendias, 2000, Aral and Vecchio-Sadus, 2008, Colton, 1957). Csak néhány lítium ásvány van, mint például a spodumen, a petalit és a lepidolit, amelyeket gazdaságilag megéri feldolgozni abban az esetben, ha megfelelően nagy lelőhelyet találnak (Meshram et al., 2014). A természetes vizekben található lítium koncentrációja függ a domborzati, geológiai, hidrogeológiai és egyéb viszonyoktól (Kavanagh et al., 2017). A lítium ion koncentrációja a talajvízben elérheti az $500 \mu\text{g/l}$ -t, azonban Észak-Chile folyóvízeiben az 1508 és $5170 \mu\text{g/l}$ közötti tartományban van jelen (Zaldívar, 1980). Ezen a területen a lakosság által bevitt napi lítium mennyiség elérheti a 10 mg/napot , anélkül, hogy a lakosságra káros hatást gyakorolna. A felszíni vizekben 1 és $10 \mu\text{g/l}$ közötti mennyiségben, míg a tengervizekben általában $0,14$ és $0,20 \text{ mg/l}$ mennyiségben van jelen (Schrauzer, 2002, Riley and Tongudai, 1964, Angino and Billings, 1966, Mason et al., 1974), ahol a 14. legnagyobb mennyiségben előforduló elem (Kavanagh et al., 2017). Számos vizsgálat vonatkozott az ivóvizek lítium tartalmának vizsgálatára, amelyek azt mutatják, hogy a különböző országok ivóvizeinek lítium

koncentrációja 0,48 és 56 µg/l között mozog (Dobosy et al., 2023). A lítium megtalálható természetes sóoldatokban (Chile, Argentína, USA) sós tavakban (Nagy Sóstó, USA, Tibet, Kína, Holt-tenger) (Habashi, 1997).

A lítium természetesen megtalálható az ivóvízben, gabonákban és zöldségekben (Ohgami et al., 2009, Huthwaite and Stanley, 2010, Schrauzer, 2002). A növények a lítiumot a talajból képesek felvenni. Az eddigi vizsgálatok azt mutatják, hogy növekedésükhöz, fejlődésükhöz nincs ugyan szükség erre az elemre, azonban egyes tanulmányok szerint alacsony koncentrációban a növények növekedésére és fejlődésére serkentő hatással lehet (Schäfer, 2012, Tolgyesi, 1983, Elektorowicz and Keropian, 2015, Wallace et al., 1977, Jiang et al., 2014, Bingham et al., 1964, Li et al., 2009, Kent, 1941, Saeidnia and Abdollahi, 2013), valamint felgyorsítja az érést, növelheti a termést és a betegségekkel szembeni ellenállóképességet (Bradford, 1966). Összességében azonban nem nyert egyértelmű bizonyítékot, hogy a lítium elengedhetetlen vagy hasznos elem-e a növények számára. A magas lítium koncentráció azonban minden növényre mérgező hatású, klorózishoz hasonló állapotot okoz, pl citrusfélék esetén (McStay et al., 1980). A növények között különbség van a lítium felvétel és a lítiummal szembeni érzékenység tekintetében: egyes növények képesek felhalmozni és tolerálni három-hatszoros mennyiségben a lítiumot más növényhez képest; például a *Cirsium arvense* vagy a *Solanum dulcamara* bírnak ilyen tulajdonsággal (Wuana et al., 2010).

Humán vonatkozásait illetően, a lítium ion szájon át történő bevétele esetén enyhén mérgező hatású, azonban a fizikai tolerancia egyénenként eltérő. A lítium toxicitás elsősorban a központi idegrendszerre hat (Kjølholt et al., 2003), ezért a lítiumot mániás depresszió kezelésére terápiásan alkalmazzák. A lítium-klorid halálos dózisa patkányok esetén 526-840 mg/ttkg, 70kg-os ember esetén pedig 5 g. Vérben mért 10 mg/l lítium tartalom már enyhe lítium mérgezést jelent, a halálos koncentráció 20 mg/l (Aral and Vecchio Sadus 2008).

A lítiumot már az 1800-as évektől javasolták különböző panaszokra (pl. köszvény, görcsoldás), beszámoltak bizonyos mérgezésekkel (karbamid) szembeni védő hatásáról és potenciális toxikusságáról is (Cade, 1949). Azonban 1949-ben az Egyesült Államokban a túlzott toxicitási problémák miatt, a legtöbb korábban írt panaszra beszüntették alkalmazását. Mindemellett mániás depresszió kezelésére az 1970-es években hagyta jóvá az FDA (Food and Drug Administration) (Strobusch and Jefferson, 1980). A pszichiátriában a lítium-karbonátot ma is több országban alkalmazzák mániás depressziós betegség kezelésre. A bevitt lítium oldható só formájában gyakorlatilag 100%-ban felszívódik a vékonybélből a Na-csatornákon keresztül (Casarett and Doull, 1975, Ellenhorn and Barceloux, 1988, Schrauzer, 2002) és elsősorban a vesén keresztül választódik ki körülbelül 24 óra elteltével (Freeman and Freeman, 2006). Bár a lítium nem esszenciális elem, befolyásolja az anyagcserét. Az orális lítium napi bevitelére vonatkozó

becslések nagyon változóak, a környezetben és az élelmiszerekben való elérhetőségtől függően változhat (Schrauzer, 2002, Rzymiski et al., 2017, Van Cauwenbergh et al., 1999). Egy 1985-ös vizsgálat szerint egy 70 kg-os amerikai felnőtt átlagos napi lítiumbevitel 0,65 és 3,1 mg/nap között van (Schrauzer, 2002). Mivel a földkéregben a lítium egyenetlenül oszlik el, emiatt a becsült lítiumfogyasztás a világ különböző régióiban igen változatos (Schrauzer, 2002). Európában a lítium bevitel valószínűleg alacsony. Chilében viszont, ahol magas a vizek lítium tartalma, a teljes lítiumbevitel elérheti a 10 mg/napot a lakosságra gyakorolt káros hatások nélkül (Aral and Vecchio-Sadus, 2008).

Bár lítiumhiányos szindrómát nem azonosítottak, azonban olyan embereknél, ahol nem megfelelő mennyiségű a lítium bevitel, fokozott nyugtalanság, instabil hangulat, öngyilkossági hajlam nagyobb arányban figyelhető meg, valamint az erőszakos bűncselekmények, gyilkosságok aránya is magasabb (Marshall, 2015). Ezt elsősorban olyan területek lakossága körében figyelték meg, ahol a lítium koncentrációja az ivóvízben nagyon alacsony, 0-12 µg/l közötti (Schrauzer and Shrestha, 1990). Megfigyelték, hogy a természetes, 1-2 mg lítiumot tartalmazó ivóvizet fogyasztók esetén az öngyilkossági kockázat 60-80 %-kal csökkent (Kapusta 2015, Ishii 2015).

A lítium fő táplálékforrásai a gabonafélék és a zöldségek (pl. burgonya, paradicsom, káposzta), melyek becslések szerint a napi lítium fogyasztás 66-90 %-át fedezhetik, a többi állati eredetű élelmiszerből (tejtermékek és hús)(Weiner 1991), valamint ivóvízből származik (Schrauzer, 2002, Kousa et al., 2013, Liaugaudaite et al., 2017, Goldstein and Mascitelli, 2016). A különböző élelmiszerek lítium tartalmát az 1. táblázat tartalmazza. Ezeken kívül néhány fűszerben is megtalálható, mint pl. szerecsendióban, koriander magban, köményben, részarányuk azonban elhanyagolható (Jathar et al., 1980). A különböző országok lakosságának étrendi lítium bevitel (2. táblázat) széles skálán mozog (Schrauzer, 2002).

1. táblázat Átlagos lítiumtartalom különböző élelmiszerekben. Forrás: (Szkłarska and Rzymiski, 2019)

Élelmiszer csoport	mg/kg száraz tömeg
Gabonafélék	4,40
Hal	3,10
Gomba	0,19
Zöldségek	2,30
Hús	0,01
Tejtermékek	0,50
Diófélék	8,80

2. táblázat. Becsült étrendi lítium bevitel (felnőtt férfiak és nők átlaga) különböző országokban (Schrauzer, 2002)

	mg/nap
Kína (Yi'an) ^a	1,56 ± 0,98
Mexikó (Tijuana, B.C.) ^b	1,49 ± 1,01
Svédország (Stockholm) ^b	1,09 ± 0,32
Dánia (Koppenhága) ^b	1,01 ± 0,32
Mexikó (Culiacan) ^b	0,94 ± 0,93
USA (Galveston, Texas) ^b	0,82 ± 0,68
Japán (Tokió) ^b	0,81 ± 0,38
USA (New York környéke)	0,65 ± 0,74
Németország (Potsdami kerület) ^c	0,49 ± 0,42
USA (San Diego, Kalifornia) ^b	0,43 ± 0,12
Németország (München) ^b	0,41 ± 0,38
Németország (Gera körzet) ^c	0,36 ± 0,33
Ausztria (Bécs) ^b	0,35 ± 0,29

a Nem publikált adatok, b (Schrauzer et al., 1992) c (Anke, 1991)

A lítium, mint mikroelem természetes módon is előfordulhat a mézekben. A mézek lítiumtartalmára vonatkozó, Ziegelmann és mtsai (2018) közlése előtti mérési adatok tekinthetők relevánsnak, mivel a lítium *Varroa* elleni hatásának publikálása óta a méhészeti eredetű lítiumkontamináció nem zárható ki teljes mértékben. A méz lítium ion tartalmára vonatkozóan 2018 előtti időszakból több irodalmi forrás is közöl adatokat. A mézekben található lítium mennyisége nagyban függ a környezeti lítiumtartalomtól.

Törökországi régiókban végzett vizsgálatok kimutatták, hogy az itt gyűjtött mézminták lítiumtartalma alacsony (Tutun et al., 2019) (3. táblázat).

3. táblázat: Vizsgált mézek lítium tartalma Törökország egyes régióiban (Tutun et al., 2019)

Régió	Mintaszám	Statisztikai analízis	Li tartalom (mg/kg)
Spárta	22	Átlag	0,35
Antalya	28	Átlag	0,28
Burdur	20	Átlag	0,30
Összes minta	70	Átlag	0,31

Egy másik vizsgálatban romániai mézek és egyéb méhészeti termékek lítiumtartalmát elemezték (4.táblázat) (Gergen and Harmanescu, 2010). A legmagasabb lítium tartalma a vegyes virágméznek volt. A mézek földrajzi elhelyezkedése nem mutatott szignifikáns különbséget az össz lítiumtartalomban, a mézek fajtái között azonban jelentős különbségek voltak. Ez azt mutatja, hogy a lítium tartalmat a növényi eredet nagyban befolyásolja. A mézek lítiumtartalma 1,84-12,71 mg/kg között, a virágpor és méhkenyér esetén pedig 2,03-3,06 mg/kg között mozgott.

4. táblázat. Az összes lítiumtartalom átlagértékei különböző mézfajtákban és méhészeti termékekben (Gergen and Harmanescu, 2010).

Sorszám	Méz típus	Az összes Li-tartalom átlagértékei (mg/kg)
1	Akácmez	1,84
2	Hársméz	4,41
3	Vegyes virágméz	12,71
4	Napraforgó	2,98
5	Erdei méz	8,98
6	Méhkenyér	3,06
7	Pollen (Temesberény)	2,59
8	Pollen (Boksánbánya)	2,75
9	Pollen (Facsád)	2,37
10	Pollen (Nagykomlós)	2,03

Alqarni és munkatársai Szaúd-Arábiából és hat másik országból (Németország, Új-Zéland, Jemen, Malajzia, Egyiptom és Ausztrália) származó különböző eredetű mézminták ásványi anyag, nyomelem és nehézfém tartalmát vizsgálta. A kapott eredmények szerint ezen mézek lítium tartalma 1,15 és 4,26 mg/kg között változott (Alqarni et al., 2014).

Egy Magyarországon végzett vizsgálat (Czipa et al., 2012) hazai akácmézek nyomelemtartalmát vizsgálta, amiben mértek lítium elemtartalmat is. A vizsgált négy évben a mézmintákban mért lítium tartalom nem mutatott változást. (5. táblázat)

5. táblázat Magyarországi akácmézek lítiumtartalma Forrás: (Czipa et al., 2012)

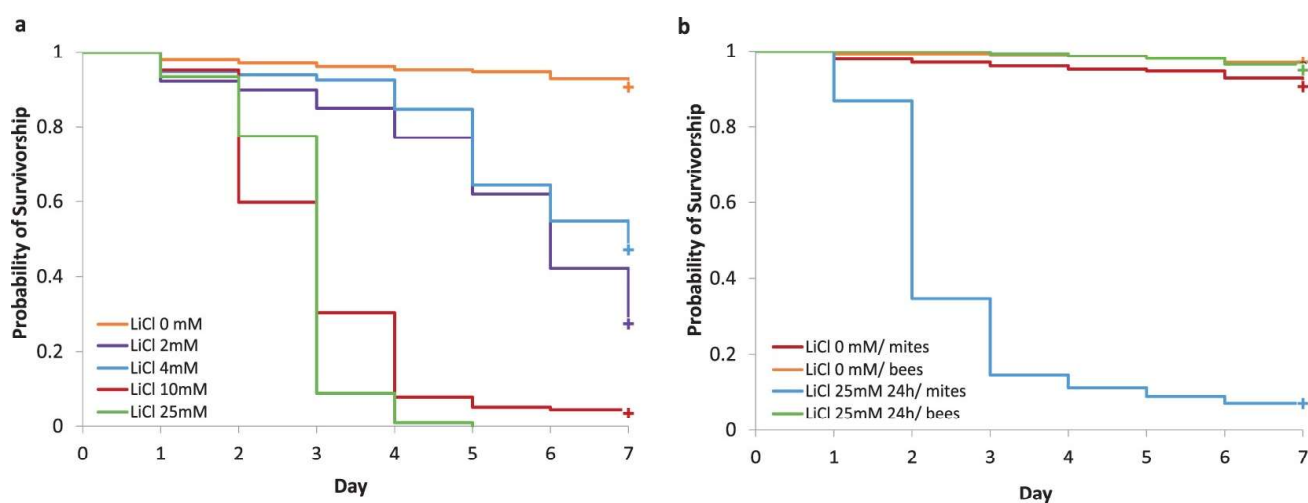
Év	Li (mg/kg)
2007	0,05618 ± 0,00213
2008	0,05628 ± 0,00208
2009	0,05853 ± 0,00089
2011	0,05488 ± 0,00304
Átlag	0,05632 ± 0,00241

3.4.2 A LÍTIUM ION *VARROA* ELLENI HATÁSMECHANIZMUSA

A *Varroa* atka elleni védekezésben komoly problémát jelent, hogy több mint 25 éve nem regisztráltak új hatóanyagot. A jelenleg használt akaricidek mindegyikével szemben rezisztenciát mutattak ki (Mutinelli 2016), így ezek hatékonyságában csökkenő tendencia várható. Az alternatív hatóanyagok, mint a szerves savak és illóolajok hatékonysága változó, sokszor inkonzisztens, miközben a méhcsalád veszteségek világszerte egyre nagyobb problémát jelentenek (Genersch et al., 2010, Van Engelsdorp et al., 2008, Guzmán-Novoa et al., 2010, Traynor et al., 2016, Chauzat et al., 2014, Lee et al. 2015). Ezért új és hatékony *Varroa* atka fertőzés kezelésére szolgáló szerek fejlesztése iránt az igény folyamatos, és növekvő.

A lítium *Varroa* atka elleni hatásosságára egy új megközelítés kapcsán derült fény; a közelmúltban Garbian és mtsai (Garbian et al., 2012) RNS-interferencia (RNAi) eljárást teszteltek *Varroa* fertőzés kezelésére. Ebben a kutatásban az atka génexpresszióját kívánták módosítani, méhek által közvetített RNS-interferenciával, ami a *Varroa* elleni védekezés egy teljesen új koncepción alapuló megközelítése. Az RNSi egy RNS-közvetített szekvencia-specifikus géncsendesítő mechanizmus (Fire et al., 1998). Az RNSi számos szervezetben, többek között növényekben, emlősökben, rovarokban és kullancsokban mérsékli a génexpressziót (Hannon, 2002, de la Fuente et al., 2007). Garbian és mtsai azt feltételezték, hogy laboratóriumi körülmények között, zárkázott méhekkel megetetett double-stranded RNS-t (dsRNS) tartalmazó cukoroldat szisztémásan terjed szét a kezelt méhekben, és ez a dsRNS átkerülhet a kezelt méhekből az őket parazitáló *Varroa* atkába; ebben az esetben a méhek RNSi vektorokként szolgálhatnak, ezáltal csökkentve a méhcsaládokban az atkapopuláció számát. A kvantitatív és félkvantitatív RT-PCR azt mutatta, hogy dsRNS-ek befolyásolták a célzott *Varroa* géneket. Ezeket az eredményeket felhasználva Ziegelmann és mtsai (Ziegelmann et al., 2018) ismételték meg a kísérletet specifikus gének megcélzásával. Ebben a kísérletben Garbian és mtsai által alkalmazott módszert

alkalmazták, azzal a jelentős különbséggel, hogy kétféle kontrollt alkalmaztak: olyan cukorszirupot mely nem tartalmazott szacharóz oldaton kívül mást, valamint riporter gén alapú, (GFP) zöld fluoreszcens fehérje kódoló szekvenciáján alapuló dsRNS-t tartalmazó szirupot. A kísérlet során arra az eredményre jutottak, hogy az atkák nemcsak az aktív, kezelt csoporton alkalmazott dsRNS-t tartalmazó cukorszirupot kapott méheken pusztultak el, hanem hasonló hatást figyeltek meg ahol a méhek GFP dsRNS-t tartalmazó szirupot kaptak, amely a tesztoldat más komponenseinek aktivitására utaltak. Mivel a dsRNS-ek stabilizálásához lítium-kloridot használtak, ezért kísérletként a zárkázott méhekkal 25 mM koncentrációjú lítium-kloridot tartalmazó cukorszirupot etettek. Megfigyelték, hogy ugyanolyan hatékonysággal pusztította el ez az oldat a *Varroa* atkákat, mint a dsRNS-t tartalmazó oldat. A kísérletet 2 mM, 4 mM és 10 mM koncentrációjú lítium-kloridos cukoroldattal is megismételték a hatékonyság alsó küszöbének meghatározásához. Mindegyik koncentráció esetén jelentős szisztémás atkaölő hatást (90% feletti) figyeltek meg, a magasabb (10 mM és 25 mM) koncentrációk azonban jelentősen növelték az atkák mortalitását, a kísérlet végére a kezelt atkák több mint 96 %-a elpusztult (6. ábra). A kísérlet során megfigyelték, hogy a lítium-kloridos etetés a zárkás kísérletben a frissen kelt dolgozó méhek életkorát csökkentette mindegyik alkalmazott koncentráció esetén.



6. ábra A foretikus *Varroa* atkák és zárkázott méhek mortalitása lítium-kloriddal történő etetés után. Forrás: (Ziegelmann et al., 2018)

Terepi körülmények között is megvizsgálták a 25 mM és 50 mM koncentrációjú lítium-kloridos oldat hatékonyságát fiasításmentes (raj) állapotba helyezett méheken. A rajokat *ad libitum* etették a lítium-kloridot tartalmazó cukorsziruppal, majd kontrollként Perizines (kumafosz) kezelést adtak annak megállapítására, hogy mennyi atka maradt a raj állapotba helyezett méhtömegben. Megállapították, hogy mindkét koncentráció esetén az atkák ~90 %-a elpusztult, azonban a magasabb koncentráció nem növelte a hatékonyságot. A zárkás kísérlettel

összehasonlítva a hatékonyság valamivel alacsonyabb volt, ennek valószínűsített magyarázata, hogy több időre van szükség ahhoz, hogy a lítium-klorid minden egyes méh egyedhez eljusson.

A lítium szisztémás hatékonyságát megvizsgálták más lítium vegyületek esetében is, úgymint: lítium-citrát, lítium-laktát, lítium-acetát, lítium-szulfát, lítium-karbonát. A laboratóriumi kísérletben mindegyik lítiumvegyület hatásosnak bizonyult az atkák ellen 25 mM koncentrációban és megerősítést nyert a szisztémás hatásmechanizmus. A lítium-szulfátot a dolgozó méhek kevésbé tolerálták, a lítium-karbonátnak a vízoldhatósága pedig alacsony. A lítium-citrát és a lítium-klorid atkaölő hatását különböző koncentrációkban vizsgáló kísérletben továbbá azt találták, hogy a lítium-citrát hatékonyabb akaricidnek bizonyult.

A lítium-klorid varroacidként történő alkalmazásának Ziegelmann és mtsai (2018) szerint számos előnye lehet:

- (i) a lítium-klorid szisztémásan (felszívódva) fejti ki hatását
- (ii) vízben oldódik, ezért nem halmozódik fel a méhviaszban
- (iii) a legtöbb lítiumvegyület orális toxicitása az emlősökre viszonylag alacsony
- (iv) nincs repellens hatása méhekre az etetőoldatban
- (v) kedvező ár

A Prešern és mtsai (2020) tanulmányukban a méhészeti termékek lítium szennyezettségét vizsgálták, valamint annak a méhfiasításra gyakorolt hatását laboratóriumi és természetes (*in situ*) körülmények között (Prešern et al., 2020). Az eredményeik azt mutatták, hogy a lítium-kloriddal kezelt méhcsaládokban a lítium kimutatható mértékben felhalmozódott a mézben (0,4-1,2 mg/kg), a méhkenyérben (17-47 mg/kg) és a fiasításban (35-46 mg/kg), míg a kontroll csoportokban a lítium szintje a kimutatási határ alatt maradt. A mért lítiumkoncentrációk a mézben és a méhkenyérben még Schrauzer (2002) által közölt humán ajánlott napi beviteli értéket (14,3 µg/testtömeg kg) sem érte el. Azonban a kutatás rámutatott a lítium-klorid méhészeti alkalmazásának lehetséges kockázataira, és felhívta a figyelmet a további kutatások fontosságára.

Sevin és mtsai (2022) átfogó tanulmányt végeztek a lítiumsók méhekre és *Varroa* atkákra gyakorolt hatásának vizsgálatára (Sevin et al., 2022). Kutatásuk célja a lítiumsók krónikus és akut toxicitásának meghatározása volt a mézelő méhek esetében. A vizsgálatban lítium-citrátot, lítium-laktátot és lítium-formiátot hasonlítottak össze. Az *in vitro* kísérletekben a lítium-citrát (18,8 mM) volt a legtoxikusabb a vizsgált sók közül, ezt követte a lítium-laktát (29,5 mM) és a lítium-formiát (32,5 mM). A krónikus toxicitási vizsgálatokban a lítiumsók jól tolerálhatók voltak, és egyik kezelési csoport sem különbözött a kontrollesoporttól. Az *in vitro* túlélési vizsgálatban azonban minden lítiumkezelés jelentősen csökkentette a méhek élettartamát (1,8-7,2-szeresére), a

kontrollcsoporthoz viszonyítva. A terepi vizsgálatokban a lítium-formiát és a lítium-laktát (25 mM) nem volt toxikus a méhekre. A lítium-formiát és az amitráz hasonló atkaölő hatást mutatott, ami jelentősen eltért a lítium-laktát és a kontrollcsoport esetében megfigyelt hatástól. Megállapításuk szerint a lítium-formiát a biztonságos a mézelő méhekre és atka ellenes hatása további vizsgálatokat érdemel.

