



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

RÁGÓ- ÉS SZIPÓKÁS SZÁJSZERVŰ GABONAKÁRTEVŐK  
KÖLCSÖNHATÁSAINAK VIZSGÁLATA LABORATÓRIUMI  
ÉS SZABADFÖLDI MÓDSZEREKKEL

Doktori értekezés tézisei

Gerstenbrand Regina  
Gödöllő  
2025

## **A doktori iskola**

**megnevezése:** Biológia Tudományi Doktori Iskola

**tudományága:** Biológiai tudományok

**vezetője:** Dr. Nagy Zoltán  
tanszékvezető, egyetemi tanár, DSc, MTA  
doktora  
MATE, Szent István Campus  
Növénytermesztési-tudományok Intézet  
Növényélettan és Növényökológia Tanszék

**Témavezető:** Dr. Samu Ferenc  
Tudományos tanácsadó, MTA doktora  
HUN-REN Agrártudományi Kutatóközpont  
Növényvédelmi Intézet  
Állattani osztály

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető(k) jóváhagyása

## A MUNKA ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉSEK

A növények és fitofág rovarok közötti kölcsönhatások összetett rendszert alkotnak, amelyekben a növény aktív közvetítő szerepet játszik a herbivór fajok kapcsolataiban. Az úgynevezett növényközvetített interakciók lehetnek szinergikusak, antagonisztikusak vagy semlegesek, és alapvetően befolyásolják a populációdinamikát és az ökoszisztéma stabilitását. Bár e jelenségeket a szakirodalom széles körben dokumentálja, a gabonafélék ízeltlábú közösségére vonatkozó vizsgálatok hiányosak. Mivel hazánkban a termésterület jelentős részén gabonát termesztünk, különösen fontosnak tartom, hogy pontosabb képet kapjunk arról, hogy a gabonákat fogyasztó és károsító herbivórok között milyen interakciókat figyelhetünk meg, esteleg lehet-e köztük olyan hatás, ami felhasználható az integrált védekezésben.

Világszerte a gabonafélék legfontosabb kártevői között szerepelnek az *Oulema* fajok (Chrysomelidae). Hazánkban leggyakrabban az *Oulema melanopus* (veresnyakú árpabogár, közismert nevén vetésfehérítő bogár) fordul elő, de gyakori kísérőfajai az *Oulema gallaeciana*, *Oulema cyanipennis*, *Oulema duftschmidi*, *Oulema rufocyanea* és *Oulema septentrionis* is (Pozsgai and Sáringer, 2006). Ezek a fajok, mind morfológiájukban, életmódjukban és kártételükben nagyon hasonlóak egymáshoz, így a gyakorlatban, az ellenük való védekezésben sem tesznek különbséget közöttük. Így a szakirodalomban gyakran összefoglalóan, *Oulema* fajok néven hivatkoznak rájuk, így a munkám további részében én is így fogok tenni. A vetésfehérítő bogarak rágó szájszervű fajok. Táplálkozásuk révén okoznak jelentős károkat a termesztett gabonaféléken: a levélszövetet elfogyasztva csökkentik azok asszimilációs felületét, ezáltal rontva a terméseredményeket. Egyetlen lárva hozzávetőleg 10%-kal mérsékli a növény asszimilációs kapacitását, míg súlyos fertőzés esetén ez az érték akár 80%-os csökkenést is elérhet, ami hozzávetőlegesen egy tonna hektáronkénti termésvesztést jelenthet. Észak-Amerikában az *Oulema melanopus* 1962-es betelepülése és inváziós terjedése óta a fertőzött régiókban a terméskiesés elérheti a 10–20%-ot, egyes területeken akár a 30%-ot is. Washington államban, 2000 és 2002 között végzett megfigyelések

szerint az átlagos fertőzöttségi szint 13–126 lárva/100 szár között mozgott (átlagosan 88 lárva/100 szár), ami hozzávetőlegesen 2–4%-os termésveszteséget eredményezett (Hitchcox et al., 2002).

Egyik leggyakoribb szipókás szájszervű gabona kártevőnk a csíkos gabonakabóca (*Psammotettix alienus*, Dahlbom 1871.) (Cicadellidae). Bár a táplálkozása nyomán közvetlen kártétele elenyésző, azonban növényi vírusvektor szerepe miatt gazdaságilag fontos faj. Ez a faj a búza törpülés vírus (Wheat Dwarf Virus, WDV) kizárólagos vektora, amely jelentős termésveszteségeket képes okozni kalászos állományokban. A beteg növények - ahogy a vírus neve is sugallja - alacsony növekedésűek maradnak, bokrosan nőnek és jellegzetes sárga klorózis alakul ki a leveleken. A gyökerek mérete (hossza és vastagsága) és száma is elmarad az egészséges növényekétől. A kalászkok gyakran sterilek maradnak és kevesebb kalász is alakul ki a vírusfertőzött növényeken (Pfrieme et al., 2022). Franciaországban a WDV átlagos előfordulása a gabonafélékben 2008-ban 13,05%, 2009-ben 3,94%, míg 2010-ben 6,14% volt (Abt and Jacquot, 2015).

Egy másik jelentős gabona kártevő a zselnicemeggy-levéltetű (*Rhopalosiphum padi*, L.) (Aphididae), mely esetében közvetlen és közvetett kártételt is számon tartunk. Közvetlen kártétele a termés hozam, az ezermagtömeg, valamint a kalázonkénti szemszám csökkenésében egyaránt megnyilvánulhat (Szunics et al., 2000). Magyarországi adatok szerint a *R. padi* által károsított növényeken a következőképpen alakult a teljes termésveszteség (hozamcsökkenés): őszi búza: 5-13%, rozs: 12-18%, őszi árpa: 28-48%, őszi zab: 5-12%. Közvetett kártétele ennek a fajnak is vírusvektor szerepében rejlik: az árpa sárga törpülés vírust (Barley Yellow Dwarf Virust, BYDV) terjeszti. A fertőzött növények a WDV-s növényekhez hasonló, sokszor attól szemrevételezéssel nem elkülöníthető tüneteket mutatnak.

A rágó szájszervű rovarok táplálkozásához képest, a szipókás rovaroké egy rendkívül specializált folyamat, amelynek részletei a következőkben kerülnek bemutatásra. A levéltetvek és kabócák szájszervüket a növénybe szúrva, a szállítóedényekben áramló nedvet szívva táplálkoznak, mely folyamatot penetrációnak

nevezzük. A penetráció kereső fázisában a szájszerv haladását a növényi szövetben az állatok által termelt ún. nyálhüvely segíti. Ez egy viszkózus, lipoproteinekben gazdag nyáltípus, mely megtámasztja a levélszövetben a szipókának a növénybe szúrt részét, az ún. szűrőserte köteget és segíti annak előrehaladását. A növényi szállítószöveteken belül, a floémet megtalálva az állat egy vizes jellegű nyálat választ ki, melynek a potenciális növényi védekezési reakciók leküzdésében van szerepe. Ekkor történik meg a növényi vírusok felvétele és leadása. Ezután megkezdődik a passzív szívás a floém rostacsöveiből, amikor a növény turgora hajtja a floémnedvet az állat tápcsatornájába. Ez a folyamat a levélszövetben zajlik, így rejtve marad a szemünk elől. A penetráció folyamatának monitorozására az elektropenetrográf (EPG) készülékkel van lehetőségünk. Ennek során az állatra és a növény földjébe egy-egy elektródot preparálunk, majd feszültség alá helyezzük. A penetráció kezdetekor, amikor az állat a szipókát a levélszövetbe szúrja, az áramkör záródik és a monitoron megjelenik egy feszültségingadozási görbe, az ún. EPG jel. Ez a folytonos jel, jellemző amplitúdójú és frekvenciájú szakaszokra különíthető, melyek megfelelnek a penetráció fázisának. Ezeket a fázisokra jellemző jeleket nevezzük hullámformáknak. A hullámformákat kielemezve pontosan megállapítható, hogy a szipókás rovar pontosan mit csinált a levélszövetben: folyadékot vett fel a xilémből, nyálat fecskendezett a szövetekbe vagy esetleg passzív szívást folytatott a floémból, amely a penetráció azon szakasza, amikor tényleges tápanyagfelvétellel járó táplálkozás történik. A hullámformák fajonként eltérőek lehetnek, ezért meghatározásuk elengedhetetlen egy-egy újonnan vizsgált faj esetében. A jelek meghatározásához szükséges folyamat a nyálhüvelyek megfestése (Kísérlet 1).

Alapvetően különbözik tehát egymástól a rágó és szűrő-szívó szájszervű herbivór (szipókás) rovarok táplálkozása, ezáltal az általuk kiváltott növényi reakciók is (Koornneef and Pieterse, 2008, Denno et al., 2000). Míg előbbieken részben (például hámozgatva vagy fúrva) vagy egészben fogyasztják el a növényi szöveteket, utóbbiak nagymértékben specializálódtak a növényi nedvek fogyasztására. A rágó szájszervű rovarok táplálkozása következtében

tipikusan a jázmonsavhoz kapcsolt jelátviteli útvonalak aktiválódnak a növényekben, melyek növényfajtól függően emésztés gátló vagy riasztó anyagok teremelését válthatják ki az egész növényben (Schweiger et al., 2014). Ezzel szemben a szipókás rovarok táplálkozása során jellemzőbb az ún. a szalicil savhoz kapcsolt jelátviteli útvonal aktiválódása, illetve egyes növénycsoportoknál a floém szövetekben a kalcium csatornák kinyílása (Tjallingii, 2006). Ezek a reakciók olyan anyagok – főleg fehérjék - termelődését váltják ki, melyek a floém csövekben vagy a szipókás rovarok tápcsatornájában koagulálódhatnak, így azok elzárásával akadályozzák a növényi nedv szívását (Will et al., 2007).

A gabonák kártevőközösségeinek dinamikájának megértése nemcsak elméleti szempontból fontos, hanem közvetlen gyakorlati jelentőséggel is bír. A különböző táplálkozási típusú kártevők közötti kölcsönhatások feltárása lehetőséget ad az integrált növényvédelmi rendszerek fejlesztésére. Például, ha egyes szipókás fajok előzetes jelenléte mérsékli egy rágó bogárfaj kártételét – vagy fordítva –, e tudás alkalmazható a kártevő-populációk szabályozásában, a vegyszerhasználat mérséklésében és a természetes ellenségek hatékonyabb kiaknázásában.

Az eddigiekben vázolt kérdéskör feltárása érdekében egy átfogó, egymásra épülő kísérletsorozat került megtervezésre. A vizsgálatok célja annak feltárása volt, miként befolyásolja egyes fajok jelenléte, táplálkozási viselkedése és kolonizálási sorrendje más fajok, táplálkozási mintázatát és reprodukcióját. Ezáltal nemcsak a fajok közvetlen interakciói, hanem az ökoszisztéma-szintű hatások is jobban megérthetők, ami hozzájárulhat a gabonatermesztés fenntarthatóbbá tételéhez.

A kísérletsorozat főbb elemei és céljai a következők voltak:

### 1. Kísérlet – Új nyálhüvely festés módszertani fejlesztés

Célja egy az eddigieknél gyorsabb, költséghatékonyabb és egyszerűbb hisztológiai eljárás kidolgozása. Az új módszer lehetővé teszi a nyálhüvellyel táplálkozó szipókás rovarfajok táplálkozási viselkedésének pontosabb és részletesebb vizsgálatát.

## 2. Kísérlet – Terepi vizsgálatok

A vetésfehérítő bogarak természetes ellenségeinek hatása kártétel mértékére szabadföldi körülmények között. Kvantitatív igazolás arra vonatkozóan, hogy a természetes ellenségek jelenléte mennyire mérsékli az *Oulema* fajok okozta károsítást és annak közvetlen hatását a terméshozamra.

## 3. Kísérlet – A *P. alienus* és a *R. padi* prekolonizációjának hatása az *Oulema* fajok táplálkozására

A kísérletben egy választásos tesztben vizsgáltam a szipókás rovarok (*P. alienus* és *R. padi*) prekolonizációjának és táplálkozásának hatását a rágó szájszervű faj (*Oulema* spp.) viselkedésére és károsítására.

## 4. Kísérlet – Az *Oulema* fajok prekolonizációjának hatása a *P. alienus* táplálkozására és utódszámára

Az előző kísérlethez hasonlóan egy választásos tesztben vizsgáltam a rágó szájszervű rovar (*Oulema* spp.) táplálkozásának hatását a szipókás rovar (*P. alienus*) táplálkozási viselkedésére és utódszámára.

## 5. Kísérlet – Elektropetrográfias (EPG) vizsgálatok

A 4. kísérlet kiegészítése, ahol *P. alienus* táplálkozási viselkedésének részletesebb elemzése volt a cél különböző kezelések (mesterséges mechanikai sebzés, *Oulema* fajok általi károsítás, kontroll) hatására. Ez a vizsgálat azért bír nagy jelentőséggel, mivel a választásos tesztben csak azt látjuk, hogy milyen gyakorisággal választanak egy adott kezelésű növényt, addig az EPG-s vizsgálat pontos képet ad arról, hogy az állat mennyi időt tölt a levélszövetben táplálkozással, vagy éppen a szállítószövet keresésével. Ezeknek az információknak a birtokában értékes tudást nyerhetünk pl. a növényi vírusoknak a terjesztéséről (pl a hosszabb nyálszekréció hatékonyabb vírusleadást indukálhat).

Össességében a kutatás célja a növényközvetített növényevő interakciók hazai gabonafélékre vonatkozó ismereteinek bővítése, amely hozzájárulhat a gabonák kártevőközösségének mélyebb megértéséhez, valamint az integrált növényvédelmi rendszerek fejlesztéséhez. Az eredmények nemcsak tudományos szempontból értékesek, hanem a mezőgazdasági gyakorlatban is közvetlenül alkalmazható információkat szolgáltathatnak, támogatva ezzel a gazdálkodók munkáját és a fenntartható élelmiszer-termelést.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### 1. Vizsgált objektumok

#### 1.1. Növények

A laboratóriumi kísérletekhez 2-4 leveles fenológiai fázisú árpa növényeket (*Hordeum vulgare*, Mv. Conchita fajta) használtam, egyenként kis (2 dl űrtartalmú) cserepekbe ültetve. Ezeket a növényeket minősített, kórokozómentes vetőmagból szaporítottam, majd klímakamrában neveltem 21 °C-on, napi 16 órás mesterséges megvilágítás (L16:D8) és 40-50%-os relatív páratartalom mellett.

A rovartenyészetek fenntartásához körülbelül 10 magot vettem egy-egy nagyobb (1,2 literes) cserépbe. A rovarokat akkor helyeztem rá a növényekre, amikor azok elérték a bokrosodási stádiumot. A cserepes növényeket izolátorhálósval takartam, ezalatt tartottam a vizsgált rovarokat.

#### 1.2. Rovarok

A *P. alienus* alapállományát ugyanolyan körülmények között tartottam, mint a növényeket. A mérésekhez az egyedeket ebből az állományból válogattam ki. Ezt az alapállományt a hosszútávú genetikai leromlás elkerülésének érdekében rendszeresen frissítettem, terepről behozott, előzetesen 1 generáció kinevelődéséig karanténban tartott, izolált egyedekkel. Ezeket az kabócákat környező települések melletti gabonaállományokból gyűjtöttem be (Páty, Zsámbék, Tök, Perbál), majd 1 új generáció kinevelése után vegyítettem őket az alapternyészettel.

A *R. padi* kolóniát a kabócatenyészethez hasonlóan tartottam fenn, egy külön erre dedikált helyiségben.

A vetésfehérítő bogarakat (*Oulema* spp.) egy kisméretű (1,5 × 1,5 m) kísérleti árpatáblából gyűjtöttük, amelyet kifejezetten a környező területekről érkező *Oulema* fajok vonzására tartottunk fenn. A begyűjtött rovarokat a lehálózott, cserepes árpanövényeken tartottuk

a klímakamrában, 21 °C-on, napi 16 órás megvilágítás mellett (L16:D8).

Egy 135 példányt tartalmazó mintán végzett egyszeri faji határozás eredményeként a vetésfehérítő tenyészetben az egyes fajok aránya a következő volt: *O. melanopus* 83%, *O. duftschmidi* 11%, *O. rufocyanea* 6%.

## 2. Vizsgálati módszerek

### 2.1. Kísérlet 1 - Nyálhüvely festés módszertan

A módszer célja a nyálhüvellyel táplálkozó szipókás szájszervű rovarok, különösen a *P. alienus* nyálhüvelyének lokalizálása és vizualizálása árpalevél-szövetekben. A módszer segítségével pontosan megállapítható, hogy a nyálhüvely csúcsa, a levélnek melyik részében helyezkedik el, tehát hogy melyik levélszövet részben ért véget a szipókás rovar táplálkozása.

Alkalmazott oldatok: A vízbázisú fukszin (5%) és vízbázisú metilzöld (1%) oldatokat ioncserélt vízzel készítettem el. A PBS (foszfátpufferes sóoldat) tablettából készült. A levelek áttetszővé tételét 20%-os KOH oldatban végeztem el, a vékony metszetek derítésére DL-tejsavat alkalmaztam. Az ágyazó oldat 96%-os etanolból és 87%-os glicerinből állt (1:1 arányban).

Kabócékkal végzett előkezelés: A kabócék táplálkozási területének leszűkítése érdekében mikroizolátorokat (5 cm hosszú, 3 cm széles, spirálkötő elemekből nylon hálóval, végein poliuretán szivacs dugókkal lezárt) helyeztem a 2 leveles árpanövények első lomblevelére. Minden izolátorba két kabócat helyeztem el, amelyek 24 órán keresztül táplálkozhattak, így több nyálhüvelyt (esetenként tojásokat is) képeztek. Összesen 147 ismétlést végeztem el az előkezelés során.

A nyálhüvelyek lokalizálása: A 3 cm hosszú levélrészlet ami az izolátorban volt kivágtam, majd 4 percre, 40 °C-on, Eppendorf-csőbe töltött KOH oldatba helyeztem. Ezután desztillált vízben, majd PBS-ben mostam át a levelet. Ezután 5%-os vizes fukszin

oldatban festettem a levelet vízszintes rázógépből (60 percig, 23 °C-on). A nyálhüvelyek kezdőpontjai magenta pontokként jelentek meg sztereomikroszkóp alatt.

Nyálhüvely metszetek készítése kézi mikrotóm technikával: Egy éles borotvapengével, kézzel, a levélerekre merőlegesen végeztem el a metszést úgy, hogy a lehető legvékonyabb (kb. 60 µm), még ép és teljes nyálhüvelyt tartalmazó metszetek keletkezzenek. A metszeteket 90 °C-ra felmelegített tejsavban derítettem kb 30–40 percig, a klorofill mennyiségétől függően.

Mikroszkópos vizsgálat és kontrasztosítás: A teljesen áttetsző metszeteken (kivéve a magentára festődött nyálhüvelyt) metilzöld oldattal kontrasztfestést végeztem (0,5–1 perc). A metilzöld a megvastagodott sejtfalakat, különösen az edénynyalábokat zöldes árnyalattal színezte meg. Végül az etanol-glicerin ágyazóoldatba helyeztem a metszeteket, amelyek a festési procedúra után tökéletesen elemezhetőek voltak. A végleges festési módszer kialakítását összesen 34 különböző festék-, derítőoldat-, kontrasztfesték- és főzési idő kombináció előzte meg.

Tárolás és újrafestés: A festett metszetek néhány hétig tárolhatók az ágyazó oldatban, vagy hosszútávon glicerinben, +5 °C-on. A festett szöveti részek elhalványulhatnak, de a metszetek újrafesthetőek.

## 2.2. Kísérlet 2 – Terepi vizsgálatok

A kísérlet célja a természetes ellenségek hatásának vizsgálata volt az *Oulema* fajok által okozott levélkárosításra, valamint a búza és árpa terméshozamára és a termés minőségi paramétereire. A vizsgálatokat két egymást követő évben, 2021-ben és 2022-ben végeztük, összesen négy kísérleti táblán, két különböző helyszínen. 2021-ben Martonvásáron két szomszédos, egyenként 0,1 hektáros őszi búzátábla, 2022-ben pedig egy 0,2 hektáros őszi búzátábla Martonvásár közelében, valamint egy 0,6 hektáros őszi árpátábla Környén szolgált a kísérletek helyszínéül. A vizsgálati táblákon nem alkalmaztunk növényvédő szeres kezelést és mindegyiken 20 méter széles vegyszermentes védősávot alakítottunk ki.

A kísérlet a természetes ellenségek kizárásán alapult. A bokrosodás korai szakaszában (Feekes F2–F4) kijelölt növények közvetlen környezetéből, egy 40 cm átmérőjű körön belül, eltávolítottuk a többi növényt, a talajfelszínt pedig homokréteggel fedtük. Három kezeléstípust alkalmaztunk: (1) kontroll növények ketrec nélkül, (2) kizárásos kezelés, ahol a növényeket hálós ketrecekkel izoláltuk az érési szakaszig végig (35 nap), valamint (3) nyitott ketreces kezelés, amelynél a növényeket egy inkubációs szakasz (14 nap) után, az expozíciós szakaszban (21 nap) szabaddá tettük, így a természetes ellenségek számára hozzáférhetővé váltak.

A mesterséges fertőzést a szárba indulás szakaszában (őszi búza: Feekes F5–F6, őszi árpa: F9) végeztük. Ekkor minden növényre 10 db vetésfehérítő bogár imágót helyeztünk. Az inkubációs szakasz 14 napig tartott, amely alatt az imágók petéket raktak, a kikelő lárvák pedig megkezdték a táplálkozást. Az inkubáció végén eltávolítottuk a kifejlett bogarakat, megszámoltuk a petéket és lárvákat, valamint rögzítettük a kezdeti levélkárosodást („károsítás 1”). Ezt követően a kizárásos kezelésben a növényeket visszazártuk a ketrecekbe, míg a nyitott kezelésben a ketreceket eltávolítottuk. Az expozíciós szakasz három hétig tartott, egészen a kalászhányásig (Feekes F10).

Az expozíciós időszak végén, az érési szakasz kezdetén, elvégeztük a második levélkárosodási felmérést („károsítás 2”), amely során a zászlós leveleken mértük fel a károsítást. A kísérlet legvégén a kalászokat kézzel takarítottuk be, majd rögzítettük a termés hozam adatait.

Természetes károsítási gradiens vizsgálata (2022, 22A tábla): A búza kalászhányás stádiumában egy természetes eredetű vetésfehérítő bogár fertőzés következtében egyenetlen eloszlású levélkárosodást figyeltünk meg. A jelenség feltérképezéséhez 2022. május 31-én drónnal készített légifelvételt használtunk, amely alapján a táblán egy  $4 \times 7$ -es virtuális rácshálót jelöltünk ki. A rácspontokban a levélszíneződést a drónkép alapján vizuálisan becsültük egy 0–10-es skálán. A kontrollnövények levélkárosodása és a legközelebbi rácspont becsült értéke között erős korrelációt találtunk ( $R = 0,93$ ). Az aratás idején fizikailag is kijelöltük a rácshálót, és minden rácspontonál  $0,25 \text{ m}^2$ -es kvadrátból betakarítottuk az összes kalászt.

Termésparaméterek meghatározása: a kalászokat a nádusz alatt vágtuk le, majd Hege 16 típusú cséplőgéppel dolgoztuk fel. A magok számát Contador magszámlálóval határoztuk meg, míg az össztömeget (terméshozamot) precíziós analitikai mérlegem mértük. Az ezermagtömeget (TGW) Marvin Seed Analyser készülékkel határoztuk meg az MSZ EN ISO 520:2011 szabvány szerint. Az őrölt mintákból (Labmill 3100) NIR készülékkel (PerCon Inframatic 8611) határoztuk meg a fehérje-, glutén-, keményítő- és nedvességtartalmat, valamint a vízfelvevő képességet és a Zeleny-indexet.

Statisztikai elemzéseinkhez lineáris vegyes modelleket (LMM) alkalmaztunk, amelyekben térbeli véletlen tényezőként a tábla és a klaszter szerepelt. Ezekkel a modellekkel az *Oulema* fajok okozta károsodás és a termésparaméterek közötti összefüggéseket vizsgáltuk. Külön figyelmet fordítottunk a levélkárosodás mértékére (károsítás 1 és károsítás 2), valamint a természetes ellenségek jelenlétének a termés hozamra gyakorolt hatására.

### 2.3. Kísérlet 3 - A *P. alienus* és a *R. padi* prekolonizációjának hatása az *Oulema* fajok táplálkozására

Laboratóriumi körülmények között, választásos arénatesztel vizsgáltam, hogyan hat a szipókás szájszervű rovarok (*P. alienus* és *R. padi*) prekolonizációja az *Oulema* fajok táplálkozására. Arénaként lefordított Petri-csészéket használtam. Minden arénába két levelet helyeztem: egy kezeletlen kontroll és egy előzetesen szipókás rovarokkal prekolonizált növény levelét. A prekolonizációhoz mikroizolátorokat használtam, amelyeket 2–4 leveles árpanövények első lomblevelére helyeztem, növényenként egyet. A rovarokat 48 órán keresztül hagytam a leveleken. Kétféle prekolonizációs kezelést alkalmaztam:

1. a kabócás kezeléseknél mikroizolátoronként két *P. alienus* egyed (N=20),
2. a levéltetves kezeléseknél pedig mikroizolátoronként öt *R. padi* egyed helyeztem el (N=20).

A kontroll levelekre helyezett mikroizolátorokat üresen hagytam (N=40). A prekolonizációs periódust követően a kezelt és kontroll leveleket páronként helyeztem az arénákba, és mindegyik alá egy vetésfehérítő bogár imágót tettem, amelyek 24 órán át táplálkoztak. A kísérlet végén eltávolítottam a vetésfehérítő bogarakat, levágtam a megrágott/károsított levélrészeket, majd nagy felbontású fényképeket készítettem, amelyeken az ImageJ szoftverrel kvantifikáltam a levélkárosítás mértékét. Az adatokat R 4.5.0 programban elemeztem.

#### 2.4. Kísérlet 4 - Az *Oulema* fajok prekolonizációjának hatása a *P. alienus* táplálkozására és utódszámára

Az *Oulema* fajok táplálkozásának hatását vizsgáltam a *P. alienus* táplálkozására és utódszámára laboratóriumi körülmények között, választásos arénateszt segítségével. A kísérlethez 2–4 leveles árpanövények első lomblevelét használtam, amelyekre mikroizolátort helyeztem. A prekolonizációs szakasz 24 óráig tartott.

Háromféle kezelést alkalmaztam a mikroizolátorokon belül:

1. Kontroll (C), amelyben a leveleket nem érte semmilyen beavatkozás, csak a mikroizolátor került rájuk;
2. Mesterséges sebzés (AT), ahol a leveleken keresztirányú bemetszést végeztem, ügyelve arra, hogy a főér ne sérüljön;
3. *Oulema* fajokkal fertőzött (O), amelyben egy vetésfehérítő bogár 24 órán keresztül táplálkozhatott a levélen.

A választásos kísérlet megkezdése előtt a vetésfehérítő bogarakat eltávolítottam, majd a különböző módokon előkezelt leveleket párokban helyeztem el lefordított Petri-csészék alá, melyek az előző kísérlethez hasonlóan itt is arénaként szolgáltak. A következőképp állítottam párba a prekolonizált leveleket:

1. mesterségesen sebzett – vetésfehérítő bogárral fertőzött (N=40),
2. kontroll – kontroll (N=40)
3. kontroll – mesterségesen sebzett (N=40)
4. kontroll – vetésfehérítő bogárral fertőzött (N=40).

Minden arénában a levélszövet egy 3 cm-es szakaszát tettem hozzáférhetővé, papírlap segítségével. Ezután minden arénába egy nőstény *P. alienus* egyedét helyeztem, amely 24 órán át táplálkozhatott.

A kísérlet végén eltávolítottam a kabócákat az arénákból, majd levágtam a táplálkozásnak kitett levélrészeket és PBS-oldatban tároltam őket. A kabócák által termelt nyálhüvelyeket 5%-os savanyú fukszin oldattal festettem, tejsavban derítettem és glicerinben tároltam. A nyálhüvelyek és a lerakott tojások számát sztereomikroszkóppal határoztam meg.

A statisztikai feldolgozást az R 4.5.0 szoftverrel végeztem. Az értékeléshez a nőstények táplálkozását és tojásrakási preferenciáját (N = 99) leíró modellt alkalmaztam. Az adatok vizsgálatához általánosított lineáris kevert modelleket futtattam Gauss-hibaeloszlással, míg a tojások számánál a túlzott nullák kezelésére nulla-inflációs modellt is beépítettem.

#### Kísérlet 5 - Elektropetrográfias (EPG) vizsgálatok

Az elektropetrográfias (EPG) vizsgálatban a kísérleti beállításhoz használt előkezelések megegyeztek a korábbi (Kísérlet 4) előkezelésekkel:

1. kontroll (C) (N=60),
2. mesterségesen sebzett (AT) (N=60), valamint
3. *Oulema* fajok által fertőzött (O) (N=120) leveleket használtam.

A prekolonizáció a 24 órán keresztül tartott. A mérésekhez Giga-4 és Giga-2 típusú EPG készülékeket (EPG Systems Ltd.) alkalmaztam. Az EPG preparáláshoz a kabócákat a tenyészetből gyűjtöttem, majd CO<sub>2</sub>-gázzal altattam, ezt követően vékony aranyzállal és ezüstragasztóval rögzítettem egy elektródhoz. A vizsgálat időtartama 6 óra volt. A kiértékeléshez az *Oulema* fajokkal fertőzött leveleket alulról megvilágítva fényképeztem le, és ImageJ szoftverrel kvantifikáltam a károsított terület nagyságát.

Az EPG hullámformák kiértékelését Tholt et al. (2015) definíciói alapján végeztem. A következő hullámformákat különítettem el:

Ps1: penetráció a levél mélyebb szöveteibe, Ps2: xilémből történő táplálkozás, Ps4a: nyálszekréció a floémbe, Ps4b: tényleges passzív floémszívás, Ps3 és Psmix: jelentésük nem teljesen tisztázott.

A statisztikai elemzéseket R 4.5.0 programban végeztük el, külön adattáblákra alapozva:

Sebzéstípusok közötti különbségek ( $N = 176$ ): Ebben az adatbázisban a C, AT és OT (*Oulema* fajokkal prekolonizált) csoportokat hasonlítottuk össze. Vizsgáltuk a kísérlet időtartamának, a nemnek, a kezelés típusának és ezek kölcsönhatásainak hatását a penetrációs fázisok közötti átmenetek számára, a különböző táplálkozási fázisok (penetráció nélküli, xilém-, floém-) időtartamának arányára, az első xilém- és floémpenetrációig eltelt időre, valamint a Ps4a/Ps3 és nőstények esetében a Ps4 össz / Ps4a arányokra. Az adatok elemzéséhez kevert hatású Cox-modelleket és általánosított lineáris kevert modelleket (GLMM) alkalmaztunk.

A vetésfehérítő rágás mértékének hatása a kabócák penetrációs viselkedésére ( $N = 112$ ): Itt kizárólag az OT csoportból származó adatokat elemeztük. A károsítás mértékét kvantitatív változóként kezeltük, és a kísérlet időtartamával, a nemmel és a károsítás intenzitásával, valamint azok kölcsönhatásaival együtt vizsgáltuk hatásukat a főbb táplálkozási paraméterekre. Az elemzéshez szintén Cox-modelleket és GLMM-eket használtunk.

## EREDMÉNYEK ÉS AZOK MEGVITATÁSA

### 1. Kísérlet - Nyálhüvely festés módszertan

Az általam kidolgozott új és egyszerűsített módszerrel a 147 célzott nyálhüvelyből 122-t (83%) sikerült jól értékelhetően megfestenem. Ezeket a nyálhüvelyeket összesen 113 kabóca (30 hím és 83 nőtény) hozta létre. A módszer finomítása során 35 különféle kombinációt próbáltam ki, amelyek festékek, áttetszőséget biztosító anyagok és kontrasztfestékek variációiból álltak. A teljes eljárás időtartama átlagosan 1,5 óra volt, ami jelentősen rövidebb, mint a korábban leírt eljárások jellemzően 1-2 napos munkafolyamata.

A nyálhüvely lokalizálását a levelek KOH-oldattal történő tisztítása után vízbázisú fukszin festéssel végeztem. A nyálhüvelyek kezdőpontjai magenta pontként jelentek meg, amely lehetővé tette, hogy célzottan egyetlen metszést készítssek. A kiválasztott nyálhüvelyt kézi metszéssel tártam fel. Egyszerű, mikrotóm és beágyazás nélküli eljárást alkalmaztam, amely során körülbelül 60 µm vastagságú metszeteket készítettem. Megfelelő vágási pontosság esetén a teljes nyálhüvely-szerkezet jól láthatóvá vált egyetlen metszetben. A mikroszkópos vizsgálathoz a már fukszinnal megfestett nyálhüvelyeket metilzölddel kontrasztfestettem, amely zöldes árnyalatot adott a megvastagodott sejtfalaknak (pl. edénynyalábok), így azok jól elkülönültek a nyálhüvelytől. A metszeteket etanol-glicerin (1:1) oldatba helyeztem, amely elősegítette a mikroszkópos vizsgálhatóságot.

Az új eljárás jelentős előrelépést jelent a szipókás szájszervű, nyálhüvellyel táplálkozó rovarok táplálkozási mintázatainak vizsgálatában, mivel gyors, költséghatékony és könnyen reprodukálható. A korábban használt módszerek gyakran mérgező és illékony oldószereket, például dietil-étert használtak, míg az általam kidolgozott technika vízbázisú. A fukszin alkalmazása előtt végzett szűrés elengedhetetlen volt, mivel a festék maradék pigmentrészecskéi félrevezető eredményt okozhattak. A lúgos KOH-oldat alkalmazása az első tisztítási lépés során hatékonyabbnak bizonyult: áttetszőbbé és merevebbé tette a levelet, megkönnyítve a

metszést. A tejsavas kezelés segített megőrizni a sejtfalak épségét és rugalmasságát a metszést követő tisztítás során. A kulcsfontosságú optimalizálási lépés a metszés irányának megválasztása volt. Mivel a kabócák táplálkozás közben a levélerekkkel párhuzamosan helyezkednek el, és szájszervük oldalirányban mozog a legkönnyebben, a nyálhüvelyek elágazásai általában a levélre merőleges síkban helyezkednek el. Ez lehetővé tette, hogy egyetlen célzott metszéssel feltárjam a teljes nyálhüvely-struktúrát, így nem volt szükség metszetsorozatra. A kézi metszés módszere különösen alkalmas volt lágyszárú, egyszikű növények, például árpa vizsgálatára, szemben a korábbi eljárásokkal, amelyek főként szklerotizált leveleken alapultak. A metilzöld kontrasztfestés jól észlelhető különbséget teremtett a fukszinnal megfestett nyálhüvelyek és a zöldes színű edénnyalábok között. A módszer valószínűleg más szipókás, nyálhüvellyel táplálkozó rovarfajok – például *R. padi* – esetében is alkalmazható. Az etanol–glicerin oldat használatával elkerülhető volt a minták fixálása és hagyományos tárgylemezre való beágyazása, ami jelentősen lelassította volna a munkafolyamatot. Emellett lehetővé tette a minták hosszú távú tárolását és újrafestését is.

Ez a technika lehetővé tette a nyálhüvelyek teljes szerkezetének gyors és rutinszerű vizsgálatát, pontosan meg tudtam határozni, hogy a szívás a xilémekben vagy floémekben történt-e, és hozzávetőleges becslést adhattam a megfelelő táplálkozási hely megtalálásához szükséges próbálkozások számára. Ez jelentősen hozzájárulhat az EPG-hullámformák pontosabb értelmezéséhez, valamint a szipókás rovarok – mint potenciális vírusvektorok – táplálkozási viselkedésének és kórokozó-terjesztő szerepének jobb megértéséhez.

## 2. Kísérlet – Terepi vizsgálatok

A természetes ellenségek hozzáféréseinek hatását vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy a természetes ellenségeknek kitett kezelésben 30%-kal kisebb volt a levélkárosodás az expozíciós időszak végére, mint a kizárásos kezeléseknél. A rágási kár szorosan korrelált az expozíciós időszak kezdetén megszámlált lárvaszámmal. A természetes fertőzésű kontrollnövényeken kezdetben kisebb volt a

károsodás, de a nyitott kezelésű növények károsodása a végére nem tért el szignifikánsan a kontrolltól.

### 2.1. Az vetésfehérítő bogár kártétel hatása a termés hozamra

A levélkárosodás szignifikánsan csökkentette az ezermagtömeget, amely a legérzékenyebb paraméternek bizonyult: a károsodás mértékének függvényében 22–29%-os ezermagtömeg-csökkenést tapasztaltunk. A teljes hozam 50%-kal alacsonyabb volt a legsúlyosabb károsítást mutató rácspontokban a természetes kárgradiens vizsgálatban. A fehérjetartalom a nagyobb levélkár esetén nőtt, a keményítőtartalom enyhén csökkent, a nedvességtartalom is pozitív kapcsolatot mutatott a levélkárral. A gluténtartalom és a Zeleny-index nem változott.

### 2.2. A természetes ellenségek közvetlen hatása

A természetes ellenségek jelenléte csökkentette a levélkárosítást, de nem találtunk szignifikáns közvetlen hatást a természetes ellenség jelenlét és a hozamparaméterek között. Ugyanakkor a lárvaszám negatívan befolyásolta a hozamot és az ezermagtömeget. A természetes gradiensvizsgálatban a teljes tábla hozama 15,7%-kal, az ezermagtömeg 11,7%-kal csökkent ahhoz képest, mintha a nulla-károsítású terméseredményt extrapoláltuk volna az egész táblára.

Eredményeink megerősítik, hogy a természetes ellenségek hatékonyan csökkentik az *Oulema* fajok levélkártételét. A kizárásos kísérletek és a természetes károsítási gradiens egyaránt kimutatták, hogy kisebb kártétele esetén nagyobb a termés hozam, de az itt kimutatott viszonylag gyenge korrelációk a bogár foltszerű, változó előfordulására vezethetők vissza. A természetes fertőzés – a legsúlyosabb foltokat leszámítva – csak mérsékelt termés-csökkenést okozott.

Az *Oulema* fajokat számos természetes ellenség szabályozza, például az *Anaphes flavipes* (Förster, 1841) (Mymaridae) fürkészdarázs (átlagosan 40%-os tojásparazitáltság (Meindl et al., 2001)), valamint különféle ragadozók (pl. Nabidae, Coccinellidae,

Carabidae, pókok) (Kheirodin et al., 2020, Meindl et al., 2001, Szabolcs and Horvath, 1991). A kizárásos kezelésekben 30%-kal több levélkárosodást tapasztaltunk.

Súlyos levélkárosodás esetén jelentős termésveszteség léphet fel: a vizsgálatunk során a legsúlyosabban károsodott zónákban 51%-kal, táblaátlagban 16%-kal csökkent a termés. Más kutatások jellemzően mérsékeltebb hatásról számoltak be (pl. Svájcban 5,4%(Jossi and Bigler, 1996)). A keményítőtartalom szignifikánsan csökkent, míg a fehérjetartalom növekedést mutatott, különösen a korai kár esetén. Az ezermagtömeg következetesen csökkent, ami a termés piaci értékét is rontotta.

A vetésfehérítő bogár kártétel térben és időben változó, amit populációdinamikájuk, az időjárás, az ellenségek és a tájszerkezet is befolyásol. A természetes ellenségek rendszerint hatékonyak, míg a megelőző rovarölőszer-használat nem mindig eredményes. A kémiai védekezés csak súlyos fertőzés esetén, célzottan indokolt. A korai monitorozás kulcsfontosságú.

### 3. Kísérlet - A *P. alienus* és a *R. padi* prekolonizációjának hatása az *Oulema* fajok táplálkozására

A statisztikai elemzés alapján nem volt szignifikáns különbség az *Oulema* fajok preferenciájában a kontrollnövények és a szipókás rovarokkal prekolonizált növények között (*P. alienus*:  $p = 0,2717$ ; *R. padi*:  $p = 0,2550$ ). Ugyanakkor, a megfigyelt trendek alapján a kabóccával fertőzött növényeket a bogár ritkábban, míg a levéltetves növényeket gyakrabban választotta, mint a kontrollt. Ez arra utalhat, hogy bár mindkét kártevő hasonlóképp táplálkozik, valami miatt a levéltetűvel fertőzött növények jobb fogyaszthatóságot biztosítanak a vetésfehérítő bogár számára. Elképzelhető, hogy a két szipókás rovar nyálösszetételében van a különbség: a levéltetű hatékonyabban nyomja el a növényi védekezőképességet, ami által az *Oulema* fajok számára is vonzóbb táplálék a kabóca által prekolonizálttal szemben. Ezek a hipotézisek bővebb vizsgálatra szorulnak, a szakirodalmat áttekintve nem találtam erre vonatkozó adatot.

Az eredményekből kiderül, hogy az interakciók nagy mértékben fajspecifikusak, és az előzőleg táplálkozó szipókás rovar hatása lehet pozitív, negatív vagy semleges. Pozitív szakirodalmi példaként említhető, hogy *Brevicoryne brassicae* (káposztalevéltetű) (L, 1758) (Aphididae) elősegítette a *Pieris brassicae* (káposztalepke) (Linnaeus, 1758) (Pieridae) hernyóinak fejlődését káposztán (Soler et al., 2011), vagy hogy *Aphis nerii* (oleander-levéltetű) gyorsította a *Danaus plexippus* (pompás királylepke) (Linnaeus, 1758) (Nymphalidae) fejlődését közönséges selyemkórón (Ali et al., 2014). Ezekben az esetekben valószínűsíthető, hogy a levéltetvek gyengítették a növény jázmonsav-alapú védekezését, ezzel előnyhöz juttatva a rágó hernyókat.

Negatív hatást mutattak ki *Empoasca fabae* (Harris, 1841) (Cicadellidae) kabóca és *Leptinotarsa decemlineata* (burgonyabogár) (Say, 1824) (Chrysomelidae) között, ahol a kabóca csökkentette a bogár tojásrakását és a lárvák túlélését (Lynch et al., 2006). Ez összhangban van az én eredményeimmel is, ahol a *P. alienus*-szal prekolonizált növényeket az *Oulema* spp. kevesebbszer választotta. Hasonló negatív példák ismertek *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus, 1758) (Aphididae) és *Plutella xylostella* (káposztamoly) (Linnaeus, 1767) (Plutellidae) interakciójából repcén (Nouriganbalani et al., 2018), valamint *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Gelechiidae) és *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas, 1878) (Aphididae) közötti versengésből paradicsomon (Dong et al., 2020).

Semleges hatást is leírtak a szakirodalomban: például a *Rhopalosiphum padi* nem befolyásolta az *Oulema melanopus* (Linnaeus, 1758) (Chrysomelidae) viselkedését őszi búzán, és *Brachypodium distachyon* L. modellen sem hatott a gyapottok bagolylepke (*Helicoverpa armigera*) (Hübner, 1827) (Noctuidae) lárvák fejlődésére, noha a növény szalicilsavsintje nőtt.

Bár a kísérletem nem vizsgálta közvetlenül a növényi fitokémiai változásokat, a mintázatok alapján feltételezhető, hogy a kabócák által okozott sejtkárosodás erősebb védekezési választ váltott ki, mint a levéltetveké. A szalicilsav és jázmonsav útvonalak antagonizmusa – különösen az SA által kiváltott JA-gátlás –

kulcsszerepet játszhatott abban, hogy az *Oulema* fajok eltérően reagáltak a két szipókás faj által prekolonizált növényekre.

#### 4. Kísérlet - Az *Oulema* fajok prekolonizációjának hatása a *P. alienus* táplálkozására és utódszámára

A kabóca nőstények táplálkozási preferenciáját (a penetrációk gyakoriságát) és tojásrakási viselkedését vizsgálva nem találtam szignifikáns eltérést a kezelt és kontroll levélen létrehozott nyálhüvelyek számában egyik kezelési csoport esetében sem; az eloszlás minden esetben megfelelt a nullhipotézisnek, azaz annak, hogy a nőstények nem tettek különbséget a levelek között ( $\chi^2 = 3,5$ ;  $df = 3$ ;  $p = 0,9494$ ). Hasonlóképpen, a peték két levélre történő lerakása sem mutatott eltérést a kezelési kombinációk között, ugyanakkor ebben az esetben az ismétlésszámok nagyon alacsonyak voltak. Az eredmények alapján, sem az *Oulema* fajok előzetes rágása, sem a mechanikai sérülés nem befolyásolta számottevően a csíkos gabonakabóca nőstények választását.

Ez az eredmény megerősíti, hogy a növényközvetített interakciók fajspecifikusak, és nem feltétlenül jósolhatók meg. Más kutatásokban például *Leptinotarsa decemlineata* (burgonyabogár) (Say, 1824) (Chrysomelidae) rágása akár 48%-kal is csökkentette a *Myzus persicae* (zöld-öszibarack levéltetű) (Sulzer, 1776) (Aphididae) populációját burgonyán – függetlenül attól, hogy a rágás előzetesen vagy egy időben történt. Érdekes módon a levéltetvek ennek ellenére előnyben részesítették a rágott növényeket illatanyaguk alapján, ami egy védekezési stratégia lehet a természetes ellenségeik elkerülésére (Davidson-Lowe et al., 2018). Hasonló negatív kölcsönhatást figyeltek meg brokkolin is, ahol a *Pieris rapae* (répalepke) (Linnaeus, 1758) (Pieridae) hernyóinak rágása visszaszorította a *Brevicoryne brassicae* (káposztalevéltetű) (L, 1758) (Aphididae) egyedszámát (Blubaugh et al., 2018).

Pozitív hatásra is van példa: *Sitona lineatus* (borsóormányos) (Linnaeus, 1758) (Curculionidae) jelenléte fokozta az *Acyrtosiphon pisum* (borsólevéltetű) (Harris, 1776) (Aphididae) mozgékonyágát

és túlélését, ami elősegítette a növényi vírusok terjedését (Chisholm et al., 2019).

A vizsgálatom nem tárt fel hasonló hatást, de ez nem zárja ki, hogy a növényi válaszreakciók – például a szalicilsav- és jázmonsav-alapú jelátviteli utak – a háttérben működhetnek. Fontos ugyanakkor megjegyezni, hogy pusztán a penetrációk száma nem feltétlenül ad elegendő információt a pontos folyamatokról, éppen ezért vizsgáltam meg ezt jelenséget EPG-vel is.

## 5. Kísérlet - Elektropenetrográfias (EPG) vizsgálatok

A statisztikai elemzések eredményei alapján a sebzés típusa szignifikáns hatást gyakorolt a nőstény kabócák floém-táplálkozási viselkedésére: a sumPs4/Ps4a arány szignifikánsan alacsonyabbnak bizonyult a mesterségesen sebzett (AT) csoportban a kontrollhoz (C) képest ( $\chi^2_2 = 7,92$ ;  $P = 0,019$ ;  $p = 0,038$ ). Ezzel szemben az *Oulema* fajok által okozott természetes rágás (OT) és a kontroll között nem volt szignifikáns különbség. A nemek összehasonlításakor azt tapasztaltam, hogy a hímek gyorsabban érték el a floémet, mint a nőstények ( $\chi^2_1 = 4,78$ ;  $P = 0,029$ ), ami összhangban áll az amerikai szőlőkabócán (*Scaphoideus titanus*) (Ball, 1932) (Cicadellidae) végzett korábbi megfigyelésekkel (Chuche et al., 2017). Noha a penetrációs fázisok közötti átmenetek száma, valamint a xilémfázis időarányának növekedése szignifikáns összefüggést mutatott a kísérlet időtartamával, sem a nem, sem a kezelés típusa, sem azok kölcsönhatása nem gyakorolt kimutatható hatást ezekre a változókra.

A vetésfehérítő rágás mértékét vizsgálva kiderült, hogy a kabócák neme és a sérülés mértéke közötti kölcsönhatás szignifikánsan befolyásolta a penetrációs fázisok közötti átmenetek számát ( $\chi^2_1 = 7,47$ ;  $P = 0,006$ ). A nőstények viselkedése ebben a tekintetben stabil maradt, míg a hímek esetében a súlyosabb károsítás szignifikáns csökkenést eredményezett a táplálkozási fázisok közötti váltások számában.

Az eredmények arra utalnak, hogy a különböző kezelésmódok eltérő módon befolyásolják a kabócák viselkedési és élettani válaszait. A nőstények floém-táplálkozási aktivitása érzékenyen reagált a kezelés

típusára: míg a mechanikai úton létrehozott sérülés (AT) esetén szignifikánsan csökkent a floém fázisban eltöltött idő aránya, addig a természetes, vetésfehérítő bogár által okozott sebzés (OT) nem váltott ki ilyen hatást. Ez arra enged következtetni, hogy a kabócák képesek lehetnek megkülönböztetni a különböző eredetű növényi károsodásokat, és viselkedésüket ezekhez szelektíven igazítják – vélhetően a növények által kibocsátott fizikai vagy kémiai jelek alapján. Ez összhangban van a korábbi megállapításokkal, melyek szerint a mechanikai sérülés és a herbivorok által okozott rágás eltérő fehérjeprofilokat és molekuláris válaszokat váltanak ki a növényekben.

Az ivari különbségek szintén hangsúlyosan jelentkeztek: a hímek gyorsabban érték el a floém szövetket, mint a nőstények, ami eltérő keresési viselkedésre vagy élettani igényekre utalhat. A károsítás intenzitása csak a hímek esetében bizonyult meghatározónak, akiknél az erősebb sérülés hatására csökkent a táplálkozási fázisváltások gyakorisága. Ebből arra következtethetünk, hogy a hímek viselkedése érzékenyebb a környezeti stresszhatásokra, és valószínűleg másfajta adaptív válaszokat alakítanak ki, mint a nőstények. Ezzel szemben a nőstényeknél sem a táplálkozási aktivitás, sem a tojásrakási viselkedés nem mutatott különbséget a kezelések között.

Mivel a rendelkezésre álló szakirodalom korlátozott az ivari különbségek viselkedési és táplálkozási mintázataira vonatkozóan, a jelen vizsgálat eredményei új és ígéretes kutatási irányokat jelölhetnek ki, különösen a nemek közötti eltérő válaszmintázatok és azok ökológiai jelentősége tekintetében.

## KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A gabonaalapú táplálékhalozatok vizsgálata számos izgalmas és összetett aspektust rejt magában. Az ebből származó eredmények nemcsak az elméleti ökológiai ismeretanyagot gazdagítják, hanem gyakorlati szempontból is relevánsak lehetnek a növényvédelem, az agrárökológia, illetve az integrált kártevő-szabályozás területén. A kísérletek összessége rámutatott arra, hogy a gabonaféléket érő biotikus hatások – különösen a különböző táplálkozási módú rovarfajok aktivitása – komplex, fajspecifikus kölcsönhatásokat alakítanak ki, melyek hatással lehetnek mind a kártevők viselkedésére, mind a gazdanövények fiziológiai válaszreakcióira.

Az alábbiakban a főbb következtetések és ezekhez kapcsolódó javaslatok kerülnek összefoglalásra:

### 1. Nyálhüvellyfestési módszer:

A kidolgozott új módszer jelentős előrelépést jelent a szipókás szájszervű rovarok táplálkozási mintázatainak vizsgálatában, hiszen gyorsabb, egyszerűbb és költséghatékonyabb.

Javaslat: Célszerű lenne a módszer alkalmazási körét bővíteni, és más gazdanövény-rendszerekre – például kétszikű növényfajokra – is adaptálni.

### 2. Terepi vizsgálatok:

A terepi kísérletek egyértelművé tették, hogy a természetes ellenségek jelenléte jelentős ökoszisztