



MAGYAR AGRÁR- ÉS  
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**

**Jelentős levéltetűfajok elterjedését és kártételét befolyásoló tényezők alma-  
és kajsziültetvényekben**

DOI: 10.54598/004090

Borbély Csaba

Budapest

2023

**A doktori iskola**

**megnevezése:** Kertészettudományi Doktori Iskola

**tudományága:** növénytermesztési és kertészeti tudományok

**vezetője:** Zámboriné Dr. Németh Éva  
egyetemi tanár  
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet,  
Gyógy -és Aromanövények Tanszék

**Témavezető(k):** Dr. Markó Viktor  
egyetemi tanár  
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Növényvédelmi Intézet,  
Rovartani Tanszék

.....

Az iskolavezető jóváhagyása

.....

A témavezető jóváhagyása

## Tartalom

1. Bevezetés .....	1
2. Célkitűzések .....	3
3. Irodalmi áttekintés .....	4
3.1. A hazai gyümölcsstermesztés aktuális kihívásai .....	4
3.2. A levéltetvek rendszertani besorolása .....	6
3.3. A levéltetvek általános jellemzése és fejlődésmenete .....	7
3.4. A hazai gyümölcsstermő ültetvények leggyakoribb levéltetűfajai ...	8
3.5. Az általunk vizsgált levéltetűfajok bemutatása .....	10
3.5.1. A zöld almalevéltetű ( <i>Aphis pomi</i> ) .....	10
3.5.2. A zöld gyöngyvessző-levéltetű ( <i>Aphis spiraecola</i> ) .....	12
3.5.3. A zöld almalevéltetű és a zöld gyöngyvessző levéltetű együttes előfordulása .....	14
3.5.4. A kajszi levéltetű ( <i>Myzus mumecola</i> ) .....	17
3.6. Az almán élő zöld levéltetvek elleni környezetbarát növényvédelem lehetőségei.....	20
3.7. A hangya-levéltetű kapcsolat .....	22
3.7.1. A hangya-levéltetű kapcsolatok biológiai alapjai .....	22
3.7.2. A fajok közötti kommunikáció .....	26
3.7.3. A hangya-levéltetű kapcsolat megzavarásán alapuló védekezési eljárások eredményei .....	26
4. Anyagok és módszerek .....	29
4.1. A zöld gyöngyvessző levéltetű ( <i>Aphis spiraecola</i> ) európai elterjedtségének felmérése különböző tápnövényeken .....	29
4.1.1. Mintavételi helyszínek és vizsgált tápnövények .....	29
4.1.2. A mintavétel módja és a levéltetvek morfológiai úton történő faji meghatározása .....	29
4.1.3. A levéltetűegyedek molekuláris úton történő meghatározása ...	30

4.2. A zöld gyöngyvessző levéltetű ( <i>Aphis spiraeicola</i> ) áttelelési stratégiájának vizsgálata hazai körülmények között .....	31
4.3. A zöld levéltetű-együttes faji összetételének, abundanciájának és fitnessének felmérése európai almaültetvényekben .....	32
4.3.1. Mintavételi helyszínek .....	32
4.3.2. Zöld almalevéltetvek abundanciájának felmérése a vizsgált ültetvényekben .....	33
4.3.3. Zöld almalevéltetvek összetételének és fitnessének felmérése a vizsgált ültetvényekben .....	33
4.3.4. A levéltetűegyedek faji meghatározása és hátsó lábszár hosszának lemérése.....	34
4.3.5. Az ültetvények klímazónájának meghatározása .....	34
4.3.6. Az adatok statisztikai értékelése .....	35
4.3.6.1. A két faj európai eloszlása .....	35
4.3.6.2. A két faj előfordulási valószínűsége és abundanciája .....	35
4.3.6.3. A két faj fitnessze .....	36
4.4. Két, a hangya-levéltetű kapcsolat zavarásán alapuló módszer hatékonyságának tesztelése az almán élő zöld levéltetű-együttes szabályozására .....	37
4.4.1. A vizsgálat helyszíne .....	37
4.4.2. A zöld levéltetvek faji összetételének felmérése a vizsgálati ültetvényben .....	37
4.4.3. Vizsgálati beállítás, kezelések .....	37
4.4.4. Adatgyűjtés .....	39
4.4.5. Az adatok statisztikai értékelése .....	40
4.5. A kajszelevéltetű ( <i>Myzus mumecola</i> ) hazai megjelenésének detektálása, életmódjának és kártételének vizsgálata .....	41
4.5.1. A <i>Myzus mumecola</i> hazai megjelenése és elterjedtsége ...	41
4.5.1.1. A mintavétel helyszínei és módja .....	41

4.5.1.2. A levéltetűegyedek morfológiai és molekuláris úton történő meghatározása .....	41
4.5.2. Kártétel és fejlődésmenet .....	42
4.5.3. Az egyes kajszifajták fontosságának összehasonlítása ...	42
4.5.4. A szilvahimlő (PPV) vírusának kimutatása a kártevő testéből...	43
4.6. Munkafelosztás .....	44
5. Eredmények .....	46
5.1. A zöld gyöngyvessző levéltetű ( <i>Aphis spiraecola</i> ) európai elterjedtségének felmérése különböző tápnövényeken .....	46
5.1.1. Az <i>Aphis spiraecola</i> első kimutatása egyes európai országokból .....	46
5.1.2. A molekuláris vizsgálatok eredményei .....	47
5.2. A zöld gyöngyvessző levéltetű ( <i>Aphis spiraecola</i> ) áttelelési stratégiájának vizsgálata hazai körülmények között .....	49
5.3. A zöld levéltetű-együttes faji összetételének, abundenciájának és fitneszének felmérése európai almaültetvényekben .....	49
5.3.1. A két faj európai eloszlása .....	49
5.3.2. A két faj előfordulási valószínűsége és abundanciája .....	53
5.3.3. A két faj fitnesze .....	60
5.4. Két, a hangya-levéltetű kapcsolat zavarásán alapuló módszer hatékonyságának tesztelése az almán élő zöld levéltetű-együttes szabályozására .....	63
5.4.1. A zöld levéltetű-együttes faji összetétele a vizsgálati területen és időszakban .....	63
5.4.2. A különböző etetés módok hatása a <i>Lasius niger</i> hangyák viselkedésére .....	64
5.4.3. A különböző etetés módok hatása a zöld levéltetvek egyedszámára .....	65
5.4.4. A vizsgálati ültetvény afidofág ragadozó fajai .....	66
5.5. A kajszilevéltetű ( <i>Myzus mumecola</i> ) hazai megjelenésének detektálása,	

életmódjának és kártételének vizsgálata .....	67
5.5.1. A <i>Myzus mumecola</i> hazai elterjedtsége .....	67
5.5.2. A <i>Myzus mumecola</i> azonosítása molekuláris úton .....	68
5.5.3. A <i>Myzus mumecola</i> életmódja és kártétele .....	69
5.5.4. Az egyes kajszi fajták fogékonyságának összehasonlítása ...	70
5.5.5. A szilvahimlő (PPV) vírusának kimutatása a kártevő testéből...	71
6. Következtetések és javaslatok .....	72
6.1. A zöld gyöngyvessző levéltetű ( <i>Aphis spiraecola</i> ) európai elterjedtségének felmérése különböző tápnövényeken .....	72
6.2. A zöld gyöngyvessző levéltetű ( <i>Aphis spiraecola</i> ) áttelelési stratégiájának vizsgálata hazai körülmények között .....	72
6.3. A zöld levéltetű-együttes faji összetételének, abundenciájának és fitneszének felmérése európai almaültetvényekben .....	74
6.3.1. Az <i>Aphis spiraecola</i> és az <i>Aphis pomi</i> relatív aránya és dominanciája az európai almaültetvényekben .....	74
6.3.2. A különböző ökológiai faktorok hatása az <i>Aphis pomi</i> és az <i>Aphis spiraecola</i> előfordulási valószínűségére, abundanciájára, arányára és fitneszére .....	76
6.4. Két, a hangya-levéltetű kapcsolat zavarásán alapuló módszer hatékonyságának tesztelése az almán élő zöld levéltetű-együttes szabályozására .....	80
6.5. A kajszi levéltetű ( <i>Myzus mumecola</i> ) hazai megjelenésének detektálása, életmódjának és kártételének vizsgálata .....	84
7. Új tudományos eredmények .....	87
8. Összefoglalás .....	88
9. Summary .....	92
10. Publikációs lista .....	96
11. Köszönetnyilvánítás .....	98
12. Mellékletek .....	100
13. Fogalomtár .....	130

„Azzal nem tünteted el a levéltetűt a rózsáról, ha úgy teszel, mintha nem volna ott. Azzal sem, ha más rózsát vásárolsz. Azt kell megvédened, amid van. El kell pusztítanod a levéltetűt. Csak ott a baj, hogy nem mindenki szeret kertészkedni.”

Peter Marshall

„A gének hajlamosítanak, a környezet kibontakoztat.”

Philip George Zimbardo

„A levéltetű a hangyák tehene”

Carl von Linné

## 1. Bevezetés

A növénytermesztési és növényorvosi körökben általánosan ismert tény, hogy a növényvédelmi szakma nem egy állandó, „statikus” ismeretanyag: a globalizáció és a nemzetközi kereskedelem következtében folyamatosan érkeznek az új károsítók, a régiek maradnak, míg a termesztéstechnológia és a fajtaszortiment változásával az egyes kultúrák károsító-együttese is változik, továbbá az egyes fajok biológiáját és ökológiai kapcsolatait is egyre jobban megértjük. Ugyanakkor az európai uniós szabályozásban is megjelenő környezetvédelmi megfontolások következtében a felhasználható növényvédőszerhatóanyagok köre egyre szűkül, a teljes hatóanyagcsoportok kivonása gyakran a növényvédelmi gyakorlat egészének újratervezését teszi szükségessé. A változásokhoz való folyamatos alkalmazkodás elképzelhetetlen a károsítók biológiájának és az őket befolyásoló ökológiai tényezők behatóbb ismerete nélkül. Minél jobban ismerjük a szabályozandó szervezetet, annál könnyebben tudjuk az ellene való hatékony és környezetkímélő növényvédelem módszereit tökéletesíteni, ezáltal növelve a termesztési profitot, és egyúttal csökkenteni a környezetet terhelő ökológiai lábnyomot.

A levéltetvek, bár az ízeltlábú fajok csak egy kis hányadát teszik ki, a mérsékelt égövben termesztett kultúrák gyakori és nagyon jelentős kártevői lehetnek. A szívogatásuk hatására megjelenő közvetlen kártétel mellett nem szabad elfeledkeznünk közvetett kártételükről sem: szipókájukban található szűrősertéjükön növényi vírusokat terjeszthetnek további, korábban egészséges növényekre. Bonyolult fejlődésmenetük, biológiai sajátosságaik és kiterjedt ökológiai kapcsolatrendszerük nem csupán a gyakorlati növényvédelmi kutatások, hanem a biológiai alaptudományok számára is érdekes és izgalmas csoporttá teszi őket.

Az újonnan behurcolt kártevők elterjedésének folyamatos monitorozása, illetve az új környezetbe való beilleszkedésük, esetlegesen megváltozó életmódjuk megismerésével könnyebben felkészülhetünk a jövő növényvédelmi kihívásaira, továbbá a levéltetvek – mint viszonylag kevésbé kutatott rovarcsoport – eddig kevésbé ismert biológiai jellemzőit, például kompetíciós képességüket, és a környezeti körülményekhez való alkalmazkodás során lezajló „gyors evolúciójukat” is jobban megismerhetjük.

Jelen értekezés két jelentős magyarországi gyümölcsfajon, almán és kajszin élő három levéltetűfaj biológiájával, a fejlődésüket és elterjedésüket befolyásoló ökológiai tényezőkkel, és ökológiai kapcsolataikkal foglalkozik. Két behurcolt, Európában inváziós fajként terjedő levéltetűfaj példáján láthatjuk, hogy egy faj új ökológiai környezetbe kerülve hogyan terjed el egy kontinensen, mely ökológiai tényezők segítik vagy korlátozzák terjedését, illetve milyen



kapcsolatba lép az adott területen korábban is jelen lévő őshonos vagy más behurcolt fajokkal. A vizsgálataink másik része egy környezetbarát növényvédelmi módszer, a hangya-levéltetű kapcsolat cukoretetéssel történő megzavarásának a levéltetvek szabályozásában betöltött szerepét, hatékonyságát vizsgálja. Eredményeink hozzájárulhatnak a vizsgált fajok életmódjának és kártételének jobb megértéséhez, és segíthetik a levéltetvek elleni hatékony, mégis környezetbarát növényvédelmi módszerek fejlesztését és elterjedését.

## 2. Célkitűzések

Vizsgálataink során a következő kérdésköröket vizsgáltuk:

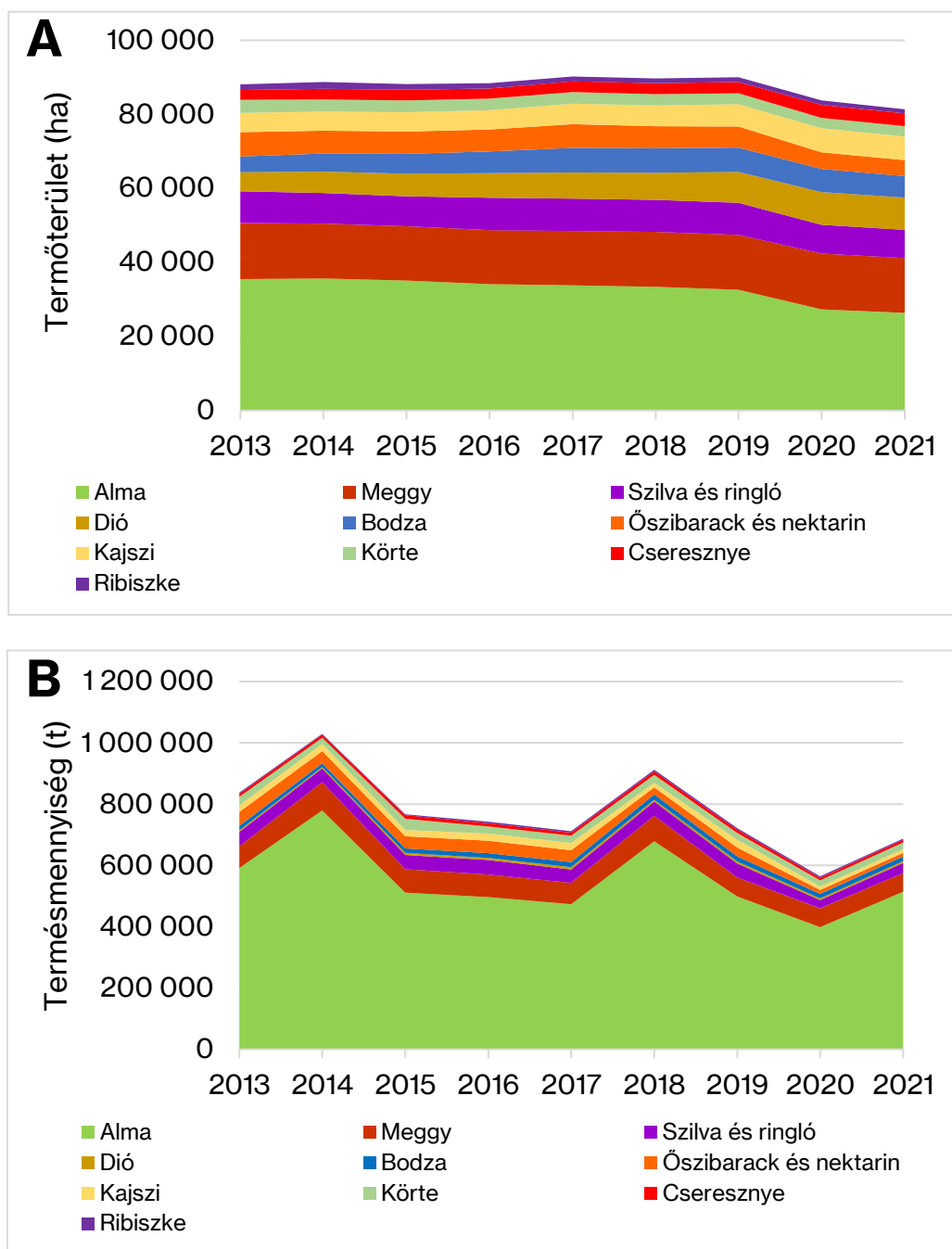
- A zöld gyöngyvessző levéltetű (*Aphis spiraecola* Patch) európai elterjedtségének faunisztikai felmérése különböző tápnövényeken,
- A zöld gyöngyvessző levéltetű (*A. spiraecola*) áttelelési stratégiájának felderítése hazai körülmények között,
- Zöld levéltetű-együttesek (*Aphis pomi* De Geer és *A. spiraecola*) faji összetételét, abundanciáját és fitneszét meghatározó klimatikus, ökológiai és termesztési tényezők szerepének tisztázása almaültetvényekben, Európában,
- Két környezetbarát, a hangya-levéltetű kapcsolat megzavarásán alapuló módszer (palackos önitató és cukoroldatos agarzselé kocka) hatékonyságának tesztelése az almán élő zöld levéltetű-együttes (*A. pomi* és *A. spiraecola*) szabályozására ökológiai almaültetvényben,
- A kajszi levéltetű (*Myzus mumecola* Matsumura) hazai megjelenésének detektálása, életmódjának és az egyes kajszi fajták kártevővel szembeni érzékenységének felmérése, a szilvahimlő (*Plum Poy Virus*, PPV) kórokozójának kimutatása a kártevő testéből.

### 3. Irodalmi áttekintés

#### 3.1. A hazai gyümölcsstermesztés aktuális kihívásai

Magyarország az Északi-szélesség  $45,7^\circ$  és  $48,6^\circ$  közötti területén fekszik, a Köppen-féle éghajlatbesorolás szerint a C (nedves kontinentális) és D (száraz kontinentális) övezet, míg a Trewartha-féle éghajlatbesorolás szerint a D1 (kontinentális éghajlat hosszabb nyárral) és a D2 (kontinentális éghajlat rövidebb nyárral) éghajlatövek határán helyezkedik el, ezáltal területén sokféle gyümölcsfaj gazdaságos termesztése lehetséges (Anda et al. 2010).

A hazánk területén 2021-ben a legnagyobb felületen termelt tíz gyümölcsfaj termőterületének (1. ábra A) és termés mennyiségének (1. ábra B) 2013 és 2021 közötti alakulását (KSH, 2023 alapján) figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy a rendszerváltást követő gyors termőterület-csökkenést, aminek elsődleges oka a korszerűtlen ültetvények felszámolása, illetve a spontán privatizáció, majd ezt követően a termőföld és a termelési eszközök tulajdoni helyzetének újraszabályozása voltak, stagnálás váltotta fel (enyhén csökkenő tendenciát mutat például az alma, a szilva, a körte és a ribiszke, ugyanakkor enyhén növekszik a dió, a bodza, a kajszi és a cseresznye termőterülete), ugyanakkor a betakarított termés mennyisége az egyes évek között továbbra is nagymértékben ingadozik.



**1. ábra:** A Magyarországon 2021-ben a 10 legnagyobb felületen termesztett gyümölcsfaj (A) termőterületének (hektár) és (B) termésmennyiségének (tonna) alakulása a 2013 és 2021 közötti időszakban (a KSH 2023-as adatai alapján)

Ennek okai elsősorban a Magyarországra jellemző időjárási szélsőségek (Gonda, 2018), illetve a korszerűtlen, nem megfelelően ápolt ültetvények nagy aránya és a növényvédelem hiányosságai. A helyzetet tovább súlyosbítja a termelőüzemek rossz szerkezeti struktúrája, a nehézkes generációváltás, és az európai uniós piacon jelentkező erős kelet-európai konkurencia is (a hazánkban legnagyobb felületen termesztett alma példáján lásd Apáti, 2018 a és b).

A hazai gyümölcsstermesztés gazdaságos fenntarthatósága a jövőben elképzelhetetlen a további intenzifikáció, a korszerű ültetvények és ezáltal a friss fogyasztásra szánt termék arányának jelentős növelése nélkül (lásd szintén az alma példáján: Apáti 2020). A friss piacra szánt, kiváló minőségű termék előállításának egyik megkerülhetetlen eleme a megfelelő hatékonyságú, ugyanakkor fenntartható növényvédelem megszervezése a kulcskártevők, köztük a levéltetvek károsításának elhárítására.

### 3.2. A levéltetvek rendszertani besorolása

Jelen értekezés három levéltetűfaj (*Aphis pomi*, *A. spiraecola*, *Myzus mumecola*) ökológiai kapcsolataival foglalkozik. Mindkét vizsgált genusz az Aphididae család (Valódi levéltetvek családja) Aphidinae alcsaládjába tartozik (Fauna Europaea, 2023). Az Aphididae család rendszertani besorolása Blackman és Eastop (2010) és a Fauna Europaea (2023) szerint:

Domén: Eukaryota (Eukarióták)

Ország: Metazoa (Állatok)

Törzs: Arthropoda (Ízeltlábúak)

Altörzs: Hexapoda (Hatlábúak)

Osztály: Insecta (Rovarok)

Alosztály: Pterygota (Szárnyas rovarok)

Alosztályág: Neoptera (Újszárnyúak)

Rend: Hemiptera (Szípkások)

Alrend: Sternorrhyncha (Növényi tetvek)

Öregcsalád: Aphidoidea (Levéltetvek)

Család: Aphididae (Valódi levéltetvek)

A Fauna Europaea (2023) adatbázis adatai szerint a korábbi Eriosomatidae (Vértetvek) és Pemphigidae (Gubacstetvek) családok beleolvadtak az Aphididae családba, ahol az Eriosomatinae alcsalád Eriosomatini és Pemphigini tribuszát alkotják.

Az Aphididae család Aphidinae alcsaládján belül az általunk vizsgált két genusz két külön tribuszba: az *Aphis* genusz az Aphidiniibe, míg a *Myzus* genusz a Macrosiphiniibe tartozik (Fauna Europaea, 2023).

### 3.3. A levéltetvek általános jellemzése és fejlődésmenete

A Hemiptera rend tagjainak közös jellemzője jellegzetes szűrő-szívó szájszervük, a szipóka vagy rostrum, innen kapták magyar nevüket is (szipókások), mellyel aktív vagy passzív úton nagy mennyiségű, szénhidrátban gazdag tápanyagot vesznek magukhoz (Szalay-Marzsó, 1969; Dixon, 1997; Basky 2005). A levéltetvek elkülönítő morfológiai bélyegei az utolsó anális lemez módosulataként kialakult farkocská (kauda), ami a levéltetű által kibocsátott mézharmatcsepp eltávolításában játszik fontos szerepet, továbbá a páros potrohcső (a siphunculusok), melyek szerepe még nem teljesen tisztázott, a levéltetvek kémiai kommunikációjában (az ún. alarm, azaz riasztó feromonként is funkcionáló E-béta farnezén kibocsátása), illetve támadás esetén a ragadozó szájszervének összeragadását okozó váladék kiválasztásában is fontos szerepet játszik (Dixon, 1997; Blackman és Eastop, 2010).

A levéltetvek szaporodásbiológiája rendkívül sajátos: a nőstények szűznemzéssel (partenogenezis), egyivaros úton is képesek utódok létrehozására (Leather és Wellings, 1981), amik áleleveníés (ovovivipária) útján jönnek a világra. A frissen kelt első stádiumú nimfa petefészkeiben már differenciálódnak a következő nemzedék gamétái (úgynevezett – teleszkópos generáció jelensége), ami rendkívüli módon meggyorsítja a levéltetvek nemzedékváltását (Kindlmann és Dixon, 1989), ugyanakkor a környezeti hatásokra csak az unoka-nemzedék tud adekvált választ (például szárnykezdeményes, úgynevezett – migráns alakok képzése) adni (Dixon, 1997). Ivaros alakok és megtermékenyítés a mérsékelt égövi, teljes fejlődésmenetű (holociklikus) fajoknál évente csak egy alkalommal, ősszel következik be, míg a trópusi-szubtrópusi, hiányos fejlődésmenetű (anholociklikus) fajoknál az egyivarú, csak nőstényekből álló nemzedékek sora több évig is megszakítás nélkül folytatódhat (Szalay-Marzsó, 1969; Dixon, 1997; Basky, 2005; Blackman és Eastop, 2010).

A mérsékelt égövi fajok tojás alakban telelnek fásszárú téli tápnövényeken (Blackman és Eastop, 2010). A tavasszal kelő őszanya és egyivarú lánynemzedékei a téli tápnövényen szaporodnak fel, majd a migráns alakok váltanak tápnövényt a nyár folyamán, általában valamilyen ekkor intenzíven növekvő lágyszárú fajra. A téli tápnövényre ősszel az ivaros alakok (a szárnyatlan ivaros nőstényt szülő szárnyas nőstény, illetve a szárnyas hím) települnek vissza. Trópusi fajoknál ez a ciklikusság nem figyelhető meg (Szalay-Marzsó, 1969; Dixon, 1997; Basky, 2005; Blackman és Eastop, 2010).

A levéltetvek táplálkozására jellemző, hogy a növényekből nagy szénhidrát- és víztartalmú, de alacsony aminosav-tartalmú nedveket vesznek fel. Ennek következtében aminosav-igényeiket csak úgy tudják kielégíteni, ha nagymennyiségű táplálékot vesznek

magukhoz, amiből az aminosavakat kivonják, míg a feleslegben bevitt szénhidrát (főleg mono- és diszacharid) komponenseket bekoncentrálva, mézharmat formájában kiürítik (Szalay-Marzsó, 1969; Dixon, 1995; Basky, 2005; Blackman és Eastop, 2010). Ez a magas szénhidráttartalmú folyadék adja a hangya-levéltetű kapcsolat alapját (bővebben lásd a **3.7.** fejezetben).

### **3.4. A hazai gyümölcstermő ültetvények leggyakoribb levéltetűfajai**

A KSH 2023-as adatai alapján Magyarországon legnagyobb területen termesztett tíz gyümölcsfajon táplálkozó gyakoribb levéltetűfajokat Basky (2005) és Blackman és Eastop (2010) monográfiái alapján az 1. táblázatban ismertetjük. Félkövér kiemeléssel jeleztük a gyakorlati növényvédelem szempontjából is jelentős, komolyabb gazdasági kárt okozó levéltetűfajokat.

**1. táblázat:** A hazai gyümölcstetvények leggyakoribb levéltetűfajai (félkövér kiemelés: gazdaságilag jelentős fajok)

Alma (termőterület: 30974 ha)	
<i>Aphis pomi</i> De Geer	<b>zöld almalevéltetű</b>
<i>Aphis spiraeicola</i> Patch	<b>zöld gyöngyvessző levéltetű</b>
<i>Dysaphis devectora</i> fajkomplex	közönséges levélpirosító almalevéltetű
<i>Dysaphis plantaginea</i> Passerini	<b>szürke almalevéltetű</b>
<i>Rhopalosiphum insertum</i> Walker	fűreváltó zöld almalevéltetű
Meggy (termőterület: 13320 ha)	
<i>Myzus cerasi cerasi</i> Fabricius	<b>fekete meggylevéltetű</b>
Szilva és ringló (termőterület: 7955 ha)	
<i>Brachycaudus cardui</i> L.	<b>zöld bogáncslevéltetű</b>
<i>Brachycaudus helichrysi</i> Kaltenbach	<b>sárga szilvalevéltetű</b>
<i>Hyalopterus pruni</i> Geoffroy	<b>hamvas szilvalevéltetű</b>
<i>Phorodon humuli</i> Schrank	komlólevéltetű
<i>Rhopalosiphum nymphaeae</i> L.	tündérrózsa levéltetű
Dió (termőterület: 5998 ha)	
<i>Callaphis juglandis</i> Goetze	tarka diólevéltetű
<i>Chromaphis juglandicola</i> Kaltenbach	sárga diólevéltetű
Bodza (termőterület: 5296 ha)	
<i>Aphis sambuci</i> L.	<b>bodzalevéltetű</b>
<i>Myzus persicae</i> Sulzer	zöld őszibarack levéltetű
Őszibarack és nektarin (termőterület: 5055 ha)	
<i>Brachycaudus schwartzi</i> Börner	<b>fekete őszibarack levéltetű</b>
<i>Hyalopterus persikonus</i> Miller et al.	<b>hamvas őszibarack levéltetű</b>
<i>Myzus persicae</i> Sulzer	zöld őszibarack levéltetű
<i>Myzus varians</i> Davidson	őszibarack-iszalag levéltetű
Kajszi (termőterület: 4991 ha)	
<i>Hyalopterus persikonus</i>	hamvas őszibarack levéltetű
<i>Myzus persicae</i>	zöld őszibarack levéltetű
<i>Phorodon humuli</i> Schrank	komlólevéltetű
<i>Rhopalosiphum nymphaeae</i>	tündérrózsa levéltetű

Folytatás a következő oldalon!



Körte (termőterület: 2805 ha)	
<i>Anuraphis farfarae</i> Koch	körte-martilapu levéltetű
<i>Aphis pomi</i>	zöld almalevéltetű
<i>Aphis spiraeicola</i>	zöld gyöngyvessző levéltetű
<i>Dysaphis reamuri</i> Mordvilko	zöld körtelevéltetű
<b><i>Dysaphis pyri</i> Boyer de Fonscolombe</b>	<b>hamvas körtelevéltetű</b>
<i>Melanaphis pyraria</i> Passerini	barna körtelevéltetű
<i>Rhopalosiphum insertum</i>	fűreváltó zöld almalevéltetű
Cseresznye (termőterület: 2610 ha)	
<b><i>Myzus cerasi pruniavium</i> Fabricius</b>	<b>fekete cseresznyelevéltetű</b>
Ribiszke (termőterület: 1228 ha)	
<b><i>Aphis schneideri</i> Börner</b>	<b>kis ribiszke-levéltetű</b>
<i>Cryptomyzus ribis</i> L.	levélpirosító ribiszke-levéltetű
<i>Hyperomyzus lactucae</i> L.	fekete ribiszke-levéltetű
<i>Nasonovia ribisnigri</i> Mosley	barnafoltos salátalevéltetű

### 3.5. Az általunk vizsgált levéltetűfajok bemutatása

#### 3.5.1. A zöld almalevéltetű (*Aphis pomi*)

A zöld almalevéltetű (*Aphis pomi* De Geer, 1776) egygazdás (monoecikus) és teljes fejlődésmenetű (holociklikus) levéltetűfaj, mely teljes életsiklusát fás szárú, almatermésű gazdanövényeken tölti (Baker és Turner, 1916; Blackman és Eastop, 2010; Rakauskas et al. 2015). Oligofág fajnak tekinthető, legismertebb tápnövénye, az alma (*Malus domestica* Borkh) mellett kimutatták körtéről, birsalmáról, és számos más fás szárú, a rózsafélék családjának Maloideae alcsaládjába tartozó nemzetségről, úgymint *Chaenomeles*, *Cotoneaster*, *Crataegus*, *Mespilus* és *Sorbus* (Blackman és Eastop, 2010), továbbá Kaygin és munkatársai (2009) Törökországban *Campis radicans* is megfigyelték.

A faj palearktikus eredetű, valamint behurcolták Észak-Amerikába és Kelet-Ázsiába is, mára elterjedt a Holoarktikus régióban (Baker és Turner, 1916; Takahashi, 1966; Blackman és Eastop, 2010).

Kisméretű levéltetű: a szárnyatlan ösanya testhossza 1,24 és 2,46 mm között változik, teste világos vagy sárgászöld színű, jellemző a hosszú, fekete siphunculus (2. ábra). A potroh oldalán négy sötét folt található (Baker és Turner, 1916; Halbert és Voegtlin, 1992).



**2. ábra:** Zöld almalevéltetű (*Aphis pomi*) (Fotó: Borbély Csaba)

A szárnyatlan ősanyák kelése tavasszal, a hajtásfakadáskor indul, majd később ezek álelevenszüléssel hozzák létre a további szárnyas és szárnyatlan leánynemzedékeket (Baker és Turner, 1916). Egy szárnyatlan nőstény élete során átlagosan 25,4–55,4 utódot hoz világra. Évente 8–17 nemzedéke is kifejlődhet, a szárnyas alakok nem váltanak tápnövényfajt, kizárólag almára, vagy a rózsafélék családjába tartozó egyéb fás szárú növényfajokra migrálnak (Baker és Turner, 1916; Rakauskas és Rupaibreve, 1983). Csak egy ivaros nemzedék fejlődik szeptemberben, az általuk nagy klaszterekben lerakott tojások telnek át (Baker és Turner, 1916; Westigard és Madsen, 1964, Specht, 1970). Négy lárvastádiuma fejlődik, ezek közül a leghosszabb időtartamú a negyedik. Arbab és munkatársainak (2006) eredményei szerint minden fejlődési fázis hőoptimuma 28 °C, 34 °C-on már jelentős mortalitás, míg 35,6 °C felett teljes kolóniapusztulás következik be. Alsó fejlődési küszöbhőmérséklete 3,9 °C, teljes kifejlődéséhez 126,58 nap °C hőösszeg szükséges (Arbab et al. 2006). Átlagos generációs ideje almán 25 °C-on 9,13 napnak adódott (Madahi és Sahragard, 2012), átlagos fekunditása Fericean és Corneau (2016) eredményei szerint 19–79 nimfa/nőstény.

A zöld almalevéltetű abundanciája általában júniusban és júliusban a legnagyobb, főként az intenzíven növekvő hajtáscsúcsokon károsít (Oatman és Legner, 1961; Woolhouse és Harmsen, 1991). Táplálékát a növényi szövetekből felszívva szerzi (Dixon, 1997), tipikusan a levelek fonáki oldalán táplálkozik (Arbab et al. 2006). Szívogatása következtében levélsodródás és deformáció, ennek következtében a hajtáscsúcs növekedési intenzitásának visszaesése következik be. Ezen felül a faj által kibocsátott mézharmaton megtelepedő korompenész okozhat másodlagos károsítást. Erős fertőzés esetén hajtáspusztulást és gyümölcsdeformitást is bekövetkezhethet (Oatman és Legner, 1961; Arbab et al. 2006). A tápanyagelszívás következtében csökken a növények szárazanyag-felhalmozása, és a levelek

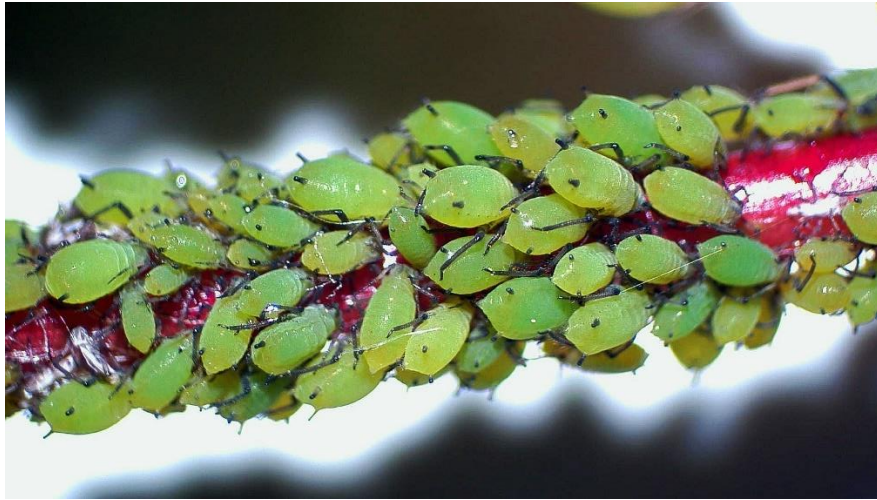
zöld színanyag tartalma is (Kaakeh et al. 1992, 1993). A faj kártételi küszöbét Madsen és munkatársai (1975) az 50%-os hajtásfertőzöttségben határozták meg, ez Hamilton és munkatársainak (1986) eredményei szerint 15,7 levéltetű/hajtás átlagos fertőzöttséget jelentett New Jearsey-ben. Ezzel szemben Barbagallo és munkatársai (2007) a beavatkozási küszöbként a tavaszi időszakban mért 8–10%-os hajtásfertőzöttséget állapították meg.

### 3.5.2. A zöld gyöngyvessző-levéltetű (*Aphis spiraecola*)

A zöld gyöngyvessző levéltetű (*Aphis spiraecola* Patch, 1914) tápnövényváltó (heteroecikus) levéltetűfaj, elsődleges tápnövényei a mérsékelt égövben a gyöngyvessző (*Spiraea*) illetve a szubtrópusi övezetben a citrus (*Citrus*) nemzetségbe tartoznak, míg nyári másodlagos tápnövényei széles skálán mozognak, több mint 20 növény családot képviselnek, leggyakrabban a Caprifoliaceae, Rosaceae, Rubiaceae, Rutaceae és Asteraceae családokból kerülnek ki (Marroquín et al. 2004; Kaygin et al. 2009; Blackman és Eastop, 2010; Das és Agarwala, 2011; Moura et al. 2022; CABI, 2023). Az alma az *A. spiraecolának* jellemzően csak nyári tápnövénye, de egyes földrajzi régiókban az almán, mint elsődleges tápnövényen is megfigyelték áttelelő tojásait (Miller et al. 1928; Komazaki, 1982, 1983; Pfeiffer et al. 1989). Gazdaságilag legjelentősebb tápnövényei az alma és a citrusfélék (Miller, 1928; Blackman és Eastop, 2010, CABI, 2023).

Az északi mérsékelt övben holociklikus, míg a szubtrópusi övezetben anholociklikus fejlődésű levéltetűfaj eredete nem bizonyított, valószínűleg a Távols-Keletről származik, szubtrópusi klímaövezetből (Blackman és Eastop, 2010, Blackman és Eastop *in van Emden és Harrington* 2017). Globálisan elterjedt faj, mára Ázsiában, Észak- és Dél-Amerikában, Ausztráliában, Új-Zélandon, és Európában is megtalálható (Collyer és Van Geldermalsen, 1975; Jeon et al. 2000; Blackman és Eastop *in van Emden és Harrington* 2017; CABI, 2023). Európában elsősorban a déli területeken fordul elő (Lykouressis, 1990; Rasheva és Andreev, 2007, Andreev et al. 2007, 2013), de mára elérte Németországot, Fehéroroszországot, Ukrajnát és a Balti térséget is (Thieme, 2002; Rakauskas et al. 2015; CABI, 2023). Az *A. spiraecola* terjeszkedése a kontinensen szintén délről észak felé történt: a déli államokból (Görögország, Horvátország, Olaszország, Spanyolország) már az 1960-as évek végén jelezték megjelenését, míg az északi területeken (Balti államok, Egyesült Királyság, Lengyelország) a 2010-es években jelezték elsőként előfordulását (Petrović-Obradović et al. 2009; CABI, 2023). A faj folyamatos jelenlétét az Egyesült Királyság területéről eddig nem bizonyították, eseti jelleggel *Cotoneaster* és *Viburnum* fajokról mutatták ki (Furk, 1979; Martin, 1996). Magyarországról 2004-ben jelezték először előfordulását (Mezei és Kerekes, 2006).

Kisméretű levéltetűfaj (az *A. pominál* átlagosan kisebb), a szárnyatlan nőtény testhossza 1,2 és 2,2 mm között változik. Testszíne sárgászöld- zöldessárga, feje barnás, páros potrohcsövei és farkocskája feketék (3. ábra) (Miller, 1928; Blackman és Eastop, 2010).



**3. ábra:** Zöld gyöngyvessző levéltetű (*Aphis spiraecola*) kolóniája Spiraea sp. téli tápnövényen  
(Fotó: Borbély Csaba)

A tavasszal kelő ősanyák 40–80 eleven utódot hoznak a világra, gyakran már az első leánynemzedék tagjai is szárnyasak, és elkezdenek migrálni a nyári tápnövényekre (Miller, 1928; Mezei és Kerekes, 2006). Ivaros nemzedék csak a mérsékelt égövben, az *A. pom*hoz hasonlóan ősszel figyelhető meg az elsődleges tápnövényeken (Komazaki, 1983), holociklikus fejlődés esetén a tojások telelnek át (Komazaki, 1990; Komazaki, 1998). A tojások tavaszi kikelését az előzetes hidegthatás elősegíti: Komazaki (1998) vizsgálatai szerint a tojáskelés 14,0 °C-os hőmérsékleten előzetes hidegkezelés nélkül átlagosan 40,6 napig tartott, míg 50 napos 4,2 °C-on történt hidegkezelés követően csak 4,9 napig. Elsődleges tápnövényük és a tojások kelése alapján Komazaki (1990, 1998) a fajt két külön biotípusra osztotta. Vizsgálatai szerint a gyöngyvesszőn fejlődő biotípus átlagosan nagyjából egy hónappal korábban kezdi meg a tojáskelést tavasszal, mint a citruson telelők (Komazaki, 1990). Ez a különbség valószínűleg a két tápnövényfaj fenológiai különbségeihez történő alkalmazkodáson alapul (például a citrusfélék későbbi kihajtásához tavasszal) (Komazaki, 1983, 1990). Az almán fejlődő egyedek kelési ideje a gyöngyvesszőn fejlődőkénel átlagosan néhány nappal későbbre tehető, de nem sikerült igazolniuk, hogy az almán fejlődő populációk külön biotípust alkotnak, vagy a különbség oka csupán a gyöngyvessző és az alma eltérő fenológiájában keresendő (Komazaki, 1990). Li és munkatársainak (2019) eredményei szerint Kínában az *A. spiraecolának* két genetikailag elkülönülő kládja is elterjedt az ország különböző régióiban: a G1 klád az összes

régióban és tápnövényen elterjedt, míg a G2 klád a Rosaceae családba tartozó gazdanövényekre specializálódott.

Az *A. pomi*hoz hasonlóan az *A. spiraecolának* is négy lárvastádiuma van (Wang és Tsai, 2000). A faj minimális fejlődési küszöbértéke Satar és Uygun (2008) szerint 2,3 °C, Komazaki (1982, 1988) szerint 6,7 °C, illetve 7,9 °C, míg Andreev és munkatársai (2009) szerint 10,4 °C, teljes kifejlődéséhez almatermésűeken Satar és Uygun (2008) vizsgálatai szerint 131,6 nap °C hőösszeg, míg Komazaki (1988) vizsgálatai szerint 101,0 nap °C szükséges. A kifejlődés időtartama 15 °C-on 13,3, míg 25 °C-on már csak 6,7 napnak adódott (Satar és Uygun, 2008). A faj fejlődési optimuma 25 °C (Wang és Tsai, 2000; Satar és Uygun, 2008) és 27 °C (Miller, 1928; Komazaki, 1982) közé tehető. A faj átlagos generációs ideje Wang és Tsai (2000) szerint *Polyscias crispata* tápnövényen a hőmérséklettől függően 10,7 és 35,1 nap között változott, míg citrusféléken konstans 25 °C hőmérsékleten 11,6 és 13,2 nap között alakult (Tsai és Wang, 2001). Évente maximálisan 17–20 nemzedéke fejlődhet (Komazaki, 1988; Andreev et al. 2009), melyek közül holociklikus fejlődés esetén a második nemzedék fejlődési sebessége és szaporodási képességei a legnagyobbak (Komazaki, 1988). Átlagos fekunditása alma tápnövényen nevelve Andreev és munkatársainak (2009) eredményei szerint 20,7–21,2 nimfa/nőstény volt.

Az *A. spiraecola* által okozott kártétel almán megegyezik az *A. pomi* által okozottal (Varn és Pfeiffer, 1989; Kaakeh et al. 1992, 1993; Blackman és Eastop, 2010). Citrusféléken szintén levélsodródást és hajtásnövekedés-visszamaradást okoz, emellett jelentős vektora a citrus tristeza vírusnak (*Citrus Tristeza Closterovirus*) is (Komazaki, 1982; Marroquín et al. 2004; Satar és Uygun, 2008).

### **3.5.3. A zöld almalevéltetű és a zöld gyöngyvessző levéltetű együttes előfordulása**

Az előző fejezetekben láthattuk, hogy a két levéltetűfaj morfológiája és almán folytatott életsiklusa nagy hasonlóságot mutat, ami a múltban számos félrehatározást eredményezett (Patch, 1929; Eastop és Blackman, 1988). Eltérő életformájuk, és esetlegesen különböző gazdasági jelentőségük, növényvédőszer-toleranciájuk vagy kompetíciós képességük miatt azonban a gyakorlati növényvédelem szempontjából is szükséges az *A. pomi* és *A. spiraecola* megbízható megkülönböztetése, és a két faj közötti hasonlóságok és különbségek jobb megértése.

Rakauskas és munkatársai (2015) genetikai úton a COI fragmentum molekuláris analízise alapján vizsgálták a két faj megkülönböztethetőségét. Az *A. pomi* és *A. spiraecola* szekvenciaadatai között 3,1-4,3%-os eltérést találtak, ezzel egyértelműen bizonyítva, hogy két

különálló fajról van szó. Mindkét fajnál hat haplotípust találtak, melyek közül Európában egy volt domináns. A haplotípusok mindegyike több tápnövényhez is kötődött, tehát nincs kapcsolat a haplotípus és a tápnövénykör között egyik fajnál sem (Rakauskas et al. 2015). A két faj genetikai úton emellett tökéletesen elkülöníthető mikroszatellit és mitokondriális citokróm régióik alapján is (Footit et al. 2009), illetve Naaum és munkatársai (2012) egy RT-PCR-en alapuló gyorstesztet is kifejlesztettek a két faj gyors terepi elkülönítésére. Az *A. pomi* és *A. spiraecola* elkülönítésére alkalmazott legegyszerűbb és leggyorsabb módszer ennek ellenére a morfológiai bélyegek vizsgálata, bár a két faj hasonlósága ezt nagymértékben megnehezíti (Halbert és Voegtlin, 1992; Footit et al. 2009).

Az eltérő életmód következtében legkönnyebb az ivaros hímek megkülönböztetése, mivel a tápnövényváltó *A. spiraecola* hímje szárnyas (Miller, 1928; Blackman és Eastop, 2010), szemben a nem tápnövényváltó *A. pomi* szárnyatlan hímjével (Baker és Turner, 1916; Blackman és Eastop, 2010). Emellett az *A. spiraecola* ivaros nőstényeinek megvastagodott combja is könnyen felvételezhető és megfigyelhető morfológiai bélyeg (Halbert és Voegtlin, 1992).

Nyári alakok esetében Halbert és Voegtlin (1992) határozókulcsa szerint a legmegbízhatóbb megkülönböztető bélyegeket a 2. táblázatban ismertetjük.

**2. táblázat:** Az *A. pomi* és az *A. spiraecola* főbb megkülönböztető morfológiai bélyegei

Morfológiai bélyeg	<i>Aphis pomi</i>	<i>Aphis spiraecola</i>
Utolsó szipókaíz hossza	0,12 mm-nél hosszabb	0,12 mm-nél rövidebb
Marginális tuberkulák (oldaldudorok) száma a potrohízen	2–8	0–2
A farkocska (kauda) kitinszőreinek száma	8–21	6–13
A farkocska alakja	nyelv alakú	befűződő
Szárnyas egyedeknél a szárny pterostigma színe	pigmentált	nem pigmentált

Látható, hogy az utolsó szipókaíz hosszának vizsgálata egyértelmű megkülönböztetést tesz lehetővé, de használata nehézkes, míg a többi bélyeg bár sokkal egyszerűbben (akár sztereomikroszkóp segítségével, az állat preparálása nélkül) is vizsgálhatók, de kizárólagos alkalmazásuk esetén, az átfedések miatt fennállhat a félrehatározás veszélye (Halbert és Voegtlin, 1992). A morfológiai bélyegek későbbi, molekuláris módszerekkel megerősített vizsgálatai alátámasztották, hogy az utolsó szipókaíz hosszúsága a legmegbízhatóbb bélyeg,

ami az elkülönítésben 91,5–100%-os pontosságot tesz lehetővé (Rakauskas et al. 2015), de a marginális tuberkulák és a farkocska kitinszöreiből együttes vizsgálata az átfedések ellenére is megfelelően hatékony elkülönítést tesz lehetővé (Footitt et al. 2009; Rakauskas et al. 2015). Footitt és munkatársai (2009) a szárny pterostigma színét nem találták megbízható bélyegnek, mivel bár a pigmentált pterostigmájú egyedek 100%-a az *A. pomi* fajba tartozott, a világos pterostigmájúak egy jelentős része szintén. Ebből következően szárnyas egyedeknél is fontos a tuberkulák és a farkocska kitinszöreiből megfigyelése.

Európán kívül almaültetvényekben a zöld levéltetvekkel foglalkozó vizsgálatok a világ legnagyobb almatermesztőjének számító Kínában és szintén jelentős Dél-Koreában csak a régióban valószínűleg őshonos (Blackman és Eastop *in* van Emden és Harrington 2017) *A. spiraecola* jelenlétét említik a két ország különböző területeiről (Jeon et al. 2000; Li et al. 2019; Cai et al. 2021 a és b; Kou et al. 2021; Zhang et al. 2022), míg az ötödik legnagyobb almatermesztő Indiában bár kimutatták a faj jelenlétét almán (Singhand és Singh, 2016), továbbra is az *A. pomit* tatják az almán károsító zöld levéltetűfajnak (Meena és Gautam, 2007; Khan és Shah, 2018). Ugyanígy, bár mindkét országban előfordul az *A. spiraecola*, mind a világon második legnagyobb almatermelő Törökországból, mind a hatodik legnagyobb almatermelő Iránból csak az *A. pomi*-t említik almakártevőként (Aslan és Karaca, 2005; Madahi és Sahragard, 2012; Sahrahi et al. 2019; Satar et al. 2020; Kök és Özdemir, 2021; Erdogan, 2023).

Észak Amerikában, ahol az *A. spiraecola* később, csak az 1970-es évek végén jelent meg (Pfeiffer et al. 1989), az *A. pomihoz* képest, ami már az 1910-es években bizonyítottan jelen volt a kontinensen (Baker and Turner, 1916), az *A. spiraecola* terjeszkedésével kapcsolatban valószínűsíthető, hogy az őshonos *A. pomival* azonos niche-t elfoglalva – megfelelő környezeti tényezők teljesülése esetén – kiszoríthatja azt. A világ harmadik legjelentősebb almatermesztőjének számító Amerikai Egyesült Államokban Brown és munkatársainak (1995) vizsgálatai szerint az *A. spiraecola* Nyugat-Virginiában nyár végére domináns fajjává vált az *A. pomival* szemben. A szerzők az *A. spiraecola* kompetíciós előnyeiként az *A. pomiénál* hatékonyabb szaporodóképességét és a rovarölő szerekkel szemben mutatott nagyobb toleranciáját jelölik meg (Brown et al., 1995). Egyes tanulmányok (Komazaki, 1988; Mostefaoui et al. 2014; Gao et al. 2020) szerint az *A. spiraecola* kimondottan jól tolerálja a tápnövény gyengébb minőségét is, ami szintén egy magyarázata lehet gyors terjeszkedésének. Pfeiffer és munkatársai (1989) Virginia, Nyugat-Virginia és Maryland államokban, míg Mayer és Lunden (1996) Washington állam középső és déli területein mutatta ki az *A. spiraecola* 70% feletti dominanciáját az almán élő zöld levéltetű-együttesen belül a nyári hónapokban.

Zehavi és Rosen (1987) megfigyelései szerint, bár adatokat nem közöltek, az *A. spiraecola* gyakorlatilag teljesen kiszorította a korábban tömeges *A. pomi* az izraeli almaültetvényeiből, míg Európában Andreev és munkatársai (2007, 2013) Bulgária déli, kisebb tengerszint feletti magasságú területein figyelték meg a két faj dominanciájának cseréjét.

Bár a két faj morfológiai megjelenése (Halbert és Voegtlin, 1992; Footitt et al. 2009; Rakauskas et al. 2015) és almán okozott kártétele (Oatman és Legner, 1961; Hamilton et al. 1986; Varn és Pfeiffer, 1989; Kaakeh et al. 1992, 1993; Arbab et al. 2006) nagyon hasonló, növényvédelmi jelentőségük eltérő életmódjuk (egygazdás/tápnövényváltó) és eltérő növényvédőszer-toleranciájuk miatt nagymértékben különbözhet. Direkt és indirekt hatékonyságtesztek eredményei szerint a legtöbb széles körben alkalmazott, széles hatásspektrumú rovarölőszerhatóanyag-csoport (piretroidok, neonikotinoidok, szerves foszforsavészterek, karbamátok) mindegyike hatékonyan visszavetette az *A. pomi* populációnagyságát (Oatman és Legner, 1961; Lowery és Smirle, 2003; Bolbose, 2009; Tuca et al. 2009), ugyanakkor Észak-Amerikában a két fajt együttesen vizsgálva az *A. spiraecola* nagyobb toleranciát mutatott több, különböző csoportba tartozó hatóanyaggal szemben (eszfenvalerát, metomil, imidakloprid, pirimikarb, lambda-cihalotrin), mint az *A. pomi* (Hogmire et al. 1990, 1992; Lowery et al. 2005, 2006), aminek oka vélhetően az *A. spiraecola* nagyobb acetilkolin-észteráz aktivitása volt (Manulis et al. 1981; Smirle et al. 2010).

#### **3.5.4. A kajszelevéltetű (*Myzus mumecola*)**

A 2018-as esztendőig a levéltetvek hazánkban a kajszi másodlagos kártevőinek számítottak, csupán néhány faj (zöld őszibarack-levéltetű-*Myzus persicae* Sulzer, 1776, komló-levéltetű – *Phorodon humuli* Schrank, 1801, tündérrózsa-levéltetű – *Rhopalosiphum nymphae* L. 1761, hamvas szilvalevéltetű – *Hyalopterus pruni* Geoffroy, 1762) eseti előfordulására számíthattunk, a felszaporodásuk mértéke pedig rendszerint a kártételi küszöb értéke alatt maradt (Glits et al. 1997; Péntzes et al. 2003; Basky 2005; Péntzes Béla, személyes közlés). A levéltetvek vírusvektor szerepe azonban ennek ellenére korábban is jelentős lehetett a kajszi is fertőző szilvahimlő (*Plum pox virus*, PPV) vírusának terjesztésében (Labonne et al. 1995; Basky et al. 1997). Vizsgálataink megkezdéséig a következő levéltetűfajok eseti előfordulását mutatták ki európai országok kajsziültetvényeiből: fekete bükkönylevéltetű (*Aphis craccivora* Koch, 1854), fekete répalevéltetű (*A. fabae* Scopoli, 1763), uborka-levéltetű (*A. gossypii* Glover, 1877), zöld gyöngyvessző-levéltetű (*A. spiraecola*), hamvas szilvalevéltetű (*Hyalopterus pruni*), zöld őszibarack-levéltetű (*Myzus persicae*), komlólevéltetű (*Phorodon humuli*), tündérrózsa-levéltetű (*Rhopalosiphum nymphae*) és zselnicemeggy-levéltetű (*R.*



*padi* L., 1758) (Avinent et al. 1993; Mosco et al. 1997; Knoll et al. 2004; Holman, 2009; Jevremović et al. 2016).

Külön kiemelendők a *Hyalopterus* nemzetség fajai, melyek a csonthéjas gyümölcsfajok gyakori károsítói (Blackman és Eastop, 2010). A különböző csonthéjas fajokon táplálkozó, morfológiailag egymáshoz nagyon hasonló *Hyalopterus* fajokat tápnövény-preferenciájuk szerint eleinte két (*H. pruni* szilvához, *H. amygdali* őszibarackhoz és mandulához kötődő) fajra osztották (Basky és Szalay-Marzsó, 1987), majd a későbbiekben genetikai (Mosco et al. 1997) és morfológiai (Margaritopoulos et al. 2007) úton a *H. amygdali* fajon belül két további csoportot (mandulához kötődő A és őszibarackhoz kötődő B klád) különítettek el. Lozier és munkatársai 2008-ban az őszibarackhoz kötődő csoportot tudományra új fajként, *H. persikonus*ként írták le. Európai kajsziültetvényekben leggyakrabban a *H. persikonus* faj kolóniáival találkozhatunk (Mosco et al. 1997; Rakauskas et al. 2013), de a mediterrán régióban mind a *H. amygdali* (Margaritopoulos et al. 1997; Lozier et al. 2008), mind a *H. persikonus* (Lozier et al. 2008) előfordulását kimutatták kajszin.

Panini és munkatársai 2016 tavaszán Olaszország Emilia-Romagna tartományában közepes méretű, halványzöld színű, a termesztők által „halvány tetvek”-nek nevezett levéltetvek korábban nem tapasztalt tömeges felszaporodását figyelték meg kajsziültetvényekben. A begyűjtött minták morfológiai és genetikai azonosítása megerősítette, hogy a kártételt egy kelet-ázsiai eredetű, Európából korábban még nem észlelt faj, a *Myzus mumecola* Matsumura, 1917 okozta (Panini et al. 2017).

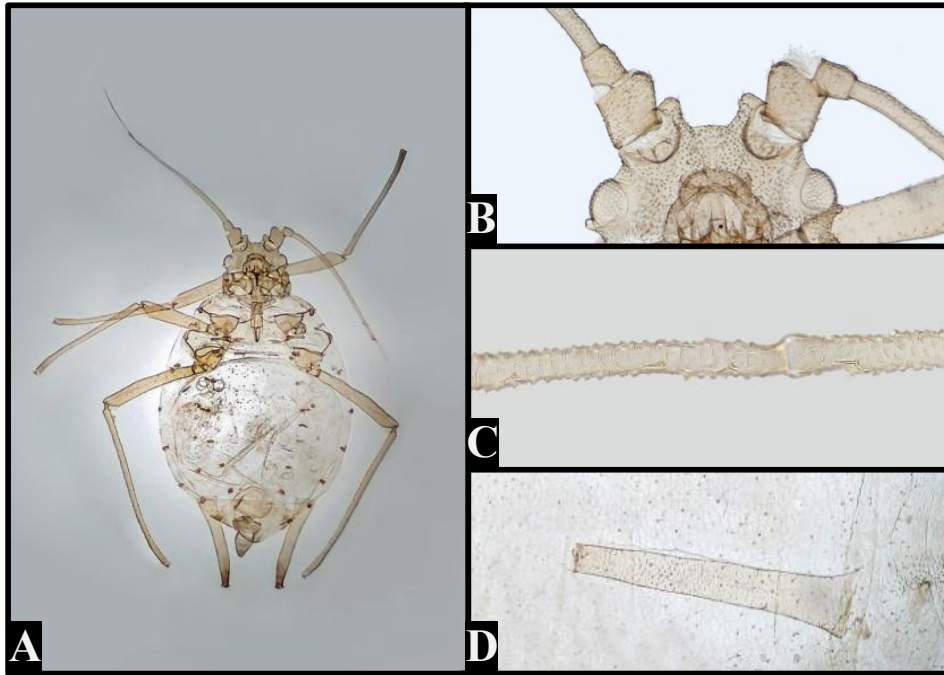
A szárnyatlan *M. mumecola* egyedek élő állapotban közepes méretű (2–2,4 mm testhosszúságú), halványzöld színű levéltetvek, halvány potrohcsövekkel és farkocskával (4. ábra) (Panini et al. 2017), így könnyen elkülöníthetők a kajszin szintén előforduló fekete *Aphis gossypii* és *A. craccivora* levéltetvektől (Szalay-Marzsó, 1969; Blackman és Eastop, 2010).



**4. ábra:** Kajszilevéltetű (fotó: Borbély Csaba)

A farkocska rövid és háromszög alakú, a potrohcsövek hengeresek, hosszuk a szélességük nagyjából hétszeresét teszi ki (5. ábra A) (Panini et al. 2017), ezáltal elkülönítve a sötétebb zöld színű, de nagyon rövid farkocskájú *Rhopalosiphum nymphae* és *R. padi* fajoktól, továbbá a hasonlóan halványzöld színű, de nyelv alakú farkocskával és fekete potrohcsövekkel rendelkező *A. spiraecolától* (Szalay-Marzsó, 1969; Basu és Raychaudhuri, 1976; Basky, 2005; Blackman és Eastop, 2010).

A *Phorodon humuli*, bár morfológiailag hasonló faj, de a homlokdudorról előrefelé meredő nyúlványpár (ami a *M. mumecola* esetében hiányzik, 5. ábra B) még szabad szemmel is jól látható elkülönítő bélyeg. A *M. mumecolához* morfológiai szempontból legközelebb a *M. persicae* faj áll (genetikai szempontból is közelrokon fajokról van szó), amitől két, csak mikroszkópi preparátumon megfigyelhető morfológiai bélyeg különbözteti meg. Az egyik a csápízek kitinszőreinek hossza, ami a *M. mumecola* esetében jelentősen hosszabb, mint a *M. persicae* esetében (5. ábra C). A másik morfológiai bélyeg a *M. mumecola* végük felé keskenyedő potrohcsövei (5. ábra D) szemben a *M. persicae* teljes hosszában egyforma vastagságú potrohcsöveivel (Basu és Raychaudhuri, 1976; Blackman és Eastop, 2010).



**5. ábra:** A *M. mumecola* morfológiai határozóbélyegei (A: átnézet; B: homlokdudorok; C: kitinszőrök a IV. és V. csápízeken; D: potrohcső) (fotó: Borbély Csaba)

A tudomány számára még kevésbé ismert faj hazai életmódjának leírása, illetve az általa okozott kártétel ismertetése jelen értekezés **5.5.** fejezetében, mint tudományra új eredmények kerülnek bemutatásra.

### **3.6. Az almán élő zöld levéltetvek elleni környezetbarát növényvédelem lehetőségei**

Mint azt a **3.5.3.** fejezetben láthattuk, az *A. pomi* és az *A. spiraecola* termő almaültetvényekben csak alkalmanként okoz kárt, viszont a faiskolai termesztésben és a fiatal, koronakialakítás alatt álló ültetvényekben jelentőségük nagy. Ugyanakkor a növények fejlődésére és szárazanyag-felhalmozására kifejtett negatív hatásuk miatt tömeges felszaporodásuk a kifejlett, termőkorban lévő ültetvényekben sem kívánatos (Oatman és Legner, 1961; Varn és Pfeiffer, 1989; Kaakeh et al. 1992, 1993; Arbab et al. 2006).

Az alma kártevők elleni védelmének gerincét hazánkban egészen a közelmúltig főként széles hatásspektrumú inszekticidekkel (főként kontakt piretroidok és felszívódó neonikotinoidek) végzett tervszerű, gyakori permetezés jelentette, ami a kulcskártevők (almamoly, sodrómolyok, sűrke almalevéltetű, vértetű) gyérítése mellett általában megoldotta a zöld levéltetvek elleni védelmet is (Vályi *in* Papp, 2004). Ugyanakkor a változó termesztés- és növényvédelmi technológia (Balázs et al. 1997; Jenser et al. 1997) és a kártevők növényvédő szerekekkel szemben mutatott fokozott toleranciája (az *A. pomi* és az *A. spiraecola* esetén

részletesen lásd a 3.5.3. fejezetben) következtében egyre nagyobb szerep jut az új, környezetbarát növényvédelmi technológiák felhasználásának a hazai almaültetvényekben is.

Az *A. pomi* és az *A. spiraecola* elleni alternatív növényvédelmi eljárások hatékonyságának felmérésére számos, főként észak-amerikai vizsgálat született, ezek eredményeit foglaljuk össze a következőkben. Az alternatív, természetes alapú növényvédőszer-hatóanyagok tekintetében Pinnock és munkatársai (1974) *Pyrachantha* sp. sөvényen tesztelték különböző koncentrációjú szappanoldatok hatékonyságát az *A. spiraecola* kolóniák egyedszámára. Eredményeik szerint már a 0,1%-os szappanoldattal végzett permetezés is 72%-os populációcsökkenést okozott. Balog és munkatársai (2007) öt különböző növényi kivonat (*Acorus calamus*, *Arnica montana*, *Allium sativum*, *Helleborus purpurescens*, *Populus nigra*) *A. pomira* kifejtett hatását hasonlították össze laboratóriumi körülmények között. Megállapították, hogy 6%-os koncentráció mellett valamennyi hatóanyag megfelelő gyérítő hatással rendelkezett. Laznik és munkatársainak (2011) vizsgálatában mindhárom kísérletbe vont természetes eredetű hatóanyag (fahéjsav, *Symphitum officinale* és *Calendula officinalis* kivonata) jól gyérítette az *A. pomi* kolóniákat, elsősorban szintén nagyobb, 5%-os dózisban kijuttatva. Andreev és munkatársainak (2012) eredményei szerint a neem-azal és a piretrin nem fejtett ki korlátozó hatást az *A. spiraecola* kolóniáira, ugyanakkor a *Beauveria bassiana* és a *Paecilomyces fumosoroseus* jó hatékonyságot mutatott.

Ökológiai termesztési körülmények között a kártevők populációinak csökkentésében jelentős szerep hárul a levéltetveket fogyasztó természetes ellenségekre is. Jenser és munkatársainak (1997) eredményei szerint a széles hatásspektrumú inszekticidek használatának mérséklése növelte az almaültetvények egyes ragadozó és parazitoid csoportjainak populációnagyságát. A zöld almalevéltetvek elleni védelem főként a természetesen betelepülő ragadozó populációk megőrzésére és támogatására épül (Miller, 1928; Carroll és Hoyt, 1984; Haley és Hogue, 1990; Frèchette et al. 2008), melyben észak-amerikai vizsgálatok eredményeként különösen fontos szerepet játszhat az elmúlt évtizedben Európában is széleskörűen elterjedt harlekinkatica (*Harmonia axyridis* Pallas, 1773) (Brown és Mathews, 2008; Brown, 2011).

A megőrző biológiai növényvédelem elméletileg támogatható különböző talajtakarási módszerekkel, és alternatív táplálékforrások biztosításával a természetes ellenségek számára, azonban az almán élő levéltetűfajok esetében sem az élő növényanyaggal való talajtakarás (Haley és Hogue, 1990; Frèchette et al. 2008, Markó et al. 2013), sem az alternatív táplálékforrások biztosítása (Spellman et al. 2006; Brown és Mathews, 2008) nem növelte szignifikánsan a természetes ellenségek hatékonyságát. Nagyon ígéretes módszernek látszik

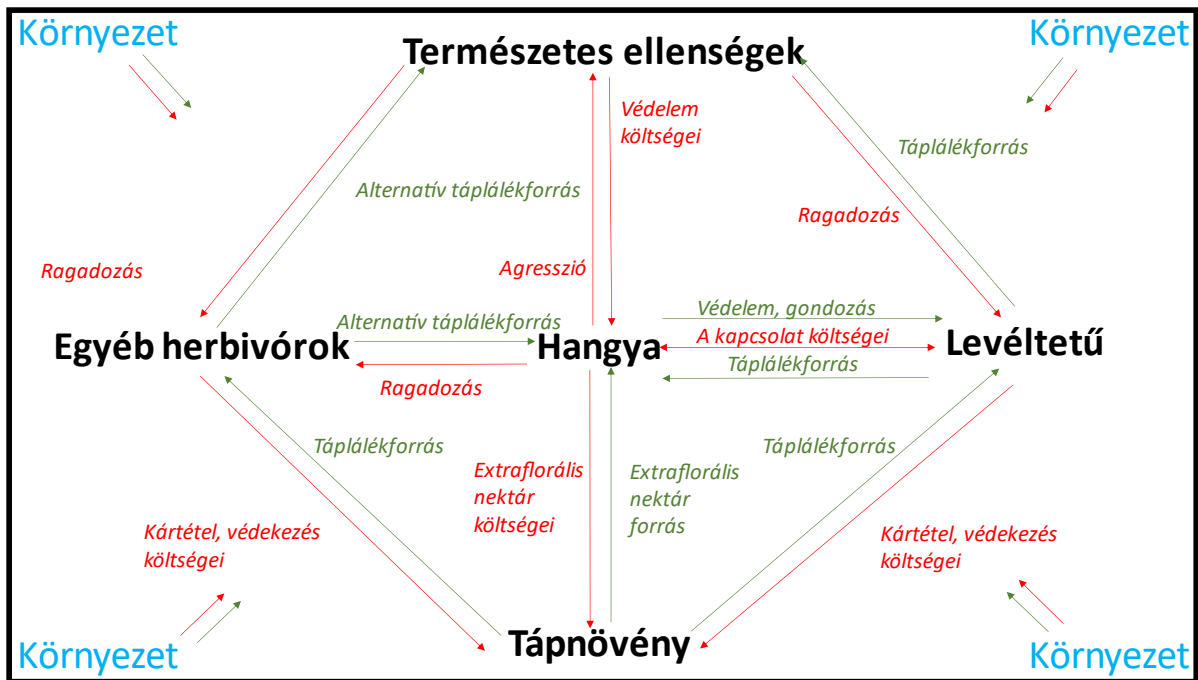
viszont a természetes ellenségek működésének a hangya-levéltetű kapcsolat megzavarása által történő támogatása, melyet a következő fejezetben ismertetünk részletesen.

### **3.7. A hangya-levéltetű kapcsolat**

#### **3.7.1. A hangya-levéltetű kapcsolatok biológiai alapjai**

A hangyák levéltetvekkel és más szipókás rovarokkal alkotott mutualista kapcsolata egy széles körben ismert, régóta intenzíven kutatott szakterület. A kapcsolat alapmodellje szerint a levéltetű mézharmat formájában szénhidrátforrást biztosít a hangyapartner számára, cserébe a hangya védelmi és higiéniai szolgáltatásokat nyújt (összefoglalva lásd: Nixon, 1951; Way, 1963; Buckley, 1987; Delabie, 2001; Nielsen et al. 2010).

A természetben a kapcsolat természetesen nem ilyen egyszerű. Egyrészt a kapcsolat jellege széles skálán mozoghat a benne részt vevő fajok (Stadler és Dixon, 1999; Delabie, 2001; Fischer et al. 2001) illetve a környezeti tényezők (Way, 1963; Stadler és Dixon, 1998; Offenberg, 2001) függvényében, a ragadozástól egészen az obligát mutualizmusig. Másrészt a kapcsolatra befolyással vannak a további trofikus szintek: a levéltetű partner gazdanövényének minősége (Buckley, 1987; Becerra és Venable, 1989; Fischer és Shingleton, 2001; Styrsky és Eubanks, 2007; Katayama et al. 2013), illetve az adott terület ragadozó közösségeinek összetétele és egyedszáma (Banks, 1962; Styrsky és Eubanks, 2007) is. A képet tovább árnyalja, hogy a kapcsolat fenntartása mind a levéltetű, mind a hangyapartner részéről költségekkel is jár (Way, 1963; Stadler és Dixon, 1998; Delabie, 2001; Stadler és Dixon, 2005). Az 6. ábrán a hangya-levéltetű kapcsolatrendszer vázlatát ökológiai környezetbe illesztve ábrázoljuk. A következőkben sorra vesszük azokat a biotikus és abiotikus tényezőket, melyek a kapcsolat kialakításában és fenntartásában szerepet játszanak.



6. ábra: A hangya-levéltetű kapcsolatokat befolyásoló tényezők vázlata (szakirodalmi adatok alapján készült saját munka). A zöld szín pozitív (kedvező), míg a piros szín negatív (kedvezőtlen) hatást jelez.

A legfontosabb befolyásoló faktor a levéltetű partner által kiválasztott mézharmat mennyisége és minősége. A hangyák a mézharmat egyes cukorkomponensei között egyértelmű preferenciát állítanak fel: a nagyobb szénatomszámú triszacharidokat előnyben részesítik a diszacharidokkal, és a diszacharidokat előnyben részesítik a kisebb energiatartalmú monoszacharidokkal szemben (Völkl et al. 1999; Detrain és Prieur, 2014; Madsen et al. 2017). Az általunk vizsgált *L. niger* faj esetében a preferencia például a következő: melezitóz (triszacharid) = szacharóz (diszacharid) = raffinóz (triszacharid) > glükóz (monoszacharid) = fruktóz (monoszacharid) > maltóz (diszacharid) = trehalóz (diszacharid) (Detrain et al. 2010). Tinti és Nofre (2001) eredményei szerint a melezitóz *L. niger* hangyákra kifejtett csalogató hatása még erősebb, nagyjából duplája a szacharózénak. Ezen felül Detrain és munkatársai (2010) csak melezitóz, szacharóz és raffinóz alkalmazása esetén figyelte meg a *L. niger* hangyák nyomfektető magatartását, azaz az ezzel a cukorkomponenssel rendelkező források esetében megjelenik a bolytársak toborzására irányuló viselkedés is.

A levéltetvek által felszívott növényi nedvek elsősorban szacharózt tartalmaznak (Yao és Akimoto, 2001; Woodring et al. 2004), ezeket már a rovar alakítja tovább különböző di- és triszacharidokká. Így jön létre az általános hangyaattraktánsnak (Kiss, 1981; Fischer és Shingleton, 2001; Detrain et al. 2010) tartott melezitóz is (Yao és Akimoto, 2001; Woodring et al. 2004). A cukorkomponensek mellett a mézharmat aminosav tartalma is szerepet játszhat a hangyák csalogatásában (Offenberg, 2001; Woodring et al. 2004; Madsen et al. 2017).

Természetesen nemcsak az egyes cukrok és aminosavak jelenléte, hanem azok aránya, koncentrációja (Sudd és Sudd, 1985; Kay, 2004; Detrain és Prieur, 2014) és teljes mennyisége (Engel et al. 2001; Katayama et al. 2013) is meghatározó jelentőségű a hangyaőríz kialakításának szempontjából, ahogyan az is, hogy a szénhidrátforrás hozzáférhetősége mennyire gyors és állandó (Engel et al. 2001; Detrain et al. 2010). A hangyák a hozzáférhető levéltetűfajok között a szénhidrátforrásként juttatott mézharmat alapján egyértelmű preferenciát állítanak fel: a jobb minőségű és/vagy nagyobb mennyiségű mézharmatot szolgáltató fajokat őrzik, míg a gyengébb minőségű/kisebb mennyiségű mézharmatot szolgáltató fajok esetében vagy nem jön létre a kapcsolat, vagy egyenesen omnivória lép fel (Fischer et al. 1997; Völkl et al. 1999; Offenberg, 2001; Detrain et al. 2010).

A levéltetvek a kiválasztott mézharmat minőségének és mennyiségének változtatásával, illetve a mézharmatcseppek méretének növelésével, vagy a mézharmatcsepp hangya megérkezéséig való visszatartásával igyekeznek növelni a hangyavédelem mértékét (Banks, 1958; Del-Claro és Oliveira, 1993; Völkl et al. 1999; Yao és Akimoto, 2001; Woodring et al. 2004; Katayama et al. 2013). Mivel a hangyapartnernek csak korlátozott számban állnak rendelkezésre, az egyes levéltetűfajok között versengés zajlik a hangyaőrízért (Addicott, 1978; Cushman és Addicott, 1989; Sakata, 1995; Fischer és Shingleton, 2001; Miñarro et al. 2010). Ez a két tényező együttesen komoly költségekkel jár a levéltetvek részéről (például a hangyák számára biztosított extra szénhidrátforrást a saját szaporodására fordítható energiából fedezik), a legtöbb faj esetében éppen ezért jellemző a fakultatív kapcsolat az obligát mutualizmussal szemben (Delabie, 2001; Stadler és Dixon, 1998, 1999, 2005).

Ugyanakkor a hangyák közvetlen pozitív hatást is gyakorolhatnak a levéltetű partner fiziológiájára, például hatékonyabb tápanyagfelvételre ösztönözve őket (Banks, 1958), illetve csökkentve a szárnyas alakok kialakulásának esélyét (El-Ziady és Kennedy, 1956; Way, 1963; Schwartzberg et al. 2010). Közvetlen pozitív hatást figyelt meg El-Ziady (1960) *L. niger* hangya és *Aphis fabae* levéltetű között, míg Flatt és Weisser (2000) szintén *L. niger* hangya és a varádicson élő *Metapeurum fuscoviridae* levéltetűfaj között: a ragadozóktól izolált környezet ellenére a hangyák jelenléte pozitív hatást gyakorolt a levéltetvek kifejlődésére és fitneszére egyaránt.

A hangyapartner mézharmatigénye nem állandó a tenyészidőszak folyamán, a levéltetvek felkutatását, illetve a mutualista kapcsolat kialakulását ezen felül nagyban befolyásolják az alternatív táplálékforrások (például a növények által kibocsátott florális és extraflorális nektár) (Engel et al. 2001; Kay, 2004), illetve a fiasítás jelenléte (Portha és Detrain, 2004; Oliver et al. 2012) és a hangyakolónia kora. A szénhidrátforrásokkal jól ellátott

hangyakolóniák levéltetűőrző aktivitása csökken, sok esetben fehérjeforrásként tekintenek a korábban őrzött levéltetűfajokra is (Offenberg, 2001; Tena et al. 2013). A kapcsolat kialakításában ezen felül fontos szerepe lehet a hangyakolónia és a levéltetű kolóniák térbeli távolságának is (Bradley és Hinks, 1968; Boucher et al. 1982).

A hangyaőrízet mértékében nagy szerepet játszik a levéltetű partner abundanciája: a hangyaőríz mértéke a levéltetvek egyedszámával arányosan csökken, tehát a kisebb kolóniákat sokkal intenzívebben őrzik, mint a nagyobbakat; az őrzés pozitív hatása egy bizonyos kolónianagyság esetén megszűnik, sőt, a hatás negatívvá is válhat (Addicott, 1978; Breton és Addicott, 1992). Kisebb kolóniák esetében megfigyelték, hogy a hangya aktívan mozgatja levéltetű partnerét a kedvezőbb tápanyagellátottságú növényi részek felé (Nixon, 1951; Pontin, 1958; Sakata 1999), illetve nagy kolóniák esetében egyes fajoknál tapasztalható az eredeti levéltetű kolónia hangyák általi felosztása több kisebb kolóniára (*A. pomi* esetén lásd Eidmann, 1927).

A hangyák jelenlétének a ragadozó fajok egyedszámára kifejtett közvetlen negatív hatását, és ezáltal a levéltetvekre kifejtett közvetett pozitív hatást El Ziady és Kennedy (1956) és Banks (1962) vizsgálatai bizonyították elsőként (korábban a hatásért felelős tényezőnek csupán a mézharmat eltávolítását tekintették). Banks (1962) klasszikus kizárásos vizsgálatával igazolta, hogy a *L. niger* hangyadolgozó az őrzött levéltetű-kolóniákon megjelenő ragadozót azonnal megtámadja, és ez a reakció az összes jelentős ragadozócsoporthoz (katicabogár lárvák és imágók, ragadozó poloska nimfák és imágók, zengőlégy lárvák) esetében kiváltható. Szürke almalevéltetű (*D. plantaginea*) esetében egyértelmű összefüggés volt kimutatható a hangyák aktivitása és a különböző ragadozó csoportok levéltetvekre kifejtett hatása között (Dib et al. 2010).

Jiggins és munkatársai (1993) *Myrmica ruginodis* és *L. niger* hangyafajjal bizonyították, hogy a hangyák ragadozókkal szemben mutatott agresszív viselkedése egyértelműen nem egy ragadozó (azaz táplálékszerző) szándékú támadás, hanem egy teljesen egyedi viselkedésforma. A természetes ellenségeknek még a hangyák jelenléte esetén is komoly szerepe lehet a levéltetűkolóniák szabályozásában, ugyanakkor korlátozó szerepük még hangyák hiányában sem minden esetben elegendő a kártétel megakadályozására (Miñarro et al. 2005; Dib et al. 2010, Schwartzberg et al. 2010).

A mutualizmusban részt vevő két partner – a hangya és a levéltetű is – az evolúció során valamilyen mértékben adaptálódott a kölcsönös együttműködés érdekében. A levéltetvek esetében ez morfológiai-élettani (vékonyabb kutikula, nagyobb mennyiségű és jobb minőségű mézharmat kibocsátása, mézharmat visszatartás képessége) vagy viselkedésbeli (például alarm



jelzés esetén aggregációs viselkedés, a hangya nem ellenségként való kezelése) változás is lehet (Nault et al. 1976; Buckley, 1987), míg a hangyák esetében általában csupán viselkedésbeli változás, a partner levéltetvek jelenlétében mutatott csökkent agresszivitás figyelhető meg.

### **3.7.2. A fajok közötti kommunikáció**

Ahhoz, hogy egy mutualista kapcsolat létrejöjjön, a benne részt vevő partnereknek kölcsönösen fel kell ismerniük egymást. A hártácsszárnyú rovarok kommunikációja alapvetően kémiai úton zajlik: illékony feromon vegyületek, illetve stabil kutikuláris szénhidrogén vegyületek (CHC-k) felelősek a faj- és bolytársak, a táplálék, a fészkek, az ellenséges kolóniák és konkurens hangyafajok, valamint a mutualista partnerek megtalálásában és beazonosításában (Hölldobler és Wilson, 1990; Lenoir et al. 2009; Martin és Drijfhout, 2009; Csósz, 2019). Lang és Menzel (2011) eredményei szerint a *L. niger* hangyadolgozók is a levéltetvek kutikuláris szénhidrogén mintázata alapján döntenek el, mely fajokkal érdemes a mutualista kapcsolatot kialakítani. A kapcsolat fenntartásában azonban már a **3.7.1.** fejezetben részletesen tárgyalt számos különböző tényező is szerepet játszik, így a kapcsolat mindkét mutualista fél jelenléte esetén sem biztos, hogy tartós marad, illetve a különböző környezeti tényezők megváltoztatása révén meg is zavarható.

### **3.7.3. A hangya-levéltetű kapcsolat megzavarásán alapuló védekezési eljárások eredményei**

A hangyák – bár a gyümölcsültvényekben közvetlen károkat csak ritkán okoznak, és bizonyos herbivór csoportok aktív ragadozói –, a levéltetvek és más szipókás rovarok gondozása révén járulékos negatív hatásuk jelentkezik, úgymond „indirekt károsítók”-ként viselkednek (Offenberg et al. 2019).

Amennyiben a hangya-levéltetű kapcsolat valamilyen okból adódóan zavart szenved, a levéltetvekre nagyobb predációs nyomás nehezedik, ami a populációk gyors összeomlását okozhatja. A hangya-levéltetű kapcsolat megzavarásának egyik módja a hangyadolgozók fizikai kizárása: amennyiben az őrző hangyadolgozók nem férnek hozzá a levéltetűkolóniákhoz, a kolóniák népessége a megnövekedett predációs nyomás következtében szignifikánsan csökken (Banks, 1962; Schwartzberg et al. 2010), az eljárás európai almaültvényekben is hatékonyan bizonyult a *L. niger* hangya és a *D. plantaginea* (Stewart-Jones et al. 2008; Miñarro et al. 2010; Nagy et al. 2013) illetve részben az *A. pomi* (Miñarro et al. 2010; Nagy et al. 2013) mutualista kapcsolat megzavarása esetén is. A fizikai kizárásos

módszerek azonban megvannak a korlátjai: az összes, a lombkorona és a törzs közötti közlekedési útvonal (a fa törzse, a támrendszer és öntözőrendszer elemei, tőhajtások, lehajló ágak) megfelelő lezárása (például valamilyen nem száradó ragasztóanyaggal) nehézkes, ugyanakkor a hangyák idővel ezt a védelmet is képesek lehetnek áttörni (például a ragasztóanyag szennyeződése, túl magasra növekvő aljnövényzet) (Nagy et al. 2013, Nagy Csaba személyes közlése).

A másik lehetőség a hangya-levéltetű kapcsolat megzavarására a hangyák valamilyen módon történő elcsalogatása a levéltetűkolóniák közeléből. A hangyák viselkedésének különböző szénhidrát oldatokkal történő megzavarásának ötlete Becerra és Venable 1989-ben publikált elméletén alapul. Az elgondolás lényege, hogy a növények által kibocsátott szénhidrát oldatok (florális és extraflorális nektár) a hangyák számára a levéltetvek mézharmatához hasonlóan jó minőségű táplálékforrást nyújtanak, ugyanakkor a levéltetvek által kibocsátott mézharmathoz képest mennyiségben, térben és időben jobban hozzáférhetőek, továbbá a hangya részéről nem igényelnek aktív őrizetet. Az alapelmélet szerint a növények extraflorális nektár termelésének célja egyrészt a felesleges szénhidrát mennyiség kiválasztása, másrészt a növényt a különböző herbivóroktól megvédő hangyadolgozók toborzása. Járulékos haszonként a hangyák felhagynak a tápnövényen károsító levéltetűfajok őrzésével is (Becerra és Venable, 1989). Bár napjainkra kiderült, hogy ez a megállapítás nem általánosan igaz az összes tápnövény-levéltetű-hangya kapcsolatra, és mindig a társulásban részt vevő fajok és a környezeti körülmények döntenek el a kapcsolat jellegét (Fiala, 1990; Engel et al. 2001), a szénhidrátoldatok hangyaelcsaló hatása mégis működik. Ennek oka, hogy bár a levéltetvek által kibocsátott mézharmat jobb minőségű táplálékot jelent a hangyadolgozók számára, mint a florális vagy extraflorális nektár, vagy ezek valamilyen szintetikus előállított imitátuma, ennek ellenére a nagyobb mennyiségű szénhidrátforrás jelenléte vagy mesterséges kibocsátása ezt felülírja, és a hangyadolgozók átkapcsolnak a mennyiségi táplálékra (Engel et al. 2001; Offenberger, 2001; Katayama et al. 2013; Tena et al. 2013, de lásd Del-Claro és Oliveira, 1993). Ezt az attraktáns hatást ugyanakkor aminosavak alkalmazásával nem sikerült kiváltani (Offenberger, 2001). A mesterséges szénhidrátforrások hangyaelcsaló hatását, és ezáltal a levéltetűkolóniákra kifejtett korlátozó hatását az almán is károsító *A. spiraecola* esetében citruson (Wäckers et al. 2017), *D. pantaginea* (Nagy et al. 2013, 2015) és *A. pomi* esetében pedig almán (Nagy et al. 2013, Offenberger et al. 2019) is sikerült kimutatni. A hangyapartner Offenberger és munkatársainak (2019) vizsgálataiban mesterségesen betelepített *Formica polyctena*, míg Nagy és munkatársainak (2013 és 2015) vizsgálataiban az őshonos közönséges feketehangya (*Lasius niger* L., 1758) volt, ami a jelen értekezés keretében vizsgált két

levéltetűfaj, az *A. pomi* és az *A. spiraecola* leggyakoribb mutualista partnere a Közép-Európai almaültetvényekben (7. ábra).



**7. ábra:** (A) Zöld almalevéltetű (*A. pomi*) kolóniája almán, és (B) zöld gyöngy vessző levéltetű (*A. spiraecola*) kolóniája kerti gyöngy vesszőn. Közép-Európában mindkét faj leggyakrabban a közönséges fekete hangyával (*L. niger*) alkot mutualista közösséget. (Fotó: Borbély Csaba)

Nagy és munkatársai (2015) vizsgálataik során 30 m/V%-os szacharóz oldatot alkalmaztak, melyet egy speciális palackos önitatóban bocsátottak a hangyák rendelkezésére. A kezelés a *D. plantaginea* kolóniák egyedszámára erős korlátozó hatást fejtett ki, ezzel szemben *A. pomi* esetében a Nagy és munkatársai (2013) által alkalmazott kétféle hangyakizárási módszer (ragacsos kizárás és mézoldatos etetés) hatékonysága elmaradt a *D. plantaginea* kolóniákon tapasztalt hatásosságukhoz képest, ami szükségessé tette a módszer fejlesztését az almán élő zöld levéltetűfajok elleni hatékony védelem érdekében. A hangyakizárási módszerek hatása mindkét vizsgálat esetén a levéltetűkolóniákra nehezedő nagyobb predációs nyomáson alapult (Nagy et al. 2013, 2015). Bár a Nagy és munkatársai (2015) által kifejlesztett palackos önitató hatékonysága nagy, nehézkes alkalmazása és drága, nem fenntartható szemléletű előállításuk szükségessé teszi további, hasonlóan megbízható, de egyszerűbben kezelhető és újrahasznosítható vagy lebomló kijuttatási formulációk kifejlesztését.

## 4. Anyagok és módszerek

### 4.1. A zöld gyöngyvessző levéltetű (*Aphis spiraecola*) európai elterjedtségének felmérése különböző tápnövényeken

#### 4.1.1. Mintavételi helyszínek és vizsgált tápnövények

Az *A. spiraecola* faunára új fajként való megjelenését négy olyan európai ország (Koszovó, Szlovákia, Csehország és Dánia) almaültetvényeiben vizsgáltuk 2016, 2018 és 2019 években, ahonnan korábban még nem mutatták ki az inváziós faj jelenlétét (CABI, 2018). Ezen felül vizsgáltuk a faj megtelepedését az Egyesült Királyság almaültetvényeiben is 2016, 2018 és 2019 tenyészidőszakában, mivel a korábbi szerzők csupán a faj véletlenszerű behurcolását és alkalmoszerű megjelenését jelentették az országból más tápnövényeken (Furk, 1979; Martin, 1996).

Az *A. spiraecola* megjelenését az almán felül további lehetséges fásszárú tápnövényfajon (mind a Rosaceae család Spiraeoideae vagy Maloideae alcsaládjába tartozott) is vizsgáltuk: Szlovákiában kerti gyöngyvessző (*Spiraea x vanhouttei*) és birs (*Cydonia oblonga* Miller), míg az Egyesült Királyságban birs, egybibés galagonya (*Crataegus monogyna* Jacquin), naspolya (*Mespilus germanica* L.), tűztövis (*Pyracantha coccinea* M.J. Roem) és körte (*Pyrus communis* L.) állományokból is gyűjtöttünk mintát.

#### 4.1.2. A mintavétel módja és a levéltetvek morfológiai úton történő faji meghatározása

A vizsgálathoz a levéltetűegyedeket tiszta, finom ecset segítségével 70 V/V%-os etanol oldattal töltött 1,5 ml-es Eppendorf-csövekbe gyűjtöttük egyeléses módszerrel, helyszínenként, tápnövényenként és mintavételi időpontonként elkülönítve. Egy fáról csak egy kolóniából vettünk mintát, a gyűjtést kolóniánként külön Eppendorf-csőbe végeztük, kolóniánként 20 kifejllett, szárnyatlan nőstény egyedet gyűjtöttünk be, illetve kisebb kolóniák esetén amennyit lehetséges volt.

A begyűjtött levéltetvek faji meghatározását kéthetes várakozási periódus követően morfológiai úton, sztereomikroszkóp (Zeiss Stemi 200C, Carl Zeiss, Németország) segítségével végeztük Halbert és Voegtlin (1992) Rakauskas et al. (2015) által kiegészített morfológiai kulcsa alapján, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE) Növényvédelmi Intézetének rovar-tani laboratóriumában. A levéltetűmintákat a vizsgálat megkezdése előtt a konzerváló etanol oldatból desztillált vízbe helyeztük, és a morfológiai paraméterek

meghatározásának idejére a vizsgált egyedeket egy desztillált vízzel nedvesített tiszta tárgylemezre rögzítettük. Legfőbb határozóbélyegként a marginális tuberculák számát, a farkocskán található kitinszőrök számát, és a farkocská alakját vettük figyelembe (Halbert és Voegtlin, 1992; Foottit et al. 2009; Rakauskas et al. 2015; Fericean és Corneau, 2016). Amennyiben egy helyszínről csak szárnyas (migráns) egyedek begyűjtése volt lehetséges, a felhasznált határozóbélyegeket az első szárny pár pterostigmájának színével is kiegészítettük (Halbert és Voegtlin, 1992; Rakauskas et al. 2015). Kérdéses esetben a levéltetvekből mikroszkópi preparátumot készítettünk (Szalay-Marzsó, 1969) és fénymikroszkóp (Euromex iScope 1153-PL1, Euromex Microscopen BV, Hollandia) segítségével egy további morfológiai bélyeget, a szipóka utolsó ízének hosszát is lemértük (Halbert és Voegtlin, 1992).

#### **4.1.3. A levéltetűegedek molekuláris úton történő meghatározása**

A két faj morfológiai elkülönítésének eredményét genetikai úton, a levéltetvek mitokondriális DNS-ének citokrom oxidáz 1 enzim génjének (COI-fragmentum) szekvenanciaanalízisével erősítettük meg (Foottit et al. 2009; Rakauskas et al. 2015). A teljes DNS kivonását mintánként (helyszínenként) egyetlen levéltetűegyedből végeztük el DNeasy Blood and Tissue Kit (QUIAGEN, Németország) segítségével, a gyártó útmutatását követve. A COI fragmentum amplifikációját 20  $\mu$ l reakciótér fogatban végeztük, melynek összetétele a következő volt: 20–80 ng templát DNS, 5xPhire Reaction Buffer pufferoldat; 0,4  $\mu$ l Phire Hot Start II. DNA Polymerase (Thermo Scientific, Magyarország) polimeráz enzim; 0,2 mM dNTP mix; 3% DMSO; 2,5  $\mu$ mol 3' és 5' primer [LCO 1490: 5' GGTCACAAATCATAAAGATATTGG 3' és HCO 2198: 5' TAAACTTCAGGGTGACCAAAAATCA 3' (Folmer et al. 1994)] és desztillált víz. A polimeráz láncreakciót Swift MaxPro (ESCO Healthcare, Szingapúr) PCR készülékkel végeztük. A PCR-reakció paraméterei a következők voltak: kezdeti denaturáció 98 °C-on 30 másodpercig, majd 30 cikluson keresztül denaturáció 98 °C-on 5 másodpercig, kapcsolódási lépés (annealing) 49 °C-on 5 másodpercig, majd meghosszabbítási lépés (extension) 72 °C-on 15 másodpercig. A végső meghosszabbítási lépést 72 °C-on 60 másodpercig végeztük. Az amplifikáció sikerességét 1 w/V%-os etídium-bromidos agaróz géllal ellenőriztük 1xTBE puffer oldatban. A kapott fragmentumok hosszát 1 kb-os DNS létrához (Fermentas, Waltham, MA, Egyesült Államok) hasonlítottuk. A kapott fragmentumokat ExoSAP-IT Express tisztító kittel (Thermo Scientific, Magyarország) izoláltuk a direkt szekvenanciaanalízishez. A szekvenanciaanalízist ABI PRISM 3100 Genetic Analyser (Applied Biosystems, Foster City, CA, Egyesült Államok) direkt szekvenátorral végeztük. A nukleotidok sorrendjét minden

fragmentum esetében mindkét irányban meghatároztuk. A normál és reverz szekvenciákat összeszerkesztettük, az illesztést és a páronként összehasonlítást MEGAX (Kumar et al. 2018) szoftver segítségével végeztük. A kapott szekvenciaadatokat az NCBI BLASTN algoritmusával értékeltük.

#### 4.2. A zöld gyöngyvessző levéltetű (*Aphis spiraecola*) áttelelési stratégiájának vizsgálata hazai körülmények között

Az *A. spiraecola* hazai körülmények között almán, mint elsődleges téli tápnövényen való áttelelési képességét összesen 7 tenyészidőszakban (2015–2017, 2019–2021, illetve 2023) vizsgáltuk összesen 10 helyszínen (3. táblázat).

**3. táblázat:** Az almán élő zöld levéltetvek (*Aphis* spp.) őszanyvizsgálatának mintavételi helyszínei az egyes mintavételi években. Int.: integrált, öko.: ökológiai növényvédelemben részesített ültetvények.

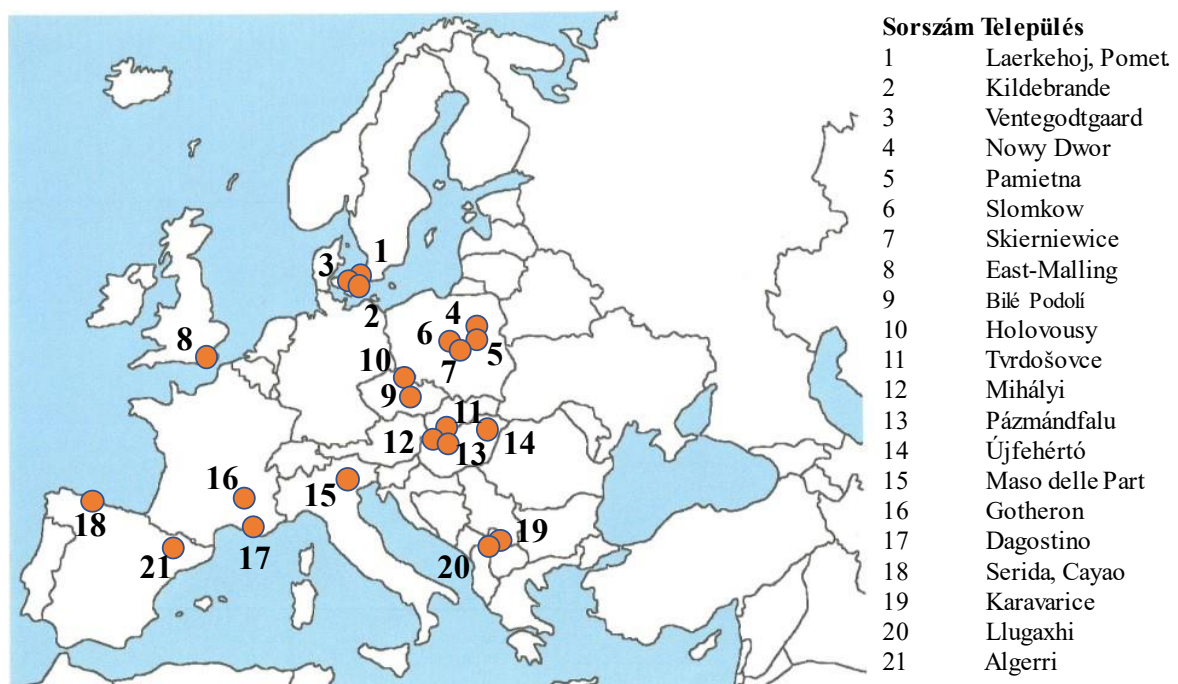
Helyszín	Hosszúság	Szélesség	Termőhely	2015	2016	2017	2019	2020	2021	2023
Budai Arborétum	47,481335	19,038214	park				X		X	X
Érd-Elviramajor	47,346246	18,860841	ültetvény						X	X
Győr-Adyváros	47,672412	17,658372	park					X	X	X
Gyórszentiván	47,699844	17,748005	házikert					X	X	X
Mihályi	47,523007	17,099191	ültetvény					X		
Óbudai-sziget	47,554747	19,054914	park				X			X
Soroksár	47,396091	19,144748	ültetvény				X			
Újfehértó int.	47,825602	21,671145	ültetvény			X	X	X	X	
Újfehértó öko.	47,819778	21,665274	ültetvény					X		
Újfehértó génbank	47,819187	21,668583	ültetvény	X	X			X	X	

A mintavétel során annyi telelő klaszterből vettünk mintát, amennyit találtunk az ültetvényben, az egy fán található klasztereket egynek tekintettük. Mivel a két faj esetén eltér a tojásrakás menete (az *A. pomi* több száz tojást számláló tojásklasztereivel szemben az *A. spiraecola* tojásklaszterei jóval kisebbek), ezért külön figyelmet fordítottunk arra, hogy kisebb és nagyobb klaszterekből egyaránt történjen mintavétel. A vizsgálathoz április hónapban 70 V/V%-os etanol oldattal töltött 1,5 ml-es Eppendorf-csővekbe gyűjtöttük a tömegesen kelő, a kifejlett stádiumot éppen elért őszanyákat, vagy az első leánynemzedék éppen imágóvá fejlődött nőstényeit, klaszterenként 20 egyedet (illetve kisebb klaszterek esetében amennyit sikerült). Az egyedek faji meghatározását a 4.1.2. fejezetben ismertetett módon végeztük a MATE Növényvédelmi Intézetének rovarügyi laboratóriumában.

### 4.3. A zöld levéltetű-együttes faji összetételének, abundanciájának és fitnessének felmérése európai almaültetvényekben

#### 4.3.1. Mintavételi helyszínek

A felmérést összesen 12 európai régió (10 ország) almaültetvényeiben végeztük: Katalónia (Spanyolország), Koszovó, Asztúria (Spanyolország), Franciaország (2 régió), Olaszország, Magyarország, Szlovákia, Csehország, Egyesült Királyság, Lengyelország és Dánia; 2018 és 2019 tenyészidőszaka során. Országonként 2–2 ültetvényt jelöltünk ki, a párok egyik tagja mindig konvencionális vagy integrált növényvédelmű, míg a másik tagja ökológiai növényvédelmű almaültetvény volt. Az ültetvénytár tagjai térben egymáshoz mindig közelebb helyezkedtek el, mint a másik ültetvénytár bármely tagja. A párok tagjai lehetőleg azonos korú, fajtájú és termesztési rendszerű almaültetvények voltak. A vizsgálatban használt 48 almaültetvény térbeli elhelyezkedését a 8. ábra mutatja, főbb adatait az M2. melléklet tartalmazza.



8. ábra.: Zöld levéltetvek (*Aphis* spp.) európai elterjedtségének felmérésébe bevont almaültetvények földrajzi elhelyezkedése (egy településhez több ültetvény is tartozhat, részletesen lásd a M2. mellékletben)

Az alapkoncepciótól néhány esetben eltértünk: Magyarországon kettő helyett három ültetvényt jelöltünk ki, míg a szomszédos Szlovákiában kettő helyett csak egy ültetvényt jelöltünk ki, illetve, mivel Koszovó területén nem található tanúsított ökológiai növényvédelmű almaültetvény, itt a vizsgált ültetvénytárak egyik tagja mindig kisebb peszticidterhelésű

integrált, míg a másik tagja nagyobb peszticidterhelésű, konvencionális növényvédelmű ültetvény volt (M2. melléklet).

#### **4.3.2. Zöld almalevéltetvek abundanciájának felmérése a vizsgált ültetvényekben**

A levéltetűminták begyűjtését megelőzően minden mintavételi helyszínen azonos protokollt követve felmértük a zöld levéltetvek (*Aphis* spp.) abundanciáját (vagyis populációnagyságát) a vizsgálati ültetvényekben 2018-ban és 2019-ben, évente négy alkalommal, május, június, július és szeptember hónapokban. Az ültetvény bejárása során vizsgálati ültetvényenként tíz véletlenszerűen kiválasztott almafán véletlenszerűen kiválasztottunk tíz hajtásvéget, és felmértük a növekvő és nem növekvő hajtásvégek számát. Ezt követően fánként véletlenszerűen kiválasztott 3 növekvő hajtásvégen megbecsültük a levéltetvek egyedszámát: csak a 3. nimfa stádiumú, és annál fejlettebb levéltetűegyedek számát mértük fel egy bonitálási skála (0; 1–50; 51–100; 101–200; 200+) illetve egy közelítő becült számérték szerint. Az adatokat az egységes Mintavételi adatlapon (M3. melléklet) rögzítettük minden vizsgálatban résztvevő ültetvény esetén.

#### **4.3.3. Zöld almalevéltetvek összetételének és fitnessének felmérése a vizsgált ültetvényekben**

A levéltetűminták begyűjtését minden mintavételi helyszínen azonos mintavételi protokollt követve végeztük el 2018-ban és 2019-ben, évente négy alkalommal, május, június, július és szeptember hónapokban. Minden esetben meghatároztuk a levéltetvek ültetvényen belüli abundanciáját (4.3.2. fejezet), illetve mintákat gyűjtöttünk faji összetételük, illetve fitnessük (rátermettségük) meghatározása céljából. A mintavétel vizsgálati ültetvényenként 33 véletlenszerűen kiválasztott kolóniából történt, minden kolónia külön almafán helyezkedett el (így fánként szigorúan csak egy kolónia került begyűjtésre). A mintavétel során lehetőség szerint kerültük az ültetvény szegélyén elhelyezkedő fák felhasználását. Amennyiben egy ültetvényben az adott időpontban nem volt 33 még élő levéltetűkolónia, akkor annyit gyűjtöttünk be, amennyit lehetséges volt. A levéltetűegyedek begyűjtése előtt háttéradatként rögzítettük a Mintavételi Adatlapon (M3. melléklet) az adott kolónia egyedszámát (3. nimfa stádiumú, és annál fejlettebb levéltetűegyedek becült száma), illetve az adott kolóniát hordozó hajtás típusát (növekvő/nem növekvő/vízahajtás). Amennyiben a kolónia becült egyedszáma 100 egyed alatti volt, úgy kolóniánként minimum 3–3, míg, ha meghaladta a 100 egyedet,



kolóniánként minimum 20–20 levéltetűegyedet gyűjtöttünk be és konzerváltunk 70 V/V%-os etanol oldatba.

#### **4.3.4. A levéltetűegyedek faji meghatározása és hátsó lábszár hosszának lemérése**

A begyűjtött és 70 V/V%-os etanol oldatban konzervált levéltetűegyedek faji meghatározását morfológiai úton végeztük a **4.1.2.** fejezetben ismertetett módon a MATE Növényvédelmi Intézetének rovarani laboratóriumában.

A levéltetvek fitnessét egy, a korábbi szakirodalmi adatok (Honěk, 1993; Via és Shaw, 1996; Awmack és Leather, 2002; Foottit et al. 2009) alapján kiválasztott fitnessz jelző paraméter, a hátsó lábszár hosszának mérése révén határoztuk meg. A lábszár méretét egy mérőskálával ellátott, előzetesen kalibrált Leica MZ6 (Leica Camera AG, Németország) sztereomikroszkóp segítségével mértük meg, a vizsgálatba csak az imágó stádiumú, nyári szárnyatlan egyedeket (apterae) vontuk be. A fitnesszparaméterek leméréséhez a levéltetűegyedeket hasi oldallal felfelé kiterítettük egy desztillált vízzel előzetesen megnedvesített tiszta mikroszkópi tárgylemezre, ügyelve arra, hogy a test és a hátsó lábszár is egy síkba rendeződjön.

#### **4.3.5. Az ültetvények klímazonájának meghatározása**

Vizsgálatunk során célul tűztük ki az *A. pomi* és az *A. spiraecola* elterjedtségének és dominanciájának feltérképezését Európa különböző éghajlatú régióiban. A klíma, mint ökológiai faktor későbbi statisztikai modellünkbe illesztésének feltétele volt, hogy a vizsgálatba bevont ültetvényeket makroklimájuk szerint valamilyen módon különböző csoportokba soroljuk. A besorolást két, Európát részben eltérő klimatikus paraméterek alapján, különböző zónákra felosztó bioklimatikus tanulmány, Metzger és munkatársainak (2005) és Botti (2018) munkái alapján végeztük. Metzger és munkatársainak modellje 21 klimatikus változó szerint sorolta be Európa egyes területeit a különböző zónákba, a modell fő komponense az átlaghőmérséklet, másodlagos komponense az óceánitás és harmadlagos komponense a csapadékmintázat eloszlása volt (88%-ban ez a három tényező magyarázta a változók alakulását, míg az összes többi komponens együtt 12%-ban). Ezzel szemben Botti (2018) modelljében egy ariditás/humiditás grádiens volt az elsődleges komponens (a nyári vízhiányos időszak megléte és hossza alapján), majd másodlagos komponensként szerepelt az átlaghőmérséklet, és harmadlagos komponensként a kontinentalitás (a nyári és a téli átlaghőmérséklet közötti különbség). Az általunk vizsgálatba vont 48 ültetvény beosztását GPS

koordinátáik alapján, a két szerző által publikált nagyfelbontású térkép számítógépes illesztésével végeztük.

#### **4.3.6. Az adatok statisztikai értékelése**

##### **4.3.6.1. A két faj európai eloszlása**

Az egyes klímazónák két faj elterjedtségére és arányára (vagyis relatív dominanciájára) kifejtett hatását binomiális hibatagú általánosított kevert hatású modell (Generalized Mixed-Effect Model with binomial error structure, GLMER-b) segítségével elemeztük. A modell függő változója a két faj arányának medián alapján számított binarizált értéke (0: az arányszám kisebb, mint a medián; 1: az arányszám nagyobb vagy egyenlő, mint a medián), míg a klímazóna, a termesztési mód és a mintavétel éve diszkrét, a mintavétel időpontja (hónapok) pedig kovariáns (folytonos) magyarázó változóként szerepelt az elemzésben. A modell vizsgálta a klímazóna és a mintavétel éve közötti interakciót, míg az egyes kolóniák azonosító kódja random faktorként szerepelt az elemzésben. Minthogy a két faj aránya a nagyobb mintáknál pontosabban határozható meg, az egyes adatpontokat a levéltetvek kolónianagyságának logaritmusára szerinti súlyoztuk. Az elemzések előtt minden folytonos változót központosítottunk és skáláztunk. A kétféle klímafelosztás (Metzger et al. 2005 és Botti, 2018) hatását két külön elemzés futtatásával vizsgáltuk.

##### **4.3.6.2. A két faj előfordulási valószínűsége és abundanciája**

A vizsgált almaültetvények hajtásnövekedésének intenzitását meghatározó legfontosabb tényezők hatását lineáris kevert hatású modell (Linear Mixed-Effect Model, LMM) segítségével vizsgáltuk. A függő változó ebben az esetben a növekvő hajtások átlagos aránya míg a diszkrét magyarázó változók a földrajzi elhelyezkedés („ország”) és az ültetvény típusa voltak; a mintavétel időpontja kovariáns változóként szerepelt a modellben. A kolóniák és az egyes ültetvények azonosító kódja random faktorokként szerepeltek a modellben. Az elemzést a 2018-as és 2019-es adatokra külön futtattuk, illetve a koszovói adatokat a nem megbízható becsült abundancia értékek miatt kizártuk ebből az elemzésből.

A két levéltetűfaj megjelenési valószínűségére ható legfontosabb tényezők szerepét ismét GLMER-b modell segítségével vizsgáltuk. A levéltetvek megjelenési valószínűségét a levéltetvek abundancia-adatainak binarizált értékeként számítottuk (jelenlét-hiány), a binarizációt a két faj két év során mért medián abundancia értéke szerint végeztük. A modell

függő változója a kolóniák megjelenési valószínűsége, míg a magyarázó változók megegyeztek a hajtásnövekedés vizsgálatokhoz alkalmazott magyarázó változókkal. A modellt szintén külön futtattuk a két évre és a két levéltetűfajra vonatkozóan.

A mintavétel idejének, az ültetvény földrajzi elhelyezkedésének és a termesztési mód levéltetvek közvetlen abundanciájára kifejtett hatását negatív binomiálisú általános kevert hatású modell (GLMM with negative binomial family, GLMM-nb) segítségével vizsgáltuk. A függő változó ebben az esetben a levéltetvek abundancia-értékeinek (log+1) transzformált értéke volt, míg az ültetvény földrajzi elhelyezkedése („ország”) és a termesztési mód diszkrét, a mintavétel időpontja, illetve az időpontok sorrendjének négyzetes értéke kovariáns változókként szerepeltek a modellben. A négyzetes tag modellbe emelését a levéltetvek abundanciája és az idő közötti nem lineáris, hanem parabolikus jellegű kapcsolat indokolta. A kolóniák és az egyes ültetvények azonosító kódja random faktorokként szerepeltek a modellben, az elemzést a két évre és a két levéltetűfajra vonatkozóan külön futtattuk.

#### 4.3.6.3. A két faj fitnessze

A mintavétel idejének, az ültetvény földrajzi elhelyezkedésének és a termesztési mód a két levéltetűfaj hátsó lábszárának hosszára gyakorolt hatását LMM modell segítségével vizsgáltuk, az elemzés során csak a növekvő hajtásokról gyűjtött levéltetűegyedek adatait vettük figyelembe. A függő változó a hátsó lábszár hossza, míg az ültetvény földrajzi elhelyezkedése („ország”) és az ültetvény növényvédelmi típusa diszkrét, a mintavétel időpontja pedig kovariáns változókként szerepeltek a modellben. A kolóniák és az egyes ültetvények azonosító kódja random faktorokként kerültek a modellbe. Az elemzést a két évre és a két levéltetűfajra vonatkozóan külön futtattuk, a koszovói adatokat ebbe az elemzésbe se vontuk be.

A hajtásnövekedés fitnessre kifejtett fajspecifikus különbségét LMM modell segítségével vizsgáltuk, az elemzésbe csak olyan adatok kerültek, amikor egy adott ültetvényben és időpontban növekvő és nem növekvő hajtásokról származó *A. pomi* és *A. spiraecola* egyedek fitnessadatai is rendelkezésre álltak (összesen 1057 egyed adatai). A magyarázó változók ebben az esetben a levéltetű faja, a hajtás típusa (növekvő vagy nem növekvő) és a kettő interakciója voltak, míg a kolóniák azonosító kódja és a mintavétel adatai (ez utóbbit az ültetvény azonosító kódja, a mintavétel éve és a mintavétel hónapja adták) random faktorokként szerepeltek a modellben.

A statisztikai elemzések során külön figyelmet szenteltünk arra, hogy az adatok az adott statisztikai modell követelményeinek és feltételeinek megfeleljenek, melyet általános

statisztikai módszerekkel és modelldiagnosztikai vizsgálatokkal ellenőriztünk. A magyarázó változók relatív jelentőségét az összes modell esetén valószínűségi-arány tesztel (Likelihood Ratio Test, LRT) vizsgáltuk. Elemzéseink R statisztikai környezetben (Ver. 4.1.0) készültek.

#### **4.4. Két, a hangya-levéltetű kapcsolat zavarásán alapuló módszer hatékonyságának tesztelése az almán élő zöld levéltetű-együttes szabályozására**

##### **4.4.1. A vizsgálat helyszíne**

A hangyák cukoroldatos etetésének a zöld almalevéltetvekre (*Aphis* spp.) kifejlett indirekt hatását a Debreceni Egyetem [jogelődje: Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ (NAIK)] Gyümölcs- és Dísznövénytermesztési Kutatóintézetének Újfehértói Telephelyén vizsgáltuk egy ökológiai növényvédelemben részesített almaültetvényben 2014 és 2015 nyarán. Az ültetvény földrajzi elhelyezkedése: 47,819778 É; 21,665274 K, telepítési ideje: 2002; az ültetvényben összesen 32 sor multirezisztens almafajta található törpe alanyon (M9 és M26), 5 x 2,25, illetve 5 x 1,5 méter sor- és tőtávolságra. A vizsgálatot 2014-ben 'Prima', míg 2015-ben 'Remo' fajtán állítottuk be.

##### **4.4.2. A zöld levéltetvek faji összetételének felmérése a vizsgálati ültetvényben**

A különböző etetőtípusok hatékonyságának felmérését megelőzően tájékoztató adatként felmértük az ültetvényben az adott fajtát kolonizáló zöld levéltetvek faji összetételét: a hangyaetetéses vizsgálatba be nem vont fákról mintavételi időpontokként (2014 június 20. és július 9., 2015 június 30. és július 22.) 33 természetes úton betelepült zöld levéltetű kolóniából 3–3 egyedet gyűjtöttünk be egyeléses módszerrel 70 V/V%-os etanol oldattal töltött 1,5 ml-es Eppendorf csövekbe. A levéltetűegyedek morfológiai meghatározását a **4.1.2.** fejezetben ismertetett módon végeztük a MATE Növényvédelmi Intézetének rovarügyi laboratóriumában.

##### **4.4.3. Vizsgálati beállítás, kezelések**

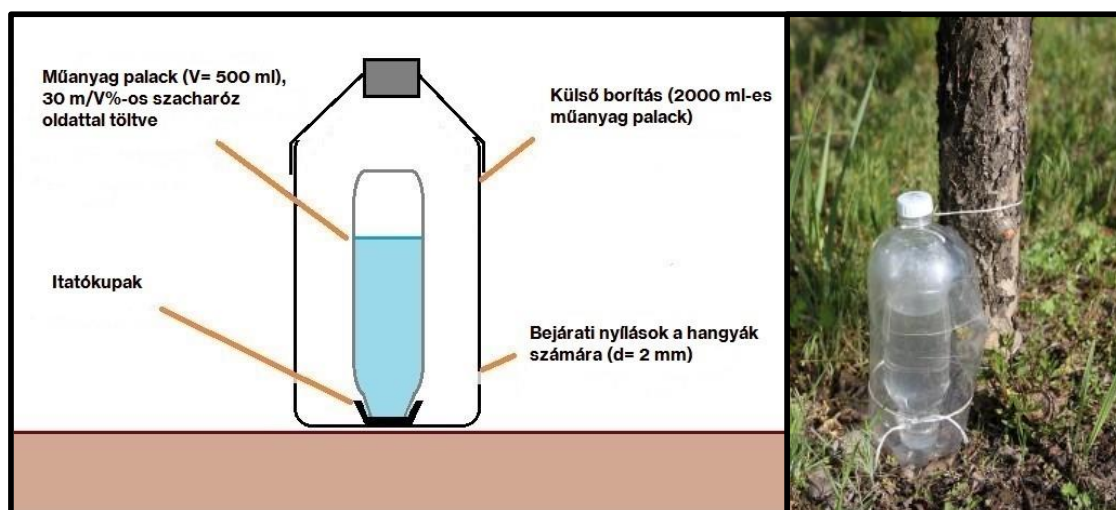
A vizsgálat során kétféle cukoretetési módszer: egy általunk kifejlesztett palackos önitató (továbbiakban: PALACK), és agar-agar zselé kockában fixált cukoroldat (továbbiakban AGAR) a hangyákra, a természetes ellenségekre, és ezáltal a levéltetvekre kifejlett hatását hasonlítottuk össze kezeletlen kontroll (továbbiakban: KONTROLL) fákkal. Az egyes kezeléseket random blokk elrendezésben alkalmaztuk az ültetvényben: egy blokk 2

szomszédos, jó kondícióban lévő almafából állt. A vizsgálatot a két kezelés esetében 8, míg a KONTROLL esetében 3x8 ismétlésben alkalmaztuk.

A blokkok kijelölését megelőzően elvégeztük a terület hangyaterképezését: mivel a vizsgálatunk a kezelésekre *L. niger* hangyára való hatását vizsgálta, előzetesen ellenőriznünk kellett, hogy a hangyák jelen vannak-e a vizsgálati fák alatt, illetve, hogy kizárólag a megfelelő hangyfaj van-e jelen. A térképezés során a fák tövéhez nagyjából 1 cm átmérőjű 30 m/V%-os szacharóz oldattal felszívatott vattagalacsinokat helyeztünk, majd 30 perc elteltével megszámláltuk és 5–5 begyűjtött egyed alapján faji szinten meghatároztuk a rajtuk táplálkozó hangyadolgozókat.

Irodalmi adatok (Tinti és Nofre, 2001; Detrain et al. 2010; Detrain és Prieur, 2014) alapján a szacharóz 30 m/V%-os vizes oldata nagyon jó minőségű és erősen preferált szénhidrátforrást jelent a *L. niger* hangyadolgozók számára, ezért vizsgálatunkban is ezt a cukorfajtát és koncentrációt alkalmaztuk.

A palackos önitató (9. ábra) külső burkolatát egy felülről nyithatóan kivágott 2 literes polietilén-tereftalát (PET) palack alkotta, melynek alsó részén 2 mm átmérőjű lyukakat fúrtunk a hangyák közlekedésére, míg a nagyobb testű cukorfogyasztókat (például poszméhek, darazsak) ezen az úton kizártuk. Maga az etető egy 15 ml-es műanyag kupakba fejjel lefelé fordított, a cukoroldattal töltött 0,5 literes PET palackból állt. A hangyák a műanyag kupakból a beleragadás veszélye nélkül fogyaszthatták az állandó koncentrációjú cukoroldatot, amit a folyadékoszlop nyomása folyamatosan állandó szinten tartott. Az etetőt közvetlenül a fák tövénél a talajra helyeztük, és egy zsineggel rögzítettük a fák törzséhez.



9. ábra: Palackos önitató szerkezeti felépítésének vázlata és fényképe (Rajz és fotó: Borbély Csaba)

A cukoroldatos agarzselé kockát (10. ábra) szintén 30 m/V%-os szacharóz oldatból főztük, 1 dm<sup>3</sup> oldathoz 8 g/dm<sup>3</sup> szálás agar hozzáadásával. A kihűlt és megszilárdult zseléből 50 ml térfogatú (azaz 15 g szacharózt tartalmazó) kockákat helyeztünk a talajra, közvetlenül a fa tövéhez.



10. ábra: Cukoroldatos agarzselé kocka és rajta táplálkozó *L. niger* hangyadolgozók (Fotó: Nagy Csaba)

#### 4.4.4. Adatgyűjtés

Az adatgyűjtést a természetes úton betelepülő zöld levéltetűkolóniák megjelenése és megerősödése után végeztük, mindkét vizsgálati évben két alkalommal (2014. június 20. és július 9.; 2015. június 30. és július 22.). A hangyák etetését már a levéltetvek várható megérkezését megelőzően, áprilisban elkezdtük, és folyamatosan fenntartottuk a vizsgálat ideje alatt. A palackos önitatókban szükség szerint pótoltuk az elfogyasztott cukoroldatot, míg az agarzselé kockákat szükség szerint nedvesítettük, és heti rendszerességgel újakra cseréltük.

A hangyák és levéltetvek abundanciájának felvételezését megelőzően a vizsgálati fákön megjelent levéltetűkolóniákat megjelöltük, a kolonizált leveleket alkoholos filctollal sorszámoztuk.

A zöld levéltetvek egyedszámát levelenként összesítve, az egyes fejlődési stádiumokat (1–4. nimfa stádium, szárnykezdeményes 4. stádiumú nimfa, szárnyatlan és szárnyas imágó) elkülönítve megszámoztuk és adatbázisban rögzítettük. Feljegyeztük a levéltetűkolóniákon

táplálkozó természetes ellenségeket is (faj szintű azonosítás, a fejlődési stádium megjelölésével).

A hangyák aktivitását a levéltetűkolóniákon napi két alkalommal, nappal és éjszaka mértük fel, szintén levelenként összesítve. A nappali felmérés a csillagászati napkelte utáni 1 óra és a csillagászati napnyugta előtti 1 óra közötti időintervallumban történt, míg az éjszakai felmérés a csillagászati napnyugta utáni egy óra és a csillagászati napkelte előtti egy óra közötti intervallumban. A hangyák egyedszáma mellett felmértük viselkedésüket is: az ecsettel végzett fizikai stimulus hatására adott válaszreakciót két kategóriába: agresszív (a hangya megtámadta az ecsetet) és nem agresszív (a hangya a stimulus hatására elmenekült) soroltuk. Minden adatgyűjtés alkalmával rögzítettük az etetők hangyák általi használatát (az etetőn lévő hangyák száma) is.

A levéltetű-, hangya- és természetes ellenség adatok felvételét az adott adatfelvételezés első napjától számított 10 napon belül minden esetben befejeztük.

#### **4.4.5. Az adatok statisztikai értékelése**

A felvételezett adatokat évenként (vagyis fajtánként) elkülönítve elemeztük. A hangyák abszolút egyedszámát a nappali és az éjszakai értékek átlagaként számítottuk. A hangyák és a levéltetvek egyedszámának adatait a statisztikai elemzéseket megelőzően  $\sqrt{x}$  transzformáltuk az adatok normális eloszlásának elérése érdekében. A három kezelés (PALACK, AGAR és KONTROLL) a hangyák egyedszámára (hangyák száma a levéltetűkolóniákon fánként összesítve és hangyák száma az etetőkön fánként összesítve), a levéltetvek egyedszámára (levéltetvek száma fánként összesítve) és a levéltetű kolóniák számára (kolóniák száma fánként összesítve) kifejtett hatását az egész vizsgálati időszak vonatkozásában robusztus (az adatok eloszlásának megfelelőségére kevésbé érzékeny), többszörös varianciaanalízissel (Repeated Measures ANOVA) hasonlítottuk össze (Welch teszt a kezelés hatásának vizsgálatára, és Geisser-Greenhouse teszt a mintavételi időpont hatásának, és a mintavételi időpont x kezelés interakciójának vizsgálatára). Szignifikáns különbség esetén Games-Howell post-hoc tesztet alkalmaztunk az egyes kezelések hatásának páronkénti összehasonlítására.

A három kezelés a hangyák egyedszámára, a levéltetvek egyedszámára és a levéltetű kolóniák számára kifejtett hatását az egyes mintavételi időpontokra lebontva is elemeztük (Brown-Forsythe teszt), szignifikáns különbség esetén szintén Games-Howell post-hoc tesztet alkalmaztunk az egyes kezelések hatásának páronkénti összehasonlítására (az ábrákon csak ez utóbbi eredményeit tüntettük fel).

A vizsgálat során a természetes ellenségek egyedszáma túl kevés volt az egyes kezelések fajonkénti, vagy akár csoportonkénti összehasonlításához, ezért a statisztikai elemzéseket csak a felmért természetes ellenségek kumulált összegével tudtuk elvégezni. A három kezelés hatását a természetes ellenségek abszolút (természetes ellenségek száma fánként összesítve) és relatív (természetes ellenségek átlagos száma kolóniánként, fánként összesítve) számára előzetes transzformáció nélkül, Brown-Forsythe teszt segítségével hasonlítottuk össze, szignifikáns különbség esetén Games-Howell post-hoc tesztet alkalmaztunk az egyes kezelések hatásának páronkénti összehasonlítására.

A vizsgálat elemzései RopStat statisztikai környezetben készültek (Vargha, 2007).

#### **4.5. A kajszi levéltetű (*Myzus mumecola*) hazai megjelenésének detektálása, életmódjának és kártételének vizsgálata**

##### **4.5.1. A *Myzus mumecola* hazai megjelenése és elterjedése**

###### **4.5.1.1. A mintavétel helyszínei és módja**

A *M. mumecola*, mint a kajszi új kártevőjének első, 2016-os európai észlelése (Panini et al. 2017) óta a kártevő hazai megjelenését célzottan kerestük az ország különböző pontjain. A 2020 tavaszán a kajszi országosan tapasztalt tömeges levéltetűfertőzöttség idején az ország több pontján (Győr: 47,699717 É, 17,748146 K; Györszentiván: 47,676328 É, 17,662642 K; Balatonalmádi: 47,024892 É, 18,008070 K; Budapest-Budafok: 47,422926 É, 19,032137 K; Pomáz: 47,652329 É, 19,012668 K és Gönc: 48,468253 É, 21,282107 K) végeztünk mintavételt: a kajszi fáról kifejlett, szárnyatlan levéltetűegyedet 1,5 ml-es Eppendorf csövekbe gyűjtöttük be egyelésekkel módszerrel (kolóniánként 12 egyedet). A begyűjtött levéltetűeket a morfológiai azonosításhoz 70 V/V%-os etanol oldatban, míg a genetikai azonosításhoz 96 V/V%-os etanol oldatban konzerváltuk.

###### **4.5.1.2. A levéltetűegyedek morfológiai és molekuláris úton történő meghatározása**

A levéltetűek morfológiai meghatározását sztereomikroszkóp (Leica MZ6, Leica Camera AG, Németország) illetve mikroszkópi preparátumkészítést (Szalay-Marzsó, 1969 alapján) követően fénymikroszkóp (Euromex iScope 1153-PL1, Euromex Microscopen BV, Hollandia) segítségével végeztük Basu és Raychaudhuri (1976), Blackman és Eastop (2010) és Panini et al. (2017) határozókulcsai alapján a MATE Növényvédelmi Intézetének rovarani laboratóriumában. A 96 V/V%-os etanol oldatban konzervált levéltetűegyedek molekuláris



meghatározását (mind a hat mintavételi helyszínről 1-1 egyed molekuláris meghatározását végeztük el) a mitokondriális DNS citokróm oxidáz 1 enzim génjének (COI-fragmentum) szekvenciaanalízisével végeztük (Footitt et al. 2009; Rakauskas et al. 2015) (részletesen lásd a 4.1.3. fejezetben).

#### 4.5.2. Kártétel és fejlődésmenet

A levéltetvek hazai körülmények között mutatott fejlődésmenetét, az egyes alakok megjelenését, illetve az okozott tüneteket házikerti kajszifákon Győr (12 fa), Györszentiván (2 fa) és Balatonalmádi (4 fa) mintavételi helyeken mértük fel: rendszeres ültetvénybejárások során feljegyeztük az egyes fejlődési alakok, valamint az egyes jellegzetes kárképtünetek megjelenési idejét. A fák folyamatos, legalább heti rendszerességgel történő megfigyelését az adatok fotódokumentációjával is megerősítettük. A vizsgálathoz használt kajszifák semmilyen növényvédelmi kezelésben nem részesültek a megfigyelés időtartama alatt. Megfigyeléseinket a rügyfakadástól kezdődően az utolsó szárnyas (migráns) egyedek távozásáig végeztük (április eleje–június vége).

#### 4.5.3. Az egyes kajszifajták fogékonyságának összehasonlítása

Mivel a kajszifajták levéltetvekkel szemben mutatott fogékonysága nagymértékben eltérhet, például tündérrózsa levéltetű, (*Rhopalosiphum nymphae*) faj esetén (Pénzes Béla szóbeli közlése), külön vizsgálatban felmértük az egyes, hazai ültetvényekben nagyobb területen termesztett kajszifajták érzékenységet az új kártevővel szemben is.

A vizsgálatot az okozott kártétel/kárképtünetek alapján 2020 júliusában végeztük el öt hazai kajszifajtaültetvényben azt követően, hogy a szárnyas egyedek már áttelepültek a nyári tápnövényekre, tehát a kártétel mértéke már véglegesnek volt tekinthető. A vizsgálatba bevont ültetvények adatait a 4. táblázat és az M4. melléklet tartalmazza.

**4. táblázat:** A vizsgálatba vont ültetvények főbb adatai.

	<b>Helyszín</b>	<b>Szélesség</b>	<b>Hosszúság</b>	<b>Vizsgált fajták száma</b>
Ültetvény 1	Györszentiván	47,686885 É	17,794013 K	3
Ültetvény 2	Szentkirályszabadja	47,062520 É	17,950866 K	2
Ültetvény 3	Érd-Elviramajor	47,340455 É	18,862620 K	2
Ültetvény 4	Törökbálint	47,431938 É	18,873839 K	2
Ültetvény 5	Budapest-Soroksár	47,394017 É	19,144961 K	7

Az összes vizsgálati ültetvény mirabolán (*Prunus cerasifera* Ehrhart) alanyon volt telepítve, az ültetvények termesztési és növényvédelmi technológiája is hasonló volt.

Az adatfelvételezés során az ültetvényben véletlenszerűen kiválasztott kajszi fákon megszámláltuk az összes hajtás számát, illetve a fertőzött hajtásvégek számát, ezáltal százalékos értékben tudtuk kifejezni a károsítás mértékét. A statisztikai elemzésekhez csak az olyan fajták adatait használtuk fel, amikből legalább 9, jó egészségi állapotban lévő fán el tudtuk végezni az adatok felvételezését.

#### **4.5.4. A szilvahimlő (PPV) vírusának kimutatása a kártevő testéből**

A vizsgálatot a MATE Növényvédelmi Intézetének Növénykórtani laboratóriumában végeztük, a **4.5.1.1.** pontban ismertetett mintavételi helyszínekről származó levéltetűegyekből (1-1 egyed/helyszín). A vizsgált levéltetűeket felhasználásukig 96 V/V%-os etanol oldatban tároltuk. A virális RNS-t forralásos technikával nyertük ki a levéltetűegyekből (Kim et al. 2016), felszaporítását kétlépcsős PCR-rel és PPV specifikus primerpárral (PP3: 5' TTATCTCCAGGA(AG)TTGGAGC 3' és PCI: 5' TTGAGTCAAATGG(AG)ACAGTTGG 3') (Glasa et al. 2002) végeztük, ami a P3 gén (580 nt) 5' végének egy 836 bázispár hosszúságú szakaszát, a teljes 6K1 (156 nt) és a CI gén (3'P3–6K1–5'CI) 3' végének egy 100 nt hosszúságú szakaszát szaporította fel. Az amplifikációt Phire Hot Start (Thermo Scientific, Magyarország) készülékkel végeztük, a következő paraméterekkel: kezdeti denaturáció 98 °C-on 30 másodpercig, majd 30 cikluson keresztül denaturáció 98 °C-on 5 másodpercig, kapcsolódási lépés (annealing) 55 °C-on 5 másodpercig, majd meghosszabbítási lépés (extension) 72 °C-on 15 másodpercig. A végső meghosszabbítási lépést 72 °C-on 60 másodpercig végeztük. Az amplifikáció sikerességét 1 w/V%-os etídium-bromidos agaróz géllal ellenőriztük 1xTBE puffer oldatban. A kapott fragmentumok hosszát 1 kb-os DNS létrához (Fermentas, Waltham, MA, Egyesült Államok) hasonlítottuk.

A detektált PPV vírusok konkrét törzsének meghatározását a PCI/PP3 PCR során kapott PCR-termékeket *DdeI*, *EcoRI* és *EcoRV* restriktív endonukleázzal (Thermo Scientific, Magyarország) végzett CPSA vizsgálatával végeztük, a gyártó utasításainak megfelelően. A kapott mintázat elemzésével a PPV Magyarországon leggyakoribb három törzsét (PPV-D, PPV-M, PPV-Rec) egyértelműen el lehet különíteni egymástól (Glasa et al. 2002; Ádám et al. 2015).

## 4.6. Munkafelosztás

A kutatómunka, melynek eredményeit jelen értekezés bemutatja természetesen több kutató együttműködésében zajlott, dr. Markó Viktor (MATE, Növényvédelmi Intézet, Rovartani Tanszék) téma- és projektvezetése mellett. Ebben a fejezetben röviden ismertetem a kutatómunka munkafelosztását, hogy az önálló kutatási eredmények könnyebben értékelhetők legyenek.

A **4.1.** fejezetben ismertetett vizsgálat szlovákiai és egyesült királyság-beli mintavételeit én végeztem, a többi országból (Koszovó, Csehország és Dánia) a mintavételt külföldi partnerek: dr. Stine Kramer Jacobsen (Department of Plant and Environmental Sciences, University of Copenhagen, Frederiksberg, Dánia), dr. Fadil Musa (Department of Plant Protection, University of Prishtina, Prishtina, Koszovó), Jana Ouředníčková (Research and Breeding Institute of Pomology Holovousy Ltd., Holovousy, Csehország), dr. Lene Sigsgaard (Department of Plant and Environmental Sciences, University of Copenhagen, Frederiksberg, Dánia) és Michal Skalský (Research and Breeding Institute of Pomology Holovousy Ltd., Holovousy, Csehország) végezték. A levéltetvek morfológiai meghatározását a szerző, molekuláris azonosítását a MATE Genetika és Biotechnológia Intézet Kertészeti Növénygenetika Tanszékén Benyóné dr. György Zsuzsanna végezte.

A **4.2.** fejezetben ismertetett vizsgálat mintavételeit és a levéltetűegyedek faji meghatározását önállóan végeztem.

A **4.3.** fejezetben ismertetett vizsgálat mintavételeit Magyarországon és Szlovákiában én, míg a többi 9 országban külföldi partnerek: dr. Georgina Alins (Institute of Agrifood Research and Technology (IRTA), Lleida, Spanyolország), dr. Yvan Capowiez (French National Institute for Agriculture, Food, and Environment (INRAE), Avignon, Franciaország), dr. Petros Damos (Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Görögország), dr. Nikoletta Galambos (Research and Innovation Centre, Fondazione Edmund Mach, San Michele all'Adige, Olaszország), dr. Stine Kramer Jacobsen, dr. Marcos Miñarro (Regional Service of Agri-food Research and Development (SERIDA), Villaviciosa, Spanyolország), dr. Fadil Musa, Jana Ouředníčková, dr. Federico Pedrazzoli (Research and Innovation Centre, Fondazione Edmund Mach, San Michele all'Adige, Olaszország), dr. Wojciech Piotrowski (Research Institute of Horticulture, Skierniewice, Lengyelország), dr. Lene Sigsgaard, dr. Sylvaine Simon (French National Institute for Agriculture, Food, and Environment (INRAE), Saint-Marcel-Les-Valence, Franciaország) és Michal Skalský végezték. A levéltetvek faji meghatározását három szakdolgozó hallgató (Sisa Tamás, Vörös Boldizsár és Sás Csilla) és egy laboratóriumi

asszisztens (Saliga Rebeka) (MATE, Növényvédelmi Intézet, Rovartani Tanszék) segítségével, önállóan végeztem. Az adatokból önállóan készítettem adatbázisokat, a statisztikai elemzések Dr. Markó Gábor (MATE Növényvédelmi Intézet, Növénykórtan Tanszék) segítségével készültek.

A **4.4.** fejezetben ismertetett vizsgálat munkafolyamatait Nagy Csaba kollégámmal (MATE, Kertészettudományi Intézet, Gyümölcsstermesztési Kutatóközpont) közösen végeztük.

A **4.5.** fejezetben ismertetett vizsgálat mintavételeit Budapest-Budafok, Pomáz és Gönc mintavételi helyszínek kivételével magam végeztem. A kártevő morfológiai meghatározása, a kártevő fejlődésmenetének nyomon követése és az egyes kajszifajták fogékonyságának összehasonlítása szintén önálló munkám. Az általam begyűjtött levéltetűegyedek molekuláris meghatározását a MATE Genetika és Biotechnológia Intézet Kertészeti Növénygenetika Tanszékén Benyóné dr. György Zsuzsanna, míg a PPV vírus detektálását a MATE Növényvédelmi Intézet Növénykórtan Tanszékén Koósné dr. Szathmáry Erzsébet végezte.

## **5. Eredmények**

### **5.1. A zöld gyöngyvessző levéltetű (*Aphis spiraecola*) európai elterjedtségének felmérése különböző tápnövényeken**

#### **5.1.1. Az *Aphis spiraecola* első kimutatása egyes európai országokból**

Az *A. spiraecola* előfordulását az egyes országokban elsőként, morfológiai paraméterek alapján, az 5. táblázatban ismertetett helyszíneken és időpontokban igazoltuk. Ezen felül történt mintavétel az egyesült Királyságban (East Malling; 51,290962 É, 0,447164 K; 2018. július 11.) galagonyáról és naspolyáról is, az *A. spiraecola* jelenlétét azonban nem sikerült igazolnunk ezekről a tápnövényekről.

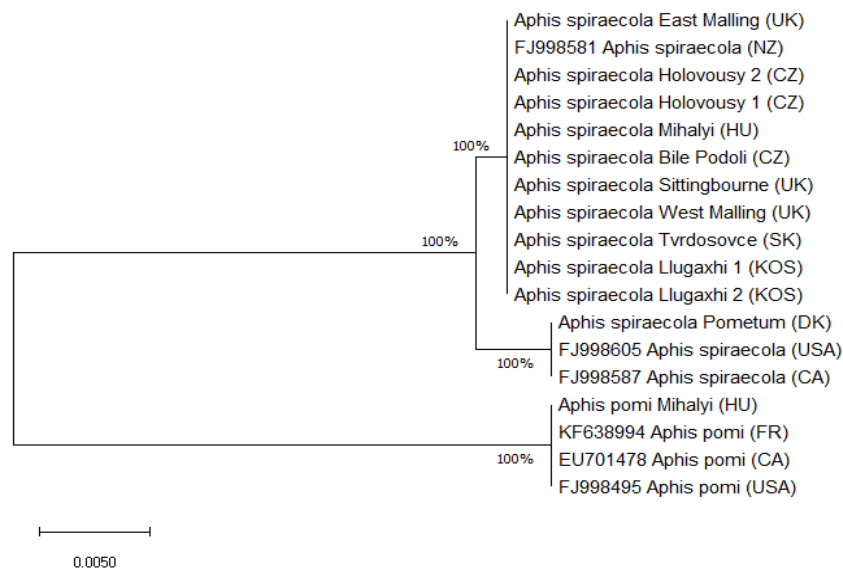
**5. táblázat:** Az *A. spiraecola* megjelenése Koszovó, Szlovákia, Csehország, az Egyesült Királyság és Dánia területén, különböző tápnövényeken

Koszovó			
Helyszín	Időpont	Tápnövény	Kolóniaszám (egyedszám)
Llugaxhi (42,482667 É, 21,163616 K)	2018.07.23.	alma	36(54)
	2018.08.20.	alma	30(39)
	2018.09.28.	alma	24(31)
Karavarice (42,709966 É, 21,625216 K)	2018.07.25.	alma	34(65)
	2018.08.24.	alma	31(36)
	2018.09.30.	alma	29(31)
Szlovákia			
Helyszín	Időpont	Tápnövény	Kolóniaszám (egyedszám)
Tvrdošovce (Tardoskedd) (48,100676 É; 18,053908 K)	2018.05.21	alma	3(7)
	2018.06.19	alma	12(49)
Štúrovo (Párkány) (47,794591 É, 18,720009 K)	2018.06.15.	alma	3(7)
		birs	1(2)
Komarno (Révkomárom) (47,759638 É, 18,127365 K)	2018.06.22.	kerti gyöngyvessző	6(18)
Nitra (Nyitra) (48,306332 É, 18,096308 K)	2018.06.22.	kerti gyöngyvessző	5(15)
Csehország			
Helyszín	Időpont	Tápnövény	Kolóniaszám (egyedszám)
Bilé Podolí (49,577480 É, 15,298400)	2019.06.22.	alma	17(129)
Holovousy (50,215960 É, 15,340130 K)	2019.06.21.	alma	30(144)
Egyesült Királyság			
Helyszín	Időpont	Tápnövény	Kolóniaszám (egyedszám)
Ash (Canterbury) (51,302403 É, 1,291386 K)	2018.07.13.	alma	2(8)
Ditton (51,292115 É; 0,445717 K)	2018.07.10.	alma	1(6)
Lenham (51,214524 É; 0,685980 K)	2018.07.10.	alma	4(13)
Sittingbourne (51,331260 É, 0,779724 K)	2018.07.11.	alma	5(15)
West Malling (51,285483 É, 0,420669 K)	2018.07.11.	alma	3(8)
East Malling (51,284968 É, 0,454027 K)	2016.07.14.	alma	7(23)
	2016.07.21.	alma	16(72)
	2016.08.31.	alma	9(31)
	2016.09.28.	alma	1(5)
	2018.07.11.	birs	4(12)
		körte	1(5)
		tűztövis	6(24)
2019.07.23.	alma	27(145)	
Dánia			
Helyszín	Időpont	Tápnövény	Kolóniaszám (egyedszám)
Pometum (Taastrup) (55,672327 É, 12,309266 K)	2019.07.20.	alma	1(4)

### 5.1.2. A molekuláris vizsgálatok eredményei

A vizsgálat során összesen tizenkét *A. spiraecola* egyed szekvenciaanalízisét végeztük el: két egyed Koszovóból (Llugaxhi mintavételi hely), egy egyed Szlovákiából (Tvrdošovce mintavételi hely), három egyed Csehországból (ebből két egyed Holovousy, és egy egyed

Bíle Podolí mintavételi hely), három egyed az Egyesült Királyságból (East Malling, West Malling és Sittingbourne mintavételi helyek), egy egyed Dániából (Pometum), és kontrollként egy-egy *A.pomi* és *A. spiraecola* egyed Magyarországról (Mihályi mintavételi hely, 47.523572 É 17.098054 K; gyűjtés ideje: 2019.07.29.). A megszekvenált génszakasz 707 bázispár hosszúságú volt. A kapott szekvenciaadatokat az NCBI GenBank adatbázisába MT445566–MT445577 azonosítási számok alatt rögzítettük. A kapott szekvenciaadatok összehasonlításához további *A. pomii* [KF638994 (Franciaország), EU701478 (Kanada) és FJ998495 (Egyesült Államok)] és *A. spiraecola* [(FJ998605 (Egyesült Államok), FJ998587 (Kanada), FJ998581(Új-Zéland)] COI szekvencia-adatokat töltöttünk le az NCBI GenBank-ból. A páronkénti összehasonlításhoz a szekvencia adatokat trimmeltük, így végül 630 bázis hosszúságú szekvenciaszakaszt használtunk a párosításhoz, illetve a klaszteranalízishez. Az *A. pomii* és *A. spiraecola* minták szekvenciasorrendjét összehasonlítva összesen 29 SNP-t (Single Nucleotid Polymorphism, egyetlen nukleotid polimorfizmus) találhatunk a két faj között. A dániai minta kivételével az összes vizsgált egyed egy haplotípusba tartozott, ami megegyezett az új-zélandi szekvencia haplotípusával (11. ábra). A dániai minta három SNP-ben különbözött tőlük, ugyanakkor egy haplotípust alkotott az Egyesült Államokból származó és a kanadai szekvenciaadatokkal (11. ábra).



11. ábra: *Aphis spiraecola* haplotípusok összehasonlítása a COI-régió szekvenciaanalízise alapján

## 5.2. A zöld gyöngyvessző levéltetű (*Aphis spiraecola*) áttelelési stratégiájának vizsgálata hazai körülmények között

A vizsgálat során 114 kolóniából összesen 1126 levéltetűegyedet gyűjtöttünk tíz helyszínen hét év során tavasszal (6. táblázat). Az összes meghatározott levéltetűegyed az *A. pomi* fajba tartozott, az *A. spiraecola* jelenlétét nem sikerült kimutatnunk a kora tavaszi kolóniákból egyik helyszínen és időpontban sem.

**6. táblázat:** Egyes gyűjtési helyeken 2015 és 2023 között, almafákról gyűjtött és meghatározott *Aphis* spp. kolóniák és (zárójelben) a meghatározott egyedek száma. Az összes meghatározott egyed az *A. pomi* fajba tartozott.

	Mihályi	Győr- Adyváros	Győr- szentiván	Érd- Elviramajor	Budai Arborétum	Óbudai -sziget	Soroksár	Újfehértó integrált	Újfehértó organikus	Újfehértó génbank
2015										10(76)
2016										9(78)
2017								10(30)		
2019					2(6)	1(11)	2(11)	8(147)		
2020	11(81)	4(18)	3(15)					5(60)	5(61)	5(62)
2021		1(15)	2(21)	1(3)	1(4)			5(75)		5(67)
2023	2(40)	5(39)	3(60)	1(20)	1(12)	12(114)				
<b>Össz.</b>	13(121)	10(72)	8(96)	2(23)	4(22)	13(125)	2(11)	28(312)	5(61)	29(283)

## 5.3. A zöld levéltetű-együttes faji összetételének, abundanciájának és fitnessének felmérése európai almaültetvényekben

### 5.3.1. A két faj európai eloszlása

A kétéves vizsgálat időtartama alatt összesen 28335 levéltetűegyedet gyűjtöttünk be és határoztunk meg faji szinten az Európát lefedő 44 mintavételi helyszínről (összesen 10 ország 12 földrajzi régiója). A begyűjtött kolóniák száma 2018-ban 2754, míg 2019-ben 2945 volt, melyből a meghatározott levéltetűegyedek száma 2018-ban 14338 (melyből *A. pomi* 10914 és *A. spiraecola* 3424), míg 2019-ben 13997 (melyből *A. pomi* 10531 és *A. spiraecola* 3466) volt.

Az *A. spiraecola* és az *A. pomi* relatív arányát szignifikánsan befolyásolta a klímazóna, a mintavétel éve és a két faktor interakciója (ezen felül további faktorok is, részletesen lásd a 5.4.2. fejezetben), mind a Metzger et al. (2005) szerinti, mind a Botti (2018) szerinti klímabesorolás alkalmazásakor (7. táblázat., 12. ábra A és B).



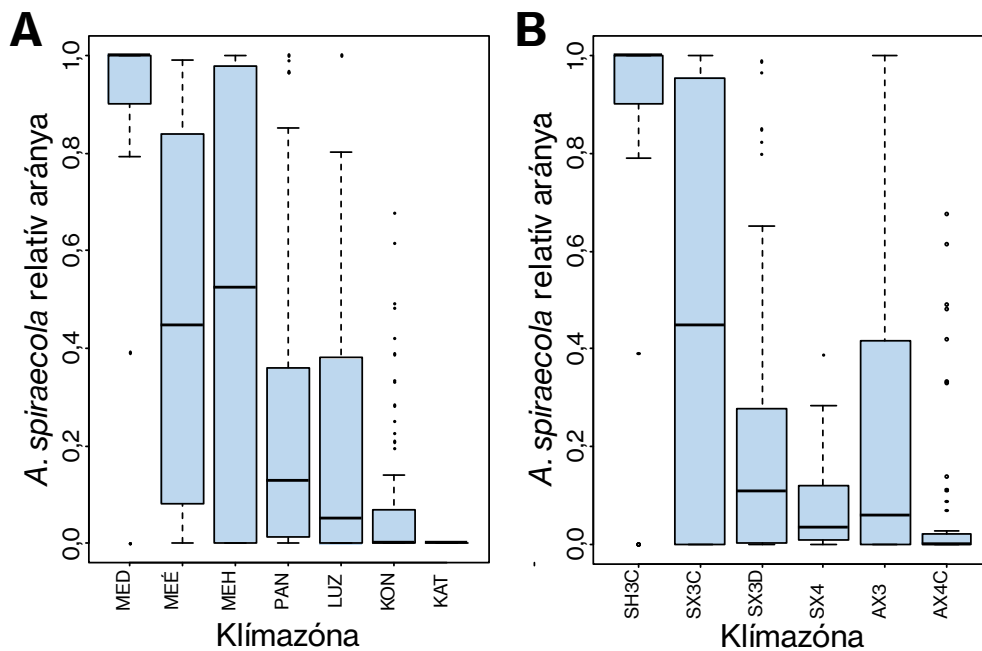
**7. táblázat:** A különböző ökológiai faktorok hatása az *A. spiraecola* és az *A. pomi* arányára a Metzger et al. (2005) szerinti, és a Botti (2018) szerinti klímafelosztás esetén (a két vizsgálati év és az összes vizsgálatba vont ültetvény együtt). A szignifikáns hatást félkövér kiemeléssel jelöltük, \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

Klímafelosztás Metzger et al. (2005) szerint			
	Chi <sup>2</sup>	Df	P
Klímarégió	76,982	10	< <b>0,001</b> ***
Év	31,800	5	< <b>0,001</b> ***
Mintavétel ideje	170,945	1	< <b>0,001</b> ***
Termesztési mód	15,480	1	< <b>0,001</b> ***
Klímazóna x Év	31,672	6	< <b>0,001</b> ***
Klímafelosztás Botti (2018) szerint			
	Chi <sup>2</sup>	Df	P
Klímarégió	24,2977	5	< <b>0,001</b> ***
Év	24,1627	1	< <b>0,001</b> ***
Mintavétel ideje	210,9891	1	< <b>0,001</b> ***
Termesztési mód	4,8043	1	<b>0,028</b> *
Klímazóna x Év	59,2850	5	< <b>0,001</b> ***

A Metzger et al. (2005) által elkülönített 13 klímazóna közül az általunk vizsgált almaültetvények hét zónában fordultak elő: Mediterrán Dél (MED), Mediterrán Észak (MEÉ), Mediterrán Hegyvidék (MEH), Pannóniai (PAN), Luzitániai (LUZ), Kontinentális (KON) és Közép-Atlanti (KAT), melyek megegyeztek a kontinens almatermesztés számára leginkább megfelelő klímazónáival. Az *A. spiraecola* aránya csak a három déli klímazónában (MED, MEÉ, MEH) érte el vagy haladta meg az 50%-ot (vagyis az *A. pomi* aránya ezekben a régiókban 50% alatti volt), ezek közül a Mediterrán Dél régióban szinte kizárólag *A. spiraecola* fordult elő, míg az alacsonyabb hőmérsékletű MEÉ és MEH zónákban az *A. spiraecola* aránya valamivel kisebb volt (7. táblázat, 12. ábra). Az *A. spiraecola* aránya folyamatosan csökkent a júliusi átlaghőmérséklet csökkenésével (ami a klímabesorolási modell elsődleges komponense volt) a mediterrán régióktól a Pannóniai és a Luzitániai régiókon keresztül a hűvösebb Kontinentális és Közép-Atlanti régióig, ahol az *A. pomi* vált szinte kizárólagosan előforduló fajjává (7. táblázat, 12. ábra A). Az adatok a MEÉ, MEH, PAN és LUZ régiókban megfigyelhető nagy szórása is jelzi ezen területek átmeneti jellegét, vagyis ezekben a régiókban, egyes években vagy ültetvényekben, bár eltérő valószínűséggel, de az egyik vagy a másik faj is felszaporodhatott (12. ábra, B).

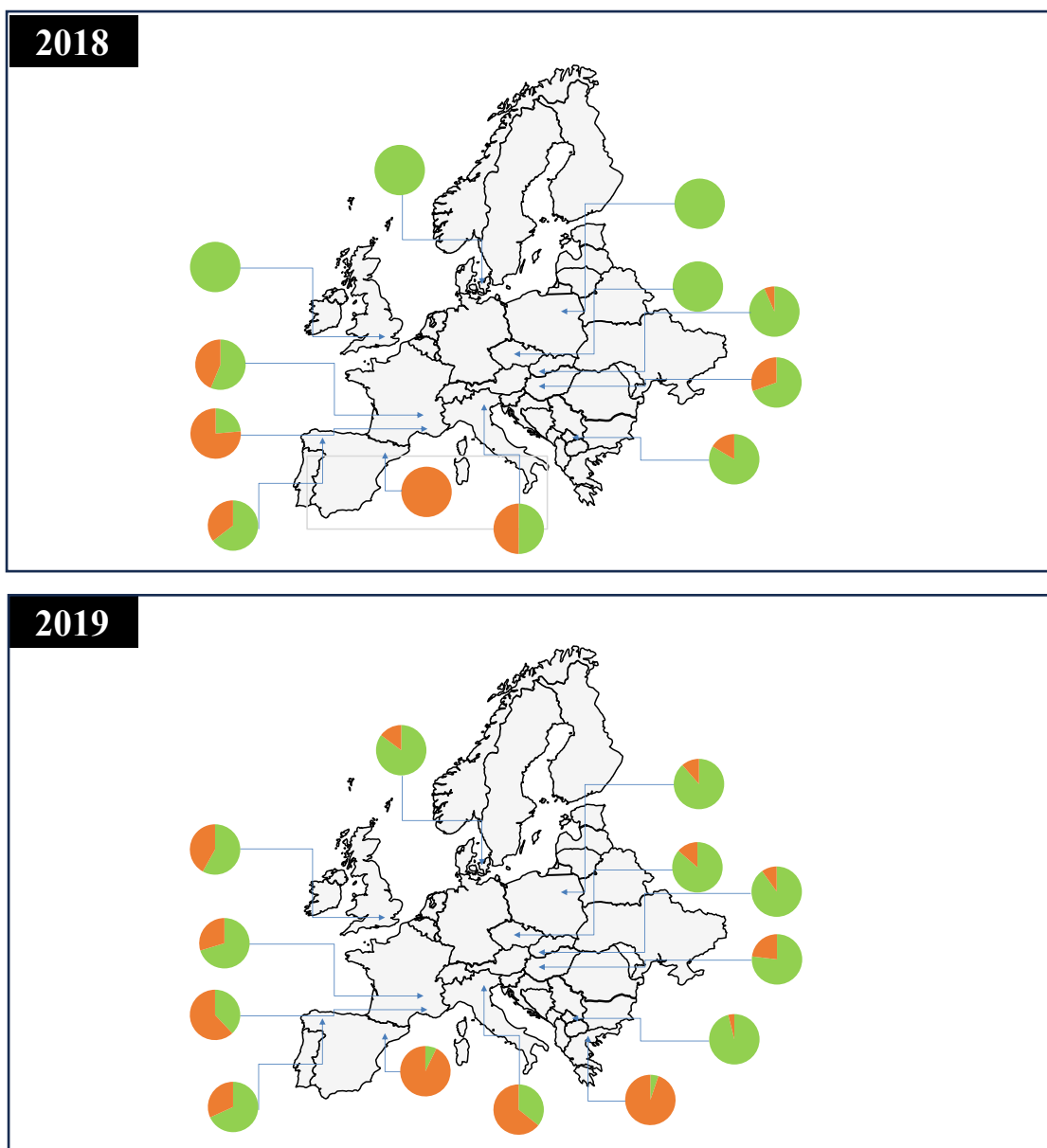
A Botti (2018) által megkülönböztetett klímazónák közül az általunk vizsgált ültetvények hat zónát fedtek le, melyek közül az ariditás, mint a modell elsődleges komponense szerint egy szubhumid (SH3C), három szubxerikus (SX3C, SX3D és SX4) és kettő axerikus (AX3 és AX4C) régió volt. A modell másodlagos komponense szerint az összes vizsgálatba vont ültetvény vagy a mérsékelt, vagy a hűvös klímaövekbe tartozott (jele 3, illetve 4). A modell harmadlagos komponensét, a kontinentalitást csak egy alzóna, az SX3 esetében tudtuk

vizsgálni, itt a vizsgált ültetvények a szubóceáni (SX3C) illetve a kontinentális (SX3D) altípusokba tartoztak. Az *A. spiraeola* zöld levéltetű-együttesen belüli átlagos aránya csökkenő tendenciát mutatott az ariditás-humiditás tengely mentén (SH > SX > AX) (7. táblázat, 12. ábra B), vagyis a nedvesebb éghajlatú területeken volt kisebb az átlagos aránya az *A. pomival* szemben. Ezeken a fő zónákon belül az *A. spiraeola* átlagos aránya mindig nagyobb volt a mérsékelt alzónákba tartozó ültetvényekben, mint a hűvös alzónákba tartozókban (SX3 > SX4 és AX3 > AX4). A kontinentalitás két faj arányára kifejtett hatását csak az SX3 régió esetében tudtuk elemezni, ahol az *A. spiraeola* aránya nagyobb volt a szubóceáni alzónában a kontinentális alzónához viszonyítva (SX3C > SX3D). Ezzel összhangban, az *A. spiraeola* volt a domináns faj a szubhumid mérsékelt szubóceáni (SH3C), míg az *A. pomi* volt a domináns, gyakran egyedüli faj az axerikus hűvös szubóceáni (AX4C) klímazónában (7. táblázat, 12. ábra B). Ezen két szélsőérték között az *A. spiraeola* aránya nagy fluktuáció mellett csökkenő tendenciát mutatott, vagyis ezekben a régiókban az egyes években vagy ültetvényekben az egyik-vagy másik faj is dominánssá válhatott (12. ábra B). A vizsgált klímazónákra vonatkozó binarizált értékek eloszlása az M5. mellékletben található.



**12. ábra:** Az *A. spiraeola* zöld levéltetű-együttesen belüli aránya Európa különböző klímazónáiban, a (A) Metzger et al. (2005) szerinti és a (B) Botti (2018) szerinti klímafelosztás esetén. A rövidítések jelentése: Metzger et al. (2005): MED: Mediterrán Dél, MEÉ: Mediterrán Észak, MEH: Mediterrán Hegyvidék, PAN: Pannóniai, LUZ: Luzitániai, KON: Kontinentális és KAT: Közép-Atlanti; Botti (2018): SH3C: Szubhumid mérsékelt szubóceáni, SX3C: Szubxerikus mérsékelt szubóceáni, SX3D: Szubxerikus mérsékelt szubóceáni, SX4: Szubxerikus hűvös, AX3: Axerikus mérsékelt, AX4C: Axerikus hűvös szubóceáni.

Az *A. spiraecola* és az *A. pomi* arányának egyes földrajzi régiók közötti eloszlását térképen ábrázolva (13. ábra) látható, hogy az *A. spiraecola* aránya erősen csökken, míg az *A. pomi* aránya erősen növekszik egy észak-déli gradiens mentén. Az *A. spiraecola* aránya csak Katalóniában (Spanyolország), Avignon környékén (Dél-Franciaország) és egyes olaszországi ültetvényekben haladta meg az 50%-ot, vagyis itt tudott dominánssá válni az *A. pomi* felett (13. ábra). 2019-ben plusz mintavételek is történtek Görögországban [klímabesorolás Metzger et al. (2005) szerint Mediterrán Észak, míg Botti (2018) szerint SH3B (Szubhumid mérsékelt óceáni)], amelynek során szinte csak kizárólag *A. spiraecola* egyedeket találtunk. A szintén Dél-Európában, de nagyobb tengerszint feletti magasságon található ültetvények esetében az *A. pomi* aránya sokkal nagyobb volt, mint a kisebb magasságú ültetvényekben. Az előzőekből következően az *A. pomi* volt a domináns levéltetűfaj az összes közép- és észak-európai almaültetvényben. Az *A. spiraecolát* 2018-ban nem sikerült kimutatnunk csehországi, lengyelországi, dániai és egyesült királyságbeli ültetvényekből, ugyanakkor 2019-ben ez a faj is megjelent ezekben a régiókban is (13. ábra). Ezzel szemben a délebbi fekvésű országokban az *A. spiraecola* aránya 2018-hoz képest csak Olaszország esetében növekedett 2019-re, míg Szlovákia, Magyarország, Franciaország, Koszovó és Spanyolország esetében csökkent az aránya (lásd a 7. táblázatban a klímazóna és az év interakcióját!).



13. ábra: Az *A. spiraecola* és az *A. pomi* elterjedtsége és dominanciája Európa almaültetvényeiben 2018-ban és 2019-ben (zöld: *A. pomi*, narancssárga: *A. spiraecola*)

### 5.3.2. A két faj előfordulási valószínűsége és abundanciája

Mivel a levéltetvek abundanciája erősen függ a tápnövény hajtásnövekedésének intenzitásától, elsőként külön elemeztük az ültetvények hajtásnövekedését befolyásoló ökológiai tényezők szerepét. A felvételezés időpontja (ami megegyezett a levéltetű mintavételek időpontjával) szignifikánsan befolyásolta a hajtásnövekedés intenzitását (8. táblázat): a növekvő hajtások átlagos száma a májusi 80–90%-ról szeptemberre 10% környékére csökkent mindkét vizsgálati évben (8. táblázat, 14. ábra A és B). A növekvő hajtások átlagos aránya eltért az egyes mintavételi helyeken, de nem volt egyértelmű mintázat megfigyelhető (M6. melléklet), míg az ültetvény termesztési módja nem befolyásolta a növekvő

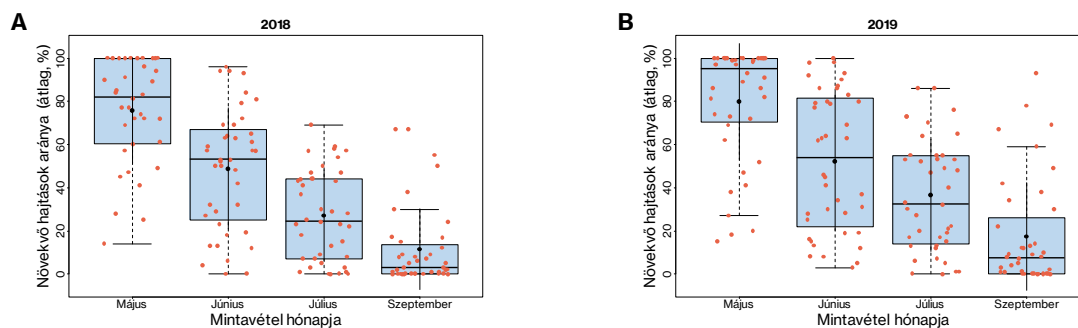
hajtások arányát (8. táblázat). Mivel a mintavételi időpont, és a növekvő hajtások aránya nem független változók, így a további elemzésekben a korábbi használtuk magyarázó változóként.

**8. táblázat:** A különböző ökológiai faktorok hatása a növekvő hajtások arányára a vizsgált almaültetvényekben 2018-ban és 2019-ben. A szignifikáns hatást félkövér kiemeléssel jelöltük, \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

2018	Sum Sq	Mean Sq	Num DF	Den DF	F value	Pr (>F)
Mintavétel ideje	887,18	887,18	1	133,26	233,62	< <b>0,001</b> ***
Földrajzi régió	252,03	28,00	9	9,26	7,37	<b>0,003</b> **
Termesztési mód	0,07	0,07	1	133,26	0,02	0,896

2019	Sum Sq	Mean Sq	Num DF	Den DF	F value	Pr (>F)
Mintavétel ideje	827,02	827,02	1	148	172,94	< <b>0,001</b> ***
Földrajzi régió	492,34	54,7	9	148	11,44	< <b>0,001</b> ***
Termesztési mód	4,76	4,76	1	148	0,10	0,32



**14. ábra.** A növekvő hajtások arányának változása a vizsgált európai almaültetvényekben (A) 2018-ban és (B) 2019-ben.

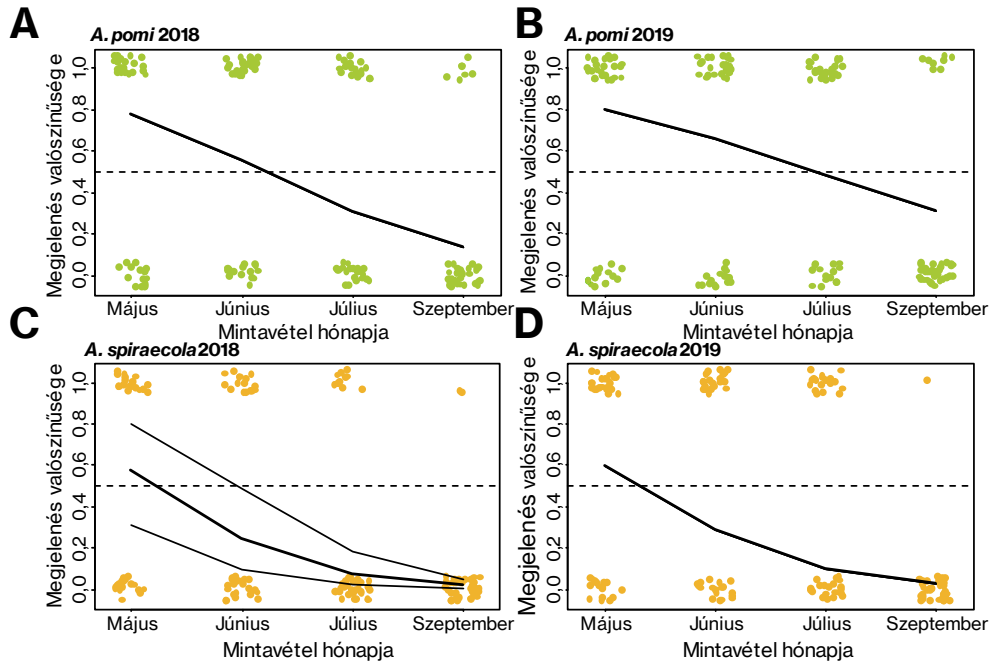
A két levéltetűfaj abundanciáját két különböző megközelítéssel vizsgáltuk: egyrészt binarizált értékekkel (a levéltetvek jelenléte vagy hiánya a vizsgált ültetvényekben és időpontokban), másrészt a levéltetvek becsült számának elemzése a vizsgált hajtásokon, ebben az esetben azonban – mivel a levéltetvek abundanciájának éves lefutása nem lineáris volt – egy további magyarázó változót, a mintavétel sorrendjének négyzetét is a modellbe illesztettük.

A levéltetűkolóniák megjelenésének valószínűsége az ültetvényekben hajtásokon szignifikánsan függött a mintavétel időpontjától és az ültetvény földrajzi elhelyezkedésétől mind az *A. pomi*, mind az *A. spiraecola* esetében, ugyanakkor a termesztési mód *A. spiraecola* esetében mindkét évben marginálisan szignifikáns hatást gyakorolt a megjelenés valószínűségére, míg *A. pomi* esetében nem volt szignifikáns hatás kimutatható (9. táblázat).

**9. táblázat:** A különböző ökológiai faktorok hatása az *A. pomi* és az *A. spiraecola* kolóniák megjelenési valószínűségére 2018-ban és 2019-ben. A szignifikáns hatást félkövér kiemeléssel jelöltük, + 0,05 < p < 0,1; \* p < 0,05; \*\* p < 0,01; \*\*\*p < 0,001.

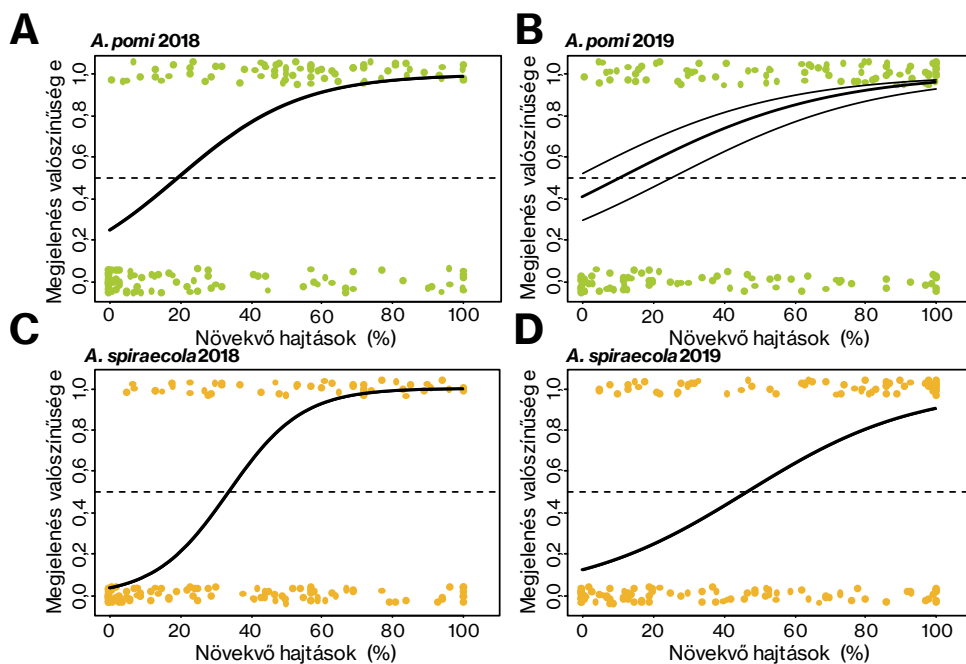
<i>Aphis pomi</i>				
2018	npar	AIC	LRT	Pr (Chi)
Mintavétel ideje	1	188,63	27,99	< 0,001***
Földrajzi régió	9	180,39	35,76	< 0,001***
Termesztési mód	1	160,68	0,05	0,83
2019	npar	AIC	LRT	Pr (Chi)
Mintavétel ideje	1	193,68	16,75	< 0,001***
Földrajzi régió	9	194,62	33,69	< 0,001***
Termesztési mód	1	176,93	0,00	0,99
<i>Aphis spiraecola</i>				
2018	npar	AIC	LRT	Pr (Chi)
Mintavétel ideje	1	151,69	34,42	< 0,001***
Földrajzi régió	9	142,74	41,77	< 0,001***
Termesztési mód	1	120,86	3,59	0,06+
2019	npar	AIC	LRT	Pr (Chi)
Mintavétel ideje	1	192,84	40,65	< 0,001***
Földrajzi régió	9	176,31	40,11	< 0,001***
Termesztési mód	1	155,27	3,07	0,08+

A kolóniák megjelenési valószínűsége mind az *A. pomi* mind az *A. spiraecola* esetében májusban volt a legnagyobb, 80%-os illetve 60%-os valószínűséggel, míg szeptemberben a legkisebb, azonban a csökkenés az *A. pomi* esetében majdnem lineáris trendet követett a tenyészidőszak folyamán, míg az *A. spiraecola* esetében a görbe lefutása exponenciális jellegű volt mindkét évben (9. táblázat, 15. ábra). Ezzel összhangban az *A. spiraecola* megjelenési valószínűsége sokkal gyorsabban lecsökkent a május és szeptember közötti időszakban, mint az *A. pomi*-é, *A. spiraecola* egyedeket júliustól már csak elvétve találtunk a vizsgált almaültetvényekben (9. táblázat, 15. ábra C és D). Ezen felül az ültetvény földrajzi elhelyezkedése is szignifikánsan hatott mindkét faj kolóniáinak megjelenési valószínűségére, de egyértelmű mintázatot nem tudtunk megfigyelni (9. táblázat, M7. melléklet).



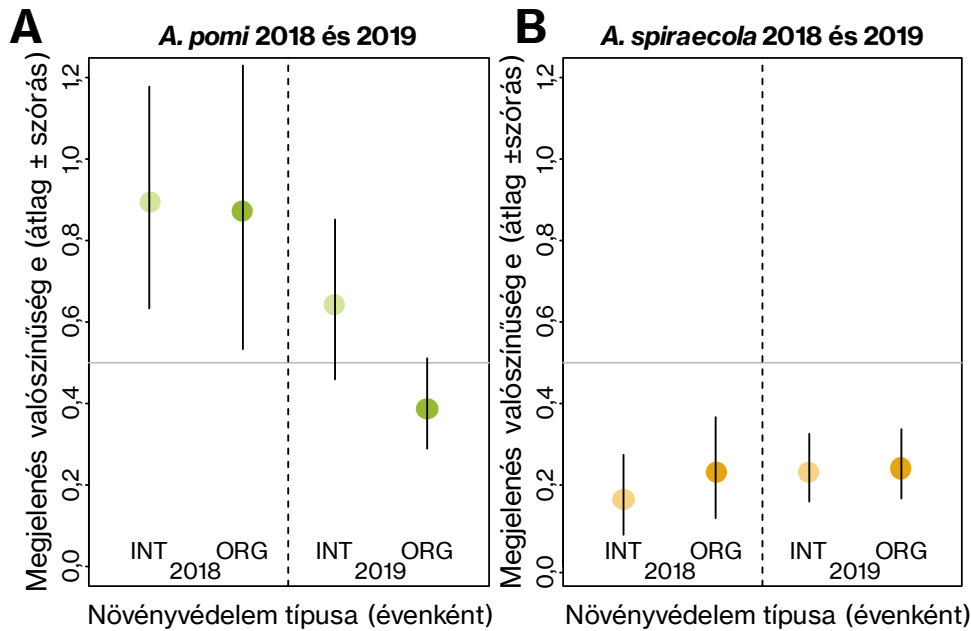
15. ábra: Az (A és B) *A. pomi* és (C és D) *A. spiraecola* megjelenésének valószínűsége az ültetvényekben az egyes hónapokban (A és C) 2018-ban és (B és D) 2019-ben.

A levéltetvek megjelenésének valószínűsége mindkét faj esetében logaritmikusan növekedett a növekvő hajtások arányának növekedésével, bár a görbék lefutása különbözött a két évben (M8. melléklet, 16. ábra). A levéltetvek 50%-os megjelenési valószínűsége (azaz az inflektációs pont) *A. pomi* esetében 18,7 (2018) és 12,1 (2019), míg *A. spiraecola* esetében 33,4 (2018) és 46,5 (2019) százalékos növekvő hajtás arányánál következett be.



16. ábra: Az (A és C) *A. pomi* és (B és D) *A. spiraecola* megjelenésének valószínűsége a növekvő hajtások arányának függvényében (A és C) 2018-ban és (B és D) 2019-ben.

A termesztési mód tekintetében a kolóniák megjelenése az *A. pomi* esetében nem szignifikánsan kisebb, míg az *A. spiraecola* esetében marginálisan nagyobb volt az organikus ültetvényekben, mint az integrált növényvédelmükben (9. táblázat, 17. ábra).



**17. ábra:** Az (A) *A. pomi* és (B) *A. spiraecola* megjelenésének valószínűsége integrált növényvédelemben részesített és ökológiai almaültetvényekben Európában, (A) 2018-ban és (B) 2019-ben.

Az *A. pomi* és *A. spiraecola* becsült összes egyedszáma a tenyésztési időszak folyamán a 10. táblázat szerint alakult az egyes hónapokban.

**10. táblázat:** Az *A. pomi* és *A. spiraecola* becsült egyedszáma a tenyésztési időszak folyamán az egyes hónapokban, 2018-ban és 2019-ben.

<i>Aphis pomi</i>				
	május	június	július	szeptember
2018	969	5020	2609	1830
2019	810	2638	4021	1113
<i>Aphis spiraecola</i>				
	május	június	július	szeptember
2018	1192	1397	614	52
2019	1027	1589	747	85

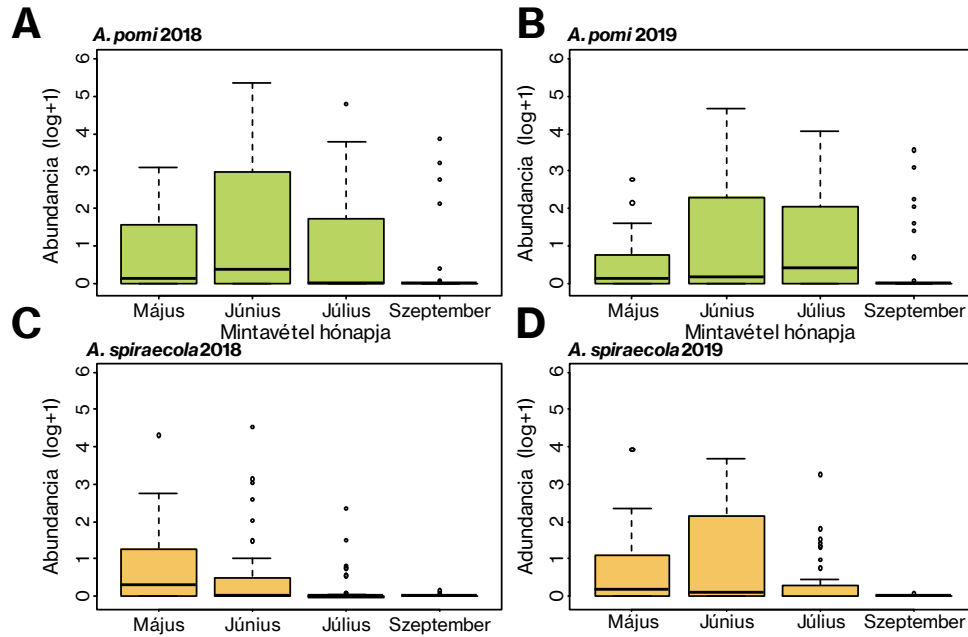
A két faj megjelenési valószínűségétől eltérően az *A. pomi* átlagos abundanciájának maximuma mindkét vizsgált évből júniusban, míg az *A. spiraecola* esetében 2018-ban májusban, míg 2019-ben júniusban volt, vagyis a két faj megjelenési valószínűsége (15. ábra)



és abundanciája (11. táblázat, 18. ábra) eltérő éves dinamikát mutatott. A modellbe illesztett Mintavétel ideje<sup>2</sup> változó szignifikáns hatása az összefüggés nem lineáris, hanem négyzetes voltát mutatja mindkét faj esetében mindkét évben (11. táblázat). Mindkét faj átlagos abundanciája változott az ültetvény földrajzi elhelyezkedésének függvényében: *A. pomi* esetén a legnagyobb abundancia 2018-ban Csehországban, míg 2019-ben Lengyelországban, míg a legkisebb abundancia mindkét évben Dániában mutatkozott. Ezzel szemben *A. spiraecola* esetén a legnagyobb abundanciát 2018-ban Magyarországon, és 2019-ben Olaszországban, ugyanakkor a legkisebb abundanciát 2018-ban Asztúriában (miközben nem volt kimutatható Csehországban, az Egyesült Királyságban, Lengyelországban és Dániában), míg 2019-ben Dániában figyeltük meg (M9. melléklet).

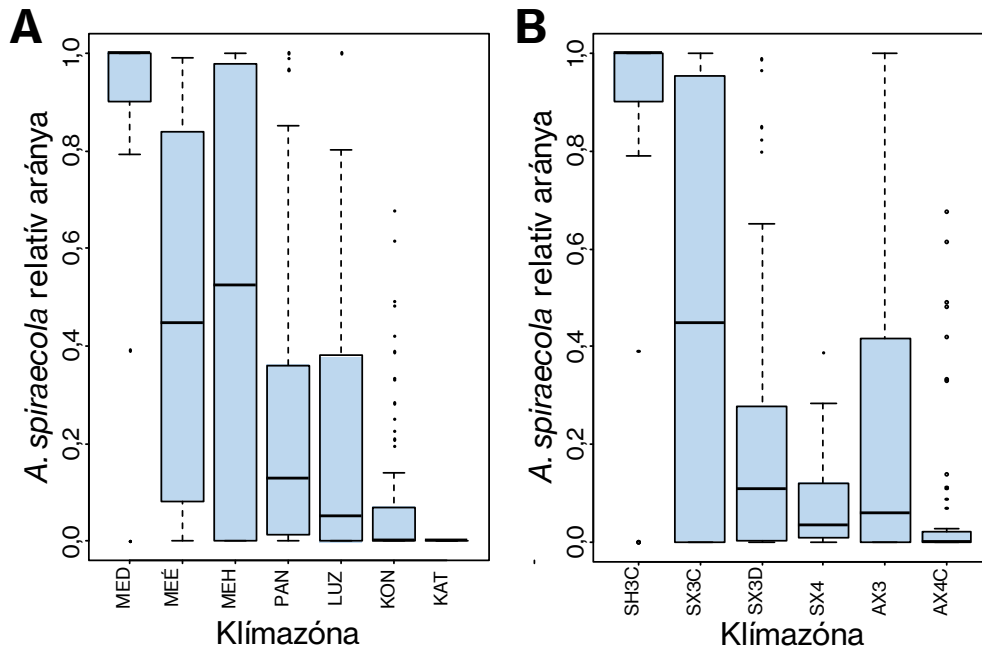
**11. táblázat:** A különböző ökológiai faktorok hatása az *A. pomi* és az *A. spiraecola* abundanciájára 2018-ban és 2019-ben. A szignifikáns hatást félkövérrel jelöltük, \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

<i>Aphis pomi</i>				
2018	npar	AIC	LRT	Pr (Chi)
Mintavétel ideje	1	318,52	10,068	<b>0,002**</b>
Mintavétel ideje <sup>2</sup>	1	324,96	16,507	<b>&lt; 0,001***</b>
Földrajzi régió	9	335,9	43,447	<b>&lt; 0,001***</b>
Termesztési mód	1	309,21	0,759	0,383
2019	npar	AIC	LRT	Pr (Chi)
Mintavétel ideje	1	346,25	27,502	<b>&lt; 0,001***</b>
Mintavétel ideje <sup>2</sup>	1	348,02	29,276	<b>&lt; 0,001***</b>
Földrajzi régió	9	353,16	50,412	<b>&lt; 0,001***</b>
Termesztési mód	1	319,33	0,582	0,446
<i>Aphis spiraecola</i>				
2018	npar	AIC	LRT	Pr (Chi)
Mintavétel ideje	1	183,18	2,745	0,098
Mintavétel ideje <sup>2</sup>	1	187,73	7,298	<b>0,007*</b>
Földrajzi régió	9	208,05	43,614	<b>&lt; 0,001***</b>
Termesztési mód	1	182,11	1,671	0,196
2019	npar	AIC	LRT	Pr (Chi)
Mintavétel ideje	1	275,17	16,954	<b>&lt; 0,001***</b>
Mintavétel ideje <sup>2</sup>	1	284,08	25,866	<b>&lt; 0,001***</b>
Földrajzi régió	9	273,46	31,243	<b>&lt; 0,001***</b>
Termesztési mód	1	258,24	0,025	0,875



**18. ábra:** Az (A és B) *A. pomi* és (C és D) *A. spiraecola* átlagos abundanciájának változása a tenyésztidőszak során (A és C) 2018-ban és (B és D) 2019-ben. Az ábrán logaritmikusan transzformált értékek szerepelnek.

Mivel a levéltetvek abundanciája nagymértékben fluktuál, az abszolút abundanciaértékek mellett külön elemeztük a két faj egymáshoz viszonyított relatív abundanciáját is (7. táblázat). Összhangban azzal, hogy az *A. spiraecola* kolóniák megjelenési valószínűsége erősebben csökkent a tenyésztidőszak folyamán, mint az *A. pomi* megjelenési valószínűsége (9. táblázat, 15. ábra), az *A. spiraecola* aránya folyamatosan csökkent, míg az *A. pomi* aránya folyamatosan növekedett a tenyésztidőszak folyamán (7. táblázat, 19. ábra A). Hasonlóan, összhangban a két faj kolóniáinak megjelenési valószínűségével (9. táblázat, 17. ábra), az *A. spiraecola* szignifikánsan nagyobb arányban fordult elő az ökológiai növényvédelmű ültetvényekben, mint az integrált növényvédelmű ültetvényekben (7. táblázat, 19. ábra B). A binarizált adatok eloszlása a tenyésztidőszak és az ültetvény növényvédelmi típusának függvényében az M10. mellékletben található.



**19. ábra:** Az *A. spiraecola* és az *A. pomi* relatív arányának változása (A) a tenyészidőszak folyamán és (B) az ültetvény növényvédelmi típusának függvényében (2018 és 2019 összesítve; a statisztikai elemzések a 7. táblázatban, míg a binarizált értékekre vonatkozó ábrák az M10. mellékletben találhatóak).

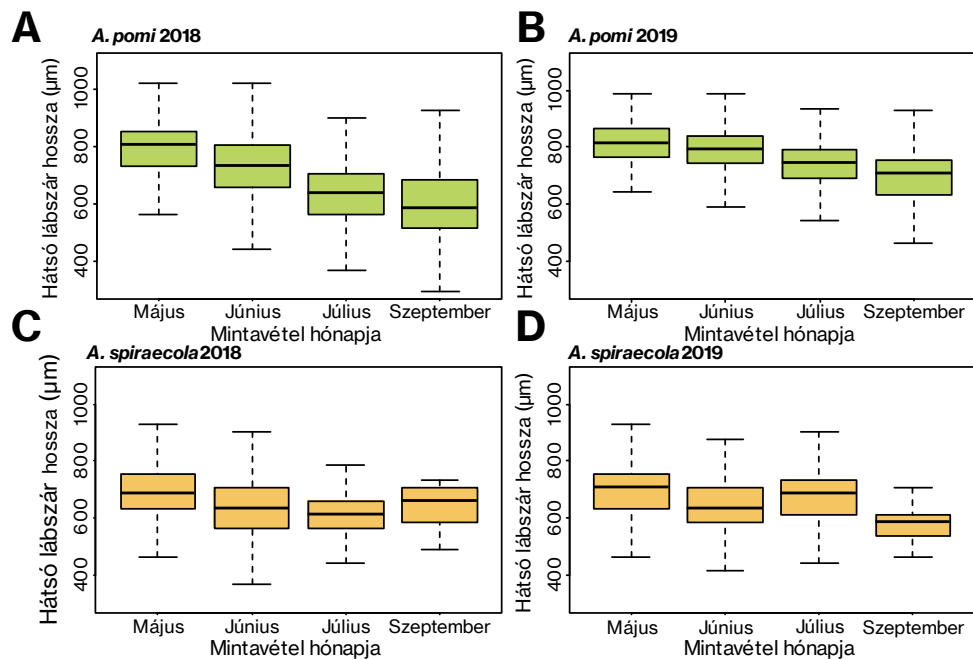
### 5.3.3. A két faj fitnessze

Fitnessz jelző paraméterként a hátsó lábszár hosszát mértük le mindkét faj begyűjtött egyedein a következők szerint: *A. pomi*: 9732 egyed 2018-ban és 10098 egyed 2019-ben, *A. spiraecola*: 2691 egyed 2018-ban és 2980 egyed 2019-ben. A hátsó lábszár átlagos hossza (átlag ± szórás) *A. pomi* esetén  $701,61 \pm 110,49 \mu\text{m}$ , míg *A. spiraecola* esetén  $651,73 \pm 94,86 \mu\text{m}$  volt.

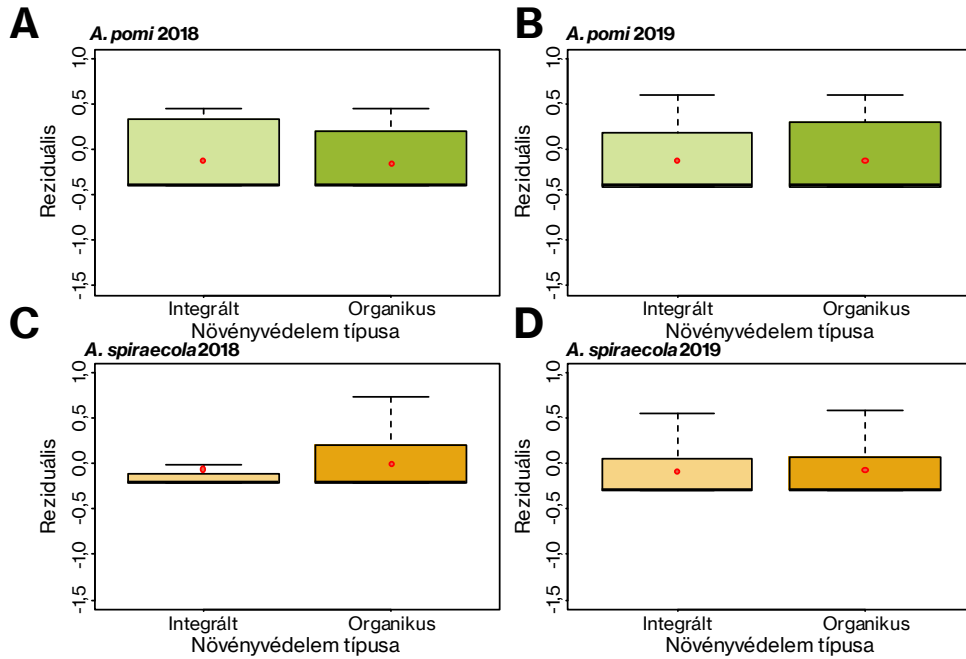
A mintavétel idejének szignifikáns hatása volt mind az *A. pomi*, mind az *A. spiraecola* hátsó lábszár hosszára 2018-ban és 2019-ben is (12. táblázat, 20. ábra): mindkét faj lábszárhossza csökkent a tenyészidőszak folyamán, bár ez a trend kevésbé egyértelmű az *A. spiraecola* esetén június hónapot követően, amikor is a faj egyedszáma nagymértékben lecsökkent a vizsgált ültetvényekben (20. ábra). Az ültetvény földrajzi elhelyezkedése az *A. pomi* esetében 2018-ban, míg az *A. spiraecola* esetében mindkét vizsgálati évben szignifikánsan befolyásolta a lábszárhosszt, a legnagyobb lábszárméreteket *A. pomi* esetében mindkét évben Asztúriában, míg *A. spiraecola* esetében mindkét évben Franciaországban mértük (12. táblázat, M11. melléklet). 2018-ban az *A. spiraecola* átlagos lábszárhossza nagyobb volt az ökológiai növényvédelmű ültetvényekben, mint az integrált növényvédelmű ültetvényekben (12. táblázat, 21. ábra).

**12. táblázat:** A különböző ökológiai faktorok hatása az *A. pomi* és az *A. spiraecola* hátsó lábszárának hosszára (fitneszére) 2018-ban és 2019-ben. A szignifikáns hatást félkövér kiemeléssel jelöltük, \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

<i>Aphis pomi</i>						
2018	Sum Sq	Mean Sq	Num DF	Den DF	F value	Pr (>F)
Mintavétel ideje	14860703	14860703	1	7847,3	1660,9974	< <b>0,001</b> ***
Földrajzi régió	292647	36581	8	7,3	4,0887	<b>0,037</b> *
Termesztési mód	1510	1510	1	12,3	0,1687	0,688
2019	Sum Sq	Mean Sq	Num DF	Den DF	F value	Pr (>F)
Mintavétel ideje	2608193	2608193	1	6042,8	407,8713	< <b>0,001</b> ***
Földrajzi régió	136732	17092	8	6,1	2,6728	0,122
Termesztési mód	1900	1900	1	11,0	0,2971	0,597
<i>Aphis spiraecola</i>						
2018	Sum Sq	Mean Sq	Num DF	Den DF	F value	Pr (>F)
Mintavétel ideje	1664897	1664897	1	2389,09	219,9344	< <b>0,001</b> ***
Földrajzi régió	166656	33331	5	13,62	4,4031	<b>0,013</b> *
Termesztési mód	75758	75758	1	10,91	10,0076	<b>0,009</b> **
2019	Sum Sq	Mean Sq	Num DF	Den DF	F value	Pr (>F)
Mintavétel ideje	1643099	1643099	1	2304,18	261,6475	< <b>0,001</b> ***
Földrajzi régió	158059	17562	9	23,64	2,7966	<b>0,022</b> *
Termesztési mód	13142	13142	1	22,41	2,0928	0,162



**20. ábra:** A mintavétel időpontjának hatása az (A és B) *A. pomi* és (C és D) *A. spiraecola* lábszárhosszára (A és C) 2018-ban és (B és D) 2019-ben.

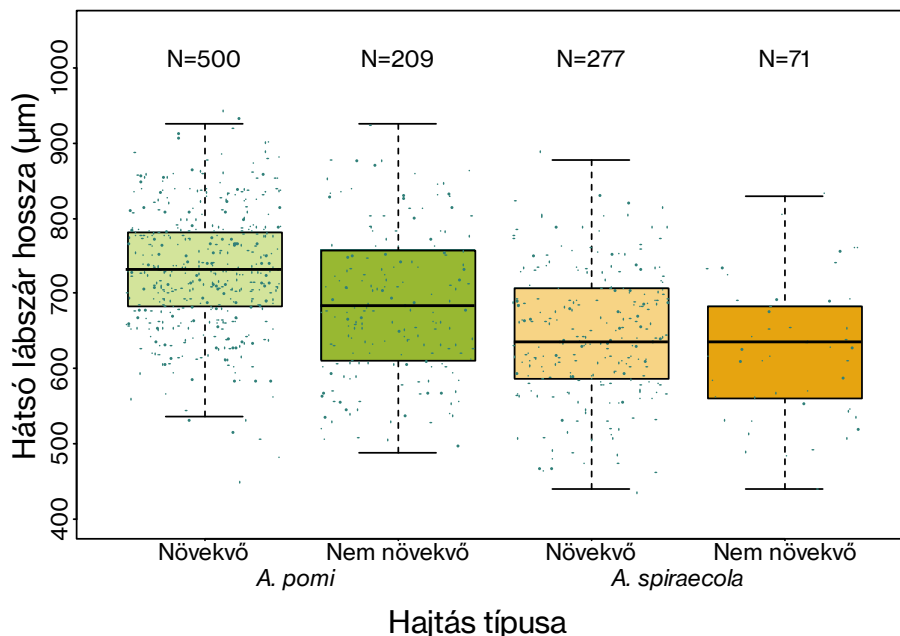


**21. ábra:** Az ültetvény növényvédelmi stratégiájának hatása az (A és B) *A. pomii* és (C és D) *A. spiraeicola* lábszárhosszára (A és C) 2018-ban és (B és D) 2019-ben. Az ábrán reziduális értékek szerepelnek.

A hajtásnövekedés intenzitása és a két levéltetűfaj lábszármérete közötti kapcsolat felderítése érdekében külön elemzést végeztünk az olyan helyszínek és mintavételi időpontok adataira, amikor mindkét faj egyedei jelen voltak növekvő és nem növekvő hajtásvégeken is. Az *A. pomii* hátsó lábszára szignifikánsan hosszabb volt, mint az *A. spiraeicola* hátsó lábszára és a hajtásnövekedés megszűnése mindkét faj lábszárméretét szignifikánsan negatívan befolyásolta (13. táblázat, 22. ábra). A levéltetű faja és a hajtásnövekedés interakciójának hiánya (13. táblázat) jelzi, hogy bár a hajtásnövekedés (vagy annak hiánya) mindkét faj fitnessét befolyásolja, ez a hatás nem volt fajspecifikus, vagyis hasonló befolyásoló szerepe volt az *A. pomii* és az *A. spiraeicola* fitnessének alakulására (13. táblázat, 22. ábra).

**13. táblázat:** A levéltetű fajának és a hajtásnövekedés jelenlétének interakciója az *A. pomii* és az *A. spiraeicola* hátsó lábszárának hosszára (2018 és 2019 összesítve). A szignifikáns hatást félkövér kiemeléssel jelöltük, \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

Sp x SC	Sum Sq	Mean Sq	Num DF	Den DF	F value	Pr (>F)
<b>Faj</b>	390356	390356	1	557,51	92,62	<b>&lt; 0,001***</b>
<b>Hajtás típusa</b>	32423	32423	1	310,6	7,69	<b>0,006**</b>
<b>Faj x Hajtás típusa</b>	27	27	1	502,82	0,01	0,94



**22. ábra:** A levéltetű fajának és a hajtásnövekedés interakciója az *A. pomi* és az *A. spiraecola* hátsó lábszárának hosszára  
(2018 és 2019 éves adatok alapján).

#### 5.4. Két, a hangya-levéltetű kapcsolat zavarásán alapuló módszer hatékonyságának tesztelése az almán élő zöld levéltetű-együttes szabályozására

##### 5.4.1. A zöld levéltetű-együttes faji összetétele a vizsgálati területen és időszakban

Mind az *A. pomi*, mind az *A. spiraecola* faj egyedei jelen voltak a területen mindkét év mindkét mintavételi időpontjában (14. táblázat). A két faj aránya azonban eltért a két évben: 2014-ben egyértelműen az *A. pomi* volt a domináns levéltetűfaj, míg 2015-ben a két faj nagyjából egyforma arányban jelent meg júniusban és júliusban egyaránt (14. táblázat).

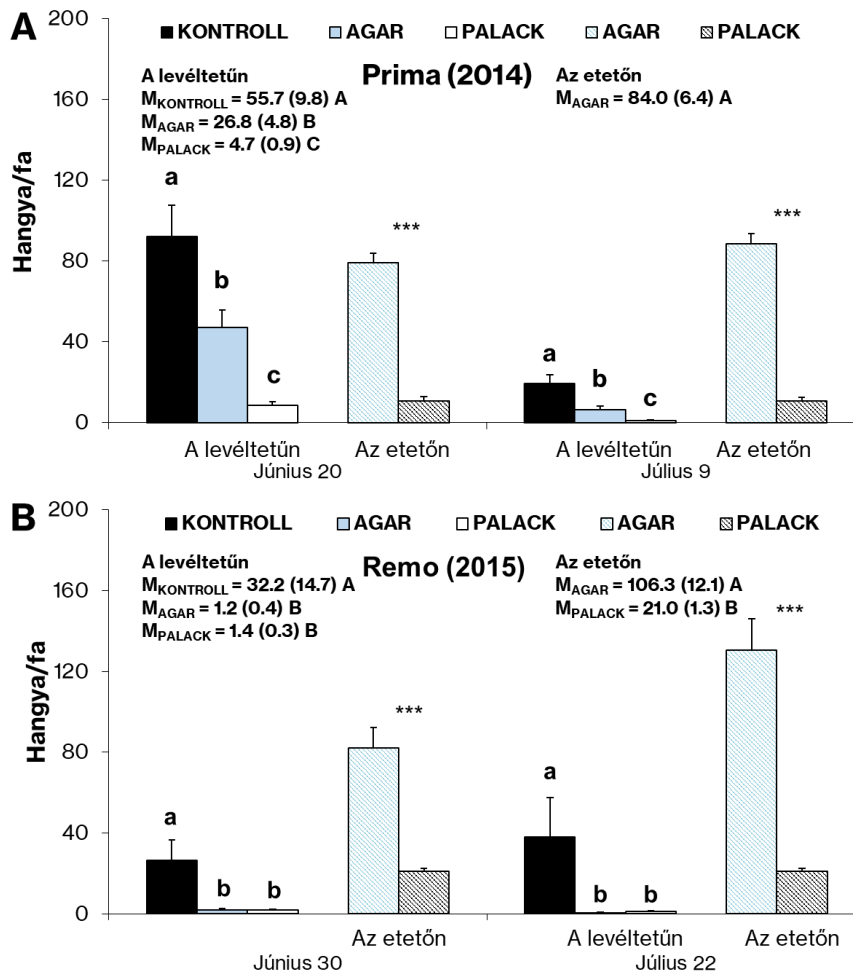
**14. táblázat:** A két zöld levéltetűfaj (*A. pomi* és *A. spiraecola*) faji megoszlása a vizsgált almaültetvényben (33 véletlenszerűen kiválasztott kolónia/vizsgálati időpont/helyszín alapján)

	2014		2015	
	Június	Július	Június	Július
<b>n</b>	99	99	99	99
<i>A. pomi</i> %	82,5%	87,7%	54,8%	49,3%
<i>A. spiraecola</i> %	17,5%	12,3%	45,2%	50,7%

#### **5.4.2. A különböző etetési módok hatása a *Lasius niger* hangyák viselkedésére**

A *L. niger* hangyadolgozók aktivitása eltért a két etetőtípuson: az agarkockás etetőkön minden időpontban szignifikánsan több hangyadolgozó tartózkodott, mint a palackos önitatókon (23. ábra A és B, csíkozott oszlopok). Megfigyeléseink szerint a hangyadolgozók az agarkockás etetőt szakaszosan látogatták és legnagyobb számban a friss agarkocka kihelyezését követően tartózkodtak az etetőn, míg a palackos önitató hangyalátogatottsága sokkal egyenletesebb volt, így egyszerre mindig kevesebb hangyadolgozó tartózkodott az etetőn (23. ábra A és B; M12. melléklet).

Az egyes etetési módok a levéltetű kolóniákon található hangyadolgozók számára kifejtett hatása eltért a két vizsgált tenyészidőszakban: 2014-ben az agarkocka hangyákat eltérítő hatékonysága elmaradt a palackos önitatóhoz képest mind júniusban, mind júliusban (23. ábra, A), ugyanakkor 2015-ben az agarkocka és a palackos önitató hangyaelcsaló hatékonysága megegyezett mindkét hónapban (23. ábra, B).

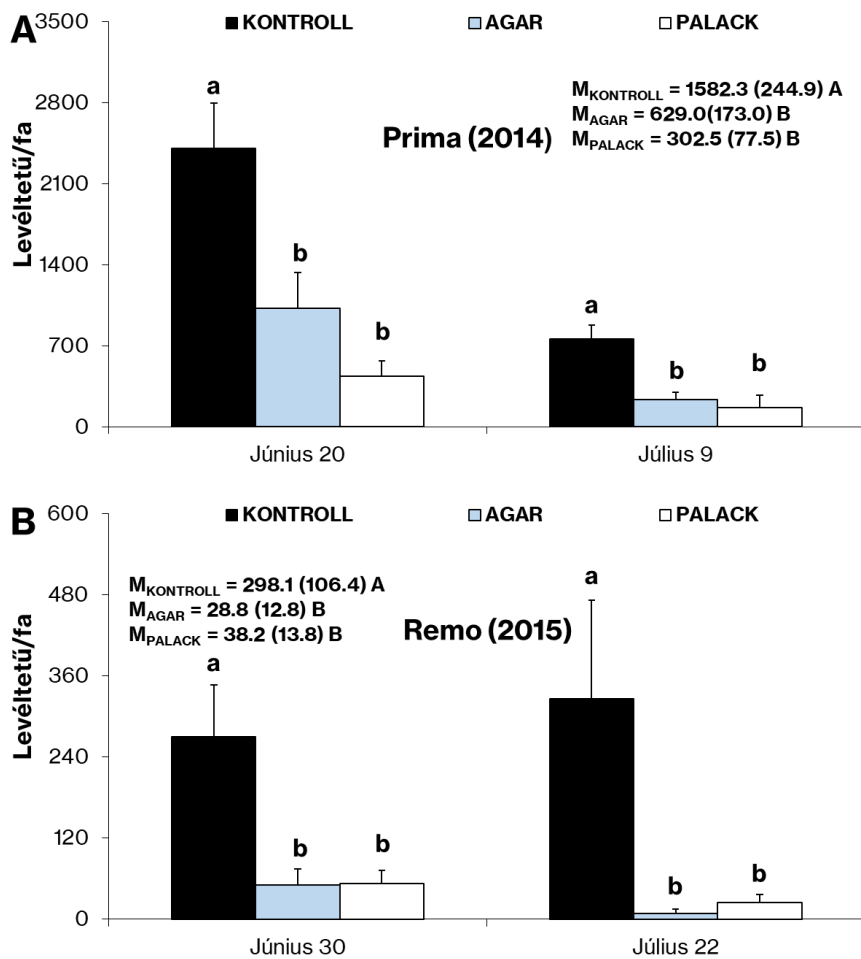


**23. ábra:** A *L. niger* hangyák aktivitása a zöld levéltetű (*Aphis* spp.) kolóniákon (egyszínű oszlopok) és az etetőkön (AGAR versus PALACK, csíkozott oszlopok) (A) 2014-ben és (B) 2015-ben. Az  $M_{\text{KONTROLL}}$ ,  $M_{\text{AGAR}}$  és  $M_{\text{PALACK}}$  az ismételt mérés multifaktoriális varianciaanalízis (Repeated Measures ANOVA) átlag ( $\pm$  sztenderd hiba) értékeit mutatják. Az eltérő betűk eltérő szignifikanciaszinteket jeleznek (kisbetűk: időpontokénti összehasonlítás, nagybetűk: ANOVA). A hangyák eltérő aktivitását a két etetőtípuson csillaggal jelöltük (\*\*\*)  $p \leq 0,001$ ). A részletes statisztikai eredmények az M13. mellékletben található.

### 5.4.3. A különböző etetési módok hatása a zöld levéltetvek egyedszámára

Mindkét etetőtípus szignifikánsan csökkentette a zöld levéltetvek számát mindkét évben és mindkét mintavételi időpontban (24. ábra, A és B). Látható, hogy bár a levéltetvek egyedszáma statisztikai értelemben megegyezett a kétféle etetőn 2014-ben is (24. ábra A), de a hangyák számában a 23. A ábrán látható trend itt is megjelent az adatokban, tehát a nagyobb levéltetű egyedszám nagyobb hangyalátogatottsággal járt, vagyis a hangyadolgozók és a levéltetvek száma szorosan összefüggött. Fontos megjegyezni, hogy a 24. ábra A és B részabrájának skálázása eltér, 2015-ben sokkal kevesebb *Aphis* spp. levéltetű volt jelen a vizsgálati ültetvényben, mint 2014-ben.





**24. ábra:** A zöld levéltetvek (*Aphis* spp.) egyedszáma az egyes etetőtípusokkal kezelt fákön (A) 2014-ben és (B) 2015-ben. Az  $M_{\text{KONTROLL}}$ ,  $M_{\text{AGAR}}$  és  $M_{\text{PALACK}}$  a többszörös varianciaanalízis (Repeated Measures ANOVA) átlag ( $\pm$  sztenderd hiba) értékeit mutatják. Az eltérő betűk eltérő szignifikanciaszinteket jeleznek (kisbetűk: időpontokénti összehasonlítás, nagybetűk: ANOVA). A részletes statisztikai eredmények az M13. mellékletben találhatóak.

#### 5.4.4. A vizsgálati ültetvény afidofág ragadozó fajai

Az adatgyűjtés során a zöld levéltetű kolóniákon megfigyelt afidofág ragadozó fajok kezelésenkénti átlagos számát taxonómiai sorrendben a 15. táblázatban ábrázoljuk. Az ültetvény legnagyobb egyedszámú ragadozóit a *Philodromus cespitum* Walckenaer, 1802, a *Pilophorus perplexus* Douglas és Scott, 1875 és a Chamaemyiidae család tagjai voltak. A levéltetűkolóniákat látogató ragadozók kis egyedszáma miatt nem volt lehetséges az egyes kezelések (KONTROLL, AGAR, PALACK) különböző ragadozó fajokra kifejtett hatásának vizsgálata, de az afidofág fajok összesített egyedszámával az elemzés már elvégezhetővé vált. Látható, hogy az egyes kezelések nem befolyásolták a ragadozók egyedszámát a vizsgálati fákön, ugyanakkor a kezelt fákön kisebb volt a levéltetűkolóniák átlagos száma, ennek

következtében az egy *Aphis* spp. kolóniára jutó ragadozók száma (relatív abundanciája) az agarkockás és a palackos önetetős kezelés hatására is szignifikánsan megnőtt (15. táblázat). A két kezelés ragadozók relatív abundanciájára kifejtett hatása között nem találtunk statisztikai értelemben vett különbséget (15. táblázat).

**15. táblázat:** Az afidofág ragadozók átlagos egyedszáma (egyed/kolónia) a különböző kezelésekben részesített almafákon, és a kezelések hatása a ragadozók összesített számára, a zöld levéltetűkolóniák számára és a ragadozók relatív abundanciájára (Az eltérő betűk eltérő szignifikanciaszinteket jeleznek). Az egyes stádiumok rövidítésének jelentése: J: juvenilis (pókknál), K: kifejlett egyed (pókknál), N: nimfa, I: imágó, L: lárva, T: tojás, B: báb (a Chamaemyiidae családnál). A részletes statisztikai eredmények az M14. mellékletben találhatóak.

Taxon	Fajs	Stádium	Prima (2014)			Remo (2015)			
			KONTROLL	AGAR	PALACK	KONTROLL	AGAR	PALACK	
<b>Araneae</b>									
Clubionidae	<i>Clubiona frutetorum</i>	J+K	0,3	0,5	0,2	0	0	0	
Miturgidae	<i>Cheiracanthium mildei</i>	J+K	0,1	0,1	0,2	0	0	0	
Philodromidae	<i>Philodromus cespitum</i>	J+K	0,7	0,6	0,4	0,2	0,1	0,3	
Salticidae	<i>Carrhotus xanthogramma</i>	J+K	0,2	0,1	0,3	0,1	0	0	
	<i>Heliophanus auratus</i>	J+K	0,1	0	0,1	0	0	0	
	<i>Heliophanus cupreus</i>	J+K	0,2	0	0,1	0	0	0	
Thomisidae	<i>Ebrechtella tricuspidata</i>	J+K	0	0,1	0,1	0	0	0	
	<i>Xysticus</i> sp.	J+K	0	0	0	0	0,1	0	
<b>Heteroptera</b>									
Anthocoridae	<i>Orius</i> sp.	N+I	0	0	0	0	0	0,1	
Miridae	<i>Campylomma verbasci</i>	N+I	0	0	0,1	0	0	0	
	<i>Pilophorus perplexus</i>	N+I	0,6	0,6	1,1	0,5	0,6	0,6	
<b>Coleoptera</b>									
Coccinellidae	<i>Coccinella septempunctata</i>	I	0,1	0	0,1	0	0	0	
	<i>Harmonia axyridis</i>	I	0	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	
<b>Neuroptera</b>									
Chrysopidae	<i>Chrysoperla carnea</i>	T	0,2	0,3	0,1	0,4	0,1	0,1	
<b>Diptera</b>									
Cecidomyiidae	<i>Aphidoletes aphidimyza</i>	L	0,1	0,3	0,3	0,1	0	0	
Chamaemyiidae	*	T	1,1	2,7	1,5	0,4	0,1	0,3	
		L	0,2	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1	
		B	0	0,1	0,1	0,1	0	0	
Syrphidae	<i>Episyrphus balteatus</i>	T	0	0	0	0,1	0	0	
Össz. ragadozó			J+N+K+I	3,9 a	5,4 a	4,7 a	2,1 a	1,0 a	1,3 a
<i>Aphis</i> spp. kolónia				23,6 a	14,3 ab	8,9 b	10,3 a	2,6 b	2,9 b
Össz. ragadozó / <i>Aphis</i> spp. kolónia				0,2 a	0,4 b	0,6 b	0,2 a	0,5 b	0,6 b

## 5.5. A kajszilevéltetű (*Myzus mumecola*) hazai megjelenésének detektálása, életmódjának és kártételének vizsgálata

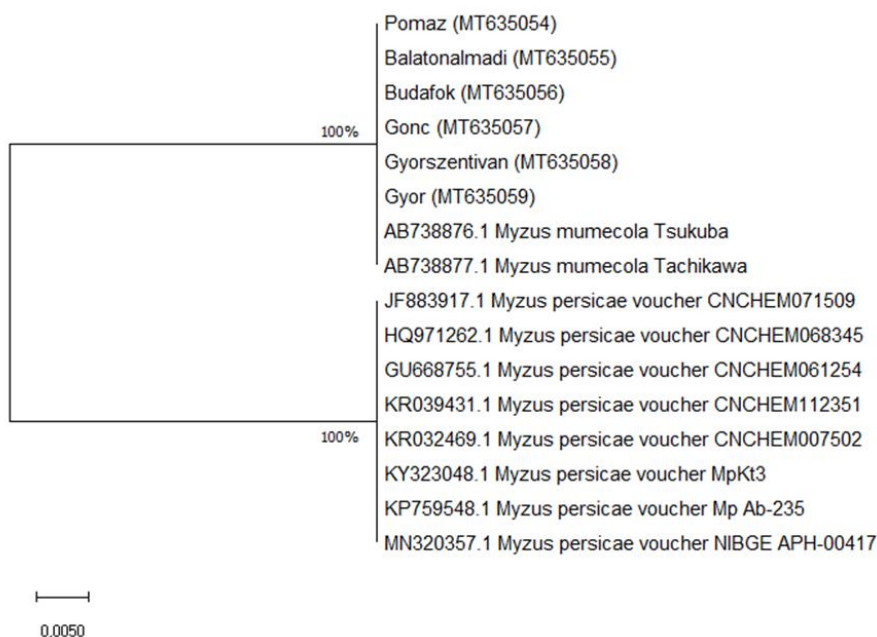
### 5.5.1. A *Myzus mumecola* hazai elterjedtsége

A vizsgálat során begyűjtött kifejlett, szárnyatlan levéltetűegyedek morfológiai vizsgálata során megállapítottuk, hogy valamennyi a *M. mumecola* fajba tartozott, az új kártevőt tehát az összes vizsgálati helyszínről (Győr: 2020. május 25., 48 vizsgált egyed; Györszentiván:

2020. április 23., 24 egyed; Balatonalmádi: 2020. május 16., 24 egyed; Budapest-Budafok: 2020. május 20., 12 egyed; Pomáz: 2020. május 25., 12 egyed és Gönc: 2020. május 19., 12 egyed) sikeresen detektáltuk (M4. melléklet). Ezen felül az új kártevő jelenlétét a kárképtünetek alapján Szentkirályszabadja, Érd-Elviramajor, Törökbálint és Budapest Soroksár helyszíneken is megerősítettük (M4. melléklet). Mivel a vizsgálati helyszínek az ország különböző régióiban helyezkednek el (Nyugat-Dunántúl, Közép-Dunántúl, Közép-Magyarország, Észak-Magyarország), az új kártevő megjelenésére országosan számítani lehet. A begyűjtött levéltetűegyedek mikroszkópi preparátumait a Magyar Nemzeti Múzeum (Budapest, Magyarország) Hemiptera gyűjteményében helyeztük el.

### **5.5.2. A *Myzus mumecola* azonosítása molekuláris úton**

A *M. mumecola* egyedek morfológiai azonosítását DNS szekvenálással is megerősítettük. Összesen hat, különböző mintavételi helyszínekről begyűjtött egyed COI fragmentumának szekvenálását végeztük el (egy-egy egyed minden gyűjtési helyről: Gyórszentiván, Győr, Balatonalmádi, Budapest-Budafok, Pomáz és Gönc), a szekvenált szakasz 709 bázis hosszú volt. Minden szekvenálást feltöltöttünk az NCBI GenBank-ba MT63505–MT63509 azonosítási számok alatt. A szekvenálások összehasonlítása érdekében további *M. mumecola* (AB738876 és AB738877) illetve *M. persicae* (JF883917, HQ971262, GU668755, KR032469, KR039431, KY323048, KP759548 és MN320357) COI szekvenálásokat kértünk le az NCBI GenBank-ból. A páronkénti összehasonlításhoz a szekvenálásokat trimmeltük, így végül 644 bázis hosszúságú szekvenálást használtunk a párosításhoz, illetve a klaszteranalízishez. A szekvenálások mind a *M. mumecola*, mind a *M. persicae* faj esetében fajon belül teljesen egységesek voltak, míg a két faj között összesen 42 SNP található, ami által a két faj megbízhatóan elkülöníthető. Az adatok alapján alkotott filogenetikai fa (25. ábra) a szekvenálásokat egyértelműen (100% egyezés) két külön kládba sorolja, az egyikbe a *M. mumecola*, a másikba a *M. persicae* egyedeket.



**25. ábra:** *Myzus mumecola* és *M. persicae* haplotípusok összehasonlítása a COI-régió szekvenciaanalízise alapján

A két faj tehát molekuláris úton egyértelműen elkülöníthető, és az általunk begyűjtött egyedek a molekuláris azonosítás szerint is mind a *M. mumecola* fajba tartoztak.

### 5.5.3. A *Myzus mumecola* életciklusa és kártétele

A megfigyelt fákon az első levéltetűegyedek a lombfakadással egy időben jelentek meg április elején, az áttelelő tojásból kikelt őszanya és első leánynemzedéke a frissen kifeshető leveleket besodorta és az utódok kezdetben kis, majd egyre népesebb kolóniákat képeztek elsősorban a fa alsó-belső, árnyékolt, legyengült koronarészein (26. ábra B). A kártétel hatására a levelek a fonákjuk felé, a főérre merőlegesen besodródtak, népesebb kolóniák esetében a hajtástengely is görbült, illetve sok esetben a hajtáscsúcs is visszaszáradt. Egy esetben megfigyeltünk a kártétel következtében kialakuló megkésett (április végi) virágzást (26. ábra A): a virágok bár kötődtek, de belőlük – vélhetően a levéltetűkártétel következtében – torz és értéktelen termés fejlődött.

A későbbi leánynemzedékek a belső koronarészekben lévő hajtások növekedésének leállásakor kihúzódtak a korona palástjára (26. ábra C), ahol az ott még intenzíven növekvő hajtásvégeket kolonizálták, a tünetek megegyeztek a korábban leírtakkal. A fertőzött levelek néhány hét után idő előtt lehullottak, a torzult hajtások meggömbülve fásodtak (26. ábra D). Amennyiben a hajtáscsúcs visszaszáradt, a csúcs közelében lévő levélhóonalji rügyek júniusban kihajtottak „elseprűsítve” a hajtásvégeket (26. ábra E), ezáltal rontva a korona szerkezetét. Két

esetben megfigyeltük a levéltetvek közvetlen szívogatását a gyümölcsön is, hatására a gyümölcs torzult és apró maradt.

Az első szárnyas egyedek már május elején megjelentek a kajszifákon, de a migráció – eddig ismeretlen nyári tápnövényekre – egészen június közepéig elhúzódott.



**26. ábra:** A kajszilevéltetű (*M. mumeicola*) közvetlen kártétele kajszin: (A) megkésett virágzás, torzult virágok; (B) tavaszi hajtáskár a korona belső, árnyékos részein; (C) májusra a kártevő kolóniái kihúzódnak a korona palástjára, és megkezdődik a migráció; (D) szívogatás hatására meggörbült, fásodott vessző; (E) nyári másodlagos hajtásnövekedés (Fotó: Borbély Csaba)

A kártevő a nyári időszakot vélhetően valamilyen lágyszárú növényfajon vagy növényfajokon tölti, ahonnan csak az ivaros alakok települnek vissza a kajszira az őszi hónapok során, ahol az ivaros nőtény a megtermékenyítést követően lerakja az áttelelő tojásokat magányosan vagy kis csoportokba. A *M. mumeicola* hazánkban tehát tápnövényváltó (heteroecikus), teljes életciklusú (holociklikus) fejlődést mutat.

#### 5.5.4. Az egyes kajszifajták fogékonyságának összehasonlítása

Vizsgálatunk során összesen 13 kajszifajta/változat *M. mumeicola* kártételével szemben mutatott fogékonyságát hasonlítottuk össze. Eredményeink szerint az egyes fajták fogékonysága szignifikánsan eltért (16. táblázat).

Fogékonyság szerint a vizsgált fajtákat három csoportba tudtuk sorolni: toleráns (0–4% hajtásfertőzöttség) voltak a 'Görög magonc', 'Budapest', 'Ceglédi bíbor', 'Magyar kajsz

C235', 'Orange Red', 'Ceglédi kedves' és 'Pannónia' fajták; mérsékelten fogékonyak (10–21% hajtásfertőzöttség) voltak a 'Korai zamatos', 'Gönci magyarkajsi', 'Summerland' és 'Bergeron' fajták; míg érzékenyek (30–34% hajtásfertőzöttség) a 'Goldrich' és a 'Spring Blush' fajták.

A három csoport (toleráns, mérsékelten fogékony és fogékony) hajtásfertőzöttsége szignifikánsan eltért (16. táblázat), ugyanakkor a legtöbb fajta esetében nem volt szignifikáns különbség a hajtások teljes számában (M15. melléklet), tehát a fajták érzékenységének eltérését nem az eltérő növekedési erélyük okozta.

**16. táblázat:** Az egyes kajszifajták érzékenysége a kajszilevéltetű fertőzésre (a fertőzött hajtások százalékos aránya). Az eltérő betűk eltérő szignifikanciaszinteket jeleznek (nagybetűk:  $p < 0,0001$ ; kisbetűk:  $p < 0,05$ ). Az ültetvények adatait lásd a 4. táblázatban és az M4. mellékletben.

Fajta	Ültetvény 1	Ültetvény 2	Ültetvény 3	Ültetvény 4	Ültetvény 5
<i>Bergeron</i>	20,7 (7,1); C (c)				
<i>Budapest</i>					0,4 (1,2); A (a)
<i>Ceglédi bíbor</i>					0,7 (1,1); A (a)
<i>Ceglédi kedves</i>					3,4 (4,5); AB (a)
<i>Goldrich</i>					30,2 (11,6); C (c)
<i>Gönci magyarkajsi</i>	12,8 (5,4); B (b)				
<i>Görög magoncállomány</i>			0,2 (1,0); A (a)		
<i>Korai zamatos</i>					10,8 (7,7); B (b)
<i>Magyar kajsi</i>	0,2 (1,0); A (a)	3,7 (6,0); A (a)		0,0 (0,0); A (a)	
<i>C235</i>					
<i>Orange Red</i>				0,0 (0,3); A (a)	3,0 (3,7); AB (a)
<i>Pannónia</i>					3,8 (4,7); AB (ab)
<i>Spring Blush</i>		33,9 (22,6); B (b)			
<i>Summerland</i>			20,1 (14,8); B (b)		

### 5.5.5. A szilvahimlő (PPV) vírusának kimutatása a kártevő testéből

A PP3/PCI PPV-specifikus primerpárral elvégzett Real Time PCR (RT-PCR) mind a hat vizsgált egyed (1–1 egyed a hat mintavételi helyszínről: Györszentiván, Győr, Balatonalmádi, Budapest-Budafok, Pomáz és Gönc) esetében a várt, nagyjából 836 bázispár hosszúságú fragmentumot szaporította fel. A PCR terméket mind a *DdeI*, mind az *EcoRI* restrikciós endonukleáz hasította, ugyanakkor nem hasította az *EcoRV* restrikciós endonukleáz. Megállapítható tehát, hogy az összes izolált minta a PPV-D törzsbe tartozott, míg a Magyarországon gyakori másik két törzs (PPV-M és PPV-Rec) jelenlétét nem sikerült kimutatnunk a levéltetvek testéből.

## 6. Következtetések és javaslatok

### 6.1. A zöld gyöngyvessző levéltetű (*Aphis spiraecola*) európai elterjedtségének felmérése különböző tápnövényeken

Az inváziós fajok földrajzi területfoglalását monitorozó Nemzetközi Mezőgazdasági és Biotudományi Központ (Commonwealth Agricultural Bureaux International, CABI) adatai alapján vizsgálataink megkezdésekor az *A. spiraecola* előfordulása a következő európai országokban volt ismert: Bulgária, Ciprus, Franciaország (kontinentális területek és Korzika), Görögország, Hollandia, Horvátország, Lengyelország, Lettország, Litvánia, Magyarország, Málta, Olaszország (kontinentális területek, Szardínia és Szicília szigete), Oroszország európai területei, Portugália (kontinentális területek, Madeira és Azori-szigetek), Spanyolország (kontinentális területek, Balearic és Kanári-szigetek), Svájc, Szerbia és Szlovénia, (Petrović-Obradović et al. 2009; CABI, 2023). A kártevőt az Egyesült Királyság területéről korábban csak eseti jelleggel detektálták frissen importált jukka (Furk, 1979), és *Cotoneaster* (Martin, 1996) fajokról. A begyűjtött egyedek morfológiai és molekuláris (11. ábra) azonosítása révén további négy európai országból, Koszovóból, Szlovákiából, Csehországból és Dániából mutattuk ki a fajt, míg az Egyesült Királyságban elsőként figyeltük meg az *A. spiraecola* stabil jelenlétét alma tápnövényen (5. táblázat). A gazdaságilag jelentős almán kívül az *A. spiraecola* jelenlétét jeleztük Szlovákiában mérsékelt égövi fő tápnövényéről, egy gyöngyvessző fajról (*Spiraea x vanhouttei*) továbbá birsról is, míg az Egyesült Királyságban az alma mellett birsról, körtéről és tűztövisről is, melyek az alma mellett szintén az *A. spiraecola* elterjedt tápnövényei a Palearktikus Régióban (Holman, 2009). A faj egyedeinek megjelenésére napjainkban tehát Európa bármely régiójában számíthatunk (Thieme, 2002; Rakauskas et al. 2015; CABI, 2023).

### 6.2. A zöld gyöngyvessző levéltetű (*Aphis spiraecola*) áttelelési stratégiájának vizsgálata hazai körülmények között

A vizsgálataink során vizsgált 114 tavaszi *Aphis* spp. kolónia mindegyike tisztán *A. pomi* egyedekből állt (6. táblázat), függetlenül a tenyészhelytől, az évtől vagy a kolónia méretétől, tehát az *A. spiraecola* hazai áttelelését almán, mint elsődleges téli tápnövényen nem sikerült kimutatnunk.

Az *A. spiraecola* almán telelő populációnak hiányára többféle magyarázat is lehetséges, az is elképzelhető, hogy ezen tényezők együttesen okozzák a faj almán való telelésének elmaradását hazai körülmények között. Bár az *A. spiraecola* almán, mint fő gazdanövényen

való áttelelési képességét többen is jelezték (Miller, 1928; Pfeiffer et al. 1989; Komazaki, 1990, Zhang et al. 1997), míg Magyarország esetében Mezei és Kerekes (2006) találtak áttelelő populációkat, de ezen telelési mód gyakorisága és jelentősége nem volt ismert. Mivel a mi vizsgálatunk foglalkozott elsőként átfogóan a kérdéssel több helyszínen és több tenyészéven keresztül végzett monitorozással, könnyen elképzelhető, hogy az *A. spiraecola* almán való telelése a valóságban sokkal ritkább, mint azt ahogy a korábban a témában megjelent publikációk sugallják.

Az is egy lehetséges magyarázat, hogy az *A. spiraecola* számos biotípusa közül, melyek éppen az egyes téli tápnövényekhez való alkalmazkodás folyamányaként alakultak ki (Komazaki, 1983, 1990, 1998) nem mindegyik képes az összes tápnövényen huzamosabb ideig stabilan fennmaradni (Komazaki 1983). Komazaki (1990) eredményei szerint Japánban az *A. spiraecola* almán telelő populációinak biológiai jellemzői jelentősen eltértek a citruson telelő biotípusától, és csak kis mértékben a gyöngy vesszőn telelő biotípusától, azt azonban nem sikerült egyértelműen bizonyítaniuk, hogy ebben az esetben egy önálló alma-specifikus biotípusról van-e szó, vagy a gyöngy vessző-specifikus biotípusról, mely esetben a megfigyelt különbségeket a két tápnövény eltérő bioritmusa okozhatta (Komazaki, 1990). Amennyiben külön alma-specifikus biotípusról van szó, ami nem került be Közép-Európába, az megmagyarázhatja a telelő kolóniák hiányát az almán. A Li és munkatársai (2019) által genetikai úton elkülönített soktápnövényű, illetve Roseacea-specifikus kládok különbsége is okozhatja a hazánkban tapasztalt eltérő telelési módját. Mivel az *A. spiraecola* a nyári időszakban gyakori levéltetűfaj a hazai almaültetvényekben (Mezei és Kerekes, 2006; illetve jelen értekezés eredményei), így biztos, hogy az *A. spiraecola* – biotípustól függetlenül – képes befejezni életciklusát alma tápnövényen, ez azonban nem feltétlenül vonja magával a faj áttelelési képességét is az adott gazdanövényen (Dixon, 1997).

Harmadrészt, a faj nagyon széles elterjedési területe következtében a világ nagyon különböző éghajlatú területein egyaránt előfordulhat, és az eltérő klímátényezők (különösen a téli és a nyári hőmérséklet), és ezzel összefüggésben a tápnövények minősége is jelentősen befolyásolhatja teljesítményét és biológiai jellemzőit (Komazaki, 1982; Satar és Uygun, 2008). Így tehát az is elképzelhető, hogy bár a hazánkba bekerült populációk biológiailag képesek lennének almán, mint elsődleges tápnövényen is áttelelni, azonban valamely más ökológiai faktor hátráltatja ezt az életmód-stratégiát. Az is lehetséges, hogy a klasszikus gazdanövényváltó életciklus gyöngy vessző téli tápnövénnyel egyszerűen előnyösebb a faj fitnessze szempontjából, mint az egygazdás életciklus követése alma téli tápnövénnyel. Mivel az *A. spiraecola* ősanyái tavasszal tömegesen jelennek meg a hazai gyöngy vesszőbokrokon



(személyes megfigyelés), ez is azt látszik alátámasztani, hogy a faj Közép-Európában a klasszikus gazdanövényváltó életmódot követi. Az *A. spiraecola* áttelelése almán hazai körülmények között tehát nem zárható ki, de jelenleg vagy egyáltalán nem történik meg, vagy csak nagyon ritkán. Ha a jövőben a faj almán való telelése tömegessé válna, az valószínűleg tovább növelné a kártevő abundanciáját és jelentőségét a hazai almaültetvényekben is (lásd Brown et al. 1995).

### **6.3. A zöld levéltetű-együttes faji összetételének, abundanciájának és fitnessének felmérése európai almaültetvényekben**

Eredményeink alapján látható, hogy az *A. pomi* és az *A. spiraecola* aránya és dominanciája jelentősen eltért Európa egyes földrajzi régióiban és klímazónáiban, továbbá a két faj fitnessét, és ezzel összhangban kolóniáik megjelenésének valószínűségét és átlagos abundanciáját további ökológiai faktorok (a tápnövény hajtásnövekedése, a tenyészidőszak lefutása, az ültetvény földrajzi elhelyezkedése és növényvédelmének típusa) határozzák meg, noha ezen faktorok hatása többször eltért a két faj esetében.

#### **6.3.1. Az *Aphis spiraecola* és az *Aphis pomi* relatív aránya és dominanciája az európai almaültetvényekben**

Az *A. spiraecola* az almán élő zöld levéltetű-együttesen belüli arányát szignifikánsan befolyásolta az ültetvény klímazónája mindkét általunk az elemzések során használt klímabesorolás esetén (7. táblázat); az *A. spiraecola* aránya csökkenő trendet mutatott a zónák csökkenő hőmérsékleti gradiensevel [Metzger et al. (2005)-féle klímazónák] a mediterrán területektől Európa hűvösebb éghajlatú területei felé haladva (12. ábra A), illetve egy ariditás-humiditás gradiens [Botti (2018)-féle klímazónák] mentén is a szubhumid zónáktól az axerikus zónák felé. Ezenfelül a kisebb átlaghőmérséklet negatív hatása az *A. spiraecola* arányára ez utóbbi modell esetén is egyértelműen kimutatható volt (12. ábra B). A két, fő komponenseikben részben eltérő bioklimatikus klímafelosztás eredményeit összegezve megállapítható, hogy az idegenhonos *A. spiraecola* csak Európa szárazabb és nagyobb átlaghőmérsékletű területein volt képes domináns fajjá válni az őshonos *A. pomi*-val szemben, melyek csak a mediterrán régióban kisebb tengerszint feletti magasságon fordultak elő. Eredményeinkkel összhangban Andreev és munkatársai (2007, 2013) jelezték, hogy Dél-Bulgáriában a magasabban fekvő almaültetvényekben az *A. pomi*, míg az alacsonyabban fekvő ültetvényekben – szinte kizárólagos fajként – az *A. spiraecola* dominált (bár konkrét adatokat nem közöltek). Az *A.*

*pomi* a kontinens összes többi részén megőrizte előnyét, az axerikus, hűvös és kontinentális éghajlatú területeken továbbra is szinte kizárólagos dominanciával. A két szélső pont között az *A. spiraecola* esetén csökkenő, míg az *A. pomi* esetén növekvő valószínűséggel, de mindkét faj dominánssá válhatott az egyes ültetvényekben és években. A klímazónák két faj arányára kifejtett hatása egybevágtott a két faj arányváltozásával Európa egyes földrajzi régióiban: az *A. spiraecola* csak néhány dél-európai körzetben (Katalónia, Dél-Franciaország, Olaszország egyes ültetvényei, Görögország) tudott dominánsá válni az *A. pomi*-val szemben (13. ábra). Eredményeinkből látható tehát, hogy Európa legnagyobb részén nem történt meg az Észak-Amerikában sok helyen tapasztalt nagyarányú dominanciacsere, ahol az almaültetvények zöld levéltetű-együttesének átlagosan 70–100%-át az *A. spiraecola* faj egyedei tették ki Virginia, Nyugat-Virginia, Maryland és Washington államokban (Pfeiffer et al., 1989; Brown et al., 1995; Mayer és Lunden, 1996).

Az észak-amerikai megfigyelések (Pfeiffer et al., 1989; Brown et al., 1995; Mayer és Lunden, 1996) alapján várt dominanciacsere európai elmaradásának több oka is lehet. A legvalószínűbb magyarázat a két faj eltérő származása (Baker és Turner, 1916; Patch, 1929; Blackman és Eastop, 2010): bár mindkét faj fejlődési küszöbértékei nagyon hasonlóak (nagyobb, de nem konzekvens eltérések csak az alsó fejlődési küszöbhőmérséklet meghatározásakor jelentkeztek) (Komazaki, 1982; Wang és Tsai, 2000; Arbab et al. 2006; Andreev et al. 2009), az *A. spiraecola* tipikusan szubtrópusi fajként viselkedik Európában, ami csak bizonyos körülmények fennállása esetén képes jelentősen felszaporodni (Hullé et al. 2010). Mivel az elemzéseink során használt két európai bioklimatikus felosztási modell számos meteorológiai tényezőt magába olvaszt (Metzger et al. 2005; Botti, 2018), ezek közül egy vagy több (például ariditás, téli hőmérséklet, nyári hőhullámok hossza) döntheti el, hogy az adott régió az adott évben az egyik vagy a másik faj számára biztosít kedvezőbb feltételeket. Másrésztől, néhány vizsgálat eredménye azt látszik alátámasztani, hogy Észak-Amerikában az *A. spiraecola* képes lehet almán, mint elsődleges tápnövényen is áttelelni (Miller, 1928; Pfeiffer et al. 1989), ami tovább növelheti az *A. pomival* szemben megfigyelt szaporodásbiológiai előnyeit (Pfeiffer et al. 1989; Brown et al. 1995), ugyanakkor ez a fajta szaporodásmód Közép-Európában nem jellemző (bővebben lásd az 5.2. és 6.2. fejezetekben). Végül, az *A. spiraecola* egy nagy genetikai diverzitású faj (Footitt et al. 2009; Cao et al. 2012; Rakauskas et al. 2015), melynek léteznek tápnövény-specifikus biotípusai is (Komazaki, 1982, 1990, 1998), ugyanakkor Rakauskas és munkatársainak (2015) vizsgálatai szerint az *A. spiraecolának*

Európában csak egy domináns haplotípusa van, így az is lehetséges, hogy a faj európai populációinak nincs meg a genetikai potenciálja a dominanciacsere létrejöttéhez.

Fontos megjegyezni, hogy a két faj relatív aránya az egyes régiókban eltért a két vizsgálati év között: míg az *A. spiraecola* aránya több dél-európai mintavételi helyszínen (Katalónia, Franciaország, Koszovó) is csökkent 2019-re, addig több észak-európai helyszínen (Egyesült Királyság, Lengyelország, Csehország) a faj csak 2019-ben jelent meg. Ezeknek a különbségeknek az oka feltehetőleg a két év meteorológiai jellemzőinek eltéréseben keresendő: bár mind a 2018-as és a 2019-es év is rendkívül forró és száraz volt egész Európában (Hari et al. 2020; Scharnweber et al. 2020), a talaj nedvességtartalma sokkal nagyobb volt 2018-ban, így 2019-ben a gyenge vízellátottság a növények gyengébb kondíciója révén közvetett módon módosíthatta a két faj arányát (Hari et al. 2020; Scharnweber et al. 2020). Másrészt az Észak-Atlanti Oszcilláció (North Atlantic Oscillation, NAO) (Hurrell et al. 2001; Wanner et al. 2001) indexe is eltért a két vizsgálati időszakban (Climate Impact Company, 2023): a 2018-ban mért pozitív index és a 2019-ben mért negatív index eltérő mértékben kedvezhetett a két eltérő életciklusú faj fejlődésének Európa különböző régióiban (Wanner et al. 2001; Bell et al. 2015; Climate Impact Company, 2023). Ezen felül a két vizsgálati évet megelőző telek során az eltérő erősségű és élettartamú Északi Sarki Örvény (Polar Vortex, PV) hatása tovább csökkenthette az *A. spiraecola* arányát 2018-ban az északibb fekvésű ültetvényekben (Butler et al. 2020).

### **6.3.2. A különböző ökológiai faktorok hatása az *Aphis pomi* és az *Aphis spiraecola* előfordulási valószínűségére, abundanciájára, arányára és fitnessére**

Mivel a testméret és a fitness a levéltetvek (és általában a rovarok) esetében egymással szoros kapcsolatban álló jellemzők (Honěk, 1993) – a testméret (melyet fitness jelző paraméterként a vizsgálatunkban a hátsó lábszár hosszával fejeztünk ki) az egyik legfontosabb tényezőként játszik szerepet a következő generáció által elérhető maximális populációnagyság meghatározásában (Taylor, 1975; Beukeboom, 2018) – ezért a különböző ökológiai faktorok (a tápnövény hajtásnövekedése, a tenyészidőszak lefutása, az ültetvény földrajzi elhelyezkedése és növényvédelmének típusa) hatását a két levéltetűfaj populációdinamikájára és fitnessére együttesen tárgyaljuk.

A növekvő hajtások átlagos aránya a vizsgált ültetvényekben szignifikánsan csökkent a tenyészidőszak folyamán (8. táblázat, 14. ábra), amit szorosan követett a levéltetvek megjelenési valószínűségének (9. táblázat, 15. ábra) és a hátsó lábszár hosszának (12. táblázat, 20. ábra) csökkenése mindkét levéltetűfaj esetében. Ugyanakkor az átlagos abundancia

esetében (11. táblázat, 18. ábra) a maximum egy hónappal a levéltetvek megjelenési valószínűségének maximuma után következett be. Ennek oka valószínűleg a két faj hasonló nyári életmódjában keresendő: a késő tavaszi migrációt követően mindkét faj számos kis kolóniát alapít májusban, melyek a nyár első felében felszaporodnak, majd ősze megfogyatkoznak. Ez az eredményünk megerősíti a két faj nyári populációdinamikáját vizsgáló kisebb tanulmányok (Rakauskas és Rupaibreve, 1983; Hamilton et al. 1986; Zehavi és Rosen, 1987; Woolhouse és Harmsen, 1991) eredményeinek helyességét, egyben átfogó képet ad a két faj jellemző populációdinamikájáról Európában alma tápnövényen. A tenyészidőszak folyamán az *A. spiraecola* kolóniáinak megjelenési valószínűségében tapasztalt erősebb visszaesés (15. ábra), és ezzel összhangban a zöld levéltetű-együttesen belüli arányának erős csökkenése (19. ábra A), ami részben ellentétes az Észak-Amerikában megfigyelt trendekkel: míg Brown és munkatársai (1995) az *A. spiraecola* arányának folyamatos növekedését figyelte meg a tenyészidőszak folyamán a zöld levéltetű együttesen belül, addig Pfeiffer és munkatársainak (1989) eredményei szerint az *A. spiraecola* aránya csökkent a tenyészidőszak végére, ami egybevág az általunk is megfigyelt trendekkel. Az *A. spiraecola* arányának csökkenése valószínűleg a faj Európában folytatott gazdanövényváltó életmódjával magyarázható, mivel az *A. spiraecola*-nak az ősz folyamán vissza kell vándorolnia a téli tápnövényére (Miller, 1928; Komazaki, 1990; Blackman és Eastop, 2010; CABI, 2023), ezzel szemben a monofág *A. pomi* kolóniái egészen az októberben bekövetkező ivaros szaporodásig almán maradnak (Baker és Turner, 1916; Westigard és Madsen, 1964; Specht, 1970). Az első nemzedékek esetében mutatózó legnagyobb fekunditás általánosságban jellemző a levéltetvekre (Wellings et al. 1980), ami megmagyarázhatja a két faj kolóniáinak általunk megfigyelt egyedszám növekedését a kora-nyári időszakban (az *A. spiraecola* példáján lásd Komazaki, 1988). Júniust követően az ültetvények hajtásnövekedése, a kolóniák megjelenési valószínűsége, a levéltetvek átlagos abundanciája és a hátsó lábszár átlagos hossza már egyaránt csökkenő tendenciát mutatott mindkét faj esetében. Mivel a kolóniák megjelenési valószínűsége mindkét faj esetében szignifikánsan függött a növekvő hajtások átlagos arányától (M8. melléklet, 16. ábra), és a hátsó lábszár hossza mindkét faj esetében szignifikánsan lecsökkent abban az esetben, ha a kolóniát hordozó hajtás növekedése leállt (14. táblázat, 22. ábra), vizsgálataink alma tápnövény esetében nem igazolták azt az elképzelést, miszerint az *A. spiraecola* jobban tolerálná a gyengébb minőségű tápnövényt (Komazaki, 1988; Mostefaoui et al. 2014; Gao et al. 2020). Sokkal valószínűbb, hogy kedvezőtlenebbé váló körülmények esetén a polifág *A. spiraecola* szárnyas alakokat képez és elhagyja az almát (Miller, 1928; Brown et al. 1995), ami

szintén hozzájárulhatott a faj populációnagyságának és arányának nagyobb csökkenéséhez a vizsgált ültetvényekben.

Bár a vizsgálatba bevont ültetvények földrajzi elhelyezkedése szignifikánsan befolyásolta mind a növekvő hajtások arányát (8. táblázat, M6. melléklet), mind az *A. pomi* és az *A. spiraecola* levéltetvek megjelenési valószínűségét, átlagos abundanciáját és a hátsó lábszár hosszát (9., 11. és 12. táblázat), az adatokban nem volt olyan egyértelmű trend megfigyelhető (M7. melléklet, M9. melléklet és M11. melléklet), mint a két faj relatív arányának esetében (13. ábra). Az országok közötti koherens, jól értelmezhető különbség hiánya valószínűleg elsősorban az ültetvények eltérő korából, fajtahasználatából és növényvédelméből következett, melyet további termesztési tényezők (pl. metszés intenzitása, öntözés, párasítás, tápanyag-gazdálkodás stb.) is befolyásolhattak. Ezek a tényezők elsősorban szintén közvetett módon, a tápnövény minőségén keresztül fejtik ki hatásukat a levéltetvek teljesítményére (Grechi et al. 2008; Braham és Amor 2018).

Mint az egyik legfontosabb termesztéstechnológiai faktort, a termesztési módot (integrált: részben szelektív, mesterséges eredetű rovarölőszerek használata engedélyezett, nagyobb peszticid-terhelés; ökológiai: széles hatásspektrumú, mesterséges eredetű rovarölőszerek használata nem engedélyezett, kisebb peszticid-terhelés) szintén a vizsgálati modellünkbe illesztettük. A várakozásunktól eltérően az *A. spiraecola* esetében mind a kolóniák megjelenési valószínűsége (9. táblázat, 17. ábra), mind a hátsó lábszár hossza (12. táblázat, 21. ábra) nagyobb volt az ökológiai ültetvényekben, mint az integrált növényvédelmükben, míg az *A. pomi* esetében egyik esetben sem volt szignifikáns különbség megfigyelhető a kétféle termesztési mód között (9. és 12. táblázat, 17. és 21. ábra). A két faj relatív arányának vonatkozásában az *A. spiraecola* aránya nőtt, míg ennek ellentettjeként, az *A. pomi* aránya csökkent az ökológiai ültetvényekben (7. táblázat, 19. ábra B), míg a termesztési mód egyik faj esetében sem befolyásolta szignifikánsan az átlagos abundanciát (11. táblázat), vagyis a korábbi vizsgálatok (Manulis et al. 1981; Hamilton et al. 1986; Hogmire et al. 1990, 1992; Bolbose, 2009; Tuca et al. 2009; Lowery és Smirle, 2003; Lowery et al. 2005, 2006; Smirle et al. 2010) eredményeiből következő feltételezéseinkkel szemben Európában az *A. pomi* mutatott nagyobb toleranciát a konvencionális termesztésben alkalmazott rovarölőszerekkel szemben. Ennek a megfigyelésnek szintén több magyarázata is lehetséges. Elsőként, az őshonos *A. pomi* sokkal hosszabb ideje jelen van az európai almaültetvényekben, mint a behurcolt *A. spiraecola* (Blackman és Eastop, 2010), így, mivel ez a faj is képes inszekticid rezisztencia kialakítására (Tamaš et al. 2015; Erdogan et al. 2023), lehetséges, hogy ez alatt az idő alatt az *A. pomi* képes lehetett jobban adaptálódni az Európában széles körben

használatos inszekticid hatóanyagokhoz. Másrészt, bár az *A. spiraecola* megnövekedett toleranciáját számos, különböző hatóanyagcsoportba tartozó inszekticiddel szemben kimutatták más kontinenseken (Manulis et al. 1981; Hogmire et al. 1990, 1992; Bolbose, 2009; Tuca et al. 2009; Lowery és Smirle, 2003; Lowery et al. 2005, 2006; Smirle et al. 2010), míg Magyarországon Mezei és Kerekes (2006) találtak nagyobb növényvédőszer-ellenállóságú *A. spiraecola* kolóniákat, ugyanakkor ezen hatóanyagok felhasználása egyre szűkül, (Hillocks, 2012), így az *A. spiraecola* nagyobb toleranciája, ha jelen is van az Európai populációkban, vélhetően nem jutott kifejeződésre a vizsgált ültetvényekben. Egy másik lehetséges magyarázat az *A. spiraecola* tápnövényváltó életmódjában keresendő: a növényvédelmi kezelésekben nem részesített alternatív tápnövényeken a kártevő fogékony populációi is képesek lehetnek nagy arányban fennmaradni, melyek az almán esetleg kialakult toleráns vagy rezisztens klónokkal ivaros úton visszakereszteződve (Miller, 1928; Komazaki, 1990; Blackman és Eastop, 2010; CABI, 2023) csökkentik a toleráns típusok kialakulásának valószínűségét a monofág *A. pomi*hoz képest, amely teljes életciklusát az almaültetvényben folytatja (Baker és Turner, 1916; Woolhouse és Harmsen, 1991; Blackman és Eastop, 2010) folyamatos inszekticidnyomás mellett. Végezetül, mint azt a korábbi fejezetekben már láthattuk, az *A. spiraecola* Európában kevésbé optimális körülmények között fejlődik, mint Észak-Amerikában vagy Ázsia egyes területein (Zehavi és Rosen, 1987; Pfeiffer et al. 1989; Brown et al. 1995; Mayer és Lunden, 1996), így az is lehetséges, hogy az *A. pomi* általánosan jobb kondíciója lehet felelős a nagyobb inszekticid toleranciáért is.

Összességében megállapítható tehát, hogy az *A. spiraecola* észak felé történő terjeszkedése során mára elérte Európa teljes területét (részletesen lásd a **6.1.** fejezetben), de az *A. pomival* szemben csak bizonyos körülmények között tudott dominánsná válni, a mediterrán régióban, míg Közép-Európában a két faj együttesen van jelen az *A. pomi* dominanciájával, és a kontinens északi régióiban az *A. pomi* az erősen domináns, gyakran egyetlen faj a zöld levéltetű-együttesen belül. Az általunk vizsgált ökológiai faktorok szignifikánsan befolyásolták a két faj kolóniáinak megjelenési valószínűségét, abundanciáját, arányát és fitneszét, bár az egyes faktorok többször eltérően hatottak az *A. pomira* és az *A. spiraecolára*. Mivel Európa a jövőben vélhetően egyre erősebben ki lesz téve a globális éghajlatváltozás hatásainak (Hari et al. 2020; Scharnweber et al. 2020), emellett nagyon intenzíven változik a természetstechnológia és az almatermesztésben alkalmazott növényvédelmi módszerek jellege (Jenser et al. 1997; Cross et al. 2015; Valiuškaitė et al. 2017), amennyiben ezek az általunk vizsgált ökológiai faktorokat is érintik, az bizonyos szintű változásokat okozhat majd a két faj elterjedtségében és növényvédelmi jelentőségében az általunk most feltárt helyzethez képest.

#### **6.4. Két, a hangya-levéltetű kapcsolat zavarásán alapuló módszer hatékonyságának tesztelése az almán élő zöld levéltetű-együttes szabályozására**

Eredményeink alapján megállapítható, hogy mind a palackos önitatóval, mind az agarkockával végzett cukoretetés jelentősen csökkentette a hangyadolgozók számát a levéltetű kolóniákon, és ennek folyományaként a károsító zöld levéltetvek számát is a vizsgálati almaültetvényben (23. és 24. ábra). A két etetési módszer hatékonysága a két vizsgálati évben eltért: míg a nagyobb levéltetű-fertőzöttségű 2014-es évben a palackos önitató hatékonysága szignifikánsan meghaladta a cukoroldatos agarkocka hatékonyságát (23. ábra A), addig a kisebb levéltetű-fertőzöttségű 2015-ös évben a kétféle cukoretetési módszer hangyaelcsaló hatása azonos szignifikanciaszintűnek mutatkozott (23. ábra B). Bár az egyes levéltetűkolóniákon táplálkozó ragadozó csoportok felvételezési mintaszáma nem tette lehetővé az adatok fajonkénti statisztikai értékelését, az összesített ragadozó adatokra illesztett statisztikai elemzés kimutatta, hogy az egyes kezelések levéltetveket korlátozó hatása a kezelt fákon táplálkozó levéltetvekre nehezedő nagyobb predációs nyomás következménye (15. táblázat).

Megfigyeléseink alátámasztják azt a széles körben elfogadott nézetet, hogy a hangya-levéltetű kapcsolatok jelentős szerepet játszanak az almaültetvények zöld levéltetű (*Aphis* spp.) populációinak fenntartásában, továbbá jelentős hatást gyakorolnak az ültetvények afidofág ragadozó együtteseire is, így a hangya-levéltetű kapcsolat megzavarása jelentősen visszavetheti a károsító levéltetvek populációnagyságát. Eredményeink szerint a hangyák cukoroldatos etetése a klasszikus, ragaccsal végzett kizáráshoz hasonlóan, egy hatékony, a hangya-levéltetű kapcsolat megzavarásán alapuló alternatív növényvédelmi eljárás alapja lehet, ami jelentősen csökkentheti az almaültetvények zöld levéltetű populációinak méretét, és ezáltal az okozott kártételt is (24. ábra A és B) (Wyss et al. 1999; Stewart-Jones et al. 2008; Miñarro et al. 2010; Nagy et al. 2013, 2015).

Nagy és munkatársai (2013, 2015) három új, a növények extrafloralis nektár kibocsátását utánzó cukoretetési eljárást dolgoztak ki, melyek a hangyák számára alternatív szénhidrátforrás biztosítása révén csökkenthetik a szürke almalevéltetvek (*D. plantaginea*) kártételét az almaültetvényekben. Jelen vizsgálatunkban a három Nagy és munkatársai (2013, 2015) által vizsgált etetési módszer közül a 30 m/V%-os szacharóz oldattal töltött palackos önitató használatát adaptáltuk zöld almalevéltetvek (*Aphis* spp.) elleni védekezésre: eredményeink szerint a palackos önitató hatékonyan csökkentette a vizsgálati almafákat látogató hangyadolgozók (23. ábra A és B) számát, és ezáltal a károsító zöld levéltetvek (24. ábra A és B) populációnagyságát is a vizsgálati parcellákban.

A vizsgálatban ezen felül egy általunk kifejlesztett, olcsóbb, könnyebben és gyorsabban alkalmazható, teljesen környezetbarát (műanyagmentes) cukoretetési módszer, a 30 m/V%-os cukoroldatból főzött agarzselé kocka hangyaelcsaló hatékonyságát is felmértük. Eredményeink szerint a cukoroldatos agarzselé kocka hatékonysága a hangyadolgozók elcsalására csak az egyik évben el a palackos önitató hatékonyságát (23. ábra A és B), vagyis gyakorlati felhasználás során valószínűleg kevésbé megbízható módszer lenne, mint a palackos önitató. Ennek egyik oka az lehet, hogy az egyes cukorforrások hangyák általi preferenciája erősen koncentráció-függő (Sudd és Sudd, 1985; Völkl et al. 1999; Tinti és Nofre, 2001; Detrain és Prieur, 2014), és a gyakorlatilag teljesen zárt palackos önitatóval szemben a cukoroldatos agarzselé kocka nem képes folyamatosan a *L. niger* hangya számára optimális cukorkoncentrációt (~30 m/V%) (Detrain et al. 2010; Tinti és Nofre, 2001; Detrain és Prieur, 2014) biztosítani: száraz és napsütéses időjárás esetén a zselékocka betöményedik, míg nedves és csapadékos időjárás esetén a zselékocka cukorkoncentrációja a vízfelvétel következtében az optimum alá süllyedhet. Ezen felül a palackos önitató sokkal stabilabb és biztonságosabb hozzáférést biztosít a hangyadolgozók részére, továbbá nagy hatékonysággal kizárja a nagyobb testű cukorfogyasztókat (méhek, darazsak, kisémlősök). Ennek ellenére megfigyeléseink szerint a hangyadolgozók a cukoroldatos agarzselé kockát is nagy hatékonysággal védték: a kihelyezést követően a hangyadolgozók sok esetben teljesen beborították a zselékockákat (10. ábra).

A *L. niger* hangyafaj egyértelmű preferenciát állít fel a különböző szénhidrátösszetevőkkel szemben (Bonser et al. 1998; Völkl et al. 1999; Detrain et al. 2010; Madsen et al. 2017): általánosságban a triszacharidokat előnyben részesíti a diszacharidokkal szemben, és a diszacharidokat a monoszacharidokkal szemben. A faj által legjobban preferált szénhidrát a melezitóz (triszacharid), melynek kedveltsége nagyjából kétszerese a második legjobban kedvelt két vegyületnek, a szacharóznak (diszacharid) és a raffinóznak (triszacharid). (Tinti és Nofre, 2001). Vizsgálatunkban mi szacharózt használtunk alternatív cukorforrásként, melynek *L. niger* általi preferenciája bár elmarad a melezitózétól (Völkl et al. 1999; Tinti és Nofre, 2001; Detrain et al. 2014), de hangyaelcsaló képessége még így is kielégítő, ugyanakkor a növénytermesztők számára a melezitóznál nagyobb mennyiségben és alacsonyabb áron szerezhető be. Bár eredményeink szerint a szacharóz hatóanyag önmagában használva is kellő hatékonyságot mutatott a kártevő zöld levéltetvek populációszabályozására (24. ábra A és B), a hatóanyag valamilyen triszachariddal (melezitóz vagy raffinóz) való kombinációja vélhetően még tovább növelné a kezelés hatékonyságát (Madsen et al. 2017).



Az alternatív szénhidrátforrás koncentrációján és hatóanyag-összetételén felül a táplálékforrás térbeli elhelyezése is jelentős szerepet játszhat a hangyadolgozók táplálkozási döntésében (Devigne és Detrain, 2005). Nagy és munkatársainak (2013) eredményei azt sejtetik, hogy térben a hangyafészkekhez közelebb elhelyezett szénhidrátforrások nagyobb hatékonysággal csalják el a zöld almalevéltetveket őrző *L. niger* dolgozókat. A vizsgálatunkban alkalmazott kétféle etetési módszer közvetlenül a fa törzsénél, a hangyafészkek közelében biztosította az alternatív szénhidrátforrást, így valószínűleg tovább növelve az eltérítés hatékonyságát.

Természetes körülmények között a levéltetvek által kibocsátott mézharmatforrás csak korlátozott mennyiségben áll a hangyadolgozók rendelkezésére, a táplálékforrás elérhetősége erősen függ a levéltetvek populációnagyságától (Cushman és Addicott, 1989; Völkl et al. 1999; Delabie, 2001). Az általunk kifejlesztett két etetési módszer korlátlan szénhidrátforrást biztosít a *L. niger* dolgozók számára, így ez a mesterséges táplálékforrás teljes mértékben kielégíti a kolóniák szénhidrát szükségletét (lásd Becerra és Venable, 1989; Engel et al. 2001; Nagy et al. 2013, 2015). Mivel a hangyadolgozók általában ragaszkodnak az elsőként felfedezett szénhidrátforráshoz (Hölldobler és Wilson, 1990; Beckers et al. 1993), az etetőket minden esetben az első migráns levéltetűegyedek betelepülését megelőzően szükséges kihelyezni.

A hangya-levéltetű kapcsolat megzavarásának következtében a levéltetvek populációnagyságában tapasztalt csökkenésére többféle magyarázat is lehetséges. Egyrészt a hangyadolgozók aktivitásának csökkenésével elmaradnak az olyan hangyák által nyújtott direkt „szolgáltatások”, mint a levéltetűkolóniák folyamatos tisztogatása és a felesleges mézharmat eltávolítása (Nixon, 1951; Banks, 1962; Buckley, 1987). Másrészt Offenberg (2001) *Aphis fabae* levéltetűfaj esetében bizonyítékot talált arra, hogy a hangyapartner cukoroldatos etetése megnövelte a hangya direkt predációját a korábban őrzött levéltetűkolóniákon. Bár mi nem találtunk bizonyítékot erre a jelenségre, de a vizsgálat során több esetben is megfigyeltük a *L. niger* hangyadolgozók eseti ragadozását az őrzött levéltetű kolóniákból (személyes megfigyelés).

A levéltetűpopulációk drasztikus csökkenésének legvalószínűbb magyarázata az alternatív szénhidrátforrással táplált hangyák őrzési aktivitásának csökkenése, minek következtében nőtt a levéltetvekre nehezedő predációs nyomás. Bár a vizsgálat során felmért ragadozó szervezetek relatíve alacsony száma nem tette lehetővé ezen hipotézis bizonyítását, látható, hogy a ragadozó szervezetek levéltetűkolóniánkénti összesített száma (ragadozó/levéltetűkolónia) szignifikánsan nagyobb volt a kezelt parcellákban (15. táblázat), a megnövekedett predációs nyomás tehát kulcsszerepet játszhat a levéltetű populációk

visszaszorításában, ami egybevág a korábbi hasonló vizsgálatok eredményeivel (Wyss et al. 1999; Stewart-Jones et al. 2008; Miñarro et al. 2010; Nagy et al. 2013, 2015). Vizsgálatunk két évében a levéltetűkolóniákon megfigyelt ragadozó együttesek faji összetétele nagymértékben eltért (15. táblázat), ami részben a levéltetű populációk méretének nagymértékű eltéréseivel magyarázható (24. ábra A és B): a megfigyelt levéltetvek abundanciája 2014-ben tízszerese volt a 2015-ben felmért értékeknek. Másrészről, bár a harlekinkatica (*H. axyridis*) a levéltetvek egy gyakori és jelentős természetes ellensége a vizsgált földrajzi régióban (Nagy et al. 2015), ugyanakkor a zöld almalevéltetvek populációinak nagy nyári felszaporodása nem minden esetben esik egybe a *H. axyridis* almaültetvényekben történő aktív táplálkozási periódusával (személyes megfigyelés), amit a faj biológiájával foglalkozó tanulmányok (Koch, 2003; Miñarro et al. 2005; Dib et al. 2010) is megerősítenek. Az általunk vizsgált ültetvényben a legfontosabb ragadozó szervezet valószínűleg a *Pilophorus perplexus* Douglas és Scott volt (15. táblázat). Ez a faj még a hangyák által őrzött levéltetűkolóniákat is nagy hatékonysággal képes megtámadni (Piñol et al. 2012): a hangyák által lefektetett kémiai jeleket követve deríti fel a levéltetűkolóniákat (Skinner, 1983). Mivel mindkét vizsgált levéltetűfaj május közepétől folyamatosan kolonizálja az almafákat (egy szárnyas imágó száll le a hajtáscsúcsokra, ahol egyivaros úton további leánynemzedékeket képez) (Baker és Turner, 1916; Komazaki 1990, 1998), így a kialakulóban lévő fiatal kolóniák jó eséllyel a tipikusan a hajtásvégeken tanyázó vadász stratégiájú pókok (leggyakoribb fajok a hazai almaültetvényekben: *Philodromus cespitum* Walckenaer; *Clubiona frutetorum* Koch, *Cheiracanthium mildei* Koch, *Heliophanus auratus* Koch, *H. cupreus* (Walckenaer)) áldozatául esnek (Mezőfi et al. 2020). Mezőfi és munkatársai (2020) azt is bizonyították, hogy ezek a pókfajok képesek zsákmányolni az általunk vizsgált két levéltetűfajt, továbbá a mi személyes megfigyeléseink is azt látszanak alátámasztani, hogy a vadász stratégiájú pókoknak a 15. táblázatban látható értékeknél nagyobb szerepük lehet a két levéltetűfaj populációinak visszaszorításában.

Összességében megállapítható tehát, hogy a *L. niger* hangyák cukoroldatos etetése egy egyszerű, környezetbarát és hatékony alternatív védekezési módszert nyújt az alma zöld levéltetvek elleni védelmében. Bár eredményeink szerint a palackos önitató megbízhatósága meghaladja a cukoroldatos agarzselé kockáét, de az önitató előállítására nagy mennyiségben körülményes, időigényes, és nagy mennyiségű műanyag hulladék termelésével jár, továbbá az önitatót minden egyes fa tövébe ki kell helyezni, majd a tenyészidőszak során több alkalommal újra kell tölteni a megfelelő lefedettség elérése érdekében, ami a módszer alkalmazását rendkívül munkaigényessé teszi. Ezen felül, ha a palackos önitató belsejében rögzített cukoroldat valamilyen baktériummal vagy gombával fertőződik, az alkoholos erjedés

következtében az etető hatása nagyon gyorsan megszűnik. Ezzel szemben a cukoroldatos agarzseléköcka olcsó, könnyen kezelhető és teljes mértékben lebomló kijuttatási forma, ugyanakkor megbízhatósága elmarad a palackos önitatóétól (kiszáradás, felvizesedés, nem célszervezetek általi elfogyasztás). Új, még hatékonyabb és megbízhatóbb etetési formulák, továbbá a szacharóz oldat valamilyen attraktánsal (melezitóz, aminosavak, a levéltetvek kutikuláris szénhidrogén profiljának egyes komponensei) való kombinációja tovább növelheti az eljárás alkalmazhatóságát, távlatokat nyitva az eljárás akár a nagyüzemi ökológiai almatermesztésben való felhasználására is.

### **6.5. A kajszi levéltetű (*Myzus mumecola*) hazai megjelenésének detektálása, életmódjának és kártételének vizsgálata**

Eredményeink szerint a kajszi levéltetű vizsgálataink idejére elterjedt fajjává vált hazánkban, melynek megjelenésére az ország bármely régiójában számítani lehet. Mivel a faj európai expanzióját megelőzően nem viselkedett kártevőként, így nemzetközi szinten is nagyon kevés kutatás foglalkozott elterjedésével és életmódjával. A *M. mumecola* jelenlétét az olaszországi detektálást megelőzően csupán Japánból, Kínából, Tajvanról, Kelet-Szibériából, Kelet-Indiából és a Himalája térségéből jelezték, de az olaszországihoz hasonló tömeges felszaporodást máshol még nem jelentettek (Chakrabarti et al. 1970; Miyazaki 1971; Basu és Raychaudhuri 1976; Mortisu, 1983; Zhang et al. 1985; Lehr 1988; Chakrabarti és Sakar 2001; Holman, 2009; Panini et al. 2017).

A növényvédelmi gyakorlat azt mutatja, hogy a Dél-Európában megjelenő kártevők néhány év alatt megjelennek a kontinens középső területein is [a *Metcalfa pruinosa* vagy a *Halyomorpha halys* példáján lásd Bozsik (2012); Vének és munkatársai (2014)], így mi már célzottan kerestük a kártevő jelenlétét. Vizsgálatainkat követően Szerbiából is jelezték az új levéltetűfaj tömeges jelenlétét (Petrović-Obradović, 2021). Mivel a kajszi levéltetű tojásainak fagyűrése meghaladja a kajsziét (Kaneko, 1993), néhány éven belül várhatóan komoly kártevővé válik az egész régió (beleértve a Közel-Keletet és Észak-Afrikát is) összes kajszi termesztő vidékén.

A kajszi levéltetű helyzete abból a szempontból is különleges, hogy őshazájában nem kajszin, hanem különböző egyéb, ott honos *Prunus* fajokon (elsősorban *P. mume*-n) mutatták ki előfordulását (Chakrabarti et al. 1970; Miyazaki 1971; Basu és Raychaudhuri 1976; Mortisu, 1983; Zhang et al. 1985; Lehr 1988; Chakrabarti és Sakar 2001; Holman, 2009), ahonnan vélhetően dísznövény szállítmányokkal jutott át Olaszországba, ahol tápnövényt váltva immár komoly kártevővé válhatott (Panini et al. 2017). Innen már természetes úton terjedhetett szét

Európában, de fennáll az esélye annak is, hogy az amerikai kontinensre kerülve a kajszi globális kártevőjévé váljon.

Leíró jellegű megfigyeléseink szerint a *M. mumecola* hazánkban klasszikus holociklikus életmódot folytat nyári tápnövényváltással, azonban az általa okozott közvetlen kártétel súlyossága jelentősen meghaladja a korábban kajszin előforduló levéltetűfajok kártételét (Glits et al. 1997; Péntes et al. 2003; Basky 2005; Péntes Béla, személyes közlés), mivel az új kártevő a többi levéltetűfajénál sokkal nagyobb egyedszámokat érhet el a kajsziültetvényekben. A közvetlen gazdasági kártétel elsősorban hajtásdeformációban, idő előtti lombvesztésben és a vesszők nem kívánatos elágazódásában nyilvánul meg, de előfordulhat virág- és gyümölcskártétel is.

Az általunk vizsgált kajszifajták *M. mumecolával* szembeni fogékonysága nagymértékben eltért (16. táblázat): a fajtákat három csoportba (toleráns, mérsékelten toleráns, fogékony) osztottuk. Bár a levéltetvek abundanciáját elsősorban a tápnövény hajtásnövekedésének intenzitása, a belőle felvehető tápanyagok minősége és a területen előforduló természetes ellenségek faji összetétele és abundanciája határozza meg (Dixon, 1973; Guldmond et al. 1998; Awmack és Leather, 2002), a vizsgálatunkba bevont kajszifák növekedési erélye a legtöbb esetben statisztikai értelemben megegyezett (M15. melléklet), tehát az eltérésekért valószínűleg az egyes fajták élettani vagy genetikai jellemzői lehetnek a felelősek (Dogimont et al. 2010; Pierson et al. 2011). A különböző növényfajok és -fajták eltérően reagálhatnak a levéltetű-kártételre (Awmack és Leather, 2002). Néhány fajta például kompenzálja a levéltetvek által okozott kárt (Pierson et al. 2011), más fajok valamilyen fizikai úton próbálják hátráltatni a levéltetvek táplálékfelvételét (Giordanego et al. 2010), vagy különböző rezisztenciagének aktiválódása is okozhat valamilyen szintű toleranciát (Dogimont et al. 2010). Őszibarack (*Prunus persicae*) esetében például Pascal és munkatársai (2002) a 'Rubira' nevű, vöröslevelű alanyfajtában, egy olyan monogénes domináns rezisztenciagént talált, ami aktiválódva indukált rezisztenciát vált ki a *M. persicae* károsítása ellen (Sauge et al. 2002). A kajsziban esetlegesen meglévő levéltetű-rezisztencia gének nem ismertek, így felderítésük a jövőben komoly segítséget nyújthatna az új, toleráns fajták szelekciója és nemesítése során.

A közvetlen gazdasági kártétel mellett nem szabad megfeledkeznünk a faj közvetett kártételeként jelentkező vírusátviteli képességéről sem, ez ugyanis már kisebb, gyakran nem feltűnő mértékű populációnagyság esetén is jelentkezhet. A kajszi legfontosabb vírusos betegsége a kajszihimlő (kórokozója a *Plum pox virus*, PPV). A vírus átvitele pollennel elhanyagolható mértékű (Eynard et al. 1991), így vírusmentes szaporítóanyag telepítése, majd

megfelelő technológiai fegyelem tartása esetén (Glits et al. 1997) a kórokozó fő terjesztői a levéltetvek lehetnek (Labonne et al. 1995; Basky et al. 1997). Az európai kajszültetvények fáinak lombozatán számos, potenciálisan vírusvektor levéltetűfaj szárnyas egyedeinek jelenlétét figyelték meg, noha ezek legtöbbje csak próbaszívásokat ejt a növényen, és nem képez kolóniákat kajszin (Labonne et al. 1995; Jeremović et al. 2016), ennek ellenére vektorszerepük jelentős lehet. Gáborjányi és Basky (1996) és Basky és munkatársainak (1997) eredményei szerint a nagy vírusfertőzöttségű ültetvénybe helyezett vírusmentes őszibarackmagoncok a levéltetvek szívogatásának hatására gyorsan vírusfertőzötteké váltak, és a vírusátvitel mértéke szignifikánsan függött a kajszin is megjelenő *H. pruni* levéltetvek repülési aktivitásától. Basky és munkatársai (1997) bizonyították a *H. amygdali* vektor szerepét a kórokozó kajsziról kajszira történő átvitelében. Dosba és munkatársai (1991) eredményei szerint a *M. persicae* a PPV mindhárom Európában gyakori törzsét (PPV-D, PPV-M, PPV-Rec) képes nem perzisztens (stylet-born) módon átvinni kajsziról kajszira. A *M. mumeicola* vírusátviteli képessége Kimura és munkatársainak (2016) eredményei szerint *P. mume* tápnövényen vizsgálva nagyjából 12%-nak adódott, ami ugyan elmarad a *M. persicae* 24%-os átviteli arányától, de még így is kimondottan nagy értéknek számít. Különösen nagy veszélyt jelentenek a kajszifákra ősszel visszatérő ivaros egyedek próbaszúrásai, mert ilyenkor egyetlen egyed rövid időn belül több növényen is szívogathat, így a stylet-born átvitel valószínűsége nagy (Basky, 2005). Eredményeink szerint a *M. mumeicola* a PPV hazánkban leggyakoribb, PPV-D törzsét (Sihelská et al. 2017) biztosan képes hordozni, így a jövőben a közvetlen kártételén felül a potenciális vektor szerepe is szükségessé teszi a kártevő elleni hatékony védelmet.

A védekezést javasolt megelőző jelleggel elvégezni, ideértve az áttelelő levéltetűtojások ellen hatékony télvégi olajos lemosó permetezést, illetve a tavaszi fás metszés során a gócképző, közvetlenül a törzsről vagy a nagyobb vázágak tövéből előtörő legyengült, árnyékolt vesszők töből való eltávolítását. A védelem nagy levéltetűfertőzöttségű években kiegészülhet megfigyelésekre alapozott kémiai növényvédelemmel is (tavasszal a fiatal kolóniák, ősszel a visszatérő ivaros alakok ellen), amit a kajsziban engedélyezett lambda-cihalotrin, deltametrin, acetamiprid és spirotetramát hatóanyagokkal végezhetünk (NÉBIH Növényvédőszeres Adatbázisa, 2023).

## 7. Új tudományos eredmények

Vizsgálataink során a következő új tudományos eredményeket állapítottuk meg:

- Faunára új fajként, elsőként mutattuk ki az *A. spiraecola* jelenlétét Dániából, Csehországból, Szlovákiából és Koszovóból, míg az Egyesült Királyság esetében bizonyítottuk a faj megtelepedését az ország több régiójában, különböző tápnövényeken.
- Hétéves, az ország különböző pontjain végzett mintavétellel feltártuk az *A. pomi* és *A. spiraecola* hazai telelésmódját, igazoltuk, hogy az *A. spiraecola* almán, mint elsődleges tápnövényen Magyarországon nem, vagy csak elenyésző mértékben telel, így ebben a régióban klasszikus gazdanövényváltó életmódot követ *Spiraea* spp. elsődleges téli tápnövénnyel.
- Európa 12 földrajzi régiójában (összesen 10 országban, 44 almaültetvényben) végzett mintavételek segítségével felmértük az *A. pomi* és az *A. spiraecola* dominanciájának alakulását Európa különböző éghajlatú és földrajzi elhelyezkedésű almaültetvényeiben. Meghatároztuk különböző bioklimatikus régiók hatását a két faj almaültetvényekben megfigyelhető arányára.
- Feltártuk a gazdanövény hajtásnövekedésének, az ültetvény földrajzi elhelyezkedésének, a tenyészidőszaknak (a mintavétel idejének) és a termesztési módjának hatását a két faj megjelenési valószínűségére, abundanciájára, arányára és fitneszére.
- Egy ökológiai almaültetvényben beállított vizsgálattal igazoltuk a hangyák cukoroldatos etetésének, mint egy környezetbarát, a hangya-levéltetű kapcsolat megzavarásán, és ezáltal a levéltetű kolóniákra nehezedő nagyobb predációs nyomáson alapuló növényvédelmi módszer hatékonyságát a *Aphis* spp. szabályozásában. Az általunk fejlesztett két etetőtípus közül igazoltuk a palackos önitató jobb hatékonyságát az agarzselé kockával szemben a levéltetű populációk szabályozásában.
- Faunára új fajként igazoltuk a *M. mumecola* megjelenését, Olaszország után Európában másodikként, magyarországi kajszültetvényekben. Leíró megfigyelést végeztünk a faj hazai életmódjának és az általa okozott kárképtünetek megismerése céljából, összehasonlítottuk az egyes hazánkban termesztett kajszifajták fogékonyságát az új kártevővel szemben, továbbá kimutattuk a PPV vírust (D törzs) a kártevő testéből.

## 8. Összefoglalás

Munkánk során két almán élő, hasonló morfológiájú és hasonló kárt okozó, de eltérő származású és életmódú levéltetűfaj, a zöld almalevéltetű (*Aphis pomi*) és a zöld gyöngyvessző levéltetű (*A. spiraecola*) európai almaültetvényekben való elterjedtségét, életciklusát, dominanciáját és ökológiai kapcsolatait vizsgáltuk. Kutatásaink továbbá kiterjedtek két környezetbarát, a hangya-levéltetű kapcsolat megzavarásán alapuló növényvédelmi eljárás hatékonyságának tesztelésére, melyek célja a két kártevőfaj populációinak csökkentésére. Végül célzott vizsgálatokkal kívántuk kimutatni egy Európában eddig csak Olaszországból kimutatott, az *A. spiraecolához* hasonlóan inváziós fajként viselkedő levéltetűfaj, a kajszilevéltetű (*M. mumeicola*) hazai megjelenését, felmértük a faj elterjedtségét, életciklusát és az egyes kajszifajták kártevővel szembeni ellenállóképességét, valamint megkíséreltük kimutatni a szilvahimlő vírus (*Plum Pox Virus*, PPV) jelenlétét a kártevő testéből.

Irodalmi adatok alapján az Észak-Amerikában és Európában inváziós fajként megjelenő *A. spiraecola* eltérő életciklusa, nagyobb reprodukciós képessége, jobb stressztűrése és növényvédő szerekkel szemben mutatott nagyobb ellenállóképessége révén kiszorította a korábban elterjedt *A. pomit* az ország almaültetvényeiből, míg Kínában az *A. spiraecola*, Indiában az *A. pomi* maradt a domináns, Kína esetében az egyetlen faj. Ugyanakkor vizsgálataink megkezdéséig az *A. spiraecola* európai elterjedtsége és életmódja sem volt egyértelműen tisztázott, és nagyon kevés információval rendelkezünk a két faj dominanciájáról, és a két faj teljesítményét meghatározó ökológiai tényezők (a klíma, az ültetvény földrajzi elhelyezkedése, a tenyészidőszak, az ültetvény hajtásnövekedésének intenzitása és növényvédelmi stratégiája) a két faj elterjedésére, arányára és fitnessére kifejtett hatásáról az európai kontinensen. Bár a hangyák szacharózoldatos elcsalása a megnövekedett predációs nyomás révén sikeresen korlátozta több levéltetűfaj populációinak felszaporodását, vizsgálataink megkezdéséig nem volt igazolt ezen etetés mód hatékonysága az almán élő zöld levéltetűfajok visszaszorítására, továbbá a korábbi vizsgálatokban használt etetőtípusok további finomítására is szükség volt a módszer hatékonyságának növelése, illetve az előállítás költségeinek csökkentése érdekében.

Egy átfogó vizsgálat során morfológiai és molekuláris úton elsőként igazoltuk az *A. spiraecola* megjelenését Koszovóból, Csehországból és Dániából almaültetvényekben, továbbá szintén faunára új fajként mutattuk ki a kártevőt Szlovákiából alma, birs és gyöngyvessző tápnövényről, míg az Egyesült Királyság több régiójából alma, birs, körte és tűztövis tápnövényről, vagyis a jövőben a faj megjelenésére Európa bármely régiójában számítani lehet.

Tíz magyarországi helyszínen, hét tenyészidőszak áprilisában almán végzett gyűjtésekkel igazoltuk, hogy csak az őshonos *A. pomi* telet a hazai almaültetvényekben, ezzel szemben a polifág *A. spiraecola* hazánkban klasszikus tápnövényváltó életmódot folytat gyöngyvessző téli tápnövénnyel, míg az alma a faj egyik jelentős nyári tápnövénye ebben a régióban.

Az *A. pomi* és *A. spiraecola* dominanciáját, abundanciáját és fitnessét meghatározó tényezőket (földrajzi régió, klíma, tápnövény minősége és termesztési mód) 44 európai almaültetvényben (melyek a kontinens 10 országának 12 földrajzi régióját fedték le) végzett kétéves vizsgálat során tártuk fel.

A két levéltetűfaj aránya erősen függött az adott ültetvény klímájától, általánosságban az *A. spiraecola* aránya csökkent (azaz az *A. pomi* aránya nőtt) az átlaghőmérséklet csökkenésével és a csapadékmennyiség növekedésével. Ennek megfelelően az inváziós *A. spiraecola* a Mediterrán Dél klímazónában (Meztger) és a Szubhumid mérsékelt szubóceáni klímazónákban (Botti), míg az őshonos *A. pomi* a Kontinentális és Közép-Atlanti klímazónákban (Meztger) és a Szuxerikus hűvös, Axerikus mérsékelt és Axerikus hűvös szubóceáni klímazónákban (Botti) fordult elő közel kizárólagosan. A köztes bioklimatikus zónákban a két faj nagy szórás mellett együtt volt jelen, és eltérő valószínűséggel, de az *A. spiraecola* és az *A. pomi* is dominánssá válhatott egyes ültetvényekben, években vagy hónapokban. A két vizsgált bioklimatikus modell egyformán jól magyarázta a két levéltetűfaj dominanciájának alakulását az európai almaültetvényekben.

Mindkét faj májusban fordult elő a legtöbb almaültetvényben, majd a tenyészidőszak előrehaladtával megjelenési valószínűségük és fitnessük folyamatosan csökkent. Ezzel szemben abundanciájuk maximuma egy hónappal később, júniusban mutatkozott (kivéve *A. spiraecola* 2018-ban). Összességében az *A. spiraecola* arányának folyamatos csökkenését mutattuk ki a zöld levéltetvek között a vegetációs periódus során.

Mindkét faj megjelenési valószínűsége és fitnessze is csökkent a hajtásnövekedés csökkenésével, illetve a két faj azonosan reagált a tápnövény minőségének romlására. Az ökológiai ültetvényekben az *A. spiraecola* megjelenési valószínűsége, aránya és fitnessze is nagyobb volt, mint az integrált növényvédelmű ültetvényekben, míg az *A. pomina* nem volt ilyen hatás megfigyelhető, ezért feltételezhetjük, hogy az európai ültetvényekben széles körben alkalmazott mesterséges inszekticid hatóanyagokkal szemben az *A. pomi* mutatott nagyobb toleranciát.

Összességében megállapítható tehát, hogy az *A. spiraecola* észak felé történő terjeszkedése során elérte Európa valamennyi almatermesztő régióját, ugyanakkor az *A. pomi* és *A. spiraecola* Európában megfigyelhető dominancia-mintázata eltér a Föld más nagy



almatermesztési régióinak mintázataitól és Észak-Amerikában tapasztalhoz hasonló dominanciacsere csak a kontinens déli, mediterrán régióiban következett be. Európában nem figyeltük meg az *A. spiraecola* (*A. pomival* szemben mutatott) jobb teljesítményét gyengébb minőségű tápnövényen, valamint eredményeink alapján nem valószínűsíthetjük nagyobb növényvédőszer-toleranciáját sem. A megfigyelt különbségek okai vélhetően a két faj eltérő genetikai hátterében, Európában mutatott életciklusában, és részben a kontinens sajátos klíma- és termesztéstechnológiai jellegzetességeiben keresendő.

Mindkét általunk vizsgált etetőtípus (palackos önitató és szacharózoldatos agarzselé kocka) hatékonyan csökkentette a hangyadolgozók látogatását, és ezzel párhuzamosan a levéltetűkolóniák populációnagyságát a vizsgált ültetvényben, melynek oka a kolóniákra nehezedő nagyobb predációs nyomás volt. A vizsgált ültetvény leggyakoribb ragadozó fajtái a *Philodromus cespitum*, a *Pilophorus perplexus* és a Chamaemyiidae család tagjai voltak. A palackos önitató hatékonysága és megbízhatósága meghaladta a szacharózoldatos agarzselé kockáét, ugyanakkor az utóbbi módszer egyszerűsége, olcsósága és kisebb környezeti terhelése révén könnyebben beilleszthető lehet az alma ökológiai termesztéstechnológiájába.

A *M. mumecola* jelenlétét morfológiai és molekuláris úton az ország több régiójából igazoltuk: eredményeink szerint a faj az egész országban elterjedt, súlyos közvetlen kártételt (levélsodródás, hajtásdeformáció, hajtáscsúcs elhalás, seprűsödés, közvetlen virág- és terméskártétel) okozó levéltetűfajjá vált, mely várhatóan elterjed Európa kajszitermő vidékein. Az új kártevő magyar megnevezéseként a kajszilevéltetű nevet javasoltuk. A korábbi irodalmi adatok, és saját megfigyeléseink alapján összeállított morfológiai határozókulcs segítségével a *M. mumecola* megbízhatóan elkülöníthető az Európában kajszin előforduló többi levéltetűfajtól. Az új kártevő hazánkban teljes, gazdacserés életmódot folytat: az ősanyák április elején jelentek meg a kajszitörzshöz közeli, legyengült hajtásain, majd az egyre népesebb kolóniák kihúzódtak a korona palástjára, míg a szárnyas alakok migrációja ismeretlen nyári tápnövényre egészen június közepéig elhúzódott. Az általunk vizsgált kajszifajták közül különösen érzékenynek bizonyultak a 'Goldrich' és 'Spring Blush' fajták, míg toleránsnak a 'Görög magonc', 'Budapest', 'Ceglédi bíbor', 'Magyar kajszit C235', 'Orange Red', 'Ceglédi kedves' és 'Pannónia' fajták. A kártevővel szembeni fogékonyság a fajták eltérő genetikai hátterével magyarázható. Molekuláris úton kimutattuk PPV vírus D törzsének jelenlétét a kártevő testéből, így a jövőben a közvetlen kártételen felül vírusvektor szerepére is fokozottan számítanunk kell.

Végül következtetésként megállapítható, hogy az állókultúrákban élő levéltetűfajok, köztük az újonnan behurcolt inváziós kártevők, populációi egy komplex ökológiai rendszerbe

illeszkednek, melyben a befolyásoló faktorok száma természetesen jelentősen nagyobb a vizsgálataink során elemzett tényezők számánál. Ugyanakkor eredményeinkből kitűnik, hogy már néhány faktor (például az élőhely földrajzi elhelyezkedése, bioklimatikus jellemzői, a tápnövény minősége, a növényvédelem típusa, a mutualista partnerek megzavarása vagy éppen egy tápnövényváltás) változása is jelentősen befolyásolhatja az adott faj teljesítményét, így közvetve az általa okozott kártétel mértékét és a védekezés szükségességét és módját is. Eredményeink felfedték a levéltetvek biológiájának néhány új aspektusát, és segíthetnek megérteni az *A. pomi*, az *A. spiraecola* és a *M. mumecola* hazai és európai elterjedését, az életmódjukat és növényvédelmi jelentőségüket meghatározó folyamatok működését.

## 9. Summary

The aim of this PhD. thesis was to investigate the distribution, life cycle, relative abundance, abundance, fitness and ecological relationships of two green apple aphid species with similar morphology and similar damage but different origins and life history traits, the green apple aphid (*Aphis pomi*) and the green spirea aphid (*A. spiraecola*), in European apple orchards. The thesis also aimed to evaluate the effectiveness of two environmentally friendly pest management techniques, based on disruption of the ant-aphid relationship, to suppress populations of these two aphid species. Finally, studies were conducted to determine the occurrence, distribution, life cycle of apricot aphid (*Myzus mumecola*), which has so far only been detected in Italy in Europe, and which, like *A. spiraecola*, is an invasive species in Europe, to compare the tolerance of some apricot varieties to the damage of the pest, as well as to detect the presence of Plum Pox Virus (PPV) in the body of the pest.

Based on the results of former studies, *A. spiraecola* has displaced the previously widespread *A. pomi* from apple orchards in the United States of America due to its different life cycle, higher reproductive capacity, better stress tolerance and higher resistance to pesticides. No such change has been observed in India, Iran and Turkey, while *A. spiraecola* remains the only *Aphis* species in the apple orchards of China. However, prior to our studies, the distribution and life history of *A. spiraecola* in Europe was not clearly understood and very little information was available on the relative abundance of the two species and the influence of some ecological factors (climate, orchard location, growing season, intensity of shoot growth and plant protection strategy) on the distribution, proportion and fitness of the two species in Europe. Although feeding of ants with sucrose-solution has been successful in limiting the increase in populations of several aphid species through increased predation pressure, the effectiveness of this feeding method in controlling green aphid species on apple had not been proven until our studies, and further refinement of the feeding types used in previous studies was needed to increase the effectiveness of the method and reduce the costs of production.

In a comprehensive study, we were the first to confirm the occurrence of *A. spiraecola* from Kosovo, the Czech Republic and Denmark (in apple orchards in all three countries), and we also detected the pest as a new species for the fauna of Slovakia (from apple, quince and pear orchards) and the United Kingdom (from apple, quince, pear and spirea), suggesting that the species could be expected to occur in any region of Europe. Samplings on apple trees at ten locations of Hungary in April of seven growing seasons confirmed that only the native *A. pomi* overwinters in the apple orchards in Hungary, whereas the polyphagous *A. spiraecola* has a

classical host-alternating life cycle with *Spirea* spp. as a winter hosts and apple as a common summer host.

A two-year study of 44 European apple orchards (covering 12 geographic regions of 10 countries on the continent) was conducted to determine the role of geographical regions, climate, growing season, shoot growth of the host plant and cultivation methods in distribution, relative abundance, abundance and fitness of the two green aphids (*A. pomi* and *A. spiraecola*).

Proportions of the two aphid species were strongly dependent on the climate of the apple growing regions, in general the relative abundance of *A. spiraecola* decreased (i.e. the proportion of *A. pomi* increased) with decreasing average temperature and increasing level of precipitation. Accordingly, the invasive *A. spiraecola* was found in high relative abundance almost exclusively in the Mediterranean Southern climate zones (classification based on Metzger et al. 2005) and the Subhumid Temperate Sub-oceanic climate zones (classification based on Botti, 2018), while the native *A. pomi* occurred in high relative abundance almost exclusively in the Continental and Mid-Atlantic climate zones (classification based on Metzger et al. 2005) and the Sub-oceanic Cool, Axeric Temperate and Axeric Cool Sub-oceanic climate zones (classification based on Botti, 2018). In the intermediate bioclimatic zones, the two species co-occur with different probabilities and with a marked variation in their relative abundance, i.e. *A. spiraecola* and *A. pomi* could also become dominant in some orchards, years or months. The two bioclimatic classifications studied explained the relative abundance of the two aphid species in European apple orchards equally well.

Both species occurred in most apple orchards in May and then their probability of occurrence and fitness steadily decreased as the growing season progressed. In contrast, their abundance peaked one month later, in June (except for *A. spiraecola* in 2018). Overall, a steady decrease in the proportion of *A. spiraecola* among green aphids was observed during the growing season.

Both species showed a decrease in probability of occurrence and fitness as shoot growth declined, and both species responded similarly to a decline in shoot growth of the host plant . In organic orchards, the probability of occurrence, ratio and fitness of *A. spiraecola* were higher than in IPM orchards, whereas no such effect was observed for *A. pomi*, suggesting that the expected increased tolerance of *A. spiraecola* to artificial insecticide compounds does not occur in the case of Europe.

In summary, it can be concluded that *A. spiraecola* has reached all regions of Europe during its northward expansion. However, the dominance pattern of *A. pomi* and *A. spiraecola* in Europe differs from that of other major apple growing regions of the world, and a similar

dominance shift to that in North America has only occurred in the southern Mediterranean regions of the continent. In Europe, we have not observed better performance of *A. spiraecola* (compared to *A. pomi*) on lower quality host plants, and we found no evidence of higher pesticide tolerance level in *A. spiraecola* compared to *A. pomi*. The observed differences are probably due to the different genetic background and life cycles of the two species in Europe, and partly to the continent's specific climate and the differences present in the cultivation technologies.

Both types of feeders we tested (bottle feeder and agar jelly cubes) were effective in reducing ant visitation of aphids, and, in parallel, aphid population size in the orchard, due to increased predation pressure on colonies. The most common predatory species in the studied orchard were *Philodromus cespitum*, *Pilophorus perplexus* and members of the Chamaemyiidae family. The efficiency and reliability of bottle feeders exceeded that of agar jelly cubes, but the simplicity, cheapness and lower environmental impact of the latter method make it easier to integrate into pest management in organic apple production.

The presence of *M. mumecola* has been confirmed morphologically and molecularly from several regions of Hungary. Our results show that *M. mumecola* has become a widespread aphid species causing severe direct damage (leaf blight, shoot deformation, shoot tip dieback, undesired branching, direct flower and fruit damage) throughout the country and is expected to spread to all apricot growing regions of Europe. We proposed the common name 'apricot aphid' for the new pest. Based on the results of previous studies and our own observations, a morphological key can be used to reliably distinguish *M. mumecola* from other aphid species occurring in Europe. In Hungary, the new pest follows a complete host-alternating lifestyle: the stem mothers appeared in early April on weakened shoots close to the trunk of the apricot trees, and then the increasingly populous colonies moved to the apical twigs of the crown, while the migration of the winged forms to unknown summer hosts was delayed until mid-June. 'Goldrich' and 'Spring Blush' proved to be particularly sensitive cultivars, while 'Greek seedling', 'Budapest', 'Ceglédi bíbor', 'Magyar kajsz C235', 'Orange Red', 'Ceglédi kedves' and 'Pannónia' proved to be tolerant apricot varieties. The PPV virus was successfully detected from the body of all studied individuals, and therefore, the role of *M. mumecola* as viral vector, in addition to direct damage, can be increasingly anticipated in the future.

As the final conclusion, the populations of aphid species in fruit orchards, including newly introduced invasive pests, are part of a complex ecological system, in which the number of factors influencing the population is of course much larger than the number of factors analysed in our studies. At the same time, our results show that changes in the factors such as

the habitat location, bioclimatic characteristics, nutrient quality, type of pest management, disturbances of mutualistic partners or even a switch in the host plant can significantly affect the performance of *A. pomi*, *A. spiraecola* or *M. mumecola* and as a result they can indirectly affect not only the extent of damage they cause but also the need and method of control. Our results have revealed some new aspects of aphid biology and may help to understand the distribution of *A. pomi*, *A. spiraecola* and *M. mumecola* in Europe and the processes that determine their life history and their importance in plant protection.

## 10. Publikációs lista

Doktori vizsgálataim eredményeiből a kézirat lezárásáig (2023.08.27.) a következő tudományos publikációk születtek:

Lektorált, impakt faktoros folyóiratban megjelent közlemény:

- BORBÉLY, C., GYÖRGY, Z., JACOBSEN, S. K., MUSA, F., OUŘEDNÍČKOVÁ, J., SIGSGAARD, L., SKALSKÝ M., MARKÓ, V. (2020): First records of the invasive aphid species, *Aphis spiraecola*, in Kosovo, Slovakia, the Czech Republic, the United Kingdom and Denmark. *Plant Protection Science* 57 (1) 70–74. pp. (Q2)
- BORBÉLY, C., GYÖRGY, Z., SZATHMÁRY, E., MARKÓ, V. (2021): Apricot aphid, *Myzus mumecola* (Matsumura), a new and important pest of apricot in Hungary. *Journal of Plant Diseases and Protection* 128 (3) 781–787. pp. (Q2)
- BORBÉLY, C., NAGY, C. (2022): Providing sugar sources for ants improves the biological control of *Aphis* spp. in apple orchards. *Biological Control* 175, 105056. (Q1)

Lektorált folyóiratban megjelent közlemény:

- BORBÉLY, C., GYÖRGY, Z., SZATHMÁRY, E., MARKÓ, V. (2021): Kajszi levéltetű (*Myzus mumecola*) – új kártevőfaj a hazai kajsziültetvényekben. *Növényvédelem* 82 (5) 193–200. pp.

Konferenciakiadványban megjelent közlemény:

- BORBÉLY, C. (2018): Helyzetértékelés a zöld gyöngyvessző levéltetű (*Aphis spiraecola* Patch; Hemiptera: Aphididae) jelentőségéről hazai almaültetvényekben. *Ifjú Tehetségek Találkozója, Szent István Egyetem, Budapest, 2018. december 7. Konferenciakiadvány*, 13–16. pp. (full paper)
- BORBÉLY, C., MARKÓ, G., LADÁNYI, M., MARKÓ, V. (2022): Analysis of the competition between aphid species *Aphis pomi* De Geer and *Aphis spiraecola* Patch. *Alternative Strategies of Plant Protection Against Invasive Insect Pests, Book of Abstracts*, 12. pp. (absztrakt)

Egyéb közlemény:

- BORBÉLY, C., SZATHMÁRY, E., MARKÓ, V. (2022): Megjelent hazánkban a kajszilevéltetű, a szilvahimlő vírus vektora. Mit tehetnek a kajszitermesztők? *Agrofórum Extra* 95, 30–33. pp.



## 11. Köszönetnyilvánítás

Mindenekelőtt köszönettel tartozom témavezetőmnek, **dr. Markó Vikornak**, aki már MSc. tanulmányaim során felkarolt, és közel tíz éve támogatja kutatómunkámat újító ötleteivel és hasznos tanácsaival. Köszönettel tartozom **dr. Markó Gábornak**, aki a nyers adatok statisztikai értékelésében nyújtott nélkülözhetetlen segítséget. Külön köszönettel tartozom **Nagy Csabának**, aki annak idején bevezetett a hangyák és a levéltetvek titokzatos világába, és azóta társam több vizsgálatban és közös publikációban. Köszönet illeti **Benyóné dr. György Zsuzsannát** és **Koósné dr. Szathmáry Erzsébetet** a molekuláris vizsgálatok során nyújtott nélkülözhetetlen segítségükért. Köszönöm **dr. Michelle Fountain**-nek, **dr. Charles E. Whitfield**nek és **prof. Jerry V. Cross**-nak, hogy angliai tartózkodásom során mindenben támogattak, és segítettek PhD. vizsgálataim eredményeinek bővítését. Köszönöm a zöld almalevéltetvek európai elterjedtségének vizsgálatában részt vett valamennyi külföldi kutatóintézet és kutatótárs nélkülözhetetlen segítségét a mintavételek során. Külön köszönet **Saliga Rebekának**, **Fehérvári Zsuzsannának** és **Schmidtka Zsuzsannának** a laboratóriumi munkában és az adminisztrációs feladatok elvégzésében nyújtott rengeteg segítségért. Hálás vagyok szakdolgozó hallgatóimnak, név szerint **Sás Csillának**, **Kovács Lillának**, **Sisa Tamásnak**, **Vörös Boldizsárnak**, **Amged el Harairy**-nek és **Kluck Ákosnak**, a MATE növényorvos hallgatóinak a közös munkáért. Köszönettel tartozom **dr. Fail Józsefnek**, aki tanszékvezetőként majd intézetigazgatóként lehetővé tette munkámat a Rovartani Tanszéken, **dr. Szabó Árpádnak** hasznos tanácsaiért, és a Rovartani Tanszék, a NÉBIH MGEI Kertészeti Fajtakísérleti Osztály és az ÉLBC Kft. Tordasi Fajtakísérleti Állomás minden dolgozójának a kellemes munkahelyi légkörért. Természettudományos világképem fejlődését számos nagytudású és elhivatott szakember, név szerint **Kaszás Lászlóné**, **Rebák Sándor**, **Gyalókey Judit**, **dr. Váradiné Marczali Piroska**, **dr. Borvendég Márta**, **dr. Lukács Noémi**, **dr. Reményi Mária Lujza**; **dr. Halász Krisztián**; **dr. Haltrich Attila** és **dr. Péntes Béla** segítette, ezúton szeretnék köszönetet mondani nekik azért a rengeteg tudásért, amit az évek során tőlük kaptam. Köszönettel tartozom **Károlyné Bank Zsuzsannának** és **Károly Szabolcsnak** az értekezés kéziratának nyelvi lektorálásáért és több, mint húsz éve tartó barátságukért. Végezetül szeretnék köszönetet mondani szüleimnek, **Borbély Csabánának** és **Borbély Csabának**, akik végig támogattak tanulmányaim során, húgomnak, **Borbély Lillának** hasznos tanácsaiért és az angol nyelvű közleményeink nyelvi lektorálásáért, és menyasszonyomnak, **dr. Koncz Dorottyának** a sok-sok biztatásért és inspirációért.

Dolgozatomat a tavaly eltávozott **Farkas Árpád** kertészmérnök emlékének ajánlom, aki annak idején elindított ezen a csodálatos pályán; hatalmas szakmai tudása és emberi nagysága emlékeinkben él tovább.

Kutatásainkat a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal Országos Tudományos Kutatási Alapprogramja (K 129311, vezető kutató dr. Markó Viktor) és az Emberi Erőforrások Minisztériumának Új Nemzeti Kiválóság Programja (ÚNKP 18–3) támogatta.

## 12. Mellékletek

### M1 melléklet: Irodalomjegyzék

1. ADDICOTT, J.F. (1978): Competition for mutualists: aphids and ants. *Canadian Journal of Zoology* 56 (10) 2093–2096. pp.
2. ANDA, A., KOCSIS, T., KOVÁCS, A., TŐKEI, L., VARGA, Z. (2010): Agrometeorológiai és klimatológiai alapismeretek. Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó Kft., Budapest, Magyarország.
3. ANDREEV, R., RASHEVA, D., KUTINKOVA, H. (2007): Aphids in apple orchards in Central-South Bulgaria. *Journal of Plant Protection Research* 47(1) 87–90. pp.
4. ANDREEV, R., RASHEVA, D., KUTINKOVA, H. (2009): Development of *Aphis spiraecola* Patch (Hemiptera: Aphididae) on apple. *Journal of Plant Protection Research* 49 (4) 378–381. pp.
5. ANDREEV, R., KUTINKOVA, H., RASHEVA, D. (2012): Non-chemical control of *Aphis spiraecola* Patch and *Dysaphis plantaginea* Pass. on apple. *Journal of Biopesticides* 5 (Supplementary) 239–242. pp.
6. ANDREEV, R., RASHEVA, D., KUTINKOVA, H. (2013): Occurrence and population density of aphids in apple orchards of South Bulgaria. *Journal of Plant Protection Research* 53 (4) 353–356. pp.
7. APÁTI, F. (2018. a): Almapiaci kilátások. *Fruitweb Online Kiadása*. Hozzáférés: 2022.01.17.
8. APÁTI, F. (2018. b) Az almapiac helyzetértékelése. *Fruitweb Online Kiadása*. Hozzáférés: 2022.01.17.
9. APÁTI, F. (2020) Az étkezési almatermesztés gazdaságossága. *Fruitweb Online Kiadása*. Hozzáférés: 2022.01.17.
10. ARBAB, A., KONTODIMAS, D.C., SAHRAGARD, A. (2006): Estimating development of *Aphis pomi* (De Geer) (Homoptera: Aphididae) using linear and nonlinear models. *Environmental Entomology* 35 (2b) 1208–1215. pp.
11. ASLAN, B., KARACA, I. (2005). Fruit tree aphids and their natural enemies in Isparta region, Turkey. *Journal of Pest Science* 78, 227–229. pp.
12. AVINENT, L., HERMOSO DE MENDOZA, A., LLACER, G. (1993): Comparison of sampling methods to evaluate aphid populations (Homoptera, Aphidinea) alighting on apricot trees. *Agronomie, EDP Sciences* 13(7) 609–613. pp.

13. AWMACK, C.S., LEATHER, S.R. (2002): Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review on Entomology* 47 (1) 817–844. pp.
14. ÁDÁM, J., PALKOVICS, L., TÓBIÁS, I., ALMÁSI, A. (2013): Presence of sharka disease in the North-Hungarian counties. *In* II International Symposium on Plum Pox Virus (2023 szeptember), Absztraktok 1063, 55–60. pp.
15. BAKER, A.C., TURNER, W.F. (1916): Morphology and biology of the green apple aphid. *Journal of Agricultural Research* 5 (21) 955–993. pp.
16. BALÁZS, K., MOLNÁR, M. BUJÁKI, G., KARÁCSONY, D, BARTHA, J. (1997): Possibility and problems of organic apple growing in Hungary. *Biological Agriculture and Horticulture* 15 (1–4) 223–232. pp.
17. BALOG, A., THIESZ, D. FERENCZ, L., ALBERT, J. (2007): The effects of plant extracts on apple aphid (Homoptera: *Aphis pomi* De Geer) under laboratory conditions. *Romanian Biotechnological Letters* 12(5), 3423.
18. BANKS, C.J. (1958): Effects of the ants, *Lasius niger* (L.), on the behaviour and reproduction of the black bean aphid, *Aphis fabae* Scop. *Bulletin of Entomological Research* 49 (4) 701–714. pp.
19. BANKS, C.J. (1962): Effects of the ant *Lasius niger* (L.) on insects preying on small populations of *Aphis fabae* Scop. on bean plants. *Annals of Applied Biology* 50 (4) 669–679. pp.
20. BARBAGALLO, S., COCUZZA, G., CRAVEDI, P., KOMAZAKI, S. (2007): IPM case studies: deciduous fruit trees *in* Aphids as crop pests. Wallingford, CABI, Egyesült Királyság.
21. BASKY, Z., SZALAY-MARZSÓ, L. (1987): Study of isolation mechanisms in the *Hyalopterus pruni* and *Hyalopterus amygdali* complex. *Population structure, genetics and taxonomy of aphids and thysanoptera: proceedings of the International Symposia, held at Smolenice, Czechoslovakia, Sept. 9–14.*
22. BASKY, Z., PRIBÉK, D., GÁBORJÁNI, R. (1997): Flight and transmission activity of PPV vector aphids. *Journal of Aphidology* 11(1) 21–27. pp.
23. BASKY, Z (2005): Levéltetvek. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
24. BASU, R.C., RAYCHAUDHURI, D.N. (1976): Studies on the aphids (Homoptera: Aphididae) from India, XXV. The genus *Myzus* with five new species from Eastern India. *Oriental Insects* 10 (1) 93–112. pp.
25. BECERRA, J.X.I., VENABLE, D.L. (1989): Extrafloral nectaries: a defence against ant-Homoptera mutualisms? *Oikos* 55 (2) 276–280. pp.

26. BECKERS, R., DENEUBOURG, J.L., GOSS, S. (1993): Modulation of trail laying in the ant *Lasius niger* (Hymenoptera: Formicidae) and its role in the collective selection of a food source. *Journal of Insect Behavior* 6 (6) 751–759. pp.
27. BELL, J.R., ALDERSON, L., IZERA, D., KRUGER, T., PARKER, S., PICKUP, J., SHORTALL, C.R., TAYLOR, M.S., VERRIER, P., HARRINGTON, R. (2015): Long-term phenological trends, species accumulation rates, aphid traits and climate: five decades of change in migrating aphids. *Journal of Animal Ecology* 84 (1) 21–34. pp.
28. BEUKEBOOM, L. W. (2018): Size matters in insects—an introduction. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 166 (1) 2–3. pp.
29. BLACKMAN, R.L., EASTOP, V.F. (2010): Aphids on the World's crops. An identification and information guide. John Wiley and Sons, New York, Egyesült Államok.
30. BLACKMAN, R.L., EASTOP, V.F. (2017): Taxonomic Issues. in VAN EMDEN, H.F., HARRINGTON, R. (szerk.): Aphids as crops pests. Oxford University Press; Oxford, Egyesült Királyság.
31. BOLBOSE, C. (2009): The behaviour of some insecticide products in the control of the afides (*Aphis pomi*) in the conditions of the Dâmbovița tree growing region. *Lucrări Științifice-Universitatea de Științe Agronomice și Medicină Veterinară București. Seria B, Horticultură* 53 (4) 402–405. pp.
32. BONSER, R. O. B., WRIGHT, P. J., BAMENT, S., CHUKWU, U. O. (1998): Optimal patch use by foraging workers of *Lasius fuliginosus*, *L. niger* and *Myrmica ruginodis*. *Ecological Entomology* 23 (1) 15–21. pp.
33. BOTTI, D. (2018): A phytoclimatic map of Europe. *Cybergeo: European Journal of Geography*.
34. BOUCHER, D. H., JAMES, S., KEELER, K. H. (1982): The ecology of mutualism. *Annual Review of Ecology and Systematics* 13 (1) 315–347. pp.
35. BOZSIK, A. (2012): Mass occurrence of the citrus flatid planthopper (*Metcalfa pruinosa* (Say, 1830)) (Hemiptera: Flatidae) in an agricultural hedgerow at Gödöllő (Hungary). *Journal of Agricultural Sciences* 50 (Supplement): 115–118. pp.
36. BRADLEY, G. A., HINKS, J. D. (1968): Ants, aphids, and jack pine in Manitoba. *The Canadian Entomologist* 100 (1) 40–50. pp.
37. BRAHAM, M., AMOR, N. (2018): Effect of pruning severity on the vegetative growth, density and population dynamics of the spirea aphid, *Aphis spiraecola* in citrus orchard. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 6 (1) 311–319. pp.

38. BRETON, L.M., ADDICOTT, J.F. (1992): Density-dependent mutualism in an aphid-ant interaction. *Ecology* 73(6) 2175–2180. pp.
39. BROWN, M.W., HOGMIRE, H.W., SCHMITT, J.J. (1995): Competitive displacement of apple aphid by spirea aphid (Homoptera: Aphididae) on apple as mediated by human activity. *Environmental Entomology* 24 (6) 1581–1591. pp.
40. BROWN, M.W., MATHEWS, C.R. (2008): Conservation biological control of spirea aphid, *Aphis spiraecola* (Hemiptera: Aphididae) on apple by providing natural alternative food resources. *European Journal of Entomology* 105 (3) 537–540. pp.
41. BROWN, M.W. (2011): Importance of early arrival of adult *Harmonia axyridis* for control of *Aphis spiraecola* on apple. *BioControl* 56, 65–69. pp.
42. BUCKLEY, R.C. (1987): Interactions involving plants, Homoptera, and ants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 18 (1) 111–135. pp.
43. BUTLER, A. H., LAWRENCE, Z. D., LEE, S. H., LILLO, S. P., LONG, C. S. (2020): Differences between the 2018 and 2019 stratospheric Polar Vortex split events. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 146 (732) 3503–3521. pp.
44. CAI, Z., OUYANG, F., CHEN, J., YANG, Q., DESNEUX, N., XIAO, Y., ZHANG, J., GE, F. (2021 a): Biological control of *Aphis spiraecola* in apples using an insectary plant that attracts and sustains predators. *Biological Control*, 155, 104532.
45. CAI, Z., OUYANG, F., ZHANG, X., CHEN, J., XIAO, Y., GE, F., ZHANG, J. (2021 b): Biological Control of *Aphis spiraecola* (Hemiptera: Aphididae) Using Three Different Flowering Plants in Apple Orchards. *Journal of Economic Entomology* 114 (3) 1128–1137. pp.
46. CAO, J., LI, J., NIU, J., LIU, X., ZHANG, Q. (2012): Population structure of *Aphis spiraecola* (Hemiptera: Aphididae) on pear trees in China identified using microsatellites. *Journal of Economic Entomology* 105 (2) 583–591. pp.
47. CARROLL, D. P., HOYT, S. C. (1984): Natural enemies and their effects on apple aphid, *Aphis pomi* DeGeer (Homoptera: Aphididae), colonies on young apple trees in central Washington. *Environmental Entomology* 13 (2) 469–481. pp.
48. CENTRE FOR AGRICULTURE AND BIOSCIENCE INTERNATIONAL (CABI) (2018): *Aphis spiraecola* (Spirea aphid). *CABI Digital Library* <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.6221/> Hozzáféérés: 2018.02.13.

49. CENTRE FOR AGRICULTURE AND BIOSCIENCE INTERNATIONAL (CABI) (2023): *Aphis spiraecola* (Spirea aphid). *CABI Digital Library* <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.6221/> Hozzáférés: 2023.05.10.
50. CHAKRABARTI, S., GOSH, A.K., CHOWDHURI, A.N. (1970): Aphids (Homoptera) of Himachal Pradesh, India-III. *Oriental Insects* 4 (4) 447–451. pp.
51. CHAKRABARTI, S., SARKAR, A. (2001): A supplement to the food-plant catalogue of Indian Aphididae (Homoptera). *Journal of Aphidology* 15 9–62. pp.
52. CLIMATE COMPACT COMPANY (2023): Persistent 2007–19 NAO pattern during summer may reverse for summer 2020. <https://climateimpactcompany.com/persistent-2007-19-nao-pattern-during-summer-may-reverse-for-summer-2020/> Hozzáférés: 2023.06.28.
53. COLLYER, E., VAN GELDERMALSEN, M. (1975): Integrated control of apple pests in New Zealand 1. Outline of experiment and general results. *New Zealand Journal of Zoology* 2 (1) 101–134. pp.
54. CROSS, J., FOUNTAIN, M., MARKÓ, V., NAGY, C. (2015): Arthropod ecosystem services in apple orchards and their economic benefits. *Ecological Entomology* 40, 82–96. pp.
55. CUSHMAN, J.H., ADDICOTT, J.F. (1989): Intra- and interspecific competition for mutualists: ants as limited and limiting resource for aphids. *Oecologia* 79 315–321. pp.
56. DAS, J., AGARWALA, B.K. (2011): Ecology of aphid-host plant interaction: growth and reproductive rates of *Aphis spiraecola* Patch in response to developmental changes in the host plant *Chromolaena odorata* (L.) King & Robinson. *Journal of Applied Bioscience* 37 (1) 44–47. pp.
57. DELABIE, J.H.C. (2001): Trophobiosis between Formicidae and Hemiptera (Sternorrhyncha and Auchenorrhyncha): an overview. *Neotropical Entomology* 30 (4) 501–516. pp.
58. DEL-CLARO, K., OLIVEIRA, P.S. (1993): Ant-Homoptera interaction: do alternative sugar sources distract tending ants? *Oikos* 68 (2) 202–206. pp.
59. DETRAIN, C., PRIEUR, J. (2014): Sensitivity and feeding efficiency of the black garden ant *Lasius niger* to sugar resources. *Journal Insect Physiology* 64 74–80. pp.
60. DETRAIN, C., VERHEGGEN, F.J., DIEZ, L., WATHELET, B., HAUBRUGE, E. (2010): Aphid-ant mutualism: how honeydew sugars influence the behaviour of ant scouts. *Physiological Entomology* 35 (2) 168–174. pp.

61. DEVIGNE, C., DETRAIN, C. (2005): Foraging responses of the aphid tending ant *Lasius niger* to spatio-temporal changes in aphid colonies *Cinara cedri*. *Acta Zoologica Sinica* 51 (1) 161–166. pp.
62. DIB, H., SIMON, S., SAUPHANOR, B., CAPOWIEZ, Y. (2010): The role of natural enemies on the population dynamics of the rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea* Passerini (Hemipter: Aphididae) in organic apple orchards in south-eastern France. *Biological Control* 55 (2) 97–109. pp.
63. DIXON, A.F.G. (1973): Biology of aphids. Edward Arnold, London, Egyesült Királyság.
64. DIXON, A.F.G. (1997): Aphid ecology. An optimization approach. 2. kiadás Springer Science and Business Media, New York, Amerikai Egyesült Államok.
65. DOGIMONT, C., BENDAHMANE, A., CHOVELON, V., BOISST, N. (2010): Host plant resistance to aphids in cultivated crops: genetic and molecular bases, and interactions with aphid populations. *Comptes Rendus Biologies* 333(6–7) 566–573. pp.
66. DOSBA, F., DENISE, F., AUDERGON, J.M., MAISON, P., MASSONIE, G. (1991): *Plum pox* resistance of apricot. *Acta Horticulturae* 293: 569–580. pp.
67. EASTOP, V.F., BLACKMAN, R.L. (1988): The identity of *Aphis citricola* van der Goot. *Systematic Entomology* 13(2) 157–160. pp.
68. EIDMANN, H. (1927): Ameisen und Blattläuse. *Biologie Zentrablatt* 47, 537–556. pp.
69. EL-ZIADY, J.S. (1960): Further effects of *Lasius niger* L. on *Aphis fabae* Scopoli. *Proceedings of the Royal Entomological Society of London. Series A, General Entomology* 35 (1–3) 30–38. pp.
70. EL-ZIADY, J.S., KENNEDY, J.S. (1956): Beneficial effects of the common garden ant, *Lasius niger* L., on the black bean aphid, *Aphis fabae* Scopoli. *Proceedings of the Royal Entomological Society of London. Series A, General Entomology* 31 (4–6) 61–65. pp.
71. ENGEL, V., FISCHER, M.K., WÄCKERS, F.L., VÖLKL, W. (2001): Interactions between extrafloral nectaries, aphids and ants: are there competition effects between plant and Homopteran sugar sources. *Oecologia* 129 577–584. pp.
72. ERDOGAN, C., OZDEM, A., ALPKENT, Y. N., DEMIROZ, D. (2023): Resistance to common insecticides and mechanisms of resistance in *Aphis pomi* de Geer (Hemiptera: Aphididae), in apple orchards in Turkey. *Phytoparasitica* 51 (2) 323–335. pp.
73. EYNARD, A., ROGCEO, P., LENZI, R., CONTI, M., MILNE, R.G. (1991): Test for pollen and seed transmission of *Plum pox virus* (Sharka) in two apricot cultivars. *Advances in Horticultural Science* 5 104–106. pp.



74. FERICEAN, L.M., CORNEANU M. (2016): The variability of some phenotypic features and life cycle in two *Aphis pomi* populations from Western Romania. *Oltenia Journal for Studies in Natural Sciences* 32 (1) 61–66. pp.
75. FAUNA EUROPAEA ADATBÁZIS (2023): Szerkeszti: Museum für Naturkunde, Berlin. <https://fauna-eu.org/> Hozzáférés: 2023.04.12.
76. FIALA, B. (1990): Extrafloral nectaries vs ant-Homoptera mutualisms: a comment on Becerra and Venable. *Oikos* 59 (2) 281–282. pp.
77. FISCHER M, VÖLKL W, HOFFMANN KH (1997): Hierarchien im Mutualismus zwischen *Lasius niger* und verschiedenen honigtauproduzierenden Blattlausarten. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie*, 11, 721–724. pp.
78. FISCHER, M.K., SHINGLETON, A.W. (2001): Host plant and ants influence the honeydew sugar composition of aphids. *Functional Ecology* 15 (4) 544–550. pp.
79. FISCHER, M.K., HOFFMANN, K.H., VÖLKL, W. (2001): Competition for mutualists in an ant- Homopteran interaction mediated by hierarchies of ant attendance. *Oikos* 92 (3) 531–541. pp.
80. FLATT, T., WEISSER, W.W. (2000): The effects of mutualistic ants on aphid life history traits. *Ecology* 81 (12) 3522–3529. pp.
81. FOLMER O., BLACK M., HOEH W., LUTZ R., VRIJENHOEK R. (1994): DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome C oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology* 3, 294–299. pp.
82. FOOTTIT, R.G., LOWERY, D.T., MAW, H.E.L., SMIRLE, M.J., LUSHAI, G. (2009): Identification, distribution, and molecular characterization of the apple aphids *Aphis pomi* and *Aphis spiraecola* (Hemiptera: Aphididae: Aphidinae). *The Canadian Entomologist* 141 (5) 478–495. pp.
83. FRÉCHETTE, B., CORMIER, D. CHOUNARD, G., VANOOSTHUYSE, F. LUCAS, É. (2008): Apple aphid, *Aphis* spp. (Hemiptera: Aphididae), and predator populations in an apple orchard at the non-bearing stage: The impact of ground cover and cultivar. *European Journal of Entomology* 105 (3) 521–529. pp.
84. FURK C. (1979): A British record of *Aphis citricola* van der Goot. *Plant Pathology*. 28 (3) 157. pp.
85. GAO, J., ARTHURS, S., MAO, R. (2020): Asymmetric interaction between *Aphis spiraecola* and *Toxoptera citricida* on sweet orange induced by pre-infestation. *Insects* 11 (7), 414.

86. GÁBORJÁNYI, R., BASKY, Z. (1996): Migration of aphid vectors and natural spread of *Plum pox virus* (PPV). *Acta Horticulturae* 27 (3–4): 40–74. pp.
87. GIORDANENGO, P., BRUNISSEN, L., RUSTERUCCI, C., VINCENT, C., VAN BEL, A., DINANT, S., GIROUSSE, C., FAUCHER, M. BONNEMAIN, J. L. (2010): Compatible plant-aphid interactions: How aphids manipulate plant responses. *Comptes Rendus Biologies* 333 (6–7) 516–523. pp.
88. GLASA, M., MARIE-JEANNE, V., MOURY, B., KÚDELA, O., QUIOT, J.B. (2002): Molecular variability of the P3–6K1 genomic region among geographically and biologically distinct isolates of *Plum pox virus*. *Archives of Virology* 147, 563–575. pp.
89. GLITS, M., HORVÁTH, J., KUROLI, G., PETRÓCZI, I. (szerk.) (1997): Növényvédelem. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
90. GONDA, I. (2018): Az almatermesztés eredményességét befolyásoló ökológiai tényezők. *Fruitweb Online Kiadása*. Hozzáférés: 2022.01.17.
91. GRECHI, I., SAUGE, M. H., SAUPHANOR, B., HILGERT, N., SENOUSSE, R., LESCOURET, F. (2008): How does winter pruning affect peach tree–*Myzus persicae* interactions? *Entomologia Experimentalis et Applicata* 128 (3) 369–379. pp.
92. GULDEMOND, J.A., van den BRINK, W.J., den BELDER, E. (1998): Methods of assessing population increase in aphids and the effect of growth stage of the host plant on population growth rates. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 86 (2) 163–173. pp.
93. HALBERT, S.E., VOEGTLIN, D.J. (1992): Morphological differentiation between *Aphis spiraecola* and *Aphis pomi* (Homoptera: Aphididae). *The Great Lakes Entomologist* 25 (1) 1–8. pp.
94. HALEY, S., HOGUE, E.J. (1990): Ground cover influence on apple aphid, *Aphis pomi* De Geer (Homoptera: Aphididae), and its predators in a young apple orchard. *Crop Protection* 9 (3) 225–230. pp.
95. HAMILTON, G.C., SWIFT, F.C., MARINI, R. (1986): Effect of *Aphis pomi* (Homoptera: Aphididae) density on apples. *Journal of Economic Entomology* 79 (2) 471–478. pp.
96. HARI, V., RAKOVEC, O., MARKONIS, Y., HANEL, M., KUMAR, R. (2020): Increased future occurrences of the exceptional 2018–2019 Central European drought under global warming. *Scientific Reports* 10 (1) 12207.
97. HILLOCKS, R. J. (2012): Farming with fewer pesticides: EU pesticide review and resulting challenges for UK agriculture. *Crop Protection* 31 (1) 85–93. pp.

98. HOGMIRE, H.W., BROWN, M.W., CRIM, V.L. (1990): Toxicity of slide dip application of five insecticides to apple aphid and spirea aphid (Homoptera: Aphididae). *Journal of Entomological Science* 25 (1) 10–15. pp.
99. HOGMIRE, H.W., BROWN, M.W., SCHMITT, J.J., WINFIELD, T.M. (1992): Population development and insecticide susceptibility of apple aphid and spirea aphid (Homoptera: Aphididae) on apple. *Journal of Entomological Science* 27 (2) 113–119. pp.
100. HOLMAN, J. (2009): Host Plant Catalog of Aphids, Palaearctic Region. Springer Science+ Business Media B.
101. HONĚK, A. (1993): Intraspecific variation in body size and fecundity in insects: a general relationship. *Oikos*, 66 (3) 483–492. pp.
102. HÖLLDOBLER, B., WILSON, E.O. (1990): The ants. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, Egyesült Államok.
103. HULLÉ, M., D'ACIER, A. C., BANKHEAD-DRONNET, S., HARRINGTON, R. (2010): Aphids in the face of global changes. *Comptes Rendus Biologies* 333 (6–7) 497–503. pp.
104. HURRELL, J. W., KUSHNIR, Y., VISBECK, M. (2001): The North Atlantic oscillation. *Science* 291 (5504) 603–605. pp.
105. JENSER, G., BALÁZS, K., ERDÉLYI, C., HALTRICH, A., KOZÁR, F., MARKÓ, V., RÁCZ, V., SAMU, F. (1997): The effect of an integrated pest management program on the arthropod populations in a Hungarian apple orchard. *Zahradnictví* 24 (2) 63–76. pp.
106. JEON, H., KIM, D., CHO, M., YIEM, M., CHANG, Y. (2000): Recent status of major fruit tree pest occurrences in Korea. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science* 41 (6) 607–612. pp.
107. JEREMOVIĆ, D., PAUNOVIĆ, S.A., PETROVIĆ-OBLADOVIĆ, O. (2016): Flight dynamics and species composition of aphids landing on plum and apricot leaves in the orchards in Western Serbia. *Phytoparasitica* 44 (4) 501–511. pp.
108. JIGGINS, C. MAJERUS, M., GOUGH, U. (1993): Ant defence of colonies of *Aphis fabae* Scopoli (Homoptera: Aphididae), against predation by ladybirds. *British Journal of Entomology and Natural History* 6 (4) 129–137. pp.

109. KAAKEH, W., PFEIFFER, D.G., MARINI, R.P. (1992): Combined effects of spirea aphid (Homoptera: Aphididae) and nitrogen fertilization on net photosynthesis, total chlorophyll content, and greenness of apple leaves. *Journal of Economic Entomology* 85 (3) 939–946. pp.
110. KAAKEH, W., PFEIFFER, D.G., MARINI, R.P. (1993): Effect of *Aphis spiraecola* and *A. pomi* (Homoptera: Aphididae) on the growth of young apple trees. *Crop Protection* 12 (2) 141–147. pp.
111. KANEKO, J. (1993): Change in supercooling point of eggs of aphid, *Myzus mumecola* (Matsumura), through overwintering period in apricots (*Prunus armeniaca*). *Annual Report of the Society of Plant Protection of North Japan* 44 167–168. pp.
112. KATAYAMA, N., HEMBRY, D.H., HOJO, M.K., SUZUKI, N. (2013): Why do ants shift their foraging from extrafloral nectar to aphid honeydew? *Ecological Research* 28 919–926. pp.
113. KAY, A. (2004): The relative availabilities of complementary resources affect the feeding preferences of ant colonies. *Behavioral Ecology* 15 (1) 63–70. pp.
114. KAYGIN, A.T., GORUR, G., SADE, F.C. (2009): Aphid (Hemiptera: Aphididae) species determined on herbaceous and shrub plants in Bartın Province in Western Blacksea Region of Turkey. *African Journal on Biotechnology* 8 (12) 2893–2897. pp.
115. KHAN, A. A., SHAH, M. A. (2018): Population dynamics of green apple aphid *Aphis Pomi* De Geer (Homoptera: Aphididae) and its natural enemies in apple orchard of Kashmir. *Indian Journal of Entomology* 80 (2) 320–329. pp.
116. KIM, J., CHA, D. J., KWON, M., MAHARJAN, R. (2016): *Potato virus Y* (PVY) detection in a single aphid by one-step RT-PCR with boiling technique. *Entomological Research* 46 (4) 278–285. pp.
117. KIMURA, K., USUGI, T., HOSHI, H., KATO, A., ONO, T., KOYANO, S., KAGIWADA, S., NISHIO, T., TSUDA, S. (2016): Surveys of viruliferous alate aphid of *Plum pox virus* in *Prunus mume* orchards in Japan. *Plant Disease* 100 (1) 40–48. pp.
118. KINDLMANN, P., DIXON, A.F.G. (1989): Developmental constraints in the evolution of reproductive strategies: Telescoping of generations in parthenogenetic aphids. *Functional Ecology* 3 (5) 531–537. pp.
119. KISS, A. (1981): Melezitose, aphids and ants. *Oikos* 37 (3) 382. pp.

120. KNOLL, M., WEILGUNI, S., KOSCHIER, E.H., REDL, H., STEINKELLNER, S. (2004): Seasonal fluctuation in the flight activity of potential PPV-vector aphids (Homoptera: Aphididae) in Austrian apricot tree orchards. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 111 (4) 408–415. pp.
121. KOCH, R.L. (2003): The multicolored Asian lady beetle, *Harmonia axyridis*: a review of its biology, uses in biological control, and non-target impacts. *Journal of Insect Science* 3 (1) 1–16. pp.
122. KOMAZAKI, S. (1982): Effects of constant temperatures on population growth of three aphid species, *Toxoptera citricidus* Kirkaldy, *Aphis citricola* van der Goot and *Aphis possypii* Glover (Homoptera: Aphididae) on citrus. *Applied Entomology and Zoology* 17 (1) 75–81. pp.
123. KOMAZAKI, S. (1983): Overwintering of the spirea aphid, *Aphis citricola* van der Goot (Homoptera: Aphididae) on citrus and spirea plants. *Applied Entomology and Zoology* 18 (3) 301–307. pp.
124. KOMAZAKI, S. (1988): Growth and reproduction in the first two and summer generations of two citrus aphids, *Aphis citricola* van der Goot and *Toxoptera citricidus* (Kirkaldy) (Homoptera: Aphididae), under different thermal conditions. *Applied Entomology and Zoology* 23 (3) 220–227. pp.
125. KOMAZAKI, S. (1990): Variation in the hatch timing of the overwintering egg among populations of *Aphis spiraecola* Patch (Homoptera: Aphididae) collected from different host plants and localities in Japan. *Applied Entomology and Zoology* 25 (1) 27–34. pp.
126. KOMAZAKI, S. (1998): Difference among egg diapause in two host races of the spirea aphid, *Aphis spiraecola*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 89 (2) 201–205. pp.
127. KOU, H., SUN, Y., DONG, Z., ZHANG, Z. (2021): Comparison between sustained effects of spray and injection thiamethoxam on apple aphids and non-target insects in apple orchard. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 207, 111307.
128. KÖK, Ş., ÖZDEMİR, I. (2021): Annotated systematic checklist of the aphids (Hemiptera: Aphidomorpha) of Turkey. *Zootaxa* 4925 (1) 1–74. pp.
129. Központi Statisztikai Hivatal (KSH) (2023): Gyümölcsstermesztés Magyarországon. <https://www.ksh.hu/interaktiv/storytelling/gyumolcs/index.html/> Hozzáférés: 2023.06.10.
130. KUMAR S., STECHER G., LI M., KYAZ C., TAMURA K. (2018): MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution* 35 (6) 1547–1549. pp.

131. LABONNE, G., YVON, M., QUIOT, J.B., AVINENT, L., LLACER, G. (1995): Aphids as potential vectors of *Plum pox virus*: comparison of methods of testing and epidemiological consequences. *Acta Horticulturae* 386 207–218. pp.
132. LANG, C., MENZEL, F. (2011): *Lasius niger* ants discriminate aphids based on their cuticular hydrocarbons. *Animal Behaviour* 82 (6) 1245–1254. pp.
133. LAZNIK, Ž., CUNJA, V., KAČ, M., TRDAN, S. (2011): Efficacy of three natural substances against apple aphid (*Aphis pomi* De Geer, Aphididae, Homoptera) under laboratory conditions. *Acta Agriculturae Slovenica* 97 (1) 19–23. pp.
134. LEATHER, S.R., WELLINGS, P.W. (1981): Ovariole number and fecundity in aphids. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 30 (2) 128–133. pp.
135. LEHR, P.A. (szerk.) (1988): Keys to insects of the Far East of the USSR, 2. kiadás, Leningrad, Szovjetunió.
136. LENOIR, A., DEPICKÈRE, S., DEVERS, S., CHRISTIDÈS, J. P., DETRAIN, C. (2009): Hydrocarbons in the ant *Lasius niger*: from the cuticle to the nest and home range marking. *Journal of Chemical Ecology* 35, 913–921. pp.
137. LI, Q., DENG, J., CHEN, C., ZENG, L., LIN, X., CHENG, Z., QUIAO, G., HUANG, X. (2019): DNA barcoding subtropical aphids and implications for population differentiation. *Insects* 11 (1), 11.
138. LOZIER, J.D., FOOTIT, R.G., MILLER, G.L., MILLS, N.J., RODERICK, G.K. (2008): Molecular and morphological evaluation of the aphid genus *Hyalopterus* Koch (Insecta: Hemiptera: Aphididae), with a description of new species. *Zootaxa* 1688 (1) 1–19. pp.
139. LOWERY, D.T., SMIRLE, M.J. (2003): Comparison of bioassay techniques for determining baseline susceptibilities to imidacloprid for green apple aphid (Homoptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology* 96 (6) 1864–1871. pp.
140. LOWERY, D.T., SMIRLE, M.J., FOOTIT, R.G., ZUROWSKI, C.L., BEERS PEREYEA, E.H. (2005): Baseline susceptibilities to imidacloprid for green apple aphid and spirea aphid (Homoptera: Aphididae) collected from apple in the Pacific Northwest. *Journal of Economic Entomology* 98 (1) 188–194. pp.
141. LOWERY, D.T., SMIRLE, M.J., FOOTIT, R.G., BEERS, E.H. (2006): Susceptibilities of apple aphid and spirea aphid collected from apple in the Pacific Northwest to selected insecticides. *Journal of Economic Entomology* 99 (4) 1369–1374. pp.

142. LYKOURESSIS, D.P. (1990): First record of *Aphis citricola* van der Goot (Homoptera: Aphididae) on citrus in Southern Greece. *Entomologica Hellenica* 8, 65–66. pp.
143. MADAHÍ, K., SAHRAGARD, A. (2012): Comparative life table of *Aphis pomi* (Hemiptera: Aphididae) on two host plants *Malus pumila* L. and *Chaenomeles japonica* under laboratory conditions. *Journal of Crop Protection* 1 (4) 321–330. pp.
144. MADSEN, H. F., PETERS, H. F., VAKENTI, J. M. (1975): Pest management: experience in six British Columbia apple orchards. *The Canadian Entomologist* 107 (8) 873–877. pp.
145. MADSEN, N.E.L., SORENSEN, P.B., OFFENBERG, J. (2017): Sugar and amino acid preference in the black garden ant *Lasius niger* (L.). *Journal of Insect Physiology* 100, 140–145. pp.
146. MANULIS, S., ISHAAYA, I., PERRY, A.S. (1981): Acetylcholinesterase of *Aphis citricola*: Properties and significance in determining toxicity of systemic organophosphorus and carbamate compounds. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 15 (3) 267–274. pp.
147. MARGARITOPOULOS, J.T., POULIOS, K.D., TSITSIPIS, J.A. (2007): Morphological separation of host adapted taxa within the *Hyalopterus pruni* complex (Hemiptera: Aphididae). *European Journal of Entomology* 104 (2) 235–242. pp.
148. MARKÓ, V., JENSER, G., KONDOROSY, E., ÁBRAHÁM, L., BALÁZS, K. (2013): Flowers for better pest control? The effects of apple orchard ground cover management on green apple aphids (*Aphis* spp.) (Hemiptera: Aphididae), their predators and the canopy insect community. *Biocontrol Science and Technology* 23 (2) 126–145. pp.
149. MARROQUÍN, C., OLMOS, A., GORRIS, M.T., BERTOLINI, E., MARTÍNEZ, M.C., CARBONELL, E.A., DE MENDOZA, A.H., CAMBRA, M. (2004) Estimation of the number of aphids carrying Citrus tristeza virus that visit adult citrus trees. *Virus Research* 100 (1) 101–108. pp.
150. MARTIN, J. H (1996): *Aphis spiraeicola* Patch (Homoptera: Aphididae), an aphid pest of woody hosts now occurring on *Cotoneaster* in Britain. *Entomologist's Gazette* 47 (1) 51–52. pp.
151. MARTIN, S., DRIJFHOUT, F. (2009): A review of ant cuticular hydrocarbons. *Journal of Chemical Ecology* 35, 1151–1161. pp.

152. MAYER, D.F., LUNDEN, J.D. (1996): Apple and spirea aphids (Homoptera: Aphididae) on apples in south central Washington. *Journal of the Entomological Society of British Columbia* 93, 35–39. pp.
153. MEENA, K., GAUTAM, D. C. (2007): Studies on the morphs, life history and behaviour of green apple aphid, *Aphis pomi* De Geer on apple host in India. *Polskie Pismo Entomologiczne* 76 (2) 119–141. pp.
154. METZGER, M.J., BUNCE, R.G.H., JONGMAN, R.H.G., MÜCHER, C.A., WATKINS, J.W. (2005): A climatic stratification of the environment of Europe. *Global Ecology and Biogeography* 14 (6): 549–563. pp.
155. MEZEI, I., KERÉKES, G. (2006): Az *Aphis spiraecola* Patch (Homoptera, Aphididae) megjelenése és kártétele Magyarországon. *Növényvédelem* 42 (2) 79–85. pp.
156. MEZŐFI, L., MARKÓ, G., NAGY, C., KORÁNYI, D. MARKÓ, V. (2020): Beyond polyphagy and opportunism: natural prey of hunting spiders in the canopy of apple trees. *PeerJ* 8, e9334.
157. MILLER, R.L. (1928): Biology and natural control of the green citrus aphid *Aphis spiraecola* Patch. *The Florida Entomologist* 12 (4) 49–56. pp.
158. MIÑARRO, M., HEMPTINNE, J.L., DAPENA, E. (2005): Colonization of apple orchards by predators of *Dysaphis plantaginea*: sequential arrival response to prey abundance and consequences for biological control. *BioControl* 50, 403–414. pp.
159. MIÑARRO, M., FERNÁNDEZ-MATA, G., MEDINA, P. (2010): Role of ants in structuring the aphid community on apple. *Ecological Entomology* 35 (2) 206–215. pp.
160. MIYAZAKI, M. (1971): A revision of the tribe Macrosiphini of Japan (Homoptera: Aphididae, Aphidinae). *Insecta Matsumurana* 34 (1) 1–247. pp.
161. MORITSU, M. (1983): Aphids of Japan in colors. Taito-ku, Tokió, Japán.
162. MOSCO, M., ARDUINO, P., BULLINI, L., BARBAGALLO, S. (1997): Genetic heterogeneity, reproductive isolation and host preferences in mealy aphids of the *Hyalopterus pruni* complex (Homoptera, Aphidoidea). *Molecular Ecology* 6 (7) 667–670. pp.
163. MOSTEFAOUI, H., ALLAL-BENFEKIH, L., DJAZOULI, Z.E., PETIT, D., SALADIN, G. (2014): Why the aphid *Aphis spiraecola* is more abundant on clementine tree than *Aphis gossypii*? *Comptes Rendus Biologies* 337 (2) 123–133. pp.



164. MOURA, A.C.T., DE FRANÇA, S.M., BREDA, M.O., SILVA, Y.N.M., NETO, A.V.G, SILVA, P.R.R. (2022): Biological parameters and fertility life table of *Aphis spiraecola* Patch, 1914 (Hemiptera: Aphididae) on different hosts. *Phytoparasitica* 50 (4) 853–865. pp.
165. NAAUM, A.M., FOOTTIT, R.G., MAW, H.E.L., HANNER, R. (2012): Differentiation between *Aphis pomi* and *Aphis spiraecola* using multiplex real-time PCR based on DNA barcode sequences. *Journal of Applied Entomology* 136 (9) 704–710. pp.
166. NAGY, C., CROSS, J.V., MARKÓ, V. (2013): Sugar feeding of the common black ant, *Lasius niger* (L.), as a possible indirect method for reducing aphid populations on an apple by disturbing ant-aphid mutualism. *Biological Control* 65 (1) 24–36. pp.
167. NAGY, C., CROSS, J.V., MARKÓ, V. (2015): Can artificial nectaries outcompete aphids in ant-aphid mutualism? Applying artificial sugar sources for ants to support better biological control of rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea* Passerini in apple orchards. *Crop Protection* 77, 127–138. pp.
168. NAULT, L.R., MONTGOMERY, M.E., BOWERS, W.S. (1976): Ant-aphid association: role of aphid alarm pheromone. *Science* 192 (4246) 1349–1351. pp.
169. NEMZETI ÉLELMISZERLÁNC-BIZTONSÁGI HIVATAL (2023): Növényvédőszeres adatbázisa. <https://novenyvedoszer.nebih.gov.hu/Engedelykereso/kereso> Hozzáférés: 2023.03.01.,
170. NIELSEN, C., AGRAWAL, A.A., HAJEK, A.E. (2010): Ants defend aphids against lethal disease. *Biology Letters* 6 (2) 205–208. pp.
171. NIXON, G.E.J. (1951): The association of ants with aphids and coccids. Commonwealth Institute of Entomology, London, Egyesült Királyság.
172. OATMAN, E.R., LEGNER, E.F. (1961): Bionomics of the apple aphid, *Aphis pomi*, on young nonbearing apple trees. *Journal of Economic Entomology* 54 (5) 1034–1037. pp.
173. OFFENBERG, J. (2001): Balancing between mutualism and exploitation: the symbiotic interaction between *Lasius* ants and aphids. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 49, 304–310. pp.
174. OFFENBERG, J.; NIELSEN, J.S., DAMGAARD, C. (2019): Wood ant (*Formica polyctena*) services and disservices in a Danish apple plantation. *Sociobiology* 66 (2) 217–256. pp.

175. OLIVER, T.H., LEATHER, S.R., COOK, J.M. (2012): Ant larval demand reduces aphid colony growth rates in an ant-aphid interaction. *Insects* 3 (1) 120–130. pp.
176. PANINI, M., MASSIMINO COCUZZA, G., DRADI, D., CHIESA, O., MAZZONI, E. (2017): First report of *Myzus mumecola* (Matsumura, 1917) in Europe. *EPPO Bulletin* 47 (1) 107–110. pp.
177. PASCAL, T., PFEIFFER, F., KERVELLA, J., LACROZE, J. P., SAUGE, M. H., WEBER, W. E. (2002): Inheritance of green peach aphid resistance in the peach cultivar ‘Rubira’. *Plant Breeding* 121 (5) 459–461. pp.
178. PATCH, E.M. (1929): The apple aphid and the citrus aphid: *Aphis pomi* DeGeer and *A. spiraecola* Patch. *Journal of Economic Entomology* 22 (4) 698–699. pp.
179. PÉNZES, B., GLITS, M., SÜLE, S., V. NÉMETH, M. (2003): A kajszi növényvédelme. In PÉNZES, B., SZALAY, L. (szerk). (2003): Kajszi.Mezőgazda Kiadó, Budapest.
180. PETROVIĆ-OBRAĐOVIĆ, O., VUKAŠINOVIĆ, D., VUČETIĆ, A., MILOVANOVIĆ, P., KRNJAJIĆ, S. (2009): *Aphis spiraecola* Patch – new pest of apple in Serbia. *Biljni lekar (Plant Doctor)* 37 (1) 7–10. pp.
181. PETROVIĆ-OBRAĐOVIĆ, O. (2021): Asian apricot aphid, *Myzus mumecola* (Matsumura, 1917) (Hemiptera: Aphididae), found in Serbia. *Acta Entomologica Serbica* 26 (2) 19–26. pp.
182. PFEIFFER, D.G., BROWN, M.W., VARN, M.W. (1989): Incidence of spirea aphid (Homoptera: Aphididae) in apple orchards in Virginia, West Virginia, and Maryland. *Journal of Entomological Science* 24 (1) 145–149. pp.
183. PIERSON, L. M., HENG-MOSS, T. M., HUNT, T. E., REESE, J. (2011): Physiological responses of resistant and susceptible reproductive stage soybean to soybean aphid (*Aphis glycines* Matsumura) feeding. *Arthropod-Plant Interactions* 5, 49–58. pp.
184. PINNOCK, D.E., BRAND, R.J., MILSTEAD, J.E., COE, N.F. (1974): Suppression of populations of *Aphis gossypii* and *A. spiraecola* by soap sprays. *Journal of Economic Entomology* 67 (6) 783–784. pp.
185. PIÑOL, J., RIBES, E., RIBES, J., ESPADALER, X. (2012): Long-term changes and ant-exclusions effects on the true bugs (Hemiptera: Heteroptera) of an organic citrus grove. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 158, 127–131. pp.
186. PONTIN, A.J. (1958): A preliminary note on the eating of aphids by ants of the genus *Lasius* (Hym., Formicidae). *Entomological Monthly Magazine* 94, 9–11. pp.

187. PORTHA, S., DENEUBOURG, J., DETRAIN, S. (2004): How food type and brood influence foraging decisions of *Lasius niger* scouts. *Animal Behaviour* 68 (1) 115–122. pp.
188. RAKAUSKAS, R.P., RUPAIBREVES, A.A. (1983): Biology of green apple aphid in Lithuania. *Acta Entomologica Lituanica* 6, 20–30. pp.
189. RAKAUSKAS, R., HAVELKA, J., ZAREMBA, A. (2013): Mitochondrial COI and morphological specificity of the mealy aphids (*Hyalopterus* ssp.) collected from different hosts in Europe (Hemiptera, Aphididae). *ZooKeys* 319 255–267. pp.
190. RAKAUSKAS, R., BASILOVA, J., BERNOTIENĖ, R. (2015): *Aphis pomi* and *Aphis spiraecola* (Hemiptera: Sternorrhynca: Aphididae) in Europe – new information on their distribution, molecular and morphological peculiarities. *European Journal of Entomology* 112 (2) 270–280. pp.
191. RASHEVA, D., ANDREEV, R. (2007): *Aphis spiraecola* Patch. (Hemiptera: Aphididae) – a new pest on apple in Bulgaria. *Acta Entomologica Bulgarica* 13 (1/2) 91–97. pp.
192. SAKATA, H. (1995): Density-dependent predation of the ant *Lasius niger* (Hymenoptera: Formicidae) on two attended aphids *Lachnus tropicalis* and *Myzocallis kuricola* (Homoptera: Aphididae). *Researches on Population Ecology* 37, 159–164. pp.
193. SAKATA, H. (1999): Indirect interactions between two aphid species in relation to ant attendance. *Ecological Research* 14 (4) 329–340. pp.
194. SATAR, S., UYGUN, N. (2008): Life cycle of *Aphis spiraecola* Patch (Homoptera: Aphididae) in East-Mediterranean Region of Turkey and its development on some important host plants. *Control in Citrus Fruit Crops* 38, 216–224. pp.
195. SATAR, S., KARACAOĞLU, M., SATAR, G., UYGUN, N. (2020): Citrus aphids (Hemiptera: Aphididae): Incidence, population fluctuations, host plant and age preferences. *Plant Protection Bulletin* 60 (4) 111–119. pp.
196. SAUGE, M. H., LACROZE, J. P., POËSSEL, J. L., PASCAL, T., KERVELLA, J. (2002): Induced resistance by *Myzus persicae* in the peach cultivar ‘Rubira’. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 102 (1) 29–37. pp.
197. SCHARNWEBER, T., SMILJANIC, M., CRUZ-GARCÍA, R., MANTHEY, M., WILMKING, M. (2020): Tree growth at the end of the 21st century-the extreme years 2018/19 as template for future growth conditions. *Environmental Research Letters* 15 (7) 074022.

198. SCHWARTZBERG, E. G., JOHNSON, D. W., BROWN, G. C. (2010): The influence of *Lasius neoniger* (Hymenoptera: Formicidae) on population growth and biomass of *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae) in soybeans. *Environmental Entomology* 39 (6) 1788–1793. pp.
199. SHAHRAKI, F. M., MINAEI, K., BARJADZE, S. (2019): Checklist of Iranian Aphids (Hemiptera: Stenorrhyncha: Aphidomorpha). *Journal of Insect Biodiversity and Systematics* 5 (4) 269–300. pp.
200. SIHELSKÁ, N., GLASA, M., ŠUBR, Z. W. (2017): Host preference of the major strains of *Plum pox virus*—Opinions based on regional and world-wide sequence data. *Journal of Integrative Agriculture* 16 (3) 510–515. pp.
201. SINGHAND, G., SINGH, R. (2016): Distribution of *Aphis spiraecola* patch 1914 (Aphidini: Aphidinae: Aphididae: Hemiptera) and its food plants recorded in India. *International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Research* 3 (12) 2100–2111. pp.
202. SKINNER, R.N. (1983): The biology of apple aphids and their predators. Doktori Értekezés, University of London, Egyesült Királyság.
203. SMIRLE, M.J., ZUROWSKI, C.L., LOWERY, D.T., FOOTTIT, R.G. (2010): Relationship of insecticide tolerance to esterase enzyme activity in *Aphis pomi* and *Aphis spiraecola* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology* 103(2) 374–378. pp.
204. SPECHT, H.B. (1970): The apple aphid, *Aphis pomi* (Homoptera: Aphididae), population on apple under autumnal conditions in a controlled environment cabinet. *The Canadian Entomologist* 102 (5) 623–627. pp.
205. SPELLMAN, B., BROWN, M.W., MATHEWS, C.R. (2006): Effect of floral and extrafloral resources on predation of *Aphis spiraecola* by *Harmonia axyridis* on apple. *BioControl* 51, 715–724. pp.
206. STADLER, B., DIXON, A.F.G. (1998): Costs of ant attendance for aphids. *Journal of Animal Ecology* 67, 454–459. pp.
207. STADLER, B., DIXON, A.F.G. (1999): Ant attendance in aphids: why different degrees of myrmecophily? *Ecological Entomology* 24 (3) 363–369. pp.
208. STADLER, B., DIXON, A.F.G. (2005): Ecology and evolution of aphid-ant interactions. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 36, 345–372. pp.

209. STEWART-JONES, A., POPE, T.W., FITZGERALD, J.D., POPPY, G.M. (2008): The effect of ant attendance on the success of rosy apple aphid populations, natural enemy abundance and apple damage in orchards. *Agricultural and Forest Entomology* 10 (1) 37–43. pp.
210. STYRSKY, J.D., EUBANKS, M.D. (2007): Ecological consequences of interactions between ants and honeydew-producing insects. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences* 274 (1607) 151–164. pp.
211. SUDD, J.H., SUDD, M.E. (1985): Seasonal changes in the response of wood-ants (*Formica lugubris*) to sucrose baits. *Ecological Entomology* 10 (1) 89–97. pp.
212. SZALAY-MARZSÓ, L. (szerk.) (1969): Levéltetvek a kertészetben. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, Magyarország.
213. TAKAHASHI, R. (1966): Descriptions of some new and little known species of aphids in Japan. *Transactions of the American Entomological Society* 92 (3) 519–556. pp.
214. TAMAŠ, N., DOJNOV, B., MARGETIĆ, A., VUJČIĆ, M., ŠPIROVIĆ, B., MILETIĆ, N., STEVIĆ, M., VUJČIĆ, Z. (2015): Resistance to common organophosphate and carbamate insecticides in *Aphis pomi* (Hemiptera: Aphididae). *Fruits* 70 (3) 135–142. pp.
215. TAYLOR, L.R. (1975): Longevity, fecundity and size; control of reproductive potential in a polymorphic migrant, *Aphis fabae* Scop.. *Journal of Animal Ecology* 44 (1) 135–163. pp.
216. TENA, A., HODDLE, C.D., HODDLE, M.S. (2013): Competition between honeydew producers in ant-hemipteran interaction may enhance biological control of an invasive pest. *Bulletin of Entomological Research* 103 (6) 714–723. pp.
217. THIEME, T. (2002): Occurrence and distribution of *Aphis spiraecola* in Europe. [Vorkommen und Verbreitung von *Aphis spiraecola* in Europa.] Proceedings of the 53rd German Crop Protection Conference. 16–19 September 2002, Bonn, Németország. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem 390, 312–313. pp.
218. TINTI, J., NOFRE, C. (2001): Responses of the ant *Lasius niger* to various compounds perceived as sweet in humans: a structure-activity relationship study. *Chemical Senses* 26 (3) 231–237. pp.
219. TSAI, J.H., WANG, J. (2001): Effects of host plants on biology and life table parameters of *Aphis spiraecola* (Homoptera: Aphididae). *Environmental Entomology* 30 (1) 44–50. pp.

220. TUCA, O.A., STAN, C., MITREA, I. (2009): The chemical control of the green aphid (*Aphis pomi* De Geer) in the fruit growing area Banu Maracine. *Bulletin of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca: Horticulture* 66 (1) 233–236. pp.
221. VALIUŠKAITĖ, A., USELIS, N., KVIKLYS, D., LANAUSKAS, J., RASIUKEVIČIŪTĖ, N. (2017): The effect of sustainable plant protection and apple tree management on fruit quality and yield. *Zemdirbyste-Agriculture* 104 (4). 353–358. pp.
222. VARGHA, A. (2007): The statistical menu system of RopStat. <http://www.ropstat.com/> Hozzáférés: 2021.04.08.
223. VARN, M., PFEIFFER, D.G. (1989): Effect of rosy apple aphid and spirea aphid (Homoptera: Aphididae) on dry matter accumulation and carbohydrate concentration in young apple trees. *Journal of Economic Entomology* 82 (2) 565–569. pp.
224. VÁLYI, I. (2004): Alma: Növényvédelem in Papp, J. (szerk.) A gyümölcsök termesztése. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 99–104. pp.
225. VÉTEK, G., PAPP, V., HALTRICH, A., RÉDEI, D. (2014): First record of the brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae), in Hungary, with description of the genitalia of both sexes. *Zootaxa* 3780 (1) 194–200. pp.
226. VIA, S., SHAW, A.J. (1996): Short term evolution in the size and shape of pea aphids. *Evolution* 50 (1) 163–173. pp.
227. VÖLKL, W., WOODRING, J., FISCHER, M., LORENZ, M.W., HOFFMANN, K.H. (1999): Ant-aphid mutualisms: the impact of honeydew production and honeydew sugar composition on ant preferences. *Oecologia* 118, 483–491. pp.
228. WÄCKERS, F.L., ALBEROLA, J.S., GARCIA-MARÍ, F., PEKAS, A. (2017): Attract and distract: manipulation of a food-mediated protective mutualism enhances natural pest control. *Agriculture Ecosystems and Environment* 246, 168–174. pp.
229. WANG, J., TSAI, J.H. (2000): Effect of temperature on the biology of *Aphis spiraecola* (Homoptera: Aphididae). *Annals of the Entomological Society of America* 93 (4) 874–883. pp.
230. WANNER, H., BRÖNNIMANN, S., CASTY, C., GYALISTRAS, D., LUTERBACHER, J., SCHMUTZ, C., STEPHENSON, D.B., XOPLAKI, E. (2001): North Atlantic Oscillation–concepts and studies. *Surveys in Geophysics* 22, 321–381. pp.

231. WAY, M.J. (1963): Mutualism between ants and honeydew producing Homoptera. *Annual Review of Entomology* 8 (1) 307–344. pp.
232. WELLINGS, P. W., LEATHER, S. R., DIXON, A. F. G. (1980): Seasonal variation in reproductive potential: a programmed feature of aphid life cycles. *The Journal of Animal Ecology* 49 (3) 975–985. pp.
233. WESTIGARD, P.H., MADSEN, H.F. (1964): Oviposition and egg dispersion of the apple aphid with observations on related mortality factors. *Journal of Economic Entomology* 57 (4) 597–600. pp.
234. WOODRING, J., WIEDEMANN, R., FISCHER, M.K., HOFFMANN, K.H., VÖLKL, W. (2004): Honeydew amino acids in relation to sugars and their role in the establishment of ant-attendance hierarchy in eight species of aphids tending on tansy (*Tanacetum vulgare*). *Physiological Entomology* 29 (4) 311–319. pp.
235. WOOLHOUSE, M. E. J., HARMSSEN, R. (1991): Population dynamics of *Aphis pomi*: a transition matrix approach. *Ecological Modelling* 55 (1–2) 103–111. pp.
236. WYSS, E., VILLIGER, M., MÜLLER-SCHÄRER, H. (1999): The potential of three native insect predators to control the rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea*. *BioControl* 44, 171–182. pp.
237. YAO, I., AKIMOTO, S. I. (2001): Ant attendance changes the sugar composition of the honeydew of the drepanosiphid aphid *Tuberculatus quercicola*. *Oecologia*, 128, 36–43. pp.
238. ZHANG, G., LIU, L., HE, F., ZHONG, T. (1985): Six aphid species newly recorded from China. *Acta Entomologica Sinica* 28 (3) 287. pp.
239. ZHANG, Y., LI, D., CHEN, G., ZHANG, G. (1997): Studies on the population dynamics of spirea aphid in apple orchards. *Acta Agriculturae Universitatis Henanensis* 31 (2) 197–200. pp.
240. ZHANG, X., OUYANG, F., SU, J., LI, Z., YUAN, Y., SUN, Y., SARKAR, S.C., XIAO, Y., GE, F. (2022): Intercropping flowering plants facilitate conservation, movement and biocontrol performance of predators in insecticide-free apple orchard. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 340, 108–157. pp.
241. ZEHAVIDI, A., ROSEN, D. (1987): Population trends of the spirea aphid, *Aphis citricola* van der Goot, in a citrus grove in Israel. *Journal of Applied Entomology* 104 (1–5) 271–277. pp.

**M2. melléklet: Az *Aphis* spp. európai felmérésébe bevont almaültetvények főbb adatai**

Ültetvény-kód	Növényvédelem	Ország	Elhelyezkedés	Fajta	Szélesség	Hosszúság	Metzger	Botti
CAT1-ORG	ökológiai	Katalónia (SP)	Algerri	Golden D.	41.78941	0.639032	Mediterrán Dél	SH3C
CAT1-IPM	integrált	Katalónia (SP)	Algerri	Golden D.	41.78457	0.651717	Mediterrán Dél	SH3C
CAT2-ORG	ökológiai	Katalónia (SP)	Algerri	Granny Smith	41.78941	0.639032	Mediterrán Dél	SH3C
CAT2-IPM	integrált	Katalónia (SP)	Algerri	Fuji	41.78457	0.651717	Mediterrán Dél	SH3C
KOS1-IPM	integrált	Koszovó	Karavarice	Golden D.	42.42598	21.37513	Kontinentális	SX4
KOS1-CON	konvencionális	Koszovó	Llugaxhi	Golden D.	42.2896	21.09817	Kontinentális	SX4
KOS2-IPM	integrált	Koszovó	Karavarice	Golden D.	42.41935	21.38814	Kontinentális	SX4
KOS2-CON	konvencionális	Koszovó	Llugaxhi	Golden D.	42.28999	21.09577	Kontinentális	SX4
AST1-ORG	ökológiai	Asztúria (SP)	Serida	De la Riega	43.4775	-5.44164	Luzitániai	AX3
AST1-IPM	integrált	Asztúria (SP)	Cayao	De la Riega	43.45529	-5.41068	Luzitániai	AX3
AST2-ORG	ökológiai	Asztúria (SP)	Serida	Amariega	43.4775	-5.44164	Luzitániai	AX3
AST2-IPM	integrált	Asztúria (SP)	Cayao	Regona	43.45529	-5.41068	Luzitániai	AX3
FR1-ORG	ökológiai	Franciaország	Gotheron	Ariana	44.97462	4.931382	Mediterrán Észak	SX3C
FR1-IPM	integrált	Franciaország	Gotheron	Ariana	44.97462	4.931382	Mediterrán Észak	SX3C
FR2-ORG	ökológiai	Franciaország	Dagostino	Gala	43.802808	4.932381	Mediterrán Dél	SH3C
FR2-IPM	integrált	Franciaország	Dagostino	Chante Clerc	43.885789	4.798056	Mediterrán Dél	SH3C
IT1-ORG	ökológiai	Olaszország	Maso delle Part	Golden D.	46.18739	11.10475	Med. Hegyvidék	SX3C
IT1-IPM	integrált	Olaszország	Maso delle Part	Golden D.	46.18811	11.10453	Med. Hegyvidék	SX3C
IT2-ORG	ökológiai	Olaszország	Maso delle Part	Golden D.	46.18739	11.10528	Med. Hegyvidék	SX3C
IT2-IPM	integrált	Olaszország	Maso delle Part	Golden D.	46.18811	11.10353	Med. Hegyvidék	SX3C
HU1-ORG	ökológiai	Magyarország	Mihályi	Idared	47.52363	17.09808	Pannóniai	AX3
HU1-IPM	integrált	Magyarország	Pázmándfalu	Idared	47.57326	17.77353	Pannóniai	SX3D
HU2-ORG	ökológiai	Magyarország	Mihályi	Golden D.	47.52351	17.09715	Pannóniai	AX3
HU2-IPM	integrált	Magyarország	Pázmándfalu	Golden D.s	47.57326	17.77353	Pannóniai	SX3D
HU3-ORG	ökológiai	Magyarország	Újfehértó	Florina	47.81973	21.66626	Pannóniai	SX3D
HU3-IPM	integrált	Magyarország	Újfehértó	Florina	47.82698	21.67118	Pannóniai	SX3D
SK1-ORG	ökológiai	Szlovákia	Tvrdošovce	Sirius	48.10827	18.05315	Pannóniai	SX3D
SK1-IPM	integrált	Szlovákia	Tvrdošovce	Idared	48.10196	18.05338	Pannóniai	SX3D
CZ1-ORG	ökológiai	Csehország	Bilé Podolí	Idared	49.57749	15.29841	Kontinentális	AX4C
CZ1-IPM	integrált	Csehország	Bilé Podolí	Idared	49.57867	15.30039	Kontinentális	AX4C
CZ2-ORG	ökológiai	Csehország	Holovousy	Gloster	50.36656	15.56703	Kontinentális	AX4C
CZ2-IPM	integrált	Csehország	Holovousy	Melrose	50.36686	15.56389	Kontinentális	AX4C
UK1-ORG	ökológiai	Egyesült Kir.	East-Malling	Bramley	51.28546	0.446819	Közép-Atlanti	AX3
UK1IPM	integrált	Egyesült Kir.	East-Malling	Bramley	51.29168	0.441789	Közép-Atlanti	AX3
UK2-ORG	ökológiai	Egyesült Kir.	East-Malling	Bramley	51.28654	0.463408	Közép-Atlanti	AX3
UK2-IPM	integrált	Egyesült Kir.	East-Malling	Bramley	51.28751	0.455222	Közép-Atlanti	AX3
PL1-ORG	ökológiai	Lengyelország	Nowy Dwor	Topaz	51.87042	20.24725	Kontinentális	AX4C
PL1-IPM	integrált	Lengyelország	Pamietna	Gala	51.94664	20.18556	Kontinentális	AX4C
PL2-ORG	ökológiai	Lengyelország	Slomkow	Topaz	51.95531	20.01347	Kontinentális	AX4C
PL2-IPM	integrált	Lengyelország	Skierniewice	Gala	51.96228	20.17517	Kontinentális	AX4C
DK1-ORG	ökológiai	Dánia	Laerkehoj	Red Aroma	55.63411	11.56602	Kontinentális	AX4C
DK1-IPM	integrált	Dánia	Kildebrande	Red Aroma	55.60475	12.26428	Kontinentális	AX4C
DK2-ORG	ökológiai	Dánia	Ventegodtgaard	Red Aroma	55.52019	12.13608	Kontinentális	AX4C
DK2-IPM	integrált	Dánia	Pometum	Holsteiner	55.67233	12.30926	Kontinentális	AX4C



**M3. melléklet:** Az *Aphis* spp. európai felmérése során használt egységes Mintavételi adatlap.

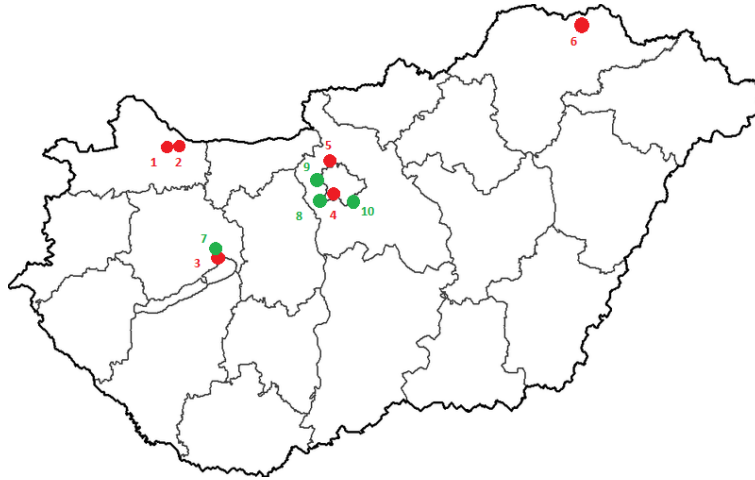
***Aphis* spp. survey, 201\_**

Orchard code			
Site			
Date		BBCH code	
Person(s)			

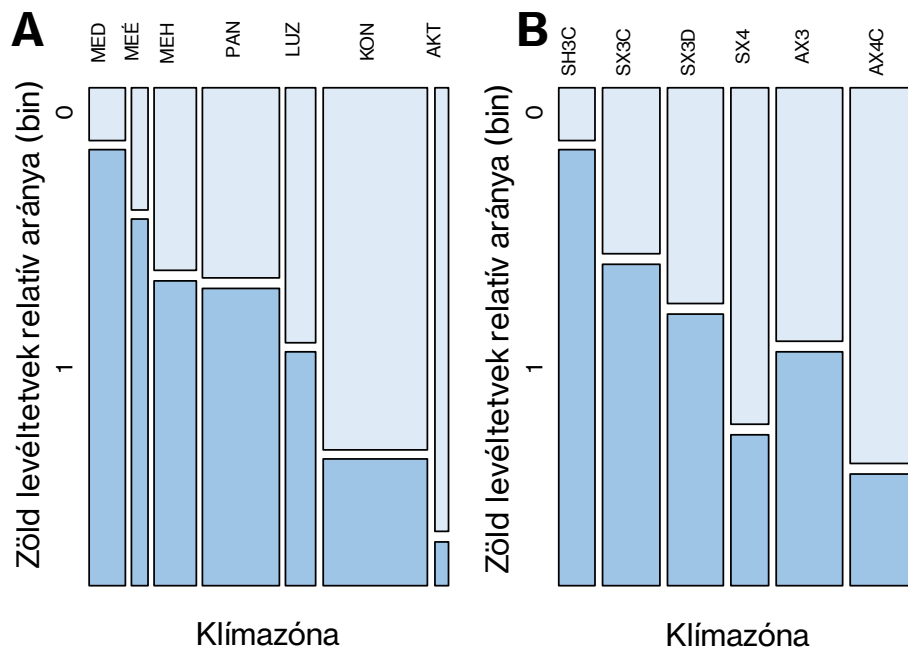
Tree	Growing shoots <sup>1</sup>	Aphid individuals <sup>2</sup>	Tree	Growing shoots <sup>1</sup>	Aphid individuals <sup>2</sup>
Tree 1	e.g. 4	e.g. 0, 123, 56	Tree 6		
Tree 2	e.g. 3	e.g. 0, 0, 0	Tree 7		
Tree 3	e.g. 10	e.g. 124, 259, 8	Tree 8		
Tree 4	e.g. 0	e.g. 0, 0, 0	Tree 9		
Tree 5			Tree 10		

<sup>1</sup> Number of growing shoots (10 shoots/tree), <sup>2</sup> Estimated number of aphids/10 cm on 3 growing shoots

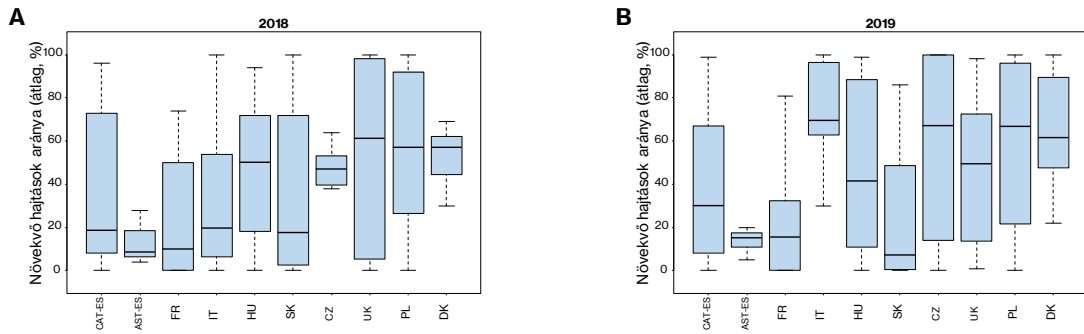
Colony	Shoot <sup>1</sup>	Est. number of aphids	Colony	Shoot <sup>1</sup>	Est. number of aphids
1	e.g. G	e.g. 221	18		
2	e.g. G	e.g. 18	19		
3	e.g. N	e.g. 5	20		
4	e.g. WS	e.g. 6	21		
5			22		
6			23		
7			24		
8			25		
9			26		
10			27		
11			28		
12			29		
13			30		
14			31		
15			32		
16			33		
17			<sup>1</sup> G: growing, N: not growing, WS: watersprout		



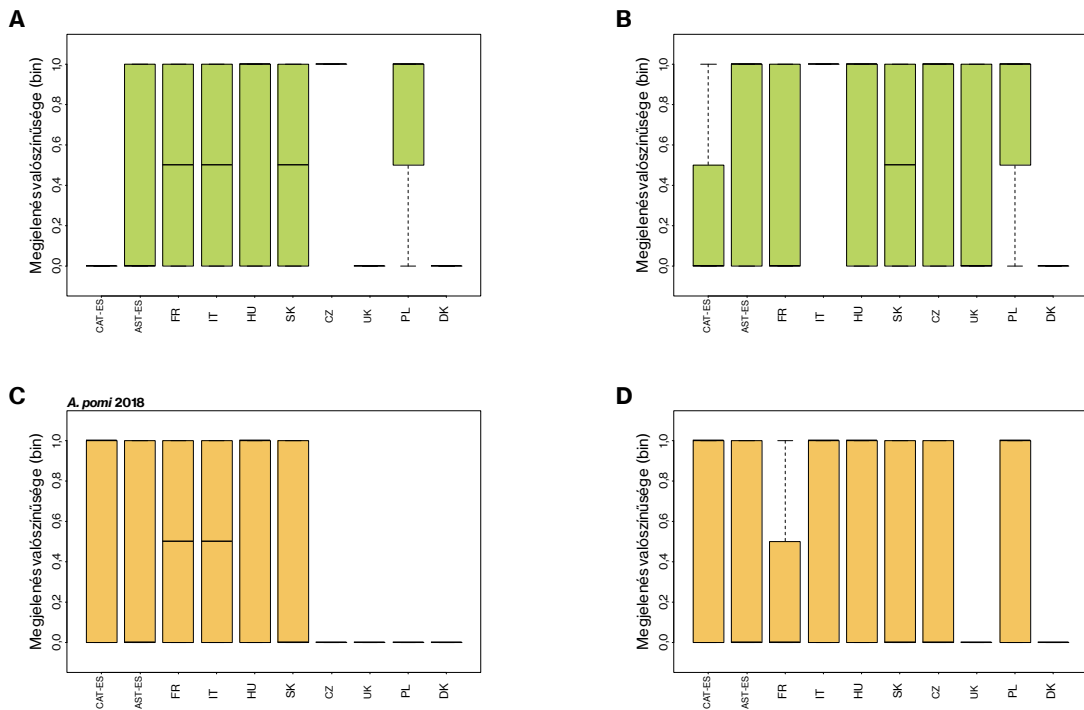
**M4. melléklet:** A *M. mumecola* hazai detektálásának helyszínei. A kártevő azonosítása a piros színnel jelölt ültetvényekben (1: Győr, 2: Györszentiván, 3: Balatonalmádi, 4: Budapest-Budafok, 5: Pomáz, 6: Gönc) morfológiai és molekuláris módszerekkel, míg a zöld színnel jelölt ültetvényekben (7: Szentkirályszabadja, 8: Érd-Elviramajor, 9: Törökbálint, 10: Budapest-Soroksár) a kárképtünetek alapján történt.



**M5. melléklet:** Az *A. spiraecola* és az *A. pomi* arányának alakulása Európa különböző klímazónáiban a (A) Metzger et al. (2005) szerinti és a (B) Botti (2018) szerinti klímafelosztás esetén. Mediánnál (0,06) binarizált adatok megoszlása (1: nagyobb, 0: kisebb, mint a medián). A rövidítések jelentése: Metzger et al. (2005): MED: Mediterrán Dél, MEÉ: Mediterrán Észak, MEH: Mediterrán Hegyvidék, PAN: Pannóniai, LUZ: Luzitániai, KON: Kontinentális és KAT: Közép-Atlanti; Botti (2018): SH3C: Szubhumid mérsékelt szubóceáni, SX3C: Szubxerikus mérsékelt szubóceáni, SX3D: Szubxerikus mérsékelt szubóceáni, SX4: Szubxerikus hűvös, AX3: Axerikus mérsékelt, AX4C: Axerikus hűvös szubóceáni.



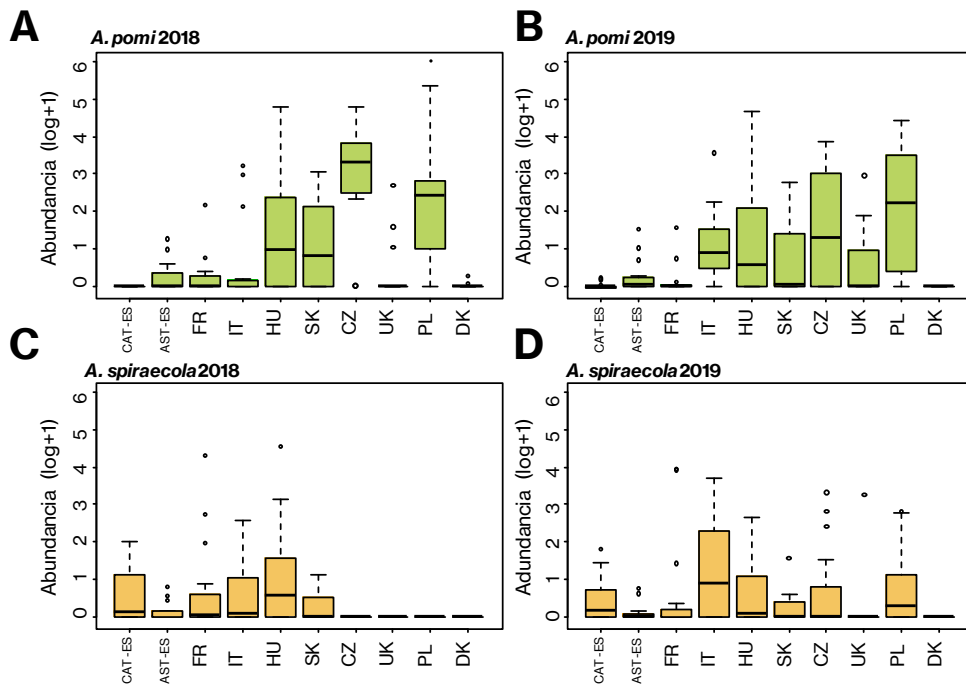
**M6. melléklet:** A növekvő hajtások aránya országoként (A) 2018-ban és (B) 2019-ben. A rövidítések jelentése: CAT-ES: Katalónia, AST-ES: Asztúria, FR: Franciaország, IT: Olaszország, HU: Magyarország, SK: Szlovákia; CZ: Csehország, UK: Egyesült Királyság, PL: Lengyelország, DK: Dánia.



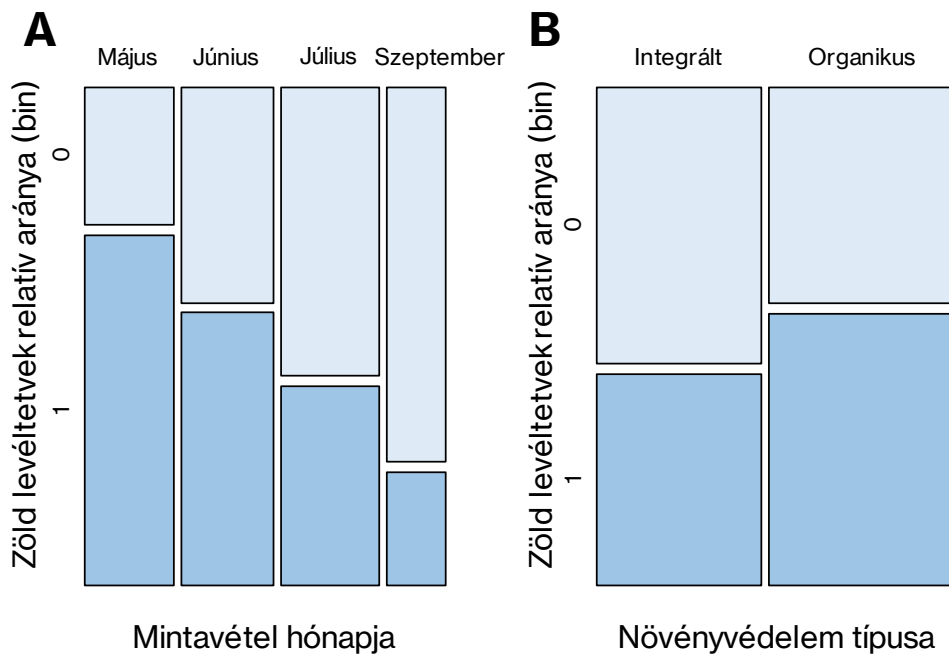
**M7. melléklet:** Az (A és B) *A. pomii* és (C és D) *A. spiraeicola* megjelenési valószínűsége a különböző országokban (A és C) 2018-ban és (B és D) 2019-ben. A rövidítések jelentése: CAT-ES: Katalónia, AST-ES: Asztúria, FR: Franciaország, IT: Olaszország, HU: Magyarország, SK: Szlovákia; CZ: Csehország, UK: Egyesült Királyság, PL: Lengyelország, DK: Dánia.

**M8. melléklet:** A tápnövény minőségének (a hajtásnövekedés intenzitásának) és a termesztési mód hatása az *A. pomi* és az *A. spiraecola* megjelenési valószínűségére 2018-ban és 2019-ben. A szignifikáns hatást félkövér kiemeléssel jelöltük, \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

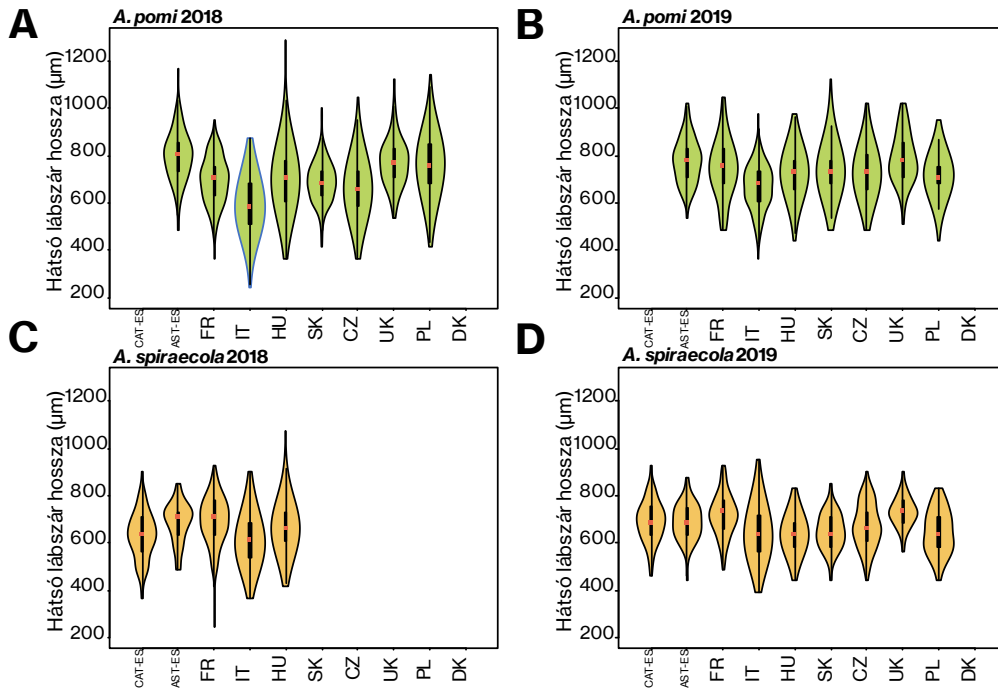
<i>Aphis pomi</i>				
<b>2018</b>	<b>npar</b>	<b>AIC</b>	<b>LRT</b>	<b>Pr (Chi)</b>
Földrajzi régió	9	170,78	43,01	< <b>0,001</b> ***
Termesztési mód	1	143,7	0,01	0,9
Növekvő hajtások aránya	1	188,63	44,95	< <b>0,001</b> ***
<b>2019</b>	<b>npar</b>	<b>AIC</b>	<b>LRT</b>	<b>Pr (Chi)</b>
Földrajzi régió	9	182,65	32,86	< <b>0,001</b> ***
Termesztési mód	1	165,91	0,12	0,73
Növekvő hajtások aránya	1	193,68	27,89	< <b>0,001</b> ***
<i>Aphis spiraecola</i>				
<b>2018</b>	<b>npar</b>	<b>AIC</b>	<b>LRT</b>	<b>Pr (Chi)</b>
Földrajzi régió	9	136,41	59,45	< <b>0,001</b> ***
Termesztési mód	1	100,73	7,77	< <b>0,001</b> ***
Növekvő hajtások aránya	1	151,69	58,73	< <b>0,001</b> ***
<b>2019</b>	<b>npar</b>	<b>AIC</b>	<b>LRT</b>	<b>Pr (Chi)</b>
Földrajzi régió	9	183,26	41,19	< <b>0,001</b> ***
Termesztési mód	1	161,95	3,89	<b>0,049</b> *
Növekvő hajtások aránya	1	192,84	34,78	< <b>0,001</b> ***



**M9. melléklet:** Az (A és B) *A. pomi* és az (C és D) *A. spiraecola* átlagos abundanciája a különböző mintavételi helyszíneken (A és C) 2018-ban és (B és D) 2019-ben. Az ábrákon logaritmikusan transzformált értékek szerepelnek.



**M10. melléklet:** Az *A. spiraecola* és az *A. pomi* arányának változása (A) a tenyésztődíszak folyamán és (B) az ültetvény növényvédelmi típusának függvényében (2018 és 2019 összesítve). Mediánnál (0,06) binarizált adatok megoszlása. (1: nagyobb, 0: kisebb, mint a medián)



**M11. melléklet:** Az ültetvény földrajzi elhelyezkedésének hatása az (A és B) *A. pomi* és (C és D) *A. spiraecola* lábszárhosszára (A és C) 2018-ban és (B és D) 2019-ben. A rövidítések jelentése: CAT-ES: Katalónia, AST-ES: Asztúria, FR: Franciaország, IT: Olaszország, HU: Magyarország, SK: Szlovákia, CZ: Csehország, UK: Egyesült Királyság, PL: Lengyelország, DK: Dánia.

**M12. melléklet:** A hangyadolgozók átlagos száma ( $\pm$ SE) nappal és éjszaka az etetőkön és a levéltetű kolóniákon 2014-ben és 2015-ben.

	Június 20		Július 9	
	Nappal	Éjjel	Nappal	Éjjel
<b>Prima, 2014</b>				
Hangya a kolóniákon KONTROLL	77,9 (13,3)	106,6 (17,9)	15,3 (4,0)	23,2 (5,0)
Hangya a kolóniákon AGAR	52,9 (10,1)	41,3 (7,2)	7,2 (1,7)	5,8 (1,7)
Hangya a kolóniákon PALACK	10,2 (2,0)	6,7 (1,6)	1,3 (0,5)	0,6 (0,2)
Hangya az etetőn AGAR	60,9 (6,2)	97,8 (8,5)	77,4 (7,0)	100,0 (6,3)
Hangya az etetőn PALACK	9,6 (2,2)	11,6 (2,5)	9,8 (1,7)	11,7 (1,7)
	Június 30		Július 22	
	Nappal	Éjjel	Nappal	Éjjel
<b>Remo, 2015</b>				
Hangya a kolóniákon KONTROLL	23,4 (9,3)	29,3 (11,1)	34,4 (17,0)	41,6 (21,9)
Hangya a kolóniákon AGAR	1,6 (0,6)	2,2 (0,8)	0,4 (0,3)	0,6 (0,4)
Hangya a kolóniákon PALACK	1,1 (0,4)	2,3 (0,5)	1,2 (0,5)	1,1 (0,5)
Hangya az etetőn AGAR	70,0 (8,6)	94,4 (11,8)	113,9 (14,9)	147,0 (16,6)
Hangya az etetőn PALACK	19,6 (1,6)	22,8 (1,7)	19,2 (1,9)	22,5 (1,6)

**M13. melléklet:** Az etetés módok hatékonyságának összehasonlítására alkalmazott robusztus kéttényezős varianciaanalízis eredménye. \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$ . KON=kontroll; AGA=agar; PAL=palack.

	Robusztus kéttényezős ANOVA				Games-Howell post hoc teszt		
	df	G-G Epsilon	F	p	T <sub>KON/AGA</sub> (df)	T <sub>KON/PAL</sub> (df)	T <sub>AGA/PAL</sub> (df)
<b>Prima, 2014</b>							
Hangya az etetőn							
Kezelés	1; 13,8		161,504	0,0000***	-	-	-
Időpont	1,0; 14,0	1,000	4,389	0,0548+	-	-	-
Kezelés X Időpont	1,00; 14,00	1,000	2,343	0,1482	-	-	-
Hangya a kolóniákon							
Kezelés	2; 11,7		39,251	0,0000***	(3;13)=4,44*	(3;9)=11,53**	(3;10)=7,31**
Időpont	1,0; 21,0	1,000	172,758	0,0000***			
Kezelés X Időpont	2,00; 21,00	1,000	10,829	0,0006***			
<i>Aphis</i> spp.							
Kezelés	2; 13,9		21,113	0,0001***	(3;14)=5,63**	(3;14)=9,30**	(3;14)=2,82
Időpont	1,0; 21,0	1,000	41,953	0,0000***			
Kezelés X Időpont	2,00; 21,00	1,000	1,636	0,2186			
<i>Aphis</i> spp. kolónia							
Kezelés	2; 14,0		7,236	0,0070**	(3;14)=3,11	(3;14)=5,45**	(3;14)=2,21
Időpont	1,0; 21,0	1,000	39,319	0,0000***			
Kezelés X Időpont	2,00; 21,00	1,000	0,589	0,5639			
<b>Remo, 2015</b>							
Hangya az etetőn							
Kezelés	1; 7,9		84,897	0,0000***	-	-	-
Időpont	1,0; 14,0	1,000	17,952	0,0008***	-	-	-
Kezelés X Időpont	1,00; 14,00	1,000	19,298	0,0006***	-	-	-
Hangya a kolóniákon							
Kezelés	2; 12,1		7,332	0,0082***	(3;8)=5,55*	(3;7)=5,30*	(3;13)=1,27
Időpont	1,0; 21,0	1,000	0,943	0,3424			
Kezelés X Időpont	2,00; 21,00	1,000	3,919	0,0358			
<i>Aphis</i> spp.							
Kezelés	2; 12,9		7,560	0,0067**	(3;9)=5,64**	(3;9)=4,97*	(3;14)=1,12
Időpont	1,0; 21,0	1,000	5,347	0,0310*			
Kezelés X Időpont	2,00; 21,00	1,000	2,213	0,1342			
<i>Aphis</i> spp. kolónia							
Kezelés	2; 12,9		6,330	0,0122*	(3;9)=5,16*	(3;9)=4,47*	(3;14)=1,21
Időpont	1,0; 21,0	1,000	97,973	0,0000***			
Kezelés X Időpont	2,00; 21,00	1,000	0,248	0,7827			

**M14. melléklet:** A természetes ellenségek adataira készített Brown-Forsythe teszt és a Games-Howell post-hoc teszt eredményei. \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$ . KON=kontroll; AGA=agar; PAL=palack.

Taxon/Faj	Stádium	Brown-Forsythe teszt			Games-Howell post hoc teszt		
		df	BF	p	T <sub>KON/AGA</sub> (df)	T <sub>KON/PAL</sub> (df)	T <sub>AGA/PAL</sub> (df)
<b>Prima, 2014.</b>							
Természetes ellenség összesen	J+N+K	2; 16	5,212	0,0181*	(3;13)=4,26*	(3;6)=4,44*	(3;12)=1,46
<i>Aphis</i> spp. kolónia összesen		2; 16	2,651	0,1013			
Természetes ellenség / <i>Aphis</i> spp. kolónia	J+N+K	2; 17	16,038	0,0001**	(3;8)=7,96**	(3;9)=6,75**	(3;18)=1,08
<b>Remo, 2015.</b>							
Természetes ellenség összesen	J+N+K	2; 17	7,920	0,0037**	(3;14)=4,86*	(3;10)=3,00	(3;10)=3,17
<i>Aphis</i> spp. kolónia összesen		2; 14	1,300	0,3036			
Természetes ellenség / <i>Aphis</i> spp. kolónia	J+N+K	2; 16	19,496	0,0001***	(3;13)=3,98*	(3;11)=10,96**	(3;10)=4,19*

**M15. melléklet:** A hajtások fánkénti száma (átlag ± szórás) a különböző fajtákon az öt vizsgált ültetvényben. Az eltérő betűk eltérő szignifikanciaszinteket jeleznek (nagybetűk:  $p < 0,0001$ ; kisbetűk:  $p < 0,05$ ).

Fajta	Ültetvény 1	Ültetvény 2	Ültetvény 3	Ültetvény 4	Ültetvény 5
Bergeron	201 (104); A (a)				
Budapest					1479 (1698); A (a)
Ceglédi bíbor					1749 (1459); A (a)
Ceglédi kedves					1055 (1130); A (a)
Goldrich					1460 (401); A (a)
Gönci	639 (230); B b)				
magyarkajsi					
Görög			89 (47); A (a)		
magoncállomány					
Korai zamatos					929 (120); A (a)
Magyar kajsi	376 (370); A (a)	462 (669); A (a)		377 (197); B (b)	
C235					
Orange Red				102 (38); A (a)	1942 (735); A (a)
Pannónia					3139 (2218); A (a)
Spring Blush		170 (104); A (a)			
Summerland			151 (58); A (b)		



### 13. Fogalomtár

**Afidofág ragadozó:** olyan ragadozó fajok, melyek kizárólag vagy elsősorban levéltetvekkel táplálkoznak.

**Anholociklikus (nem teljes) fejlődés:** a levéltetvek olyan fejlődési módja, amikor a szűznemzéses nemzedékek sorát nem szakítja meg ivaros generáció. Főleg a trópusi és szubtrópusi fajokra jellemző.

**Attraktáns:** csalogatóanyag

**Álelevenszülés (ovovivipária):** a levéltetvek jellegzetes szaporodási módja, amikor az első stádiumú nimfa még az anyaállat szülőcsatornájában elhagyja a tojásburkot.

**Egygazdás (monoecikus) levéltetűfajok:** teljes életsiklusukat egyetlen tápnövényen vagy tápnövénycsoporton töltő levéltetűfajok.

**Entomopatogén gomba:** rovarokon vagy rovarokban élősködő mikroszkopikus gombafajok, egyes fajaik ökológiai növényvédelemben engedélyezett hatóanyagok.

**Extrafloralis nektár (EFN):** a növények által a vegetatív részekben kiválasztott, magas szénhidrát-tartalmú vizes oldat.

**Farkocsk (cauda):** a levéltetvek speciális szerve, az anális lemez fölötti potrohi szelvény különböző alakú (pl. háromszög, nyelv) kiemelkedése. Szerepe a levéltetű által kiválasztott mézharmatcsepp eltávolítása a kolónia közeléből.

**Fitness (rátermettség):** egy egyed evolúciós sikerét mérő tulajdonságok összessége, azaz az adott egyed relatív hozzájárulása a populáció következő generációjának génkészletéhez.

**Floralis nektár (FN):** a növények által a virágban vagy virágzatban kiválasztott, magas szénhidrát-tartalmú vizes oldat.

**Gazdacserés (heteroecikus) levéltetűfajok:** teljes életsiklusuk közben legalább egy alkalommal tápnövényt váltanak.

**Holociklikus (teljes) fejlődés:** a levéltetvek olyan fejlődési módja, amikor a szűznemzések sorát időnként megszakítja egy ivaros generáció megjelenése. Főleg a mérsékelt égövi fajokra jellemző.

**Imágó:** a rovarok kifejlett alakja.

**Kutikuláris szénhidrogén (cuticular hydrocarbon, CHC):** a rovarok kutikuláján található hosszú szénláncú szénhidrogén vegyületek, melyek fontos szerepet játszanak egyes rovarcsoportok kémiai kommunikációjában.

**Mézharmat:** a szipókás izeltlábúak magas szénhidrát-, és alacsony aminosav-tartalmú ürüléke.

**Migráció:** a gazdacserés (heteroecikus) levéltetűfajok jellegzetes életszakasza: tavasz végén a téli fásszárú tápnövényről szárnyas alakok formájában valamilyen lágú- vagy fásszárú nyári tápnövényre vándorolnak.

**Monofág levéltetűfaj:** olyan levéltetűfaj, mely csak egyetlen tápnövényfajon képes táplálkozni.

**Nimfa:** a kifejléssel fejlődő rovarrendek juvenilis alakjainak összefoglaló neve.

**Nyári tápnövény:** a gazdacserés (heteroecikus) levéltetűfajok lágú- vagy fásszárú tápnövénye, amin a migrációt követő nyári nemzedékek táplálkoznak.

**Oligofág levéltetűfaj:** olyan levéltetűfaj, ami több, de egy növény családba tartozó tápnövényfajon is képes táplálkozni.

**Ősanya (fundatrix):** a holociklikus fejlődésű levéltetűfajok áttelelő tojásából a tavaszi időszakban kikelő szárnyatlan nőtény egyed.

**Őstelep:** a holociklikus fejlődésű levéltetűfajok ősanya (fundatrix) és első leánynemzedéke (fundatrigena) által a tavaszi időszakban alkotott kolónia a téli tápnövényen.

**Polifág levéltetűfaj:** olyan levéltetűfaj, ami több, különböző növény családba tartozó tápnövényen is képes táplálkozni.

**Polimeráz láncreakció (Polymerase Chain Reaction, PCR):** az örökítőanyag (DNS vagy RNS) bizonyos szakaszának (úgynevezett fragmentum) mesterséges felszaporítására szolgáló biotechnológiai eljárás.

**Restriktív endonukleáz:** az örökítőanyag (DNS vagy RNS) szálát bizonyos meghatározott pontokon elhasító enzim.

**SNP (Single Nucleotide Polymorphism):** Egyetlen nukleotid polimorfizmus, két genetikai állomány genetikai távolságát megadó érték: a felszaporított és szekvenanciaanalízisnek alávetett genomok közötti bázispár-különbségek száma.

**Siphunculus:** páros potrohcső, a levéltetvek speciális szerve. Szerepe elsősorban a levéltetvek kommunikációjához szükséges illatanyagok kibocsátásában, illetve ragacsos váladéka révén az afidofág ragadozók elleni védekezésben van.

**Szűznemzés (parthenogenesis):** a levéltetvek jellegzetes szaporodási módja. A nőtény anyaat megtermékenyítés nélkül hozza világra  $2n$  kromoszómaszerelvényű, kizárólag nőivarú utódait.

**Teleszkópos generáció:** a levéltetvek szaporodásának jellegzetes vonása, amikor a frissen született nimfa petefészkében már differenciálódnak a következő nemzedék embriói.

**Téli (fő) tápnövény:** a gazdacserés (heteroecikus) levéltetűfajok azon fásszárú tápnövénye, amin a telelő tojás és az abból kikelő őszanya található.