Stanimirovic és mtsai (2022) tanulmányukban a lítiumsók *Varroa* atka elleni hatékonyságát, valamint a mézelő méhekre és a méhészeti termékekre gyakorolt hatását vizsgálták (Stanimirovic et al., 2022). A kutatás során lítium-kloridot és lítium-citrátot teszteltek laboratóriumi és terepi körülmények között. A laboratóriumi kísérletekben a lítium-citrát (4 mM, 7,5 mM, 10 mM és 25 mM) 100%-os varroacid hatékonyságot mutatott, míg a méhek túlélése 100%-os volt. A terepi kísérletekben a lítium-citrát minden koncentráció esetében (5 mM, 10 mM, 15 mM, 20 mM és 25 mM) magas hatékonyságot mutatott (93,2-95,5%), ami alapján hatékonyabbnak bizonyult a negatív és a pozitív (amitrázzal kezelt) kontrollokhoz képest.

Méréseik szerint a lítium-szermaradvány a fiasításos lépekből származó mézben sokkal magasabb voltak kilenc hónappal az utolsó kezelés után (169,3-1756,0 µg/kg), mint hét nappal a kezelés után (19,2-27,8 µg/kg). A méztérből származó (emberi fogyasztásra szánt) mézben az átlagos lítium-maradvány 26,9 µg/kg és 33,7 µg/kg volt hét nappal az utolsó kezelés után. A fiasításos lépekből kilenc hónappal a kezelés után vett viaszépítményben a lítium-szermaradvány 410 µg/kg és 2314 µg/kg között volt, szignifikáns eltérés nélkül a negatív kontrollhoz képest. A viaszmátrixokban a lítium-szermaradvány hét nappal az utolsó kezelés után 234,3-300 µg/kg között voltak, a viaszlépekben és a fedelezésekben szignifikánsan alacsonyabbak voltak, mint a kereskedelmi viaszban. Vizsgálataikban a lítium-citrát a terepi körülmények között is hatékonynak bizonyult a *Varroa destructor* ellen.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

A célkitűzésekben megfogalmazottakkal összhangban, a kontakt hatás, az oxálsav-lítium, valamint a méhészeti gyakorlat szerint értelmezett releváns kijuttatási módok összehasonlító vizsgálatai a továbbiakban ebben a sorrendben követik egymást az egyes fejezetekben.

4.1 A LÍTIUM KONTAKT *VARROA ELLENI* HATÁSOSságÁNAK KIMUTATÁSA

Ziegelmann és mtsai (2018) kísérleteikben a lítiumnak szisztémás hatásmechanizmusát írták le. Célul tűztük ki annak vizsgálatát, hogy a felszívódó hatás mellett a lítium ion kontakt hatással is rendelkezik-e. Ezt 2019. novemberében, laboratóriumi modellkísérletben (*ex situ*) és *in situ* kísérletekben egyaránt vizsgáltuk.

4.1.1 LABORATÓRIUMI MODELLKÍSÉRLET (*EX SITU*) KONTAKT HATÁSOSság VIZSGÁLATOK

Az laboratóriumi modellkísérlethez (*ex situ*) az atkákat olyan méhcsaládokból gyűjtöttük, amelyek erősen fertőzöttek voltak. Az atkákat a fedett fiasításból, valamint porcukorteszt (Büchler, 2013) segítségével gyűjtöttük (7. ábra).

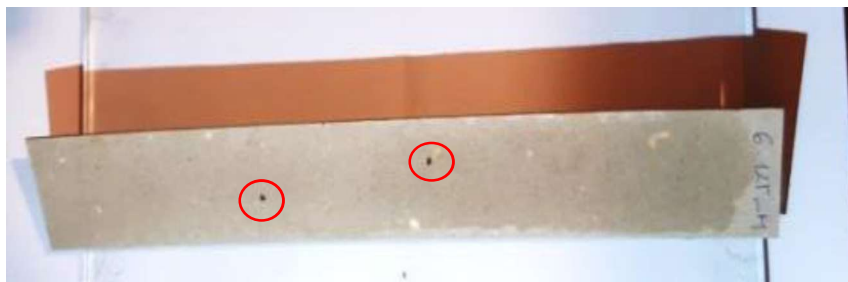


7. ábra Atkák gyűjtése porcukor teszt segítségével (Forrás: Saját kép)

A porcukorteszt során 100 ml méhet ráztunk egy rácsos fedéllel szerelt edénybe, majd beletettünk kb. 35 g porcukrot az edénybe és 3 percen keresztül ráztuk, hogy a méheket mindenhol befedje egyenletesen a porcukor. Egy vízzel telt edénybe ráztuk a rácson keresztül a porcukrot az atkákkal együtt. Miután már nem hullott több atka, a vizet átöntöttük egy szűrőn, és a szűrőbe ragadt atkákat egy ecset segítségével először egy szivacsra helyeztük. Az életképes egyedek előszelekciójaként az ecset segítségével az atkákat függőleges papírtörlőre helyeztük. Ezt követően 30 percig hagytuk őket a papírtörlőn, és csak azokat az egyedeket használtuk fel, amelyek képesek voltak felkapaszkodni. A megmaradt atkákat 120 percig 25 °C-on tartottuk, hogy megőrizzék életképességüket és mozgékonyaságukat. Az atkákat steril fecskendő segítségével egyenként, különböző töménységű lítium-kloriddal átitatott papírcsíkokra helyeztük. Itt további szelekciót végeztünk oly módon, hogy csak azokat az atkákat használtuk fel, amelyek maguktól hajlandóak voltak felmászni a tűre (96 %). A kartoncsíkok 1,5 mm vastagságúak, és 3 cm x 20 cm területűek voltak, melyeket egyenletesen impregnáltunk 2 ml lítium-klorid ($\text{LiCl} \cdot \text{xH}_2\text{O}$) vizes oldattal. A vizsgálat során 11 különböző koncentrációjú lítium-klorid ($\text{LiCl} \cdot \text{xH}_2\text{O}$) oldatot alkalmaztunk 10,78 mM és 11,04 M töménység között (10,78 mM; 21,55 mM; 43,11 mM; 86,22 mM, és 0,17 M; 0,34 M; 0,69 M; 1,38 M; 2,76M; 5,52 M; 11,04 M). A papírcsíkokat 45°-os szögben rögzítettük egy üveglapra (8. ábra).

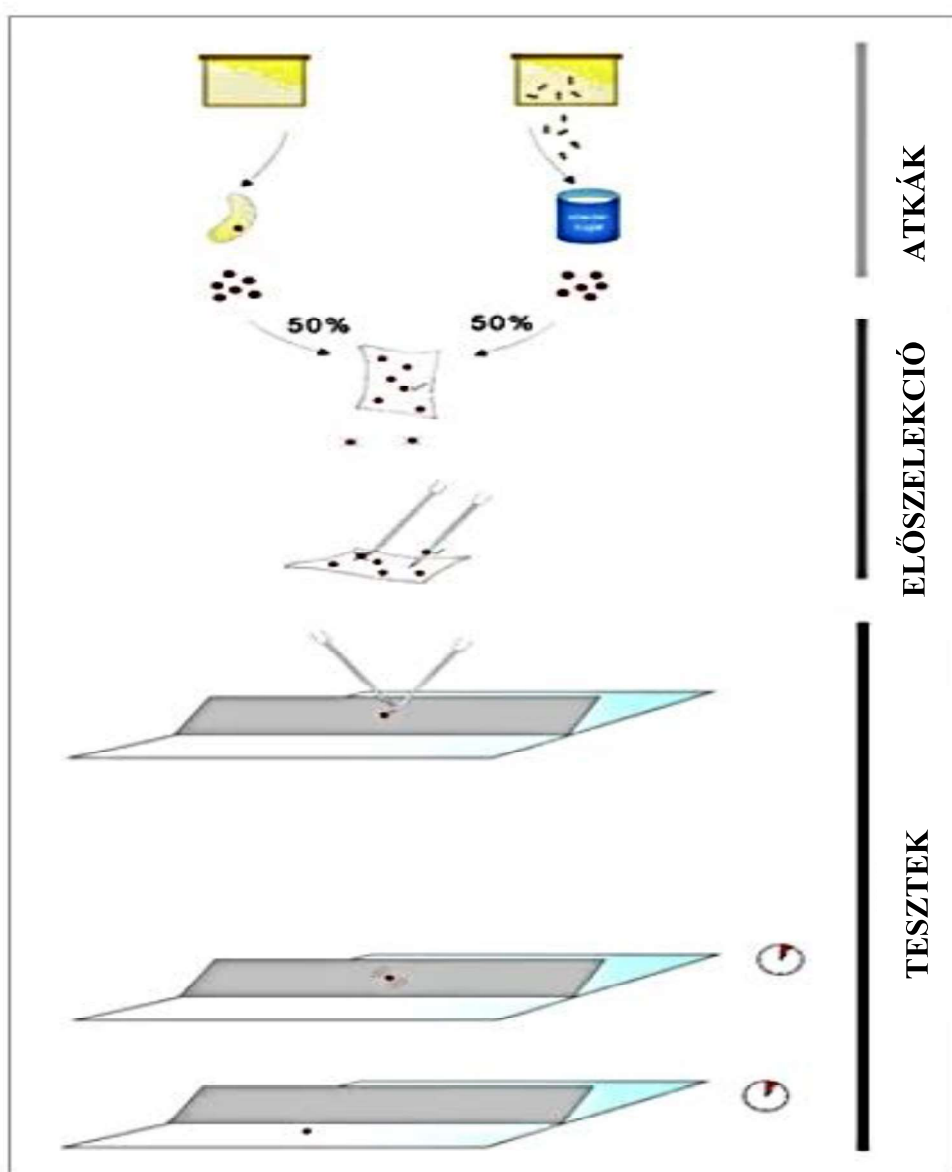


8. ábra Különböző töménységű lítium-kloriddal átitatott kartonlapok (Forrás: saját kép)



9. ábra Lítium-kloriddal átitatott kartonlapra helyezett atkák (Forrás: Saját kép)

Kezeletlen kontrollként ioncserélt vízzel átitatott kartonlapot használtunk, amely megegyezett az oldatok elkészítéséhez használt vízzel. Az egyes koncentrációkhoz használt egyedek száma 3 és 11 között változott; a kísérlethez mind a kontroll, mind a kezelt csoportban 71-71 atkát használtunk fel. Miután az atkákat felhelyeztük a kartonlapokra, figyeltük viselkedésüket (9. ábra). Az első feljegyzett esemény a remegő mozgás kezdete volt, melyet egy kontrollálatlanná váló mozgás követett. A következő meghatározó változásnak azt vettük, amikor az atka leesett a papírsíkról. Ezt az akaricid hatás küszöbértéknek tekintettük, vagyis az az időpont, amikor az atka a gazdaállatról, azaz a méh egyedről leesik. A kísérlet grafikus ábrázolását a 10. ábra mutatja.



10. ábra: Laboratóriumi modellkísérleti elrendezés. Forrás: (Kolics et al., 2020)

A lítium-klorid koncentrációfüggő kontakt hatását az első remegő mozgás és az atkák leesésének log10 transzformált idejére varianciaanalízissel (ANOVA), majd Tukey HSD *post hoc* tesztekkel értékeltük. A statisztikai elemzést az egyes koncentrációkhoz tartozó eltérő atkaszám nem befolyásolta, mivel a vizsgálat célja a kontakt hatás igazolása volt, nem pedig az egyes koncentrációkhoz tartozó atkák letalitási arányának meghatározása. Az adatok szórásának homogenitására vonatkozó Levene-teszt ($F_{10;60} = 1,45$, $p = 0,180$ az első remegő mozdulatig eltelt időre és $F_{10;60} = 1,65$, $p = 0,114$ a leesésig eltelt időre) és a maradvány értékek normalitásának Kolmogorov-Smirnov-tesztje ($N = 71$, $D = 0,103$, $p = 0,405$ az első remegő mozgásig eltelt időre és $N = 71$, $D = 0,109$, $p = 0,345$ a leesésig eltelt időre) igazolta, hogy az ANOVA kritériumai teljesültek. Mivel a kontroll atkák egyike sem mutatott remegő mozgást vagy esett le a kísérleti kartonról a 120 perces megfigyelési időszak alatt, a kontroll csoportokat nem lehetett bevonni az ANOVA vizsgálatba. Ezért a Z-tesztet használtuk a reagáló (azaz remegő mozgást mutató és leeső) atkák arányának összehasonlítására a kontroll és a lítium-klorid kezelések között.

4.1.2 IN SITU KONTAKT HATÁSOSSÁG VIZSGÁLATOK

Megvizsgáltuk, hogy a kontakt hatás *in situ* körülmények között is kiváltható-e. A kísérlethez használt csíkokat egy kaptár csorgató adagjához használt mennyiséggel (2,28ml 5,52 M LiCl $1 \times H_2O = 0,76$ g LiCl $1 \times H_2O$) impregnáltuk. A kísérletet 3 fiasításmentes méhcsaládon végeztük Keszthelyen 2019 novemberében, telelés előtti időszakban. A kísérleti méhcsaládok a méhészet legfertőzöttebb méhcsaládjai közül kerültek kiválasztásra. A kiválasztás alapját szeptember végén Apivar-csíkkal (amitráz) kezelt, fiasítással rendelkező méhcsaládok atkahullása képezte. A kiválasztott három méhcsalád regisztrált atkahullása ekkor 116, 102 és 67 volt. Ezt követő időszakban, szeptembertől a kísérlet kezdetéig ezek a méhcsaládok nem kaptak további atkaellenes kezelést, ezért a méhcsaládok egyedein októberben megfigyelhetőek voltak foretikus atkák, mely a fertőzöttség magas szintjére utalt. A kontrollként használt 1. számú méhcsalád a kísérlet végéig nem kapott atkaellenes kezelést. A kezelt 2. és 3. számú méhcsaládban a kezelés megkezdésekor egy lítiumos oldattal átitatott mikroszálas törülőkendő csík (11. ábra) került behelyezésre a fészkek közepére. A méhcsaládok fiasításmentesek voltak, hogy a varroacid hatás értékelését ne befolyásolják a fiasításból újratermelt reproduktív atkák. Az atkahullást 5 napon keresztül követtük nyomon, majd további öt csík (12. ábra) behelyezését követően az atkahullás regisztrálását folytattuk további 10 napig. Ezt követően a 15. napon mindhárom méhcsalád atkaszámát lítiumos cukorszirup oldat (40 ml, 250 mM) csorgatásával kezeltük, majd ezt egy újabb porcukor teszt követett annak ellenőrzésére, hogy maradt-e esetleg atka a méheken.



11. ábra Lítium-kloriddal átitatott csík kaptárba helyezése (Forrás: Saját kép)



12. ábra További lítium-kloridos csíkok behelyezése a kaptárba (Forrás: Saját kép)

4.2 OXÁLSAV ÉS LÍTIUM VARROA ATKA ELLENI HATÉKONYSÁGÁNAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Vizsgálatainkban a lítium-klorid, mint a *Varroa destructor* atka elleni új hatóanyag hatékonyságát hasonlítottuk össze az oxálsavval, amely egy széles körben alkalmazott, természetes eredetű atkaölő szer.

A kísérletet késő ősszel (2019), téli záró kezelésként végeztük 26 db, kilenc és tíz keretes Hunor kaptárrendszerű méhcsaládokkal. Mindegyik méhcsalád fiasításmentes állapotban volt a kísérlet teljes időtartama alatt. Az egyes kaptárakat 3 m távolságra helyeztük el egymástól, minden kaptárban higiénikus aljdeszka volt az atkahullás nyomon követésére. A lítium-kloridos kezeléseket 40 ml 250 mM lítiumos cukorszirup csorgatásával végeztük. Az oxálsavas kezeléseket Sublimox készülékkel (13. ábra) történtek, 2 g oxálsav-dihidrátot alkalmazva kaptáronként. Minden kezelés végén porcukortesztet (Büchler, 2013) végeztünk méhcsaládonként, véletlenszerűen kiválasztott 100 g méh tesztelésével.



13. ábra Sublimox készülék. Kép forrása: konigin-trade.com

Az oxálsav és a lítium atka elleni hatékonyság vizsgálatára három részkísérletet állítottunk be:

E1) Kilenc méhcsalád lítium-kloridos kezelését október 26-án kezdtük el, majd 11 napig követtük az atkahullást. Ezt követően oxálsavas szublimációt alkalmaztunk november 6-án és 8 napig figyeltük az atkahullást.

E2) Az oxálsavas kezelést négy méhcsaládon alkalmaztunk november 5-én, majd 8 napig követtük az atkahullást. Ezt követően november 14-én lítium-kloridos kezelést alkalmaztunk és 11 napig követtük a kezelés hatékonyságát.

E3) Lítium-kloridos kezelést alkalmaztunk 13 méhcsaládon. A december 11-i kezelést követően 11 napig, majd további 8 napig követtük az atkahullást.

Az irodalmi és gyakorlati tapasztalatok alapján az oxálsavas kezelések hatékonyságát jelentősen befolyásolják abiotikus tényezők, mint például a páratartalom és a hőmérséklet. Ezért a kísérleti kezelések (E1, E2) során a hosszú távú időjárás-előrejelzések figyelembevételével törekedtünk az optimális környezeti feltételek biztosítására. Az oxálsavas kezelések időpontját (november 5-6.) úgy hangoltuk össze, hogy csökkentsük a környezeti tényezők torzító hatását. Ezért az időpontok megválasztásakor a környezeti feltételek optimalizálása elsőbbséget élvezett, a méhek és atkák élettani állapotával szemben. Mindazonáltal a fiasítás időzítésének befolyásolásával továbbra is lehetőségünk nyílt a méhcsalád állapotának és korösszetételének kívánt irányba történő eltolására.

A három részkísérlet alapján öt kezelési típust különböztettünk meg:

- 1) Elsőnek lítium-kloridot alkalmaztunk fő kezelésként (E1 és E3, statisztikai szempontból megkülönböztetve)
- 2) Elsőnek oxálsavat alkalmaztunk fő kezelésként (E2)
- 3) Lítium-klorid kiegészítő, második kezelésként alkalmazva (E2)
- 4) Oxálsav kiegészítő, második kezelésként alkalmazva (E1)
- 5) A lítium-klorid mint fő kezelés utóhatása, amelyet az E3-ban a 11 és 19. nap között figyeltünk meg

Minden kezelés hatását a higiénikus aljdeszkán talált elpusztult atkák számának kumulatív átlagával számszerűsítettük, a 19 nap alatt elhullott atkák teljes számához viszonyítva. Az egyes kezelések közötti különbségeket a Kruskal-Wallis ANOVA módszerrel és a Mann-Whitney U *post hoc* tesztekkel értékeltük. A statisztikai elemzéseket Statistica 8.0 szoftverrel (statsoft.com) végeztük.

4.3 A LÍTIUM-KLORID KEZELÉSEK MÉHÉSZETI GYAKORLAT SZERINTI RELEVÁNS KIJUTTATÁSI MÓDJAINAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Az *in situ* kísérleteket higiénikus aljdeszkával ellátott „Nagy Boczonádi” típusú kaptárakban, termelő családokon, fiasítás mentes állapotban végeztük (2021), melyhez a méhanyákat kísérlet előtt 24 nappal kizárkáztuk. A kísérlet előtt a családokat kiegyenlítettünk 10 keretre (keretméret 40 cm x 34 cm), és nem lettek kezelve *Varroa* atka elleni készítménnyel.

Az I. kísérletben kilenc atkaellenes lítium-kloridos kezelés (csorgatás, ködölés, tartós hordozón történő kijuttatás) hatékonyságát hasonlítottuk össze. Minden kezelési típust 5-10 kaptárban teszteltünk. A csorgatási oldatok formuláit, alkalmazási dózisait és koncentrációit feltüntetve azok lítium-egyenértékét, 6. táblázat, míg a korábbi szerzők által alkalmazott lítium dózisok összevetését a 7. táblázat tartalmazza részletesen.

1. A csorgatásos kijuttatási módszert hat különböző kezelési elrendezésben vizsgáltuk, eltérő lítium-klorid koncentrációk, valamint egyszeri és ismételt alkalmazások mellett. A csorgatásos kezelések során telített cukorszirupba keverve juttattuk ki a kívánt koncentrációjú lítium-kloridot. Az egyszeri kezelések 250 mM, 500 mM és 750 mM lítium-klorid koncentrációk alkalmazásával történtek. Az egyszeri kezeléssel kijuttatott 500 mM koncentráció esetén összehasonlítottuk az atkahullásra gyakorolt hatást 3, illetve 5 napos kezelési periódusok alkalmazása esetén is. További kísérletben, 500 mM és 750 mM koncentrációk esetében a kezeléseket a 3. napon megismételtük annak érdekében, hogy megállapítsuk az ismételt kezelések hatékonyságát.
2. A hideg ködölést VAT-1a (Bee Research Institute, s.r.o., Dol, Csehország) készülékkel végeztük (14. ábra). A hideg ködölés során a hatóanyagot a készüléket kompresszorral összekötve, porlasztva juttatjuk a kaptárba.



14. ábra VAT-1a készülék

Forrás: <https://www.apiprodukt.hu/eshop/vat1-aeroszolos-keszulek/p-901747.xhtml>

3. A meleg ködölés módszeréhez Furetto (Gremigni s.r.l., Firenze, Olaszország) típusú berendezést használtunk (15. ábra).

Többféle hordozó anyagot próbáltunk ki, lefedve a teljes potenciális vivőanyag repertoárt, mint, 10%-os petróleum, glicerín, paraffinolaj, alkohol.



15. ábra Furetto készülék Forrás: <https://szarkameheszbolt.hu/Furetto>

4. A tartós hordozón történő kijuttatást egyszeri, standard beállításban (5,5M LiCl) teszteltük a kontakt laboratóriumi modellkísérlet (*ex situ*) hatásvizsgálatokban használt kartonpapír csíkokkal. A kísérlet során 1 kartonlap csíkot helyeztünk be kaptáranként a léputcák közé.

A II. kísérletben az 500 mM-os lítium-klorid oldattal történő csorgatásos kezelések hatékonyságát hasonlítottuk össze három cukoroldat koncentráció esetén (100% - telített cukorszirup, 50% - víz és telített cukorszirup 1: 1 arányú keveréke, 0% - cukormentes víz) egyszeri és ismételt kezelésben. Minden kezelés típust 9-10 méhcsaládon teszteltünk.

6. táblázat: Kísérleti beállítások

I. Kísérlet									
	1. Kezelés				2. Kezelés				
	Módszer	Koncentráció LiCl	Li+ dózis (mg)	Kezelési periódus	Módszer	Koncentráció LiCl	Li+ dózis (mg)	Kezelési periódus	Kezelt kaptárak száma
1.	csorgatás, 100% cukorszirup	250 mM	69,4	5 nap	-	-		-	10
2.	csorgatás, 100% cukorszirup	500 mM	138,8	5 nap	-	-		-	10
3.	csorgatás, 100% cukorszirup	500 mM	138,8	3 nap	-	-		-	10
4.	csorgatás, 100% cukorszirup	500 mM	138,8	3 nap	csorgatás	500 mM	138,8	5 nap	10
5.	csorgatás, 100% cukorszirup	750 mM	208,2	3 nap	-	-		-	10
6.	csorgatás, 100% cukorszirup	750 mM	208,2	3 nap	csorgatás	750 mM	208,2	5 nap	10
7.	ködölés	5,5 M	69,4	8 nap	-	-		-	5
8.	tartós hordozó	5,5 M	138,8	8 nap	-	-		-	10

II. Kísérlet

1. Kezelés					2. Kezelés				
	Módszer	Koncentráció LiCl	Li+ dózis (mg)	Kezelési periódus	Módszer	Koncentráció LiCl	Li+ dózis (mg)	Kezelési periódus	Kezelt kaptárak száma
1.	csorgatás, 100% cukorszirup	500 mM	138,8	3 nap	-	-		-	9
2.	csorgatás, 50% cukorszirup	500 mM	138,8	3 nap	-	-		-	10
3.	csorgatás, ioncserél víz	500 mM	138,8	3 nap	-	-		-	10
4.	csorgatás, 100% cukorszirup	500 mM	138,8	3 nap	csorgatás	500 mM	138,8	5 nap	9
5.	csorgatás, 50% cukorszirup	500 mM	138,8	3 nap	csorgatás	500 mM	138,8	5 nap	10
6.	csorgatás, ioncserélt víz (0% cukorszirup)	500 mM	138,8	3 nap	csorgatás	500 mM	138,8	5 nap	10

7. táblázat A csorgató oldatok koncentrációja a korábbi vizsgálatokkal összehasonlítva.

	Koncentráció	Egyszeri adag/méhesalád	Kezelés módja	Egyszeri adag/méhesalád Li ⁺ alapon (mg)	Referencia
Lítium-klorid	25 mM	<i>ad libitum</i>	Cukorszirup etetése	-	Ziegelmann et al. 2018, Ziegelmann et al. 2019
Lítium-klorid	50 mM	<i>ad libitum</i>	Cukorszirup etetése	-	Ziegelmann et al. 2018
Lítium-klorid	50 mM	<i>ad libitum</i>	Cukorszirup etetése	-	Ziegelmann et al. 2019
Lítium-klorid	25 mM	1000 ml	Cukorszirup etetése	173,5	Kolics et al. 2019, Presern et al. 2020, Kolics et al. 2021a
Lítium-klorid	250 mM	40 ml	Csorgatás	69,4	Kolics et al. 2022
Lítium-klorid	500 mM	40 ml	Csorgatás	138,8	Kolics et al. 2022
Lítium-klorid	750 mM	40 ml	Csorgatás	208,2	Kolics et al. 2022
Lítium-citrát	5 mM	1000 ml	Cukorszirup etetése	101	Stanimirovic et al. 2022
Lítium-citrát	10 mM	1000 ml	Cukorszirup etetése	202	Stanimirovic et al. 2022
Lítium-citrát	15 mM	1000 ml	Cukorszirup etetése	302,9	Stanimirovic et al. 2022
Lítium-citrát	20 mM	1000 ml	Cukorszirup etetése	403,9	Stanimirovic et al. 2022
Lítium-citrát	25 mM	1000 ml	Cukorszirup etetése	504,9	Stanimirovic et al. 2022

A gyakorlati alkalmazás szempontjából a kijuttatandó hatóanyag mennyiségét mindig a keret és a méhcsalád méretéhez kell igazítani. A csorgatás esetében a kijuttatott hatóanyag mennyisége korlátozott, mivel a léputcákba csorgatott felesleges oldat a méheken keresztül a higiénikus aljdeszkára folyhat. Ezért a csorgatás mennyiségét 40 ml-re állítottuk be 10 NB („Nagy Boczonádi”) keret esetében, amelyek teljes felülete 2680 cm² (lép-egyenérték: 1,5 ml/1000 cm²). A lítium-klorid oldatot a léputcákba állatorvosi tömegoltó készülékkel adagoltuk (16. ábra).



16. ábra Állatorvosi fecskendő Forrás: https://omtshop.hu/tomegolto_-_tomlocsatlakozással_2_ml_hsw_eco-matic

Minden kísérlet végén letális kontrollkezelést végeztünk, amely során méhcsaládonként két-két Apivar (Véto-pharma, Palaiseau, Franciaország) és Check Mite+ (Bayer AG, Leverkusen, Németország) impregnált csíkokat használtunk annak érdekében, hogy számszerűsítsük hány atka élte túl az egyes lítium-klorid kezeléseket. A kezelés hatékonyságát a lítium-klorid kezelés következtében elpusztult atkák számának és a kísérleti méhcsaládban lévő atkák teljes számának (lítium-klorid kezelés során elpusztult atkák száma + a végső kontrollkezelés során a higiénikus aljdeszkára lehullott atkák száma) hányadosaként határoztuk meg.

A vizsgált kezelési típusok között a *Varroa* elleni hatékonyságban mutatkozó eltérések értékeléséhez általános lineáris modell (GLM) elemzést alkalmaztunk. A statisztikai elemzés során a magyarázó faktorok az I. kísérletben a kezelés típusa, a csorgató oldatban cukor koncentrációja (azaz telített, félig telített és nulla), valamint a II. kísérletben a kezelések száma (azaz egyszeri vagy ismételt) voltak. Annak érdekében, hogy figyelembe vegyünk a kezelés hatékonyságára gyakorolt sűrűségfüggő hatást, az atkák teljes számát kovariánsként bevontuk a GLM analízisbe mind az I., mind a II. kísérletben.

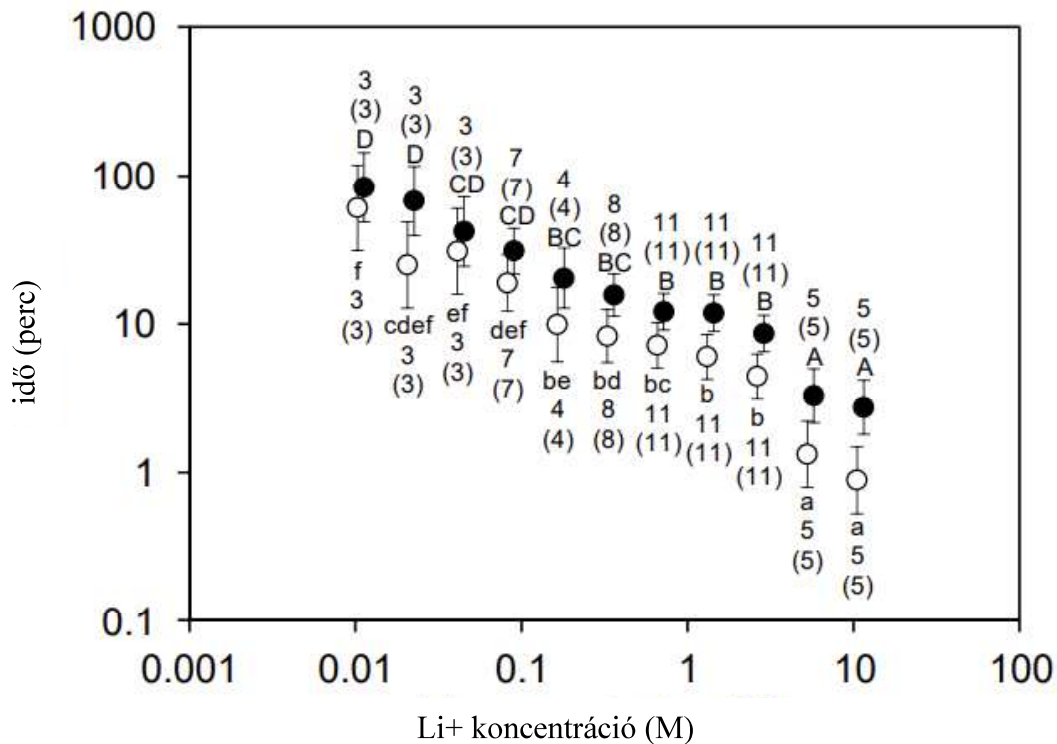
Először egy előzetes teljes faktoriális GLM elemzést végeztünk annak feltárására, hogy az atkaszám hatása független-e a kezelés típusának hatásától. Az I. kísérletben az előzetes GLM-elemzés szignifikáns kapcsolatot mutatott ki a kezelés típusa és az atkák számhoz köthető hatások között (d.f. error, effect = 7, 59, $F = 3,35$, $p = 0,004$). Ezért a végleges GLM-analízisnél az atkaszám hatását kezelés típusonként külön számítottuk (eltérő meredekség modell). A II. kísérletben az atkák számának hatása függetlennek bizonyult mindkét kezelési tényezőtől – a cukorkoncentrációtól (d.f. error, effect = 2, 46, $F = 0,15$, $p = 0,863$) és a kezelések számától (d.f. error, effect = 1, 46, $F = 2,36$, $p = 0,131$) –, valamint ezek kölcsönhatásától (d.f. error, effect = 2, 46, $F = 0,40$, $p = 0,674$). Ezért a végső GLM elemzéshez a kovariancia analízis (ANCOVA; homogén meredekség) modellt választottuk. A modellek maradék értékei a grafikus elemzés és a Levene-teszt alapján mindkét kísérletben normális eloszlásúnak és homogén szórásúnak bizonyultak, igazolva a GLM-elemzés kritériumainak teljesülését.

Végül a Tukey HSD *post hoc* tesztet alkalmaztuk a kezelési típusok közötti átlagos hatékonyság páronkénti különbségeinek azonosítására. A statisztikai elemzéseket a Statistica 8.0 szoftverrel végeztük.

5. EREDMÉNYEK ÉS AZOK MEGVITATÁSA

5.1 A LÍTIUM KONTAKT VARROA ELLENI HATÁSSÓSÁGÁNAK KIMUTATÁSA

A papírcsíkon végzett laboratóriumi modellkísérletben (*ex situ*) a kontakt tesztek során a kontroll csíkon lévő atkák vagy mozdulatlanok maradtak ($n = 58$), vagy legfeljebb 2 cm-t mozdultak el a felületen ($n = 12$); egyikük sem esett le, vagy mutatott hasonló jeleket, mint a kezelt csíkon lévő atkák ($Z = 11,9$; $p < 0,001$ mind a remegő mozgás, mind az esés tekintetében a kontroll és a lítium-kloriddal kezelt csoportok között). A különböző lítium-klorid koncentrációval impregnált papírcsíkokon az atkák remegő mozgásának első megjelenéséig eltelt idő a töménységgel fordítottan arányosan rövidült. A legalacsonyabb koncentrációnál (10,78 mM) a tünetek átlagosan 66 perc után jelentek meg, és az atkák 84 perc után estek le. A legmagasabb koncentrációnál (11,04 M) az atkák körülbelül 1 percen belül kezdtek remegő tüneteket mutatni, és átlagosan a kísérlet 3. percében estek le (17. ábra). Fontos megjegyezni, hogy a kezelt papírcsíkról lehullott atkák közül egyik vizsgált lítium koncentráció esetén sem tértek vissza a lítium okozta tünetekből. Remegésük fokozatosan irányíthatatlan mozgássá változott, majd végül mozdulatlaná váltak, mielőtt elpusztultak. Minden olyan atka, amely ki volt téve a lítiumos kezelésnek, először remegő tüneteket mutatott, majd leesett a csíkról. Csak a remegés és az atkák leeséséig eltelt idő mutatott különbséget a koncentráció függvényében.



17. ábra A varianciaanalízis (ANOVA) azt mutatta, hogy az atkák koncentráció függően reagáltak a lítium-klorid (Li^+) kontakt kezelésre, mind az első remegésig eltelt idő (átlag $\pm$ 95% CI) (○; $F_{10;60} = 21,2$, $p < 0.001$, log10 transzformált adatok) és a kezelt papírcsíkról való leeséshez szükséges idő (●; $F_{10;60} = 21,2$, $p < 0.001$, log10 transzformált adatok) alapján. Az ábrán azon értékek, amelyek jelölésükben nem tartalmaz közös betűt (kisbetű az első remegő mozgásig eltelt időre és nagybetű a leesésig eltelt időre), statisztikailag különböznek egymástól $p < 0,05$ értéken (Tukey HSD *post hoc* teszt). Az ábrán feltüntetésre került még a kezeléshez felhasznált atkák száma, illetve ezen belül a kezelésre reagáló atkák száma (zárójelben feltüntetve) is. Mivel a kontroll kezelésben az atkák egyike sem mutatott abnormális reakciót (nem mutatott remegő mozgást és nem esett le) a megfigyelési időszak 120 perce alatt, a kontroll atkákra vonatkozó értékeket nem lehetett ábrázolni. Megjegyzendő, hogy a grafikon olvashatóságának javítása érdekében az első remegő mozgáshoz és a leeséshez szükséges időre vonatkozó adatok a tényleges Li^+ koncentrációhoz képest eltolva került feltüntetésre.

Az *in situ* vizsgálatban azt vizsgáltuk, hogy a kontakt hatás terepi körülmények között is kiváltható-e. Az első kezelés során, amikor egyetlen lítiummal átitatott csíkot helyeztünk be a 2. és 3. kaptárba, 24 és 6 atkahullást jegyeztünk fel az első öt nap alatt. Ugyanakkor a kontroll méhcsaládnál (1.) mindössze 3 természetes atkahullást tapasztaltunk. Az atkahullások száma azonban jelentősen megnőtt a második fázisban, amikor a két kezelt méhcsaládba további öt csíkot helyeztünk be, és 10 napig hagytuk hatni (az előző csík cseréje vagy frissítése nélkül). Ez a kezelés 198, illetve 41 atkahullást eredményezett a 2. és a 3. kaptárban, míg a kontroll kaptárban ugyanezen időszak alatt mindössze 4 atka volt a természetes atkahullás. A 15. nap végén lítium-klorid csorgatását alkalmaztuk mind a három kaptárban, amely 10 nap után 18, 5 és 120 atka hullását eredményezte a 2., 3. és az 1. (kontroll) kaptárban. Ezt követően 100 g méhen elvégzett

porcukorteszt (Büchler, 2013) egyik kaptárban sem mutatott ki atkát (8. táblázat). Mind a lítiumos csíkokkal, mind pedig a csorgatással végzett kezelések idején a frissen elhullott atkák (higiénikus aljdeszkán megfigyelt) tünetei megegyeztek a kontakt vizsgálat során tapasztalt tünetekkel. A méhcsaládokon alkalmazott papírcsíkteszt megerősítette, hogy a kontakt hatásmód adott koncentrációban *in situ* is képes kifejtheti hatását.

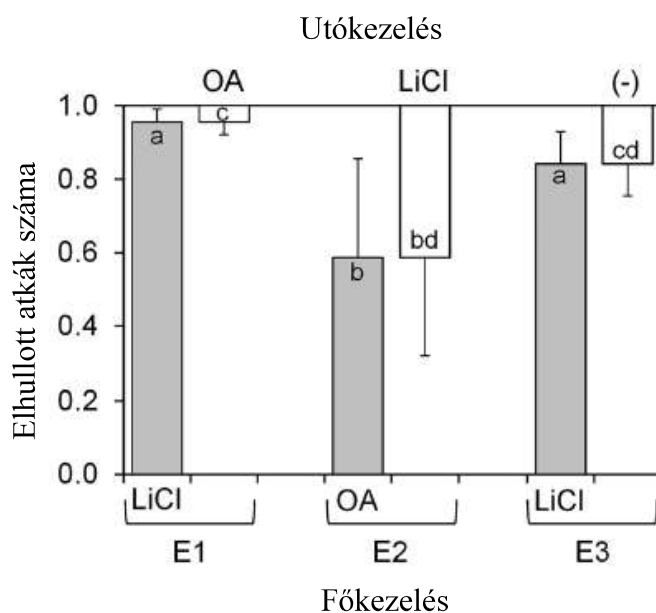
8. táblázat: Kísérletek során hullott atkák száma

Kezelések	Kontroll méhcsalád (1.)	Kezelt (2.)	Kezelt (3.)
Egy csík 5 napig (1. nap kezdete)	3	24	6
További 5 csík behelyezése (5. nap vége)	4	198	41
Lítiumos szirup csorgatás (15. nap vége)	120	18	5
Porcukorteszt	0	0	0

Az eredményeink alapján egyértelmű bizonyítást nyert, hogy a lítium-kloridnak erős kontakt hatása van az atkákra. Ez kiszélesíti a vegyület potenciális alkalmazhatóságának körét, mint atkaölő szer a méhészeti gyakorlatban. Az impregnált papírcsíkokkal végzett kontakt vizsgálatok továbbá kimutatták a lítium-kloridnak atkákra gyakorolt irreverzibilis hatását már nagyon alacsony koncentrációban is. Meg kell jegyezni, hogy a csorgatásos módszerrel kijuttatott lítiumnak kettős (kontakt és szisztémás) hatását sikerült kimutatnunk, illetve igazolnunk. A lítium-klorid oldat legalacsonyabb vizsgált koncentrációját (10,78 mM) az alapján határoztuk meg, hogy az impregnált csík a kezelés teljes időtartama alatt nedves maradjon. Ezt a kritériumot azért határoztuk meg, mert azt feltételeztük, hogy a lítiumnak az atkába való jutása vizes oldatban valósul meg. A lítiumozott csíkok a legmagasabb koncentrációban (11,04 M) legalább 15 napig nedvesek maradtak mind a laboratóriumi modellkísérletben (*ex situ*), mind az *in situ* vizsgálatok során, ami azt mutatja, hogy a lítium-kloridnak nincs szüksége további nedvesítőszerre a hosszú távú kontakt kezelések során, amennyiben ezt a koncentrációt alkalmazzák a tartós hordozón.

5.2 AZ OXÁLSAV ÉS LÍTIUM VARROA ATKA ELLENI HATÉKONYSÁGÁNAK ÖSSZEHAISONLÍTÁSA

Eredményeink alapján a lítium-klorid önmagában és kombinációban is hatékonyabbnak bizonyult, mint az oxálsav. A különböző részkísérletekben az atkaölő szerek hatékonysága jelentősen különbözött a kezelések típusától és módjától függően (Kruskal-Wallis ANOVA, d.f. = 5, n = 52, H = 40,7, P < 0,001) (18. ábra). A méhcsaládonként lehullott atkák átlagát a 9. táblázat tartalmazza.



18. ábra A lítium-klorid (LiCl) hatékonyabb a *Varroa destructor* parazita elleni védekezésben a méhcsaládokban (az elpusztult atkák százalékos aránya $\pm 95\%$ -os konfidencia intervallum), mint az oxálsav (OA), akár fő, akár kiegészítő kezelésként alkalmazzuk (Kruskal-Wallis varianciaanalízis, H (d.f. = 5, n = 52) = 40,7, P < 0,001). A közös betűvel nem jelölt értékek statisztikailag különböznek egymástól P < 0.05 értéken (Mann–Whitney U *post hoc* teszt). Az E1, E2 és E3 az egyes kísérleteket jelenti az anyag és módszerben meghatározottak szerint.

9. táblázat. A különböző kísérleti beállításokban hullott atkák száma

Kezelés	E1	E2	E3
Kezelés kezdeti dátuma	Október 26.	November 5.	December 11.
Keretek száma	9	4	13
Fő kezelés	Lítium-klorid	Oxálsav	Lítium-klorid
Megfigyelési időszak (nap)	11	8	11
Az atkák átlagos száma kaptáronként	65	78	28
Kontroll kezelés	Oxálsav	Lítium-klorid	Lítium-klorid
Megfigyelési időszak (nap)	8	11	8
Az atkák átlagos száma kaptáronként	2	122	6

Az első két kísérlet (E1 és E2) során lítium-klorid és oxálsavas kezelés kombinációját alkalmaztuk. E1 kísérlet esetén először lítium-kloriddal kezeltünk főkezelésként, melyet oxálsavas kezeléssel egészítettünk ki, E2 esetén ugyanezeket fordított sorrendben alkalmaztuk, így az atkákra gyakorolt kumulatív hatásukat tekintve összehasonlíthatóak voltak. Az E1 kísérletben az atkák lényegesen nagyobb százaléka pusztult el a lítium-kloridos főkezelés során (átlag 95,6%), mint az E2-es kísérletben az oxálsavas főkezelés során (58,7%). A lítium-klorid kiegészítő kezelésként is felülmúlta az oxálsav hatékonyságát. Az E2 kísérletben a kiegészítő lítium-klorid kezelés során az atkák 41,3%-a pusztult el, míg az E1 kísérletben a kiegészítő oxálsavas kezelés során az atkáknak csupán 4,4%-a pusztult el. Ezen kívül nem volt különbség az E2-ben az oxálsavas főkezelés és a lítium-klorid kiegészítő kezelés során elpusztult atkák százalékos aránya között.

Amikor a lítiumos kezelést oxálsavas főkezelés előzött meg (E2), átlagosan mintegy 200 méhegyed elhullása volt megfigyelhető, míg a többi kezelési beállításban nem történt jelentős pusztulás.

A harmadik kísérletben (E3) bizonyosságot nyert, hogy a lítium-kloridos fő kezelés hatása elhúzódhat, és jóval túlmutatott az előre meghatározott 11 napos megfigyelési időszakon; az atkák 84,2%-a pusztult el az első 11 nap alatt, és további 15,8%-a az azt követő 8 nap alatt (a kezelést követő 11. naptól a 19. napig). Ráadásul ez az elhúzódó hatás nem különbözött az E1-ben végzett kiegészítő oxálsavas kezelés hatásától, amely tartalmazta a megelőző lítium-kloridos főkezelés maradványhatását is.

A kísérletben részt vevő valamennyi méhcsalád sikeresen áttelelt. A tél folyamán egyik méhcsaládban sem volt megfigyelhető jelentős méhpusztulás.

Az egyes részkísérletek eredményei kimutatták, hogy a lítium-kloridos csorgatást téli záró kezelés esetén akár fő-, akár mellékkezelésben alkalmazva, jobb hatékonyságú a *Varroa* atka elleni védekezésben, mint az oxálsav. A lítium-klorid jobb hatékonyságát alátámasztja a hosszú távú hatásossága és az alternatív hatásmechanizmusa (kontakt hatás) is. Az oxálsavval szemben, amelynek hatékonysági időtartama 7-8 napra tehető (Mutinelli et al., 1997), azt az eredményt kaptuk, hogy a lítium-kloridos csorgatás 15-20 napig is hatékony.

Kísérletünkben a cukorszirupban oldott lítium-klorid csorgatással történő kijuttatási módját azért választottuk, mert a korábbi vizsgálatokban (etetéses kijuttatás) alkalmazottakkal ellentétben ez a kijuttatási mód kisebb kockázatot jelenthet potenciális szermaradvány keletkezését illetően és szisztémás és kontakt hatással is egyaránt rendelkezik. A méhek szociális viselkedésének köszönhetően a lítiumos cukorszirupot egymásról vagy a kaptár faláról lenyalogatva a lítiumot az egész méhcsaládon belül szétterítik. A lítium-klorid különösen hatékony

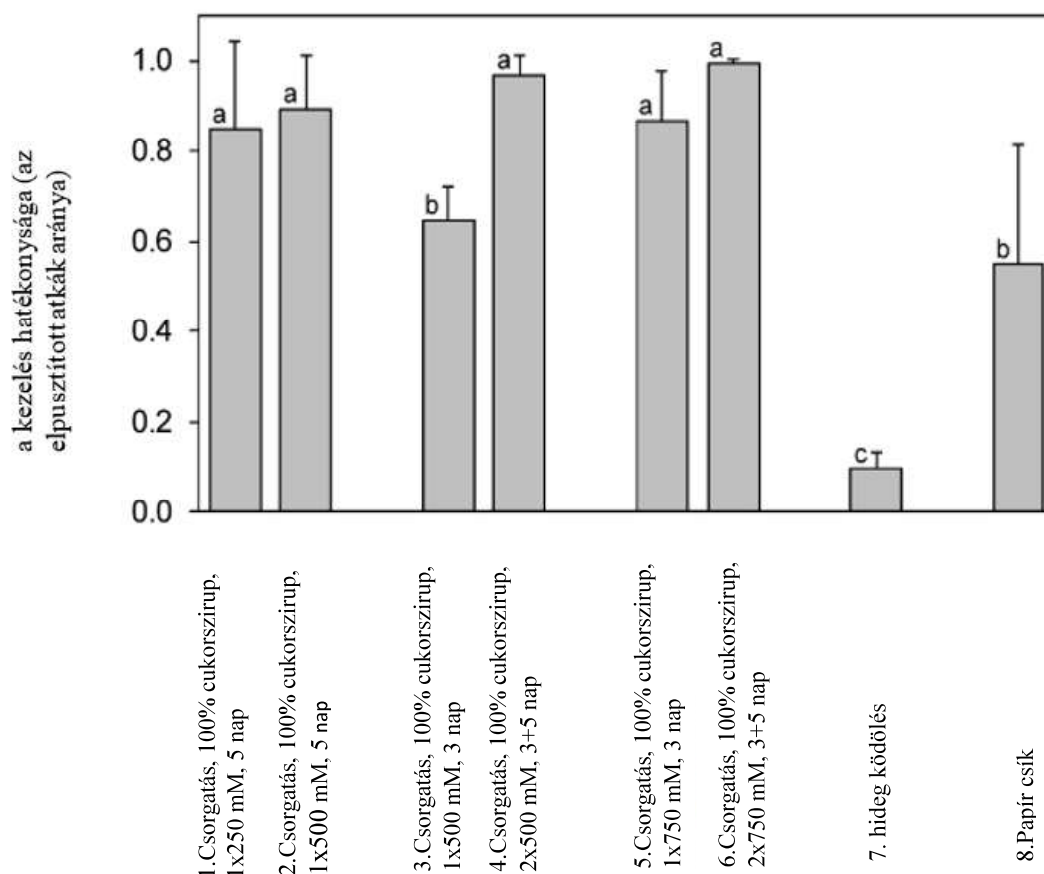
atka ellenes szer lehet zárókezelés esetén, telelés előtti méhcsaládoknál alkalmazva, mivel ebben a fiasítás mentes időszakban a kezelés mellékhatása (fiasítás mortalitás) minimalizálható.

5.3 A LÍTIUM-KLORID KEZELÉSEK MÉHÉSZETI GYAKORLAT SZERINTI RELEVÁNS KIJUTTATÁSI MÓDJAINAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Az I. kísérleti csoportban, ahol kilenc lítium-kloridos kezelés hatékonyságát hasonlítottuk össze, a kezelés hatására lehullott atkák száma kaptáronként 3 és 327 (átlag $\pm$ SD: $54,3 \pm 73,4$) között változott. Az atkák számának hatása a kezelés hatékonyságára az egyes kezelési típusoknál eltérő volt. A meleg ködöléses módszer (Furetto) eredményeit kizártuk a statisztikai értékelésből, mivel a vizsgált vivőanyagok egyike sem bizonyult megfelelőnek a kijuttatáshoz, ugyanis a lítium-kloridos vizes oldatból a víz elpárolgott és a lítiumsó a kijuttató készülék hőspiráljában kicsapódott. A GLM modellelemzés szignifikáns eltéréseket állapított meg a *Varroa* elleni hatékonyságban az egyes kezelési típusok között (10. táblázat és 19. ábra). A hideg ködölés (VAT 1a) nem bizonyult kellően hatékony lítiumkezelési módszernek, mivel a kaptárban lévő atkáknak csak $9,9 \pm 3,3\%$ -át pusztította el (átlag $\pm$ SD) (19. ábra). A lítiummal impregnált papírcsíkos kezelés és az 1 x 500 mM lítium-klorid oldat csorgatása 3 napos megfigyelési időszakkal közepes hatékonyságot mutatott, az atkák $55,1 \pm 26,2\%$ -át, illetve $64,8 \pm 7,4\%$ -át pusztítva el. A másik öt csorgatásos kezelési mód hasonlóan magas, 85% és 99,7% közötti átlagos hatékonyságot mutatott.

10. táblázat: Az atkák számának (kovariáns) a kezelés hatékonyságára gyakorolt hatását figyelembe vevő általános lineáris modellelemzés a hatékonyságban szignifikáns eltéréseket mutatott ki nyolc tesztelt *Varroa* elleni lítium-kloridos kezelési típus között. A Tukey HSD *post hoc* tesztek eredményeit az ábra mutatja.

		Hatás		Általános modell			
	d.f.error hatás	F	p	R ² _{adj}	d.f.modell, reziduális	F	p
Kezelés x atkák száma	8,59	7,2	< 0,001				
Kezelés	7,59	21,5	< 0,001				
Általános modell				0,850	15,59	28,9	< 0,001



19. ábra: Az általános lineáris modellelemzés, figyelembe véve az atkák számának (kovariáns) kezelésenként eltérő hatását is kezelés hatékonyságára, jelentős eltéréseket mutatott ki a hatékonyságban (átlag $\pm$ SD) a nyolc *Varroa* elleni lítium-klorid kezelési típus között. A különböző betűkkel jelölt ábrázolt értékek statisztikailag eltérőek $p < 0,05$ értéken (Tukey HSD *post hoc* teszt).

Kísérleteink kimutatták, hogy a *Varroa* elleni kezelés hatékonysága nagymértékben függ az alkalmazás módjától. A négy általánosan alkalmazott kijuttatási módszer közül a meleg ködölés (Furetto) kivitelezhetetlennek bizonyult, a hideg ködölés (VAT1) valamint a tartós hordozón (impregnált csík) történő kijuttatás gyenge vagy közepes hatékonyságot mutatott, míg a csorgatás hatékonynak bizonyult.

5.3.1 MELEG ÉS HIDEG KÖDÖLÉSES MÓDSZEREK

Bár egyes atkaölő szerek (pl. amitráz, fluvalinát) esetében a meleg ködöléssel történő kijuttatás alkalmazása a méhészeti gyakorlatban bevált módszer, a kísérletünk azt mutatta, hogy a meleg ködölés egyik hordozóanyag (petróleum, paraffinolaj, glicerín, alkohol, glicerín + alkohol) esetén sem alkalmas a lítium-klorid kaptárba történő bejuttatására. Ennek valószínűsíthető oka,

hogy a lítium-klorid nem oldódik az méhészeti gyakorlatban alkalmazott hordozókban, az oldószerként használt víz a folyamat során elpárolog, és a lítiumsó pedig kicsapódik a készülék hőspiráljában.

A lítium-klorid oldat bejuttatása a kaptárba hideg ködöléses eljárás formájában a VAT 1a készülékkel sikeres volt, de alacsony hatékonyságot mutatott az atka ellen. A 69,4 mg Li⁺-os egyszeri kezelés az atkapopuláció közel 10%-át távolította el. Ez a hatékonyság nem összehasonlítható az amitráz hasonló módon történő kijuttatásával, ahol ugyenezen módszer alkalmazása 90%-os hatékonyságot érhet el (Pohorecka et al., 2018). Hasonló eredményre vezet az oxálsavas szublimálással történő összevetés, amely a hatóanyag esetében a leghatékonyabb kijuttatási módszer; >90%-os hatékonyságot eredményezhet, fiasításmentes állapotban (Rademacher and Harz, 2006).

5.3.2 TARTÓS HORDOZÓN TÖRTÉNŐ KIJUTTATÁS (IMPREGNÁLT PAPÍRCSÍKOK)

A tartós hordozón történő kijuttatás, ahol a hatóanyagot egy papírszalagra vagy műanyag csíkra impregnálják, a méhészeti gyakorlatban gyakran alkalmazott módszer a *Varroa* atka elleni kezelés során. Ez a módszer, kísérleteinkben elsősorban a lítium kontakt hatására alapoz, amely hatásmechanizmust korábbi vizsgálatainkban, laboratóriumi modellkísérletben (*ex situ*) és *in situ* körülmények között is igazoltunk. Jelentős atkacsökkenést eredményez ugyan, de ezt a hatékonyságot a csorgatással alkalmazott dózishoz képest megnövelt dózissal lehet csak elérni. A kísérletünkben ugyanolyan dózisú lítium-kloridot alkalmaztunk, mint amennyit a csorgatás esetén juttattunk ki (500 mM), azonban csak mérsékelt, 55,1%-os hatékonyságot eredményezett ez a módszer. Ezért úgy véljük, hogy a lítium papírcsíkon keresztül történő beadása a méhcsaládba nem egy megbízható alternatíva alacsonyabb hatékonysága miatt - a csorgatással összevetésben. Ezen kívül a lítiumos papírcsíkok előállítása időigényesebb, valamint az impregnáláshoz szükséges nagyobb mennyiségű lítium-klorid miatt költségesebb is, mint a csorgató oldaté. Ezen túlmenően hátrányának tekinthető, hogy papírhulladék keletkezéséhez vezethet a kaptárban (a méhek a papírcsíkot elragják), valamint a tartósabb jelenlét miatt növelheti a szermaradványoknak való kitettséget.

5.3.3 CSORGATÁSOS MÓDSZER

A csorgató elegy alkalmazása esetén a hatóanyagot kis mennyiségű, töményebb oldattal (<50 ml) juttatjuk ki, amely tartalmazhat cukrot és egyéb adjuvánsokat. Ezen kijuttatás esetén a kaptár fedelének eltávolítása után az oldatot közvetlenül a méhekre csorgatják a lépek közé,

amelyet egymásról lenyalogatják, a kereteken lévő cseppeket pedig felszívják. Az így kijuttatott hatóanyag méhek szociális viselkedésének köszönhetően terjed szét a méhcsaládban.

A vizsgált alternatívák közül a lítium kijuttatás leghatékonyabb módjának a csorgatásos módszer bizonyult; a különböző csorgatásos kezelések átlagosan 65-99,7%-kal csökkentették az atkák számát, az alkalmazott dózistól és a kezelések számától függően.

A kísérlet 8. napján mért hatékonyságot azonban mindegyik koncentráció esetében jelentősen növelte a 3. napon megismételt kezelés, ami az ismételt kezelések szükségességét jelzi. Bár a lítium viszonylag gyorsan dekontaminálódik a méhekből és termékeikből, a vizsgált 750 mM-os koncentráció megnövekedett szermaradvány kockázatot jelenthet anélkül, hogy statisztikailag igazolható hatékonyságnövekedést mutatna az 500 mM-os koncentrációhoz képest, különösen ismételt kezelés esetén. Ezért úgy véljük, hogy az optimális választás a 2 x 500 mM koncentrációjú lítiumkezelés lehet csorgatással, amely a méhcsaládban jelen lévő atkák számától függetlenül közel maximális hatékonyságot biztosít, és kisebb a szermaradvány kockázata, mint a magasabb koncentrációjú kezeléseknél. A kapott eredmények alapján a 2 x 250 mM-os kezelés szintén megfelelő alternatíva lehet alacsonyabb atkaterhelés esetén. Meg kell azonban jegyezni, hogy a családokban lévő atkák számát csak hozzávetőlegesen lehet tudni az előző időszakok atkahullása alapján. A gyakorlatban a tényleges atkaterhelés csak a telelés előtti időszakban fiasításmentes állapotban derülhet ki.

I. kísérletünk eredményei azt mutatják, hogy a csorgatásos kijuttatás esetén maga a kezelés ismétlése fontosabb lehet, mint az alkalmazott koncentráció.

A vízmentes lítium-klorid nagy higroszkóposága miatt praktikus a teljes mennyiségű lítium-klorid porból törzsoldatot készíteni melyből aztán további hígításokat (csorgató elegy) lehet készíteni, pl. cukorsziruppal (20. Ábra, 11. táblázat, 12. táblázat).

Ezen eredmények alapján, a lítium hosszan tartó hatása miatt (az atkák kevesebb mint fele élte túl az első kezelést minden kísérletben) az 500 mM-os elsődleges kezelés 250 mM-os másodlagos kezeléssel való kombinálása ésszerű megoldás lehet.

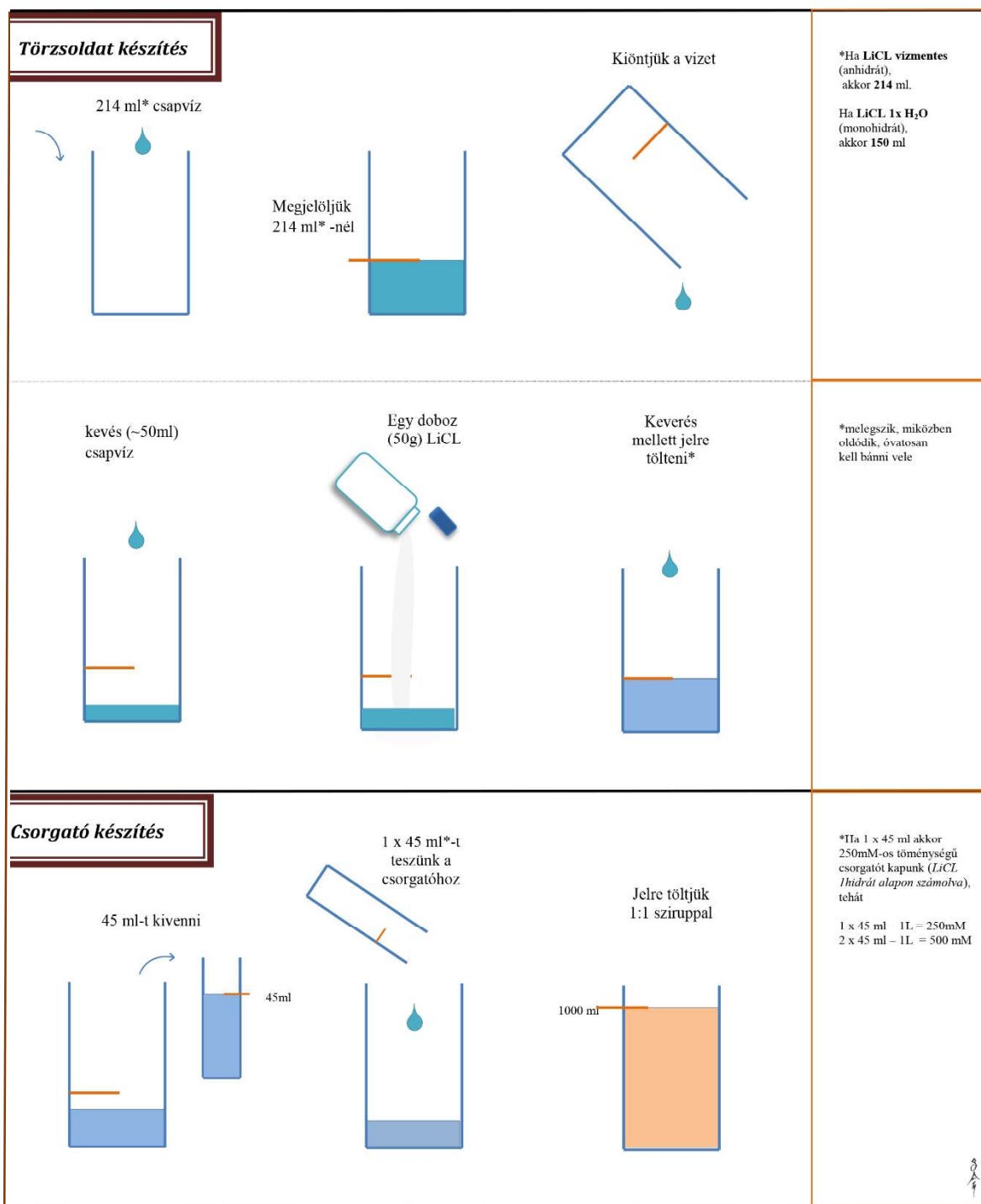
11. táblázat A különböző koncentrációjú csorgató oldat elkészítése

A csorgató oldat elkészítése közvetlenül különböző vegyületekből	250 mM oldat	500 mM oldat	750 mM oldat
Lítium-klorid-monohidrát (LiCl x 1H ₂ O)	15,10 g L ⁻¹	30,20 g L ⁻¹	45,29 g L ⁻¹
Lítium-klorid anhidrát (LiCl)	10,60 g L ⁻¹	21,20 g L ⁻¹	31,79 g L ⁻¹

12. táblázat A csorgató oldat elkészítése törzsoldatból

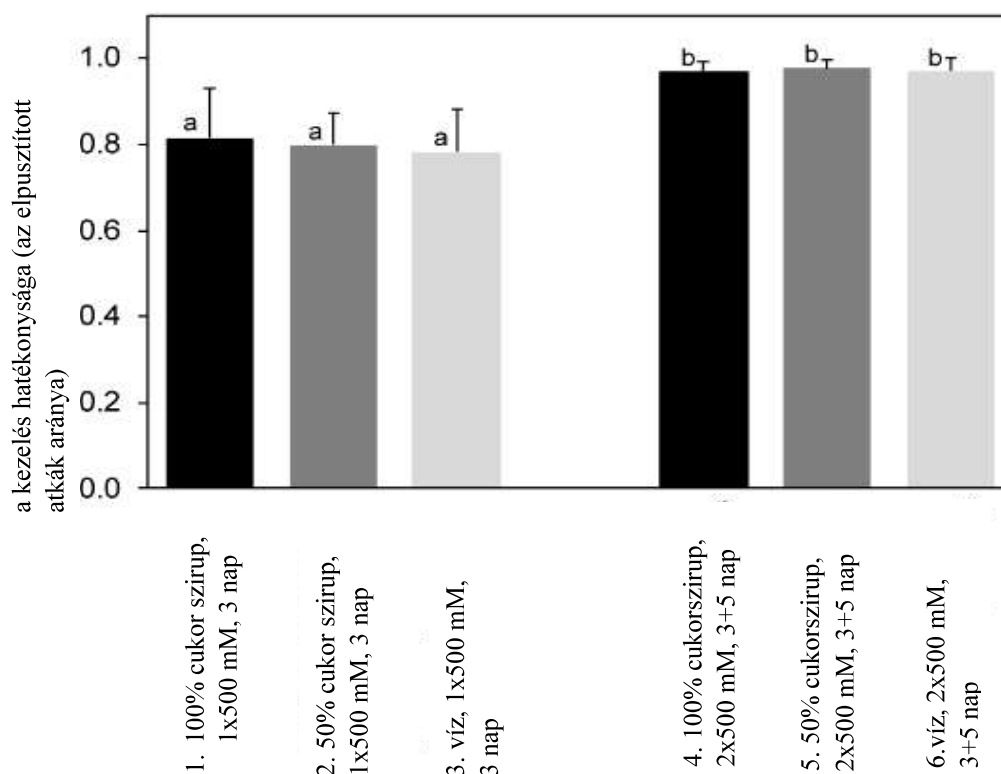
	Törzsoldat készítés			Csorgató oldat készítése törzsoldatból		
	Használt vegyület (g)	Végső térfogat (ml)	Végső koncentráció (M)	Törzsoldat (ml)	Végső térfogat (ml)	Végső koncentráció (mM)
LiCl anhidrát	500	2137	5,5	45,3	1000	250
LiCl monohidrát	500	1500	5,5	45,3	1000	250

20. ábra Törzsoldat készítésének grafikus ábrázolása



5.3.4 CUKOR ADJUVÁNS HATÁSÁNAK TISZTÁZÁSA

A II. kísérletben az 500 mM-os lítium-klorid oldattal történő csorgatásos kezelések hatékonyságát hasonlítottuk össze három cukoroldat koncentráció esetén, egyszeri és ismételt kezelésben. A kezelések hatására az egyes méhcsaládoknál lehullott atkák száma kaptáronként 18 és 684 ($245,0 \pm 164,7$) között változott. Ez a variancia a méhcsaládok atkafertőzöttségének természetes különbségeiből adódik, mivel a *Varroa* atkák száma függ a méhcsaládban található adott évi fiasítás mértékétől, eltávolításból, esetleg rablási következményektől. A statisztikai elemzésben az atkák számának hatása a kezelés hatékonyságára homogén volt az egyes kezelési típusok között; a kezelés hatékonysága az atkák számának növekedésével inkább csökkent, de többnyire nem szignifikánsan. A kovariancia elemzés kimutatta, hogy a csorgató oldat cukor koncentrációja nem volt hatással a kezelés hatékonyságára (13. táblázat, 21. ábra). Az ismételt 500 mM lítium-kloridos csorgató kezelések szignifikánsan hatékonyabbnak bizonyultak ($97,3\% \pm 2,3\%$), mint az egyszeri kezelések ($79,7\% \pm 9,4\%$).



21. ábra: Az általános lineáris modellelemzés, amely figyelembe vette az atkák számának (kovariáns) homogén hatását az egyes kezelés típusok hatékonyságára, kimutatta, hogy a *Varroa* elleni lítium-kloridos kezelések hatékonysága (átlag ± SD) nem változott a csorgató oldat cukor koncentrációjának függvényében. Ezzel szemben az ismételt kezelések hatékonyabbnak bizonyultak, mint az egyszeri kezelések. A különböző betűkkel jelölt ábrázolt értékek statisztikailag különböznek egymástól $p < 0,05$ értéken.

13. táblázat Az általános lineáris modellelemzés, amely figyelembe vette az atkák számának (kovariáns) homogén hatását az egyes kezelés típusok hatékonyságára, kimutatta, hogy a *Varroa* elleni lítium-klorid kezelések hatékonysága nem változott a csorgató oldat cukorkoncentrációjának függvényében, míg az egyszeri és az ismételt kezelések között különbözött.

	Hatás			Általános modell			
	d.f.error, hatás	F	p	R ² _{adj}	d.f.modell, maradék	F	p
Atkák száma	1,57	5,6	0,021				
Cukor koncentráció	2,57	0,8	0,469				
Kezelések száma	1,57	96,2	<0,001				
Cukor x kezelések száma	2,57	0,3	0,762				
Általános modell				0,632	6,51	17,3	<0,001

A korábbi vizsgálatokban a legtöbb csorgatásos kezelésnél cukoroldatot használtunk, azzal a feltételezéssel, hogy elősegítheti a lítium terjedését a kaptárban, mivel esetlegesen adjuvánsként működik, a méhek szívesebben fogyasztják, és a szociális viselkedés által jobban szétterjesztik a kaptárban. Eredményeink azonban azt mutatják, hogy a csorgató elegy cukortartalma nem befolyásolja a kezelés hatékonyságát. A gyakorlatban a csorgató oldat vízzel történő előállítás eseténként előnyösebb lehet a hígított cukoroldatnál, mivel hosszabb eltarthatósági idővel rendelkezik, és elkészítése akár előzetes törzsoldat készítés nélkül is kivitelezhető (viszont ez esetben nagyobb mennyiségű lítium oldatot kell tárolni).

6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Korábban Ziegelmann és mtsai (2018) vizsgálataikban kimutatták a lítium-klorid szisztémás hatásmódját. Jelen kísérleteink egyértelműen bizonyították, hogy a lítium-klorid a szisztémás hatás mellett erős kontakt hatással is rendelkezik a *Varroa* atkára. Laboratóriumi modellkísérletben (*ex situ*) és *in situ* körülmények között is vizsgáltuk hatékonyságát és gyakorlati alkalmazhatóságát. A lítium-klorid kontakt kezelésként (tartós hordozó) történő alkalmazása előnyös alternatívát jelenthet a méhek etetésével szemben, és kihasználhatja szisztémás hatásmechanizmusát az atkák elleni védekezésben. Ezen kontakt kezelések a mézszennyezés lehetséges alacsonyabb kockázatát jelenthetik, szemben a korábbi megközelítésekkel, amikor is a lítiumot etetéssel juttatták ki. Mindezen eredmények alapján a kísérlettel igazolt kontakt hatás indokolta a lehetséges kijuttatási alternatívák vizsgálatát.

Fontos volt tisztázni, hogy más atka elleni készítmények esetén alkalmazott kijuttatási módok közül melyek azok, amelyek lítium-klorid esetében is hatékonyak és hatásosak lehetnek. A meleg ködöléses eljárást (Furetto), a hideg ködölést (VAT 1a), az impregnált papírcsíkos, valamint a csorgatásos kijuttatási módszereket vizsgáltuk meg, hogy ezek közül melyek azok, amelyek a gyakorlatban alkalmazható alternatívái lehetnek az etetéses eljárásnak. A meleg ködöléses módszer esetén több hordozó anyaggal (glicerin, petróleum, alkohol, glicerin + alkohol) megpróbáltuk kijuttatni a lítium-kloridot, azonban egyik sem hozott eredményt, a lítium a készülék hőspiráljában kicsapódott. A VAT 1a készülékkel történő kijuttatás ugyan eredményes volt, de hatékonysága alacsony volt az atkákkal szemben, egyszeri kezeléssel csupán az atkák 10%-át sikerült eltávolítani a kaptárból. A módszerrel kapcsolatos eredményeink alapján a jövőbeli alkalmazásának lehetőségei korlátozottak, hiszen önmagában csupán atkagyérítésre lehetne alkalmazni méhészeti szezonban egy másik módszerrel vagy atkaellenes szerrel kiegészítve, önmagában nem lehet erre alapozni egy sikeres méhészeti atka ellenes stratégiát. Az impregnált papírcsíkos módszer hatékonyságát terepi körülmények között is igazoltuk, nem csupán laboratóriumi modellkísérletben (*ex situ*), azonban annak ellenére, hogy az előző módszerhez képest már jelentősebb atkacsökkenést eredményezett, melyet a higiénikus aljdeszkára lehullott atkák száma mutatott, hatékonysága 500 mM hatóanyag kijuttatása esetén is csupán 55,1 % volt. Ezen kívül a tartós hordozón történő kijuttatás számos hátránnyal is jár. Egyrészt, arányaiban sokkal nagyobb mennyiségű lítiumot kell a hordozóra impregnálni, mint amennyi a csorgató elegyhez szükséges, ami jelentősen drágítja ezt a módszert. Másrészt, a kaptárba helyezett csíkokat a méhek elrágják, ami papírhulladék keletkezéséhez vezet, növelve a szermaradvány kockázatát a

méhészeti termékekben. Továbbá, a csíkok előállítása is sokkal időigényesebb, ami szintén nehezíti a módszer alkalmazását. Mindezek alapján elmondható, hogy ez a három módszer – a meleg ködölés, a hideg ködölés és az impregnált papírcsíkok – a gyakorlatban nem bizonyult elég hatékonynak, vagy egyáltalán nem alkalmas a lítium kaptárba juttatására.

Összegezve, a lítium kontakt hatása igazolást nyert. Azonban a termelő méhcsaládokon végzett (*in situ*) kísérletek rávilágítottak, hogy a kísérleteinkben alkalmazott, méhészeti gyakorlatban releváns módszerekkel kivitelezett tartós hordozó vagy hideg ködöléses eljárásokkal kiváltott, a lítium kontakt hatékonyságra alapozott módszerek a gyakorlat számára nem kielégítően hatásosak.

A leghatékonyabb módszernek a csorgatásos eljárás bizonyult. Megvizsgáltuk 500 mM koncentrációjú lítium-kloridos csorgatásos kezelések egymáshoz viszonyított hatékonyságát a csorgató elegy cukoroldatának három koncentrációja esetén (telített cukorszirup, víz és telített cukorszirup 1:1 arányú keveréke, valamint cukormentes víz), valamint egyszeri és ismételt kezelések esetén. A csorgatást minden esetben a méhcsalád méretéhez lehet és kell igazítani; általában alkalmazható térfogatnak tekinthető a méhcsaládonkénti 40 ml csorgató elegy kijuttatása. Ez az a mennyiség, amikor még az oldat a méheken széteszlik anélkül, hogy felesleg csorogna le a kaptár aljára. Így léptecanként a legelterjedtebb magyar szabvány a "Nagy Boczonádi" keretméretre vetített felület esetén 4 ml a csorgatással optimálisan kijuttatható mennyiség. A védekezés időszakában jellemzően augusztus közepétől október közepéig terjedő időszakban a méhek nem takarnak 10-11 „Nagy Boczonádi” léptecnél többet. A különböző kezelések az atkák számát átlagosan 65-99,7 %-kal csökkentették a kezelés számától, és az alkalmazott dózistól függően. A leghatékonyabb dózisként az 500 mM koncentrációjú csorgató elegy mutatkozott, különösen két, ismételt kezelés esetén, a méhcsaládban jelen lévő atkák számától függetlenül. Az egyszeri 250 mM-os kezelés önmagában nem bizonyult elég hatékonynak, de ismétlésben már megfelelő hatékonyságot mutathat alacsonyabb atkaterhelés esetén. Ha az 500 mM kezelést kiegészítjük egy második 250 mM kezeléssel, ez már akár optimális kezelési alternatíva lehet év végi záró kezelés esetén, fiasítás mentes méhcsaládokban. A 750 mM-os koncentráció többelhatékonyasága az 500 mM koncentrációhoz képest nem volt statisztikailag igazolható, azonban a megnövekedett koncentráció emelkedett szermaradványkockázatot jelenthet a méhészeti termékekben, elsősorban a mézben.

További előnye a csorgatásos módszer alkalmazásának, hogy könnyen adaptálható bármilyen típusú kaptárhoz, valamint a méhcsalád méretéhez. A kijuttatandó csorgató oldat mennyisége könnyen kiszámítható, és a korábbi szerzők által alkalmazott etetéssel szemben az év bármely évszakaszában hatékonyan alkalmazható, hiszen a méhek azt a kis mennyiséget, amit a

csorgatással kijuttatunk, könnyen elfogyasztják, illetve a szermaradvány kockázat is kisebb lehet az etetéssel szemben.

Megvizsgáltuk, hogy a csorgató elegy cukortartalma hatással van-e a kezelés hatékonyságára. Kiindulási hipotézisünk szerint a cukortartalom miatt a méhek számára vonzóbb lehet, ha a csorgató elegyet cukros oldattal készítjük, illetőleg potenciális adjuvánsként is működhet, amennyiben a méheket fokozott tisztogatási hajlamra készíteti. Ugyan utóbbi hatást nem lehet kizárni, az eredmények alapján azonban a cukortartalom a lítium atka elleni hatékonyságára nem volt hatással. Ezért a csorgató elegy vízzel készítése a gyakorlatban hasznosabb lehet, mivel így hosszabb ideig eltartható, valamint akár törzsoldat készítésének közbeiktatása nélkül is releváns lehet a csorgató elegy elkészítése.

Vizsgálatainkban összehasonlítottuk a lítium-klorid hatékonyságát az oxálsavval téli záró kezelésként alkalmazva fiasításmentes állapotban lévő méhcsaládokon. A lítium-kloridot csorgatással juttattuk ki, míg az oxálsavat szublimáltuk. Eredményeink alapján megállapítottuk, hogy a lítium-kloridot akár fő, akár kiegészítő kezelésként alkalmazzuk, hatékonyságban felülmúlta az oxálsav hatékonyságát a *Varroa* atka ellen. A lítium jobb hatékonyságát alátámaszthatja az elhúzódó hatásossága is. Amennyiben a lítium a jövőben engedélyezett atkaellenes hatóanyag lesz, akkor az oxálsavra alapozott védekezésnek egy releváns alternatívája lehet a bio méhészkedésben, hiszen jelenleg korlátozott az ezekben a méhészetekben alkalmazható szereknek a száma (oxálsav, tejsav, hangyasav).

Az atkaellenes hatóanyagok esetében fontos tényező a méhcsalád aktuális erősségéhez igazított dozírozás, mivel a méhekre és a *Varroa* atkára gyakorolt toxicitás között gyakran kicsi a különbség (pl. hangyasav). Az eddigi tanulmányokban a lítiumot többnyire etetése módszerrel *ad libitum* adagolták. Azonban az etetési kijuttatási módszer egyetlen jelenleg engedélyezett *Varroa* ellenes készítmény esetén sem releváns módszer. Ennek több oka lehetséges:

- I) A méhek természetes táplálékát főként hordástalan időszakban helyettesíteni hivatott cukorszirupok predesztinálnak arra, hogy a méhek raktározott élelmébe jelentős mértékben belekeveredjenek és akár felhalmozódjanak. Mivel az a kaptárban nem vagy nehezen különíthető el időben és térben a pergetendő méztől, az etetési kijuttatási mód alkalmazása emelt szermaradvány kockázattal járhat.
- II) Az etetési módszer során adott hatóanyag dozírozása sem valósítható meg kellő pontossággal, mivel a tömeges kezelések során nem, vagy nagyon nehezen oldható meg az adott méhcsalád erősségének megfelelő dozírozás.
- III) Vannak olyan kritikus időszakok, amikor az etetés nem alkalmazható a méhészeti gyakorlatban. A hordásos időszak mellett ilyen az őszi végi vagy tél eleji zárókezelés, de bizonyos őszi időszakok is, amikor a telelőre készülő méhek nem hordják el az

etetőtálcába juttatott élelmet. Azonban ugyanígy kritikus az ősz közepi, már leállófélben lévő fiasítás időszakában az ilyen kezelés, mivel ez serkenti az anya petézését, ezáltal a telelést megelőző időszakban - nem kívánatos módon - indukálja a fiasítás újbóli felfutását, mely a *Varroa* atka újbóli felszaporodását eredményezheti olyan időszakban, ami kritikus a méhek túlélése szempontjából.

A csorgatásos kijuttatási mód, egy olyan hatékony kijuttatási módszer, amely más hatóanyagok esetén is (pl. oxálsav – Dany's Bienenwohl, timol – Hive Alive, kumafosz – Perizin) lehetővé teszi a méhcsalád erősségéhez igazított dozírozást.

A rendelkezésre álló adatok alapján a lítium-klorid akár hagyományos, akár bio méhészetekben ígéretes lehet a *Varroa* atka elleni védekezésben. Fontos kiemelni, hogy a lítium, mint nyomelem, egy negyedik hatóanyagcsaládot jelenthet a *Varroa* atka elleni védekezésben a szintetikus akaricidek, szerves savak, valamint az illóolajok mellett.

Azonban további kutatások szükségesek a hatékonyságának, biztonságosságának, a rezisztencia potenciális kialakulásával kapcsolatban és a méhészeti termékekre gyakorolt hatásainak teljes körű megértéséhez. A hatóanyag alkalmazásával kapcsolatban azonban több kérdés is felmerül. Egyrészt, bár a laboratóriumi eredmények biztatóak, a hatásmechanizmus és a lehetséges kockázatok még nem teljesen tisztázottak. Másrészt, a lítium-klorid alkalmazásával kapcsolatban felmerülhetnek környezetvédelmi és élelmiszer-biztonsági aggályok is, mivel a hatóanyag potenciálisan bejuthat a mézbe és más méhészeti termékekbe. Jelenleg a szer engedélyezése nem valószínűsíthető a magas költségek, a jelenleg még hiányos hatásvizsgálatok és a szabályozási kihívások miatt. Mindezek tükrében azonban a lítium-klorid ígéretes lehetőséget jelenthet a méhészek számára, hiszen eddigi kutatási eredmények biztatóak, amelyek hozzájárulhatnak ahhoz, hogy a lítium-klorid a jövőben egy biztonságos alternatívája lehessen a jelenlegi atkaellenes készítményeknek.

7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Elsőként írtuk le a lítium-klorid kontakt hatását a *Varroa destructor* atka ellen, melyet laboratóriumi modellkísérletben (*ex situ*) és *in situ* körülmények között is igazoltunk vizsgálatainkban.
2. Kimutattuk a lítium-kloridos csorgatás jobb hatékonyságát fő és kiegészítő kezelésként alkalmazva oxálsavas szublimálással szemben, fiasítás mentes méhcsaládokon téli (november) záró kezelés esetén.
3. *In situ* körülmények között végzett alternatív kijuttatási módok vizsgálata során megállapítottuk, hogy a meleg ködölés (Furetto készülékkel) nem alkalmas a lítium-klorid kijuttatására. Ezzel szemben a hideg ködölés (VAT 1a készülékkel) és az impregnált papírsíkos módszer hatásosnak bizonyult az atka ellen, de hatékonyságuk közepes vagy gyenge volt.
4. A leghatékonyabb kijuttatási módnak a csorgatásos módszer bizonyult. A különböző dózisok vizsgálata alapján megállapítottuk, hogy a 2 x 500 mM lítium-klorid csorgatás a leghatékonyabb.

8. ÖSSZEFOGALALÁS

A kereskedelmi célú beporzás 90%-át egyetlen faj, a nyugati mézelő méh (*Apis mellifera*) végzi, a mezőgazdaságban betöltött szerepe meghatározó jelentőséggel bír. A mézelő méh állományainak fenntartása döntő részt méhészetekben valósul meg. Ehhez kapcsolódóan, számos problémára kell megoldást találni, ami elsősorban a kórokozók és paraziták okozta méhegészségügyi kérdésekhez kapcsolódik. Ezek közül a *Varroa destructor* tekinthető a legfontosabb biotikus ágensnek. A *Varroa* atka, az által okozott közvetlen stressz és parazitózis okozta kártétel (a méhek zsírtesteiket fogyasztja) mellett, számos méhvírus vektora. A méhvírusok és az atka kártétel okozta varroózis, mint komplex méhegészségügyi probléma, a téli méhcsaládveszteségek első számú okozója. A beporzó tevékenység tehát nagyban függ a méhészetek *Varroa* atka elleni stratégiájának sikerességétől. Mivel azonban az atka elleni készítmények hatékonysága sok esetben nem kielégítő, valamint szermaradvány és rezisztencia problémákkal terhelt, ezért folyamatos az igény az új potenciális hatóanyagok kifejlesztésére. 2018-ban Ziegelmann és mtsai (2018) által végzett RNSi vizsgálatokban derült fény az ezekben a kísérletekben vivőanyagként használt lítium-klorid atka elleni szisztémás hatásmódjára.

A lítium egy mobilis alkálifém, a földkéreg 27. legnagyobb mennyiségben előforduló eleme. Ipari felhasználása széleskörű, pl. üveg-, kerámiaipar, akkumulátor gyártás, kohászat. Humán vonatkozás szempontjából bipoláris zavarok kezelésére használják. Kis mennyiségben megtalálható természetes vizekben, talajban, gabonákban, zöldségekben, bizonyos mézek természetes összetevője lehet. Vizsgálatainkat Ziegelmann és mtsai (2018) atka elleni vizsgálataikban kapott eredmények nyomán kezdtük meg. Mivel méhészeti gyakorlati felhasználására vonatkozóan nem álltak rendelkezésre irodalmi adatok, így célul tűztük ki a lítium-klorid széles körű vizsgálatát, ami a hatásmechanizmus, szermaradvány problematikát, kijuttatási módokat érintő laboratóriumi modellkísérletet (*ex situ*) és *in situ* vizsgálatokat foglalta magába.

Első célkitűzésünk annak vizsgálata volt, hogy a lítiumnak a szisztémás hatásmód mellett van-e kontakt hatása is. Erre vonatkozóan laboratóriumi modellkísérletben (*ex situ*) és *in situ* körülmények között állítottuk be kísérleteket. A laboratóriumi modellkísérletben különböző koncentrációjú (10,78 mM és 11,04 M között) lítium-klorid oldattal átitatott karton lapra helyeztünk fel az atkákat. Kontrollként ioncserélt vízzel átitatott kartonlapot használtunk. A kartonlapra felhelyezett atkák mozgását figyeltük. Az első feljegyzett esemény a remegő mozgás kezdete volt, melyet egy kontrollálatlan mozgás követett. A következő feljegyzett esemény, amikor az atka a papírcsíkról leesett. Ezt az akaricid hatás küszöbértéknek tekintettük. A legalacsonyabb koncentrációnál (10,78 mM) az első tünetek átlagosan 66 perc után jelentkeztek,

és 84 perc után estek le a papírcsíkról, míg a legmagasabb koncentráció esetén az atkák már 1 percen belül remegő tüneteket mutattak, és átlagosan 3 perc után estek le. Minden olyan atka, amely a lítiumos papírcsíkkal érintkezett elpusztult és nem regenerálódott a lítium okozta tünetekből. A kontroll atkák egyike sem mutatott a kezelt csoporthoz hasonló tüneteket a megfigyelési időszak 120 perce alatt.

In situ kísérletekben megvizsgáltuk, hogy a kontakt hatás terepi körülmények között, kaptárban is kiváltható-e. A vizsgálatokat 3 erősen atkafertőzött, fiasításmentes méhcsaládon (2 kezelt és 1 kontroll) novemberben telelés előtti időszakban végeztük. A kísérletben a méhcsaládokban a lépek közé behelyezett lítium-kloriddal átitatott mikroszálal törlőkendők hatására bekövetkező atkahullást figyeltük. A kezeléseket több fázisban végeztük el, mely során a csíkok behelyezését követően lítium-kloridos csorgatást végeztünk annak megállapítására, hogy megállapítsuk a méhcsalád egyedein maradt atkák számát. Eredményeink alapján a második fázisban jelentős atkahullás volt mérhető, azonban a csorgatásos kezelés még további jelentős atkahullást eredményezett a kezelt méhcsaládokban. Ezen eredmények alapján az impregnált csíkkal történő kezelés varroicid hatása igazolt, de a teljes atkafertőzöttség hatékony felszámolásához nem bizonyult elégségesnek. A módszer alkalmazásának további korlátját jelenti, hogy a csík impregnálásához szükséges lítium-klorid mennyiség arányosan magasabb, mint a csorgató elegyé, ami a szermaradvány kockázatát is növelheti.

Összehasonlító vizsgálatokat végeztünk a lítium-klorid és az oxálsav atka elleni hatékonyságát illetően *in situ*. Mindegyik vegyület (lítium-klorid, oxálsav) a méz természetes összetevője lehet, ezért választottuk ezt a konstellációt. A kezeléseket többféle kombinációban végeztük el, melynek során azt az eredményt kaptuk, hogy a lítium-kloridot akár fő, akár kiegészítő kezelésként alkalmazzuk, felülmúlja az oxálsav hatékonyságát, valamint bizonyosságot nyert, hogy a lítium-kloridot ha fő kezelésként alkalmazzuk, akkor közel 20 napig megfigyelhető, elhúzódó hatásosságot mutat.

Megvizsgáltuk a lítium-klorid lehetséges – a méhészeti gyakorlatban releváns - kijuttatási módjait, amelyek hatásos alternatívái lehetnek a Ziegelmann és mtsai (2018) által alkalmazott etetési módszernek. Többféle, a méhészeti gyakorlatban alkalmazott módszert vizsgáltunk meg, amelyeket más atka elleni készítmények esetén alkalmaznak, így a meleg ködöléses módszert (Furetto), a hideg ködölést (VAT1a), a papírcsíkos módszert, valamint a csorgatást. Ezek közül a meleg ködölés egyáltalán nem vezetett eredményre, a lítium-klorid a készülék hőspiráljában kicsapódott. A hideg ködölés és az impregnált papír csíkos módszer (tartós hordozó) hatásos volt, de gyenge vagy közepes hatékonyságot mutatott.

A leghatásosabb módszernek a csorgatás bizonyult. A különböző csorgatásos kezelések atka elleni hatékonysága függ az alkalmazott dózistól és a kezelések számától. A vizsgált dózisok

közül a 2 x 500 mM lítium-klorid oldat kijuttatása mutatkozott az atkahullások alapján az optimális kezelési módszernek záró kezelésként tél elején, fiasítás mentes állapotban. Ennek a módszernek a legkisebb a valószínűsíthető szermaradvány kockázata a különböző méhészeti termékekben.

További kísérletben megvizsgáltuk, hogy a csorgató elegyhez adott cukornak van-e additív hatása a kezelés hatékonyságára. Eredményeink alapján egyértelműen bizonyítást nyert, hogy a vízzel készített csorgató elegy hatékonysága nem különbözött szignifikánsan a cukor oldattól. Ez gyakorlati szempontból kedvezőbb, hiszen így a csorgató elegy elkészíthető közvetlenül is, nem kell hozzá törzsoldat, illetve eltarthatósági szempontból is optimálisabb.

A lítium nyomelem tartalom abszolút jelenléte élelmiszerekben, beleértve a mézet és méhészeti termékeket, általánosnak mondható, bár nagyon változó nagyságrendben. Országoktól, azaz földrajzi adottságoktól függően a napi lítium bevitel az 1 mg-os értéket is meghaladhatja. Ezt figyelembe véve, valamint vizsgálataink eredményére alapozva a lítium, mint negyedik (potenciális) hatóanyag csoport (ásványi anyagok/mikroelem) a szerves savakkal egyenrangú hatóanyagként kategorizálható a tekintetben, hogy a mézek természetes alkotóelemeként tekinthetünk rá. Mindemellett pedig egy olyan potenciális hatóanyag, amely mint adott esetben keletkező szermaradvány, akár pozitív indikációval rendelkezhet. Azonban, további vizsgálatok szükségesek élelmiszerbiztonsági vonatkozásában, a biztonságos méhészeti alkalmazhatóság érdekében.

9. SUMMARY

Commercial pollination is carried out by a single species, the western honey bee (*Apis mellifera*), which accounts for 90% of all commercial pollination. Its role in agriculture is of paramount importance. The maintenance of honey bee populations is largely carried out in apiaries. In this context, several problems need to be solved, primarily related to bee health issues caused by pathogens and parasites. Among these, *Varroa destructor* is considered the most important biotic agent. The *Varroa* mite, in addition to the direct stress and damage caused by parasitism (consuming the fat body of bees), is a vector for several bee viruses. varroosis, caused by bee viruses and mite damage, as a complex bee health problem, is the number one cause of winter colony losses. Pollinator activity therefore largely depends on the success of the *Varroa* mite control strategy in apiaries. However, since the efficacy of anti-*Varroa* products is often unsatisfactory, and is burdened by residue and resistance problems, there is a continuous need for the development of new potential active ingredients. In 2018, RNAi studies conducted by Ziegelmann et al. (2018) revealed the systemic mode of action of lithium chloride, used as a carrier in these experiments, against the mite.

Lithium is a mobile alkali metal, the 27th most abundant element in the earth's crust. It has a wide range of industrial applications, e.g. glass, ceramics, battery production, metallurgy. From a human point of view, it is used to treat bipolar disorders. It is found in small amounts in natural waters, soil, cereals, vegetables, and can be a natural component of certain honeys. We started our investigations following the results obtained by Ziegelmann et al. (2018) in their anti-mite studies. Since no literature data were available regarding its use in beekeeping practice, we aimed to carry out a comprehensive study of lithium chloride, including laboratory model experiments (*ex situ*) and *in situ* studies covering the mechanism of action, residue issues, and methods of application.

Our first objective was to investigate whether lithium has a contact effect in addition to its systemic mode of action. We set up experiments for this purpose in laboratory model (*ex situ*) and *in situ* conditions. In the laboratory model experiment, we placed the mites on cardboard soaked with lithium chloride solution of various concentrations (between 10.78 mM and 11.04 M). As a control, we used cardboard soaked with deionized water. We observed the movement of the mites placed on the cardboard. The first recorded event was the onset of trembling movements, followed by uncontrolled movement. The next recorded event was when the mite fell off the paper strip. This was considered the threshold value of the acaricidal effect. At the lowest concentration (10.78 mM), the first symptoms appeared on average after 66 minutes, and they fell off the paper strip

after 84 minutes, while at the highest concentration, the mites showed trembling symptoms within 1 minute, and fell off after an average of 3 minutes. All mites that came into contact with the lithium paper strip died and did not recover from the lithium-induced symptoms. None of the control mites showed similar symptoms to the treated group during the 120-minute observation period.

In *in situ* experiments, we investigated whether the contact effect could be elicited in field conditions, in the hive. The tests were carried out on 3 heavily mite-infested, broodless bee colonies (2 treated and 1 control) in November, before the wintering period. In the experiment, we monitored the mite drop caused by lithium chloride-soaked microfiber wipes placed between the combs in the bee colonies. The treatments were carried out in several phases, during which, after placing the strips, we performed lithium chloride trickling to determine the number of mites remaining on the individuals of the bee colony. Based on our results, in the second phase, a significant mite drop was measured, but the trickling treatment resulted in further significant mite drop in the treated bee colonies. Based on these results, the varroicidal effect of the impregnated strip treatment was confirmed, but it was not sufficient to effectively eliminate the total mite infestation. A further limitation of the method is that the amount of lithium chloride required to impregnate the strip is proportionally higher than that of the trickling mixture, which may increase the risk of residues.

We performed comparative studies on the anti-mite efficacy of lithium chloride and oxalic acid *in situ*. We chose this constellation because each compound (lithium chloride, oxalic acid) can be a natural component of honey. The treatments were carried out in several combinations, during which we obtained the result that lithium chloride, whether used as a main or complementary treatment, outperformed the efficacy of oxalic acid, and it was confirmed that lithium chloride, when used as a main treatment, showed a prolonged efficacy of nearly 20 days.

We investigated the possible - relevant in beekeeping practice - application methods of lithium chloride, which may be effective alternatives to the feeding method used by Ziegelmann et al. (2018). We examined several methods used in beekeeping practice for other anti-mite products, such as hot fogging (Furetto), cold fogging (VAT1a), paper strip method, and trickling. Of these, hot fogging was not at all effective, as the lithium chloride precipitated in the heating coil of the device. Cold fogging and the impregnated paper strip method (durable carrier) were effective, but showed poor or moderate efficacy.

Trickling proved to be the most effective method. The anti-mite efficacy of the various trickling treatments depends on the dose used and the number of treatments. Of the doses tested, the application of 2 x 500 mM lithium chloride solution proved to be the optimal treatment method

based on mite drop as a closing treatment in early winter, in a broodless state. This method has the lowest probable risk of residues in various bee products.

In a further experiment, we investigated whether the sugar added to the trickling mixture had an additive effect on the efficacy of the treatment. Based on our results, it was clearly demonstrated that the efficacy of the water-based trickling mixture did not differ significantly from the sugar solution. This is more favorable from a practical point of view, since the trickling mixture can thus be prepared directly, without the need for a stock solution, and it is also optimal from a shelf-life point of view.

The absolute presence of the trace element lithium in food, including honey and bee products, is generally considered to be common, although in a very variable order of magnitude. Depending on the country, i.e. geographical conditions, the daily lithium intake can exceed the value of 1 mg. Taking this into account, and based on the results of our studies, lithium as a fourth (potential) active ingredient group (minerals/microelements) can be categorized as an active ingredient equivalent to organic acids in that it can be considered a natural component of honeys. At the same time, it is a potential active ingredient which, as a residue formed in certain cases, may even have a positive indication. However, further studies are needed regarding food safety, for safe beekeeping applicability.

10. MELLÉKLETEK

1. MELLÉKLET – IRODALOMJEGYZÉK

- AL TOUFAILIA, H., SCANDIAN, L. & RATNIEKS, F. L. 2015. Towards integrated control of varroa: 2) comparing application methods and doses of oxalic acid on the mortality of phoretic Varroa destructor mites and their honey bee hosts. *Journal of Apicultural Research*, 54, 108-120.
- ALIANO, N. P., ELLIS, M. D. & SIEGFRIED, B. D. 2006. Acute contact toxicity of oxalic acid to Varroa destructor (Acari: Varroidae) and their Apis mellifera (Hymenoptera: Apidae) hosts in laboratory bioassays. *Journal of economic entomology*, 99, 1579-1582.
- ALLEN, M. & BALL, B. J. B. W. 1996. The incidence and world distribution of honey bee viruses. 77, 141-162.
- ALQARNI, A. S., OWAYSS, A. A., MAHMOUD, A. A. & HANNAN, M. A. 2014. Mineral content and physical properties of local and imported honeys in Saudi Arabia. *Journal of Saudi Chemical Society*, 18, 618-625.
- AMRINE JR, J. W. & NOEL, R. 2006. Formic acid fumigator for controlling varroa mites in honey bee hives. *International Journal of Acarology*, 32, 115-124.
- ANDERSON, D. & TRUEMAN, J. 2000. Varroa jacobsoni (Acari: Varroidae) is more than one species. *Experimental & applied acarology*, 24, 165-189.
- ANGINO, E. E. & BILLINGS, G. K. 1966. Lithium content of sea water by atomic absorption spectrometry. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 30, 153-158.
- ANKE, M. 1991. The biological importance of lithium. *Lithium in biology and medicine*.
- ARAL, H. & VECCHIO-SADUS, A. 2008. Toxicity of lithium to humans and the environment—a literature review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 70, 349-356.
- ARECHAVALETA-VELASCO, M. E. & GUZMÁN-NOVOA, E. 2001. Relative effect of four characteristics that restrain the population growth of the mite Varroa destructor in honey bee (Apis mellifera) colonies. *Apidologie*, 32, 157-174.
- BAILEY, L., GIBBS, A. J., & WOODS, R. D. (1963). TWO VIRUSES FROM ADULT HONEY BEES (Apis mellifera Linnaeus). *Virology*, 21(3), 390-395.
- BAK, B., WILDE, J. & SIUDA, M. 2012. Characteristics of north-eastern population of Varroa destructor resistant to synthetic pyrethroids. *Med Weter*, 68, 603-6.
- BARROSO-ARÉVALO, S., FERNÁNDEZ-CARRIÓN, E., GOYACHE, J., MOLERO, F., PUERTA, F. & SÁNCHEZ-VIZCAÍNO, J. M. 2019. High load of deformed wing virus and Varroa destructor infestation are related to weakness of honey bee colonies in Southern Spain. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1331.
- BAUER, D. M. & WING, I. S. 2010. Economic consequences of pollinator declines: a synthesis. *Agricultural and Resource Economics Review*, 39, 368-383.
- BERGOUIGNOUX, M., TREILHOU, M. & ARMENGAUD, C. 2013. Exposure to thymol decreased phototactic behaviour in the honeybee (Apis mellifera) in laboratory conditions. *Apidologie*, 44, 82-89.
- BINGHAM, F., PAGE, A. & BRADFORD, G. 1964. Tolerance of plants to lithium. *Soil Science*, 98, 4-8.
- BOECKING, O. & GENERSCH, E. 2008. Varroosis—the ongoing crisis in bee keeping. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 3, 221-228.

- BOGDANOV, S., CHARRIÈRE, J.-D., IMDORF, A., KILCHENMANN, V. & FLURI, P. 2002. Determination of residues in honey after treatments with formic and oxalic acid under field conditions. *Apidologie*, 33, 399-409.
- BOLLI, H., BOGDANOV, S., IMDORF, A. & FLURI, P. 1993. Zur Wirkungsweise von Ameisensäure bei *Varroa jacobsoni* Oud und der Honigbiene (*Apis mellifera* L.). *Apidologie*, 24, 51-57.
- BOOT, W., SCHOENMAKER, J., CALIS, J. & BEETSMA, J. 1995. Invasion of *Varroa jacobsoni* into drone brood cells of the honey bee, *Apis mellifera*. *Apidologie*, 26, 109-118.
- BOOT, W. J., CALIS, J. N. & BEETSMA, J. 1992. Differential periods of *Varroa* mite invasion into worker and drone cells of honey bees. *Experimental & applied acarology*, 16, 295-301.
- BOOT, W. J., TAN, N. Q., DIEN, P. C., VAN HUAN, L., VAN DUNG, N. & BEETSMA, J. 1997. Reproductive success of *Varroa jacobsoni* in brood of its original host, *Apis cerana*, in comparison to that of its new host, *A. mellifera* (Hymenoptera: Apidae). *Bulletin of entomological research*, 87, 119-126.
- BOWEN, H. J. M. 1966. Trace elements in biochemistry. *Trace elements in biochemistry*.
- BRADFORD, G. 1966. Lithium, Chap. 17. *Diagnostic criteria for plants and soils: Berkeley, California Univ., Div. Agr. Sci., Agr. Expt. Sta.*, 218-223.
- BRØDSGAARD, C. J., JENSEN, S. E., HANSEN, J. & HANSEN, C. W. 1999. Spring treatment with oxalic acid in honeybee colonies as varroa control. *DIAS Report. Horticulture (Denmark)*.
- BÜCHLER, R. 2013. Methodenhandbuch Der Arbeitsgemeinschaft Toleranzzucht (AGT); Deutschen, I., Ed.; Deutschen Imkerbund: Kirchhain, Germany,
- CADE, J. F. 1949. Lithium salts in the treatment of psychotic excitement. *Medical Journal of Australia*.
- CALDERON, R., ORTIZ, R., ARCE, H., VAN VEEN, J. & QUAN, J. 2000. Effectiveness of formic acid on varroa mortality in capped brood cells of Africanized honey bees. *Journal of Apicultural Research*, 39, 177-179.
- CALDERONE, N. & LIN, S. J. P. E. 2001. Arrestment activity of extracts of honey bee worker and drone larvae, cocoons and brood food on female *Varroa destructor*. 26, 341-350.
- CALDERONE, N. W. 1999. Evaluation of formic acid and a thymol-based blend of natural products for the fall control of *Varroa jacobsoni* (Acari: Varroidae) in colonies of *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). *Journal of economic entomology*, 92, 253-260.
- CALDERONE, N. W. & KUENEN, L. 2001. Effects of western honey bee (Hymenoptera: Apidae) colony, cell type, and larval sex on host acquisition by female *Varroa destructor* (Acari: Varroidae). *Journal of economic entomology*, 94, 1022-1030.
- CALDERONE, N. W. & KUENEN, L. 2003. Differential tending of worker and drone larvae of the honey bee, *Apis mellifera*, during the 60 hours prior to cell capping. *Apidologie*, 34, 543-552.
- CALIS, J., BOOT, W., BEETSMA, J., VAN DEN EIJNDE, J., DE RUIJTER, A. & VAN DER STEEN, J. 1998. Control of varroa by combining trapping in honey bee worker brood with formic acid treatment of the capped brood outside the colony: putting knowledge on brood cell invasion into practice. *Journal of Apicultural Research*, 37, 205-215.
- CASARETT, L. J. & DOULL, J. 1975. *Toxicology: the basic science of poisons*, Macmillan.
- CASTILHOS, D., BERGAMO, G. C. & KASTELIC, J. P. 2021. Honey bee colony losses in Brazil in 2018-2019. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4, 5017-5041.
- CERVO, R., BRUSCHINI, C., CAPPA, F., MECONCELLI, S., PIERACCINI, G., PRADELLA, D. & TURILLAZZI, S. 2014. High *Varroa* mite abundance influences chemical profiles of worker bees and mite-host preferences. *Journal of Experimental Biology*, 217, 2998-3001.
- CHARPENTIER, G., VIDAUD, C., FERDY, J. B., TABART, J. & VETILLARD, A. 2014. Lethal and sub-lethal effects of thymol on honeybee (*Apis mellifera*) larvae reared in vitro. *Pest management science*, 70, 140-147.

- CHARRIÈRE, J.-D. & IMDORF, A. 2002. Oxalic acid treatment by trickling against Varroa destructor: recommendations for use in central Europe and under temperate climate conditions. *Bee world*, 83, 51-60.
- CHARRIÈRE, J.-D., IMDORF, A. & KILCHENMANN, V. 1992. Formic acid concentrations in the hive atmosphere of honey bee colonies.
- CHAUZAT, P., LAURENT, M., RIVIÈRE, M.-P., SAUGEON, C., HENDRIKX, P. & RIBIÈRE-CHABERT, M. 2014. A pan-European epidemiological study on honey bee colony losses 2012–2013. *European Union Reference Laboratory for Honeybee Health, Brussels, Rapport technique*.
- COLIN, M. 1997. Alternative control of the varroosis. *Cah. Options Méditerran*, 21, 87-98.
- COLIN, T., LIM, M. Y., QUARRELL, S. R., ALLEN, G. R. & BARRON, A. B. 2019. Effects of thymol on European honey bee hygienic behaviour. *Apidologie*, 50, 141-152.
- COLTON, J. W. 1957. Recovery of lithium from complex silicates. ACS Publications.
- COUNCIL, N. R. 2007. *Status of pollinators in North America*, National Academies Press.
- COX-FOSTER, D. L., CONLAN, S., HOLMES, E. C., PALACIOS, G., EVANS, J. D., MORAN, N. A., QUAN, P.-L., BRIESE, T., HORNIG, M. & GEISER, D. M. 2007. A metagenomic survey of microbes in honey bee colony collapse disorder. *Science*, 318, 283-287.
- CRITTENDEN, A. N. (2011). The importance of honey consumption in human evolution. *Food and Foodways*, 19(4), 257-273.
- CZIPA, N., BURJÁN, Z., ANDRÁSI, D. & KOVÁCS, B. 2012. Trace Element Content of Hungarian Acacia Honey. *European Chemical Bulletin*, 1, 446-448.
- DE JONG, D., DE JONG, P. & GONCALVES, L. 1982.a Weight loss and other damage to developing worker honeybees from infestation with Varroa jacobsoni. *Journal of Apicultural Research*, 21, 165-167.
- DE JONG, D., MORSE, R. A. & EICKWORT, G. C. 1982b. Mite pests of honey bees. *Annual review of entomology*, 27, 229-252.
- DE JONG, D. & DE JONG, P. H. 1983. Longevity of africanized honey bees (Hymenoptera: Apidae) infested by Varroa jacobsoni (Parasitiformes: Varroidae). *Journal of economic entomology*, 76, 766-768.
- DE JONG, D. 1996. Africanized honey bees in Brazil, forty years of adaptation and success. *Bee world*, 77, 67-70.
- DE LA FUENTE, J., KOCAN, K. M., ALMAZÁN, C. & BLOUIN, E. F. 2007. RNA interference for the study and genetic manipulation of ticks. *Trends in parasitology*, 23, 427-433.
- DE LA RÚA, P., JAFFÉ, R., DALL'OLIO, R., MUÑOZ, I. & SERRANO, J. 2009. Biodiversity, conservation and current threats to European honeybees. *Apidologie*, 40, 263-284.
- DE MIRANDA, J. R. & GENERSCH, E. 2010. Deformed wing virus. *Journal of invertebrate pathology*, 103, S48-S61.
- DELAPLANE, K. S. & MAYER, D. F. 2000. *Crop pollination by bees*, CABI publishing.
- DI PRISCO, G., CAVALIERE, V., ANNOSCIA, D., VARRICCHIO, P., CAPRIO, E., NAZZI, F., ... & PENNACCHIO, F. (2013). Neonicotinoid clothianidin adversely affects insect immunity and promotes replication of a viral pathogen in honey bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(46), 18466-18471.
- DOBOSY, P., ILLÉS, Á., ENDRÉDI, A. & ZÁRAY, G. 2023. Lithium concentration in tap water, bottled mineral water, and Danube River water in Hungary. *Scientific reports*, 13, 12543.
- DONZÉ, G. & GUERIN, P. M. 1997. Time-activity budgets and space structuring by the different life stages of Varroa jacobsoni in capped brood of the honey bee, Apis mellifera. *Journal of Insect Behavior*, 10, 371-393.
- DONZÉ, G., SCHNYDER-CANDRIAN, S., BOGDANOV, S., DIEHL, P. A., GUERIN, P. M., KILCHENMAN, V., & MONACHON, F. (1998). Aliphatic alcohols and aldehydes of the honey bee cocoon induce arrestment behavior in Varroa jacobsoni (Acari: Mesostigmata), an ectoparasite of Apis mellifera. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology: Published in Collaboration with the Entomological Society of America*, 37(2), 129-145.

- DYNES, T. L., DE ROODE, J. C., LYONS, J. I., BERRY, J. A., DELAPLANE, K. S. & BROSI, B. J. 2017. Fine scale population genetic structure of Varroa destructor, an ectoparasitic mite of the honey bee (*Apis mellifera*). *Apidologie*, 48, 93-101.
- ELEKTOROWICZ, M. & KEROPIAN, Z. 2015. Lithium, vanadium and chromium uptake ability of *Brassica juncea* from lithium mine tailings. *International journal of phytoremediation*, 17, 521-528.
- ELIASH, N., SINGH, N. K., KAMER, Y., PINNELLI, G. R., PLETTNER, E., & SOROKER, V. (2014). Can we disrupt the sensing of honey bees by the bee parasite Varroa destructor?. *PLoS One*, 9(9), e106889.
- ELLENHORN, M. J. & BARCELOUX, D. G. 1988. Medical toxicology: diagnosis and treatment of human poisoning. *ELSEVIER, NEW YORK, NY(USA)*. 1988.
- ELZEN, P., EISCHEN, F., BAXTER, J., PETTIS, J., ELZEN, G. & WILSON, W. 1998. Fluvalinate resistance in Varroa jacobsoni from several geographic locations. *American bee journal (USA)*.
- ELZEN, P. J., BAXTER, J. R., SPIVAK, M. & WILSON, W. T. 2000. Control of Varroa jacobsoni Oud. resistant to fluvalinate and amitraz using coumaphos. *Apidologie*, 31, 437-441.
- EMSEN, B. & DODOLOGLU, A. 2009. The effects of using different organic compounds against honey bee mite (Varroa destructor Anderson and Trueman) on colony developments of honey bee (*Apis mellifera* L.) and residue levels in honey. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8, 1004-1009.
- EVANS, J. D. & COOK, S. C. 2018. Genetics and physiology of Varroa mites. *Current opinion in insect science*, 26, 130-135.
- EVANS, P. D. & GEE, J. D. 1980. Action of formamidine pesticides on octopamine receptors. *Nature*, 287, 60-62.
- FAGAN, L. L., NELSON, W. R., MEENKEN, E. D., HOWLETT, B. G., WALKER, M. K., & DONOVAN, B. J. (2012). Varroa management in small bites. *Journal of Applied Entomology*, 136(6), 473-475.
- FERNÁNDEZ, N., EGUARAS, M. & HERNÁNDEZ, D. J. A. 1993. Distribution patterns of Varroa jacobsoni Oud on *Apis mellifera* L during winter in Argentina. 24, 397-401.
- FIERRO, M. M., BARRAZA, A., MAKI, D. L., & MOFFETT, J. O. (1987). The effects of the first year of Africanization on honey bee populations in Chiapas, Mexico.
- FIRE, A., XU, S., MONTGOMERY, M. K., KOSTAS, S. A., DRIVER, S. E. & MELLO, C. C. 1998. Potent and specific genetic interference by double-stranded RNA in *Caenorhabditis elegans*. *Nature*, 391, 806-811.
- FLORIS, I., SATTA, A., CABRAS, P., GARAU, V. L. & ANGIONI, A. 2004. Comparison between two thymol formulations in the control of Varroa destructor: effectiveness, persistence, and residues. *Journal of economic entomology*, 97, 187-191.
- FREEMAN, M. P. & FREEMAN, S. A. 2006. Lithium: clinical considerations in internal medicine. *The American journal of medicine*, 119, 478-481.
- FRIES, I. 1989. Short-interval treatments with formic acid for control of Varroa jacobsoni in honey bee (*Apis mellifera*) colonies in cold climates. *Swedish Journal of Agricultural Research (Sweden)*.
- FRIES, I. 1991. Treatment of sealed honey bee brood with formic acid for control of Varroa jacobsoni.
- FUCHS, S. 1990. Preference for drone brood cells by Varroa jacobsoni Oud in colonies of *Apis mellifera carnica*. *Apidologie*, 21, 193-199.
- GARBAN, Y., MAORI, E., KALEV, H., SHAFIR, S. & SELA, I. 2012. Bidirectional transfer of RNAi between honey bee and Varroa destructor: Varroa gene silencing reduces Varroa population. *PLoS pathogens*, 8, e1003035.
- GARG, R., SHARMA, O. & DOGRA, G. 1984. Formic acid: an effective acaricide against *Tropilaelaps clareae* Delfinado and Baker (Laelaptidae: Acarina) and its effect on the brood and longevity of honey bees. *The American bee journal (USA)*.

- GARRETT, D. E. 2004. *Handbook of lithium and natural calcium chloride*, Elsevier.
- GENERSCH, E., VON DER OHE, W., KAATZ, H., SCHROEDER, A., OTTEN, C., BÜCHLER, R., BERG, S., RITTER, W., MÜHLEN, W. & GISDER, S. 2010. The German bee monitoring project: a long term study to understand periodically high winter losses of honey bee colonies. *Apidologie*, 41, 332-352.
- GERGEN, I. & HARMANESCU, M. 2010. Lithium content of some alimentary bee's products. *Journal of EcoAgriTourism*, 6, 172-175.
- GOLDSTEIN, M. R. & MASCITELLI, L. 2016. Is violence in part a lithium deficiency state? *Medical hypotheses*, 89, 40-42.
- GONCALVES, L., MORSE, R. & STORT, A. 1979. Incidence of the mite *Varroa jacobsoni* in the colonies of Africanized bees in the State of Sao Paulo. *Apimondia Athens*, 21, 374-378.
- GOODWIN, R., TAYLOR, M., MCBRYDIE, H. & COX, H. 2005. Base levels of resistance to common control compounds by a New Zealand population of *Varroa destructor*. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 33, 347-352.
- GRACIA-SALINAS, M., FERRER-DUFOL, M., LATORRE-CASTRO, E., MONERO-MANERA, C., CASTILLO-HERNÁNDEZ, J., LUCIENTES-CURD, J. & PERIBANEZ-LOPEZ, M. 2006. Detection of fluvalinate resistance in *Varroa destructor* in Spanish apiaries. *Journal of Apicultural Research*, 45, 101-105.
- GREGORC, A. & PLANINC, I. 2001. Acaricidal effect of oxalic acid in honeybee (*Apis mellifera*) colonies. *Apidologie*, 32, 333-340.
- GREGORC, A., ADAMCZYK, J., KAPUN, S. & PLANINC, I. 2016. Integrated varroa control in honey bee (*Apis mellifera carnica*) colonies with or without brood. *Journal of Apicultural Research*, 55, 253-258.
- GREGORC, A., ALBURAKI, M., WERLE, C., KNIGHT, P. R. & ADAMCZYK, J. 2017. Brood removal or queen caging combined with oxalic acid treatment to control varroa mites (*Varroa destructor*) in honey bee colonies (*Apis mellifera*). *Apidologie*, 48, 821-832.
- GRUBER, P. W., MEDINA, P. A., KEOLEIAN, G. A., KESLER, S. E., EVERSON, M. P. & WALLINGTON, T. J. 2011. Global lithium availability: A constraint for electric vehicles? *Journal of Industrial Ecology*, 15, 760-775.
- GUNES, N., AYDIN, L., BELENLI, D., HRANITZ, J. M., MENGILIG, S. & SELOVA, S. 2017. Stress responses of honey bees to organic acid and essential oil treatments against varroa mites. *Journal of Apicultural Research*, 56, 175-181.
- GUZMÁN-NOVOA, E., ECCLES, L., CALVETE, Y., MCGOWAN, J., KELLY, P. G. & CORREA-BENÍTEZ, A. 2010. *Varroa destructor* is the main culprit for the death and reduced populations of overwintered honey bee (*Apis mellifera*) colonies in Ontario, Canada. *Apidologie*, 41, 443-450.
- GUZMAN-NOVOA, E., SANCHEZ, A., PAGE JR, R. & GARCIA, T. 1996. Susceptibility of European and Africanized honeybees (*Apis mellifera* L) and their hybrids to *Varroa jacobsoni* Oud. *Apidologie*, 27, 93-103.
- GUZMÁN-NOVOA, E., VANDAME, R. & ARECHAVALETA, M. E. 1999. Susceptibility of European and Africanized honey bees (*Apis mellifera* L.) to *Varroa jacobsoni* Oud. in Mexico. *Apidologie*, 30, 173-182.
- HABASHI, F. 1997. *Handbook of extractive metallurgy*, Wiley-Vch.
- HANNON, G. J. 2002. RNA interference. *Nature*, 418, 244-251.
- HIGES, M., MEANA, A., SUÁREZ, M. & LLORENTE, J. 1999. Negative long-term effects on bee colonies treated with oxalic acid against *Varroa jacobsoni* Oud. *Apidologie*, 30, 289-292.
- HOLLINGWORTH, R. M. & MURDOCK, L. L. 1980. Formamidine pesticides: octopamine-like actions in a firefly. *Science*, 208, 74-76.
- HUTHWAITE, M. A. & STANLEY, J. 2010. Lithium in drinking water. *The British Journal of Psychiatry*, 196, 159-159.

- IFANTIDIS, M. D. 1988. Some aspects of the process of *Varroa jacobsoni* mite entrance into honey bee (*Apis mellifera*) brood cells. *Apidologie*, 19, 387-396.
- IFANTIDIS, M. J. J. O. A. R. 1983. Ontogenesis of the mite *Varroa jacobsoni* in worker and drone honeybee brood cells. 22, 200-206.
- IFANTIDIS, M. J. V. J. 1990. Re-examination of some parameters concerning reproduction of the mite. 20-26.
- IQBAL, J., & MUELLER, U. (2007). Virus infection causes specific learning deficits in honeybee foragers. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1617), 1517-1521.
- IMDORF, A., CHARRIERE, J. & BACHOFEN, B. 1997. Efficiency checking of the *Varroa jacobsoni* control methods by means of oxalic acid.
- IMDORF, A., BOGDANOV, S., OCHOA, R. I. & CALDERONE, N. W. 1999. Use of essential oils for the control of *Varroa jacobsoni* Oud. in honey bee colonies. *Apidologie*, 30, 209-228.
- INGRAM, M., NABHAN, G. & BUCHMANN, S. 1996. Impending pollination crisis threatens biodiversity and agriculture. *Tropinet*.
- ISHII, N., TERAOKA, T., ARAKI, Y., KOHNO, K., MIZOKAMI, Y., SHIOTSUKI, I., ... & IWATA, N. (2015). Low risk of male suicide and lithium in drinking water. *The Journal of clinical psychiatry*, 76(3), 10893.
- ISMAN, M. B. 2000. Plant essential oils for pest and disease management. *Crop protection*, 19, 603-608.
- JATHAR, V., PENDHARKAR, P., PANDEY, V., RAUT, S., DOONGAJI, D., BHARUCHA, M. & SATOSKAR, R. 1980. Manic depressive psychosis in India and the possible role of lithium as a natural prophylactic. II--Lithium content of diet and some biological fluids in Indian subjects. *Journal of Postgraduate Medicine*, 26, 39.
- JIANG, L., WANG, L., MU, S.-Y. & TIAN, C.-Y. 2014. *Apocynum venetum*: A newly found lithium accumulator. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 209, 285-289.
- JOHNSON, R. M., POLLOCK, H. S. & BERENBAUM, M. R. 2009. Synergistic interactions between in-hive miticides in *Apis mellifera*. *Journal of economic entomology*, 102, 474-479.
- KABATA-PENDIAS, A. 2000. *Trace elements in soils and plants*, CRC press.
- KOLEOGLU, G., GOODWIN, P. H., REYES-QUINTANA, M., HAMIDUZZAMAN, M. M. & GUZMAN-NOVOA, E. 2018. *Varroa destructor* parasitism reduces hemocyte concentrations and prophenol oxidase gene expression in bees from two populations. *Parasitology Research*, 117, 1175-1183.
- KAMLER, M., NESVORNA, M., STARA, J., ERBAN, T. & HUBERT, J. 2016. Comparison of tau-fluvalinate, acrinathrin, and amitraz effects on susceptible and resistant populations of *Varroa destructor* in a vial test. *Experimental and Applied Acarology*, 69, 1-9.
- KANGA, L. H. B., JAMES, R. R., & BOUCIAS, D. G. (2002). *Hirsutella thompsonii* and *Metarhizium anisopliae* as potential microbial control agents of *Varroa destructor*, a honey bee parasite. *Journal of Invertebrate Pathology*, 81(3), 175-184.
- KANGA, L. H. B., JONES, W. A., & JAMES, R. R. (2003). Field trials using the fungal pathogen, *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycetes: Hyphomycetes) to control the ectoparasitic mite, *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) in honey bee, *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) colonies. *Journal of economic entomology*, 96(4), 1091-1099.
- KAPUSTA, N. D., & KÖNIG, D. (2015). Naturally occurring low-dose lithium in drinking water. *The Journal of Clinical Psychiatry*, 76(3), 12508.
- KAVANAGH, L., KEOHANE, J., CLEARY, J., GARCIA CABELLOS, G. & LLOYD, A. 2017. Lithium in the natural waters of the South East of Ireland. *International journal of environmental research and public health*, 14, 561.

- KAVANAGH, L., KEOHANE, J., GARCIA CABELLOS, G., LLOYD, A. & CLEARY, J. 2018. Global lithium sources—industrial use and future in the electric vehicle industry: a review. *Resources*, 7, 57.
- KEELING, C. I., SLESSOR, K. N., HIGO, H. A., & WINSTON, M. L. (2003). New components of the honey bee (*Apis mellifera* L.) queen retinue pheromone. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(8), 4486-4491.
- KENT, N. 1941. Absorption, translocation and ultimate fate of lithium in the wheat plant. *The New Phytologist*, 40, 291-298.
- KERR, W. E. (1957). "Introdução de abelhas africanas no Brasil." *Brasil Apicola* 3(5): 211-213.
- KERR, W. E. (1967). "The history of the introduction of African bees in Brazil." *South African Bee J.* 39: 33-35.
- KJØLHOLT, J., STUER-LAURIDSEN, F., SKIBSTED MOGENSEN, A. & HAVELUND, S. 2003. The elements in the second rank—lithium. *Miljøministeriet. Copenhagen, Denmark*.
- KLEIN, A.-M., VAISSIÈRE, B. E., CANE, J. H., STEFFAN-DEWENTER, I., CUNNINGHAM, S. A., KREMEN, C. & TSCHARNTKE, T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274, 303-313.
- KOENIGER, N. & RAU, C. 1980. Field trials in 1979/1980 with formic acid in Hochtaunuskreis. *Allgemeine Deutsche Imkerzeitung*, 14, 157-159.
- KOLICS, B., MÁTYÁS, K., SOLT, I., BACSI, Z., KOVÁCS, S., SPECZIÁR, A., TALLER, J. & KOLICS, É. 2023. Efficacy of In Vitro Lithium Chloride Treatments on *Dermacentor reticulatus*. *Insects*, 14, 110.
- KOLICS, É., MÁTYÁS, K., TALLER, J., SPECZIÁR, A. & KOLICS, B. 2020. Contact Effect Contribution to the High Efficiency of Lithium Chloride Against the Mite Parasite of the Honey Bee. *Insects*, 11, 333.
- KONTSCHÁN J., Á. A., BOZSIK G., KEREZSI V., SZEDERJESI T. AND SZŐCS G. (2017). "Atkák agrár-ökoszisztémákban: a Macrochelidae (Mesostigmata) család szerepe a növényvédelemben." *Georgikon for Agriculture* 21(1): 45–51.
- KOUSA, A., MATTILA, S. & NIKKARINEN, M. 2013. High tech-metals in the environment and health. *Lithium and cobalt. Geologian Tutkimuskeskus*, 53, 2-14.
- KRAUS, B. 1993. Preferences of *Varroa jacobsoni* for honey bees (*Apis mellifera* L.) of different ages. *Journal of Apicultural Research*, 32, 57-64.
- KRAUS, B., BERG, S. J. E. & ACAROLGY, A. 1994. Effect of a lactic acid treatment during winter in temperate climate upon *Varroa jacobsoni* Oud. and the bee (*Apis mellifera* L.) colony. 18, 459-468.
- KRAUS, B., KOENIGER, N. & FUCHS, S. 1986. Recognition of bees of specific age by *Varroa jacobsoni* and preference for nurse bees in summer colonies.
- KUENEN, L. & CALDERONE, N. 1997. Transfers of *Varroa* mites from newly emerged bees: Preferences for age-and function-specific adult bees (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Insect Behavior*, 10, 213-228.
- LAUTENBACH, S., SEPPELT, R., LIEBSCHER, J. & DORMANN, C. F. 2012. Spatial and temporal trends of global pollination benefit. *PloS one*, 7, e35954.
- LE CONTE, Y., ARNOLD, G., TROUILLER, J., MASSON, C., CHAPPE, B. & OURISSON, G. J. S. 1989. Attraction of the parasitic mite *Varroa* to the drone larvae of honey bees by simple aliphatic esters. 245, 638-639.
- LE CONTE, Y., ARNOLD, G., TROUILLER, J., MASSON, C., & CHAPPE, B. (1990). Identification of a brood pheromone in honeybees.
- LE CONTE, Y., MOHAMMEDI, A., & ROBINSON, G. E. (2001). Primer effects of a brood pheromone on honeybee behavioural development. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 268(1463), 163-168.
- LE CONTE, Y. & NAVAJAS, M. 2008. Climate change: impact on honey bee populations and diseases. *Revue Scientifique et Technique-Office International des Epizooties*, 27, 499-510.

- LEE, K., STEINHAUER, N., RENNICH, K., WILSON, M., TARPY, D., CARON, D., ROSE, R., DELAPLANE, K., BAYLIS, K. & LINGERICH, E. for the Bee Informed Partnership.(2015). A national survey of managed honey bee 2013–2014 annual colony losses in the USA. *Apidologie*, 46, 292-305.
- LI, X., GAO, P., GJETVAJ, B., WESTCOTT, N. & GRUBER, M. Y. 2009. Analysis of the metabolome and transcriptome of *Brassica carinata* seedlings after lithium chloride exposure. *Plant Science*, 177, 68-80.
- LIAUGAUDAITĖ, V., MICKUVIENĖ, N., RASKAUSKIENĖ, N., NAGINIENĖ, R. & ŠER, L. 2017. Lithium levels in the public drinking water supply and risk of suicide: a pilot study. *Journal of trace elements in medicine and biology*, 43, 197-201.
- LIN, Z., PAGE, P., LI, L., QIN, Y., ZHANG, Y., HU, F., ... & DIETEMANN, V. (2016). Go east for better honey bee health: *Apis cerana* is faster at hygienic behavior than *A. mellifera*. *PloS one*, 11(9), e0162647.
- LIU, T. 1991. Formic acid and bee mites. *American bee journal (USA)*.
- LUPO, A. & GERLING, D. 1990. A comparison between the efficiency of summer treatments using formic acid and Taktic® against *Varroa jacobsoni* in beehives. *Apidologie*, 21, 261-267.
- MAGGI, M. D., RUFFINENGO, S. R., DAMIANI, N., SARDELLA, N. H., EGUARAS, M. J. J. E. & ACAROLGY, A. 2009. First detection of *Varroa destructor* resistance to coumaphos in Argentina. 47, 317-320.
- MAGGI, M. D., RUFFINENGO, S. R., NEGRI, P. & EGUARAS, M. J. 2010. Resistance phenomena to amitraz from populations of the ectoparasitic mite *Varroa destructor* of Argentina. *Parasitology Research*, 107, 1189-1192.
- MAGGI, M. D., DAMIANI, N., RUFFINENGO, S. R., BRASESCO, M. C., SZAWARSKI, N., MITTON, G., MARIANI, F., SAMMATARO, D., QUINTANA, S. & EGUARAS, M. J. 2017. The susceptibility of *Varroa destructor* against oxalic acid: A study case. *Bulletin of Insectology*, 70, 39-44.
- MAISONNASSE, A., LENOIR, J. C., BESLAY, D., CRAUSER, D., & LE CONTE, Y. (2010). E- β -ocimene, a volatile brood pheromone involved in social regulation in the honey bee colony (*Apis mellifera*). *PLOS one*, 5(10), e13531.
- MARSHALL, T. M. 2015. Lithium as a nutrient. *Journal of American Physicians and Surgeons*, 20, 104-109.
- MARTIN, S. J. 1994. Ontogenesis of the mite *Varroa jacobsoni* Oud. in worker brood of the honeybee *Apis mellifera* L. under natural conditions. *Experimental & applied acarology*, 18, 87-100.
- MARTIN, S. J. J. B. W. 2004. Acaricide (pyrethroid) resistance in *Varroa destructor*. 85, 67-69.
- MARTIN, S. J., HIGHFIELD, A. C., BRETTELL, L., VILLALOBOS, E. M., BUDGE, G. E., POWELL, M., ... & SCHROEDER, D. C. (2012). Global honey bee viral landscape altered by a parasitic mite. *Science*, 336(6086), 1304-1306.
- MARTIN, S. J. & BRETTELL, L. E. 2019. Deformed wing virus in honeybees and other insects. *Annual review of virology*, 6, 49-69.
- MASON, E., MCKINLAY, A., CLARK, I. & SAUNDERS, D. The effect of temperature and humidity on lithium fluoride and lithium borate thermoluminescence dosimeters. Proceedings of the fourth international conference on luminescence dosimetry, Krakow-Poland, 27-31 August 1974. Vol. 1, 1974.
- MATHESON, A. The conservation of bees. Linn. Soc. Symp., 1996. Acad. Pr.
- MATHIEU, L. & FAUCON, J.-P. 2000. Changes in the response time for *Varroa jacobsoni* exposed to amitraz. *Journal of Apicultural Research*, 39, 155-158.
- MATTOS, I. M. & CHAUD-NETO, J. 2012. Analysis of mortality in Africanized honey bee colonies with high levels of infestation by *Varroa destructor*. *Sociobiology*, 59, 369-380.
- MCGREGOR, S. E. 1976. *Insect pollination of cultivated crop plants*, Agricultural Research Service, US Department of Agriculture.

- MCSTAY, N., ROGERS, H. & ANDERSON, C. 1980. Effects of lithium on *Phaseolus vulgaris* L. *Science of The Total Environment*, 16, 185-191.
- MEDICI, S. K., CASTRO, A., SARLO, E. G., MARIOLI, J. M. & EGUARAS, M. J. 2012. The concentration effect of selected acaricides present in beeswax foundation on the survival of *Apis mellifera* colonies. *Journal of Apicultural Research*, 51, 164-168.
- MEDICI, S. K., MAGGI, M. D., SARLO, E. G., RUFFINENGO, S., MARIOLI, J. M., & EGUARAS, M. J. (2015). The presence of synthetic acaricides in beeswax and its influence on the development of resistance in *V. arrea* destructor. *Journal of Apicultural Research*, 54(3), 267-274.
- MEDINA FLORES, C. A., GUZMÁN NOVOA, E., HAMIDUZZAMAN, M., ARÉCHIGA FLORES, C. F. & LÓPEZ CARLOS, M. A. 2014. Africanized honey bees (*Apis mellifera*) have low infestation levels of the mite *Varroa destructor* in different ecological regions in Mexico.
- MEIKLE, W. G., MERCADIER, G., HOLST, N., NANSEN, C., & GIROD, V. (2007). Duration and spread of an entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* (Deuteromycota: Hyphomycetes), used to treat varroa mites (Acari: Varroidae) in honey bee (Hymenoptera: Apidae) hives. *Journal of Economic entomology*, 100(1), 1-10.
- MEIXNER, M. D. 2010. A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them. *Journal of invertebrate pathology*, 103, S80-S95.
- MESHRAM, P., PANDEY, B. & MANKHAND, T. 2014. Extraction of lithium from primary and secondary sources by pre-treatment, leaching and separation: A comprehensive review. *Hydrometallurgy*, 150, 192-208.
- MILANI, N. 1995. The resistance of *Varroa jacobsoni* Oud to pyrethroids: a laboratory assay. *Apidologie*, 26, 415-429.
- MILANI, N. 1999. The resistance of *Varroa jacobsoni* Oud. to acaricides. *Apidologie*, 30, 229-234.
- MITTON, G. A., QUINTANA, S., GIMENEZ MARTINEZ, P., MENDOZA, Y., RAMALLO, G., BRASESCO, C., VILLALBA, A., EGUARAS, M. J., MAGGI, M. D. & RUFFINENGO, S. R. 2016. First record of resistance to flumethrin in a varroa population from Uruguay. *Journal of Apicultural Research*, 55, 422-427.
- MOORES, S. (2007). Between a rock and a salt lake. *Industrial Minerals*, (477), 58-69.
- MORETTO, G., GONÇALVES, L., DE JONG, D. & BICHUETTE, M. 1991. The effects of climate and bee race on *Varroa jacobsoni* Oud infestations in Brazil. *Apidologie*, 22, 197-203.
- MORETTO, G. & MELLO JR, L. J. D. 1999. *Varroa jacobsoni* infestation of adult Africanized and Italian honey bees (*Apis mellifera*) in mixed colonies in Brazil. *Genetics and Molecular Biology*, 22, 321-323.
- MOZES-KOCH, R., SLABEZKI, Y., EFRAT, H., KALEV, H., KAMER, Y., YAKOBSON, B. & DAG, A. 2000. First detection in Israel of fluvalinate resistance in the varroa mite using bioassay and biochemical methods. *Experimental & applied acarology*, 24, 35-43.
- MUTINELLI, F., BAGGIO, A., CAPOLONGO, F., PIRO, R., PRANDIN, L. & BIASION, L. J. A. 1997. A scientific note on oxalic acid by topical application for the control of varroosis. 28, 461-462.
- MUTINELLI, F. (2016). Veterinary medicinal products to control *Varroa destructor* in honey bee colonies (*Apis mellifera*) and related EU legislation—an update. *Journal of Apicultural Research*, 55(1), 78-88.
- NANETTI, A. & STRADI, G. 1997. Varroosis: chemical treatment with oxalic acid in sugar syrup.
- NAZZI, F. & LE CONTE, Y. 2016. Ecology of *Varroa destructor*, the major ectoparasite of the western honey bee, *Apis mellifera*. *Annual review of entomology*, 61, 417-432.

- ODDIE, M., BÜCHLER, R., DAHLE, B., KOVACIC, M., LE CONTE, Y., LOCKE, B., DE MIRANDA, J. R., MONDET, F. & NEUMANN, P. 2018. Rapid parallel evolution overcomes global honey bee parasite. *Scientific reports*, 8, 7704.
- OHGAMI, H., TERAOKA, T., SHIOTSUKI, I., ISHII, N. & IWATA, N. 2009. Lithium levels in drinking water and risk of suicide. *The British Journal of Psychiatry*, 194, 464-465.
- OLDROYD, B. P. 1999. Coevolution while you wait: *Varroa jacobsoni*, a new parasite of western honeybees. *Trends in ecology & evolution*, 14, 312-315.
- ORANTES-BERMEJO, F. J., PAJUELO, A. G., MEGÍAS, M. M. & FERNÁNDEZ-PÍÑAR, C. T. 2010. Pesticide residues in beeswax and bee bread samples collected from honey bee colonies (*Apis mellifera* L.) in Spain. Possible implications for bee losses. *Journal of Apicultural Research*, 49, 243-250.
- ORUC, H., HRANITZ, J., SORUCU, A., DUELL, M., ÇAKMAK, I., AYDIN, L. & ÖRMAN, A. J. J. O. E. E. 2012. Determination of acute oral toxicity of flumethrin in honey bees. 105, 1890-1894.
- OUDEMANS, A. C. 1904. On a new genus and species of parasitic acari. *Notes from the Leyden Museum*, 24, 216-222.
- PAPEŽÍKOVÁ, I., PALÍKOVÁ, M., KREMSEKOVÁ, S., ZACHOVÁ, A., PETEROVÁ, H., BABÁK, V. & NAVRÁTIL, S. 2017. Effect of oxalic acid on the mite *Varroa destructor* and its host the honey bee *Apis mellifera*. *Journal of Apicultural Research*, 56, 400-408.
- PAUDEL, Y. P., MACKERETH, R., HANLEY, R. & QIN, W. 2015. Honey bees (*Apis mellifera* L.) and pollination issues: Current status, impacts, and potential drivers of decline. *Journal of Agricultural Science*, 7, 93.
- PENG, Y.-S., FANG, Y., XU, S. & GE, L. 1987. The resistance mechanism of the Asian honey bee, *Apis cerana* Fabr., to an ectoparasitic mite, *Varroa jacobsoni* Oudemans. *Journal of invertebrate pathology*, 49, 54-60.
- PERNAL, S. F., BAIRD, D. S., BIRMINGHAM, A. L., HIGO, H. A., SLESSOR, K. N., & WINSTON, M. L. (2005). Semiochemicals influencing the host-finding behaviour of *Varroa destructor*. *Experimental & applied acarology*, 37, 1-26.
- PETTIS, J. S. J. A. 2004. A scientific note on *Varroa destructor* resistance to coumaphos in the United States. 35, 91-92.
- PHABOUTDY, E. & WARD, M. 2024. Investigation of landscape risk factors for the recent spread of varroa mite (*Varroa destructor*) in European honeybee (*Apis mellifera*) colonies in New South Wales, Australia. *Geospatial Health*, 19.
- PIRES, S., MURILHAS, A., PEREIRA, Ó. & MAIA, M. Current effectiveness of amitraz against *Varroa* in Portugal. Scientific Programme Apimondia Ireland 2005, 39th Apimondia International Apicultural Congress, 2005. Apimondia, 78-78.
- PIRES, S., PEREIRA, Ó. & MURILHAS, A. Field and laboratory testing for amitraz-tolerant varroa populations. How comparable are their results? 40th Apimondia International Apicultural Congress, 2007. Apimondia, 141-141.
- PIZZORNO, M. C., FIELD, K., KOBOKOVICH, A. L., MARTIN, P. L., GUPTA, R. A., MAMMONE, R., ... & CAPALDI, E. A. (2021). Transcriptomic responses of the honey bee brain to infection with deformed wing virus. *Viruses*, 13(2), 287.
- PLETTNER, E., OTIS, G. W., WIMALARATNE, P. D. C., WINSTON, M. L., SLESSOR, K. N., PANKIW, T., & PUNCHIHEWA, P. W. K. (1997). Species- and caste-determined mandibular gland signals in honeybees (*Apis*). *Journal of Chemical Ecology*, 23, 363-377.
- PLETTNER, E., ELIASH, N., SINGH, N. K., PINNELLI, G. R., & SOROKER, V. (2017). The chemical ecology of host-parasite interaction as a target of *Varroa destructor* control agents. *Apidologie*, 48, 78-92.
- POHORECKA, K., SKUBIDA, P. & SEMKIW, P. 2018. Varroacidal efficiency of treatment with amitraz in honey bee colonies with brood. *Journal of Apicultural Science*, 62, 285-292.

- POPOV, E., MELNIK, V. & MATCHINEV, A. 1989. Application of oxalic acid in varroaosis. *Proc. XXXII Int. Congr. Apimondia, Rio de Janeiro, Apimondia Publ. House, Bucharest*, 149.
- POTTS, S. G., BIESMEIJER, J. C., KREMEN, C., NEUMANN, P., SCHWEIGER, O. & KUNIN, W. E. 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in ecology & evolution*, 25, 345-353.
- PREŠERN, J., KUR, U., BUBNIČ, J. & ŠALA, M. 2020. Lithium contamination of honeybee products and its accumulation in brood as a consequence of anti-varroa treatment. *Food chemistry*, 127334.
- QUEZADA-EUÁN, J. J. G. 2007. A retrospective history of the expansion of Africanized honeybees in Mexico. *Journal of Apicultural Research*, 46, 295-300.
- RADEMACHER, E. & HARZ, M. 2006. Oxalic acid for the control of varroosis in honey bee colonies—a review. *Apidologie*, 37, 98-120.
- RADEMACHER, E., HARZ, M. & SCHNEIDER, S. 2017. Effects of oxalic acid on *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). *Insects*, 8, 84.
- RADER, R., HOWLETT, B. G., CUNNINGHAM, S. A., WESTCOTT, D. A., NEWSTROM-LLOYD, L. E., WALKER, M. K., TEULON, D. A. & EDWARDS, W. 2009. Alternative pollinator taxa are equally efficient but not as effective as the honeybee in a mass flowering crop. *Journal of Applied Ecology*, 46, 1080-1087.
- RAMSEY, S. D., OCHOA, R., BAUCHAN, G., GULBRONSON, C., MOWERY, J. D., COHEN, A., LIM, D., JOKLIK, J., CICERO, J. M. & ELLIS, J. D. J. P. O. T. N. A. O. S. 2019. Varroa destructor feeds primarily on honey bee fat body tissue and not hemolymph. 116, 1792-1801.
- RANGEL, J., & WARD, L. (2018). Evaluation of the predatory mite *Stratiolaelaps scimitus* for the biological control of the honey bee ectoparasitic mite *Varroa destructor*. *Journal of Apicultural Research*, 57(3), 425-432.
- RATH, W. J. A. 1999. Co-adaptation of *Apis cerana* Fabr. and *Varroa jacobsoni* Oud. 30, 97-110.
- RATNIEKS, F. L. & CARRECK, N. L. 2010. Clarity on honey bee collapse? *Science*, 327, 152-153.
- READ, S., HOWLETT, B. G., DONOVAN, B. J., NELSON, W. R., & VAN TOOR, R. F. (2014). Culturing chelifers (Pseudoscorpions) that consume *Varroa* mites. *Journal of applied entomology*, 138(4), 260-266.
- REHM, S.-M. & RITTER, W. 1989. Sequence of the sexes in the offspring of *Varroa jacobsoni* and the resulting consequences for the calculation of the developmental period. *Apidologie*, 20, 339-343.
- REYES-QUINTANA, M., ESPINOSA-MONTAÑO, L. G., PRIETO-MERLOS, D., KOLEOGLU, G., PETUKHOVA, T., CORREA-BENÍTEZ, A. & GUZMAN-NOVOA, E. 2019. Impact of *Varroa destructor* and deformed wing virus on emergence, cellular immunity, wing integrity and survivorship of Africanized honey bees in Mexico. *Journal of invertebrate pathology*, 164, 43-48.
- RILEY, J. & TONGUDAI, M. The lithium content of sea water. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, 1964. Elsevier, 563-568.
- RONDEAU, S., GIOVENAZZO, P., & FOURNIER, V. (2018). Risk assessment and predation potential of *Stratiolaelaps scimitus* (Acari: Laelapidae) to control *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) in honey bees. *PloS one*, 13(12), e0208812.
- ROSENKRANZ, P., AUMEIER, P. & ZIEGELMANN, B. 2010. Biology and control of *Varroa destructor*. *Journal of invertebrate pathology*, 103, S96-S119.
- ROTHENBUHLER, W. C. 1964. Behavior genetics of nest cleaning in honey bees. IV. Responses of F 1 and backcross generations to disease-killed brood. *American Zoologist*, 4, 111-123.
- ROTHENBUHLER, W. C., KULINCEVIC, J. M. & KERR, W. E. 1968. Bee genetics. *Annual Review of Genetics*, 2, 413-438.

- RUTTNER, F. AND M. LINDAUER (1992). "Naturgeschichte der honigbienen." Ehrewirth Verlag, Munich.
- RUTTNER, F., MARX, H. & MARX, G. J. A. 1984. Beobachtungen über eine mögliche Anpassung von *Varroa jacobsoni* an *Apis mellifera* L. in Uruguay. 15, 43-62.
- RZYMSKI, P., NIEDZIELSKI, P., SIWULSKI, M., MLECZEK, M., BUDZYŃSKA, S., GAŚECKA, M. & PONIEDZIAŁEK, B. 2017. Lithium biofortification of medicinal mushrooms *Agrocybe cylindracea* and *Herichium erinaceus*. *Journal of food science and technology*, 54, 2387-2393.
- SAEIDNIA, S. & ABDOLLAHI, M. 2013. Concerns on the growing use of lithium: The pros and cons. *Iranian Red Crescent Medical Journal*, 15, 629.
- SAMMATARO, D. & AVITABILE, A. 1998. *The beekeeper's handbook*, Cornell University Press.
- SAPEK, B., & SAPEK, A. (1983). Lithium content in profiles of organic soils.
- SCHÄFER, U. 2012. Evaluation of beneficial and adverse effects on plants and animals following lithium deficiency and supplementation, and on humans following lithium treatment of mood disorders. *Trace Elements & Electrolytes*, 29.
- SCHNEIDER, S., EISENHARDT, D. & RADEMACHER, E. 2012. Sublethal effects of oxalic acid on *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae): changes in behaviour and longevity. *Apidologie*, 43, 218-225.
- SCHRAUZER, G. N. & SHRESTHA, K. P. 1990. Lithium in drinking water and the incidences of crimes, suicides, and arrests related to drug addictions. *Biological trace element research*, 25, 105-113.
- SCHRAUZER, G. N., SHRESTHA, K. P. & FLORES-ARCE, M. F. 1992. Lithium in scalp hair of adults, students, and violent criminals: Effects of supplementation and evidence for interactions of lithium with vitamin B 12 and with other trace elements. *Biological trace element research*, 34, 161-176.
- SCHRAUZER, G. N. 2002. Lithium: occurrence, dietary intakes, nutritional essentiality. *Journal of the American College of Nutrition*, 21, 14-21.
- SEMKIW, P., SKUBIDA, P. & POHORECKA, K. J. J. O. A. S. 2013. The amitraz strips efficacy in control of *Varroa destructor* after many years application of amitraz in apiaries. 57, 107-121.
- SEVIN, S., BOMMURAJ, V., CHEN, Y., AFIK, O., ZARCHIN, S., BAREL, S., ARSLAN, O. C., ERDEM, B., TUTUN, H. & SHIMSHONI, J. A. 2022. Lithium salts: assessment of their chronic and acute toxicities to honey bees and their anti-*Varroa* field efficacy. *Pest management science*, 78, 4507-4516.
- SINGH, N. K., ELIASH, N., KAMER, Y., ZAIDMAN, I., PLETTNER, E., & SOROKER, V. (2015). The effect of DEET on chemosensing of the honey bee and its parasite *Varroa destructor*. *Apidologie*, 46, 380-391.
- SKINNER, J., PARKMAN, J. & STUDER, M. 2001. Evaluation of honey bee miticides, including temporal and thermal effects on formic acid gel vapours, in the central south-eastern USA. *Journal of Apicultural Research*, 40, 81-89.
- SLESSOR, K. N., KAMINSKI, L. A., KING, G. G. S., BORDEN, J. H., & WINSTON, M. L. (1988). Semiochemical basis of the retinue response to queen honey bees. *Nature*, 332(6162), 354-356.
- SPIVAK, M. 1996. Honey bee hygienic behavior and defense against *Varroa jacobsoni*. *Apidologie*, 27, 245-260.
- STANIMIROVIC, Z., GLAVINIC, U., JOVANOVIĆ, N. M., RISTANIC, M., MILOJKOVIĆ-OPSENICA, D., MUTIC, J. & STEVANOVIĆ, J. 2022. Preliminary trials on effects of lithium salts on *Varroa destructor*, honey and wax matrices. *Journal of Apicultural Research*, 61, 375-391.
- STEINER, J. 1993. Distribution of *Varroa jacobsoni* within a drone-free honey bee colony (*Apis mellifera carnica*).

- STEINER, J., DITTMANN, F., ROSENKRANZ, P. & ENGELS, W. 1994. The first gonocycle of the parasitic mite (*Varroa jacobsoni*) in relation to preimaginal development of its host, the honey bee (*Apis mellifera carnica*). *Invertebrate reproduction & development*, 25, 175-183.
- STROBUSCH, A. D. & JEFFERSON, J. W. 1980. The checkered history of lithium in medicine. *Pharmacy in history*, 22, 72-76.
- SWAINE, J. 1956. The trace-element content of soil. LWW.
- SZKLARSKA, D. & RZYMSKI, P. 2019. Is Lithium a Micronutrient? From biological activity and epidemiological observation to food fortification. *Biological trace element research*, 189, 18-27.
- TANANAKI, C., GORAS, G., HUGGETT, N., KARAZAFIRIS, E., DIMOU, M. & THRASYVOULOU, A. 2014. Evaluation of the impact of Exomite Pro™ on *Varroa mite* (*Varroa destructor*) populations and honeybee (*Apis mellifera*) colonies: efficacy, side effects and residues. *Parasitology Research*, 113, 1251-1259.
- TARRANT, J. O. R. W. S. 2011. How many flowering plants are pollinated by animals. *Oikos*, 120, 321-326.
- THOMPSON, H. M., BROWN, M. A., BALL, R. F. & BEW, M. H. 2002. First report of *Varroa destructor* resistance to pyrethroids in the UK. *Apidologie*, 33, 357-366.
- TIHELKA, E. 2018. Effects of synthetic and organic acaricides on honey bee health: a review. *Slovenian Veterinary Research*, 55, 114-40.
- TOLGYESI, G. Die Verbreitung des Lithiums in ungarischen Böden und Pflanzen. Proceedings, 1983. 39-44.
- TRANIELLO, I. M., BUKHARI, S. A., KEVILL, J., AHMED, A. C., HAMILTON, A. R., NAEGER, N. L., SCHROEDER, D. C. & ROBINSON, G. E. 2020. Meta-analysis of honey bee neurogenomic response links Deformed wing virus type A to precocious behavioral maturation. *Scientific reports*, 10, 3101.
- TRAYNOR, K. S., MONDET, F., DE MIRANDA, J. R., TECHER, M., KOWALLIK, V., ODDIE, M. A., CHANTAWANNAKUL, P. & MCAFEE, A. 2020. *Varroa destructor*: A complex parasite, crippling honey bees worldwide. *Trends in parasitology*, 36, 592-606.
- TRAYNOR, K. S., RENNICH, K., FORSGREN, E., ROSE, R., PETTIS, J., KUNKEL, G., MADELLA, S., EVANS, J., LOPEZ, D. & VANENGELSDORP, D. 2016. Multiyear survey targeting disease incidence in US honey bees. *Apidologie*, 47, 325-347.
- TUTUN, H., KAHRAMAN, H. A., ALUC, Y., AVCI, T. & EKICI, H. Investigation of some metals in honey samples from West Mediterranean region of Turkey. Veterinary Research Forum, 2019. Faculty of Veterinary Medicine, Urmia University, Urmia, Iran, 181.
- TYLIANAKIS, J. M. 2013. The global plight of pollinators. *Science*, 339, 1532-1533.
- UNDERWOOD, R. M. & CURRIE, R. W. 2004. Indoor winter fumigation of *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) colonies infested with *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) with formic acid is a potential control alternative in northern climates. *Journal of economic entomology*, 97, 177-186.
- VAN ALPHEN, J. J. & FERNHOUT, B. J. 2020. Natural selection, selective breeding, and the evolution of resistance of honeybees (*Apis mellifera*) against *Varroa*. *Zoological letters*, 6, 1-20.
- VAN BUREN, N. W., MARIËN, J., VELTHUIS, H. H. & OUDEJANS, R. C. J. E. E. 1992. Residues in beeswax and honey of Perizin, an acaricide to combat the mite *Varroa jacobsoni* Oudemans (Acari: Mesostigmata). 21, 860-865.
- VAN CAUWENBERGH, R., HENDRIX, P., ROBBERECHT, H. & DEELSTRA, H. 1999. Daily dietary lithium intake in Belgium using duplicate portion sampling. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A*, 208, 153-155.
- VAN ENGELSDORP, D., UNDERWOOD, R. M. & COX-FOSTER, D. L. 2008. Short-term fumigation of honey bee (Hymenoptera: Apidae) colonies with formic and acetic acids for

- the control of *Varroa destructor* (Acari: Varroidae). *Journal of economic entomology*, 101, 256-264.
- VONPOSERN, H. 1988. STOPPING VARROA VICTORY MARCH. 2. *American Bee Journal*, 128, 425-428.
- WALLACE, A., ROMNEY, E., CHA, J. & CHAUDHRY, F. 1977. Lithium toxicity in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 8, 773-780.
- WANG, R., LIU, Z., DONG, K., ELZEN, P. J., PETTIS, J. & HUANG, Z. 2002. Association of novel mutations in a sodium channel gene with fluvalinate resistance in the mite, *Varroa destructor*. *Journal of Apicultural Research*, 41, 17-25.
- WATANABE, M. E. 1994. Pollination worries rise as honey bees decline. *Science*, 265, 1170-1170.
- WEBER, E. (2013). *Apis mellifera*: az európai mézelő méhek házasítása és elterjedése mezőgazdasági célokra Észak-Amerikában.
- WEINER, M. L. 1991. Overview of lithium toxicology. *Lithium in biology and medicine*.
- WEN, M. F., CHI, H., LIAN, Y. X., ZHENG, Y. H., FAN, Q. H., & YOU, M. S. (2019). Population characteristics of *Macrocheles glaber* (Acari: Macrochelidae) and *Stratiolaelaps scimitus* (Acari: Laelapidae) reared on a mushroom fly *Coboldia fuscipes* (Diptera: Scatopsidae). *Insect Science*, 26(2), 322-332.
- WESTCOTT, L. C. & WINSTON, M. L. 1999. Chemical acaricides in *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) colonies; do they cause nonlethal effects? *The Canadian Entomologist*, 131, 363-371.
- WILLIAMS, I. H., CORBET, S. A. & OSBORNE, J. L. 1991. Beekeeping, wild bees and pollination in the European Community. *Bee world*, 72, 170-180.
- WHITE, G. F. 1917. *Sacbrood*, US Department of Agriculture.
- WINSTON, M. L., DROPKIN, J. A. & TAYLOR, O. R. 1981. Demography and life history characteristics of two honey bee races (*Apis mellifera*). *Oecologia*, 407-413.
- WUANA, R., OKIEIMEN, F. & IMBORVUNGU, J. 2010. Removal of heavy metals from a contaminated soil using organic chelating acids. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 7, 485-496.
- ZALDÍVAR, R. 1980. High lithium concentrations in drinking water and plasma of exposed subjects. *Archives of toxicology*, 46, 319-320.
- ZIEGELMANN, B., ABELE, E., HANNUS, S., BEITZINGER, M., BERG, S. & ROSENKRANZ, P. 2018. Lithium chloride effectively kills the honey bee parasite *Varroa destructor* by a systemic mode of action. *Scientific reports*, 8, 683.
- ZIEGELMANN, B., LINDENMAYER, A., STEIDLE, J. & ROSENKRANZ, P. 2013. The mating behavior of *Varroa destructor* is triggered by a female sex pheromone: Part 1: Preference behavior of male mites in a laboratory bioassay. *Apidologie*, 44, 314-323.

2. MELLÉKLET - PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

Idegen nyelvű publikációk lektorált folyóiratban:

Kolics, É., Mátyás, K., Taller, J., Specziár, A., & Kolics, B. (2020). Contact effect contribution to the high efficiency of lithium chloride against the mite parasite of the honey bee. *Insects*, 11(6), 333. doi:10.3390/insects11060333. **Q1 IF: 2,7**

Kolics, É., Specziár, A., Taller, J., Mátyás, K. K., & Kolics, B. (2021). Lithium chloride outperformed oxalic acid sublimation in a preliminary experiment for Varroa mite control in pre-wintering honey bee colonies. *Acta Veterinaria Hungarica*, 68(4), 370-373. <https://doi.org/10.1556/004.2020.00060> **Q2 IF: 1,127**

Kolics, B., **Kolics, É.**, Mátyás, K., Taller, J., & Specziár, A. (2022). Comparison of alternative application methods for anti-Varroa lithium chloride treatments. *Insects*, 13(7), 633. <https://doi.org/10.3390/insects13070633> **Q1 IF: 3,127**

Konferencia kiadványban teljes terjedelemben megjelent:

Kolics, É., Mátyás K., Taller J., Specziár A., and Kolics B. 2023. A Lítium-Klorid Kontakt Hatásának Igazolása *in vitro* és *in situ* Varroa Atka Elleni Alkalmazása Esetén. In *XXIX. Ifjúsági Tudományos Fórum : Konferenciakötet*, 185–190.

EGYÉB, A DOKTORI TÁRGYKÖRÉBE NEM TARTOZÓ LEKTORÁLT FOLYÓIRATBAN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK:

Kolics, B., Mátyás K., Solti I., Bacsó Zs., Kovács S., Specziár A., Taller, J., **Kolics É.**, (2023) Efficacy of In Vitro Lithium Chloride Treatments on *Dermacentor Reticulatus*. *INSECTS* 14 (2). doi:10.3390/insects14020110. **Q1 IF: 2,872**

Szepesi, K., Heltai, B., **Kolics, É.**, Mátyás, K., Kálmán, N., Taller, J., Kolics, B. (2022). A DNA based method to determine the origin of honey produced by *Apis cerana*. *GEORGIKON FOR AGRICULTURE*, 26(2), 20-34.

Kolics, B., **Kolics É.**, Solti I., Bacsı Zs., Taller J., Specziár, A., Mátyás K. (2022) Lithium Chloride Shows Effectiveness against the Poultry Red Mite (*Dermanyssus gallinae*). *INSECTS* 13 (11). doi:10.3390/insects13111005. **Q1 IF: 3,127**

Solti, I., **Kolics É.**, Keszthelyi S., Bacsı Z., Staszny Á, Nagy E., Taller J., Mátyás, K., and Kolics B. (2022) Evaluation of Acaricidal Activity of Lithium Chloride against Tetranychus Urticae (Acari: Tetranychidae). *HORTICULTURAE* 8 (12). doi:10.3390/horticulturae8121127. **Q1 IF: 3,274**

Kolics, É., Sajtos Z., Mátyás K., Szepesi K., Solti I., Németh G., Taller J., Baranyai E., Specziár A., and Kolics B. (2021) Changes in Lithium Levels in Bees and Their Products Following Anti-Varroa Treatment. *INSECTS* 12 (7). doi:10.3390/insects12070579. **Q1 IF: 3,150**

Kolics, É., Parrag T., Házi F, Szepesi, K., Heltai B., Mátyás K., Kutasy B., et al. 2020) An Alternative, High Throughput Method to Identify Csd Alleles of the Honey Bee. *INSECTS* 11 (8). doi:10.3390/insects11080483. **Q1 IF: 2,7**

Kolics, B., Sajtos, Zsófi, Mátyás, K., **Kolics, Éva J.** Taller, and E. Baranyai. (2019) Lithium-Chloride in Apiculture - Hazard or Possibility? In *46th APIMONDIA International Apicultural Congress Abstract Book*, 285–285.

Heltai, B., Szepesi K., Frank, K., Fehér, P., Tokár A., Mihalik B., Bognár G., **Kolics-Horváth, É.**, Kolics B., Stéger V. 2018. “Development of Microsatellite Markers Related to the Hygienic Behaviour of Honey Bees.” In *Fiatal Biotechnológusok Országos Konferenciája “FIBOK 2018”*: *Abstract Book*, 68–68.

Heltai, B, K Szepesi, K Frank, R Bakonyi, A Tokár, P Fehér, G Nyerges, G Bognár, **Kolics-Horváth, É.**, Kolics B., Stéger V. (2018) Előzetes Eredmények a Varroa Szenzitív Higiénikus (VSH) Viselkedéssel Kapcsolt Markerek Fejlesztésében a Hazai Méhfajtn. In *XXIV. Ifjúsági Tudományos Fórum*, 1–6.

Balázs, Kolics, Tamás Zilay, Chobanov Dragan, **Éva Kolics-Horváth**, and Tamás Müller. (2010)
A Magyarországi Fauna Kipusztult Szöcskeóriása: A Tüskéslábú Pozsgóc (*Bradyporus dasypus*).
Összefoglaló a Faj Biológiájáról, a Tartásáról És Visszatelepítésének Lehetőségeiről. *ÁLLATTANI
KÖZLEMÉNYEK* 95 (1): 35–46.

11. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném kifejezni legőszintébb köszönetemet férjemnek és egyben kollégámnak, Dr. Kolics Balázsnak, témám nem hivatalos témavezetőjének, akinek nélkülözhetetlen segítségével ez a disszertáció nem jöhetett volna létre. Hálával tartozom a kísérletek összeállításában és megvalósításában nyújtott szakértelméért, elméleti és gyakorlati segítségéért. Széles látókörű gondolkodása mindig új perspektívákat nyitott a kutatásomban. Köszönöm, hogy megosztotta velem a méhek iránti elkötelezettségét és szeretetét, és hogy elindított a kutatói pályán. Külön köszönöm a disszertációm gondos átnézését és az értékes javító javaslatait.

Szeretném köszönetemet kifejezni kolléganőmnek, és egyben témavezetőmnek, Petrovicsné Dr. Mátyás Kingának a szakmai segítségét, támogatását, biztatását, a doktori disszertáció átnézését, jobbító javaslatait.

Szeretném kifejezni köszönetemet Dr. Specziár Andrásnak a doktori kutatásomhoz nyújtott nélkülözhetetlen statisztikai elemzésekért, melyek nagyban hozzájárultak munkám tudományos megalapozottságához.

Szeretném témavezetőmnek Dr. Kondorosy Elődnek megköszönni, hogy lehetővé tette számomra a doktori képzésre való jelentkezést.

Szeretném kifejezni köszönetemet Dr. Taller Jánosnak, hogy biztosította számomra GINOP pályázatból a labori és az elengedhetetlenül szükséges munkahelyi háttérrel a kutatások megvalósításához.

Külön köszönet illeti meg a méhészeket, Bognár Imrét, Kiss Ernőt, Kiss Andrást, Juráskovics Ferencet, Petrus Lajost, Papp Lászlót, Bengyák Vincét, Palacki Józsefet, Kovács Árpádot, Imre Lászlót, Balogh Lászlót, Horváth Istvánt, Fürst Jánost, Füstös Jánost, Máté Dávidot, Kővágó Károlyt.

Kiemelten köszönöm férjem szüleinek, Kolics Ferencnek és Kolics Ferencné Zsuzsannának a kísérletek megvalósításában nyújtott elengedhetetlen segítségét ami nélkülözhetetlen volt a kutatásom sikeréhez.

Végül, de nem utolsósorban őszinte hálámat fejezem ki családomnak, szüleimnek, gyermekeimnek: Csengének, Gergelynek és Nimródnek a bátorításért és támogatásért a doktori tanulmányaim során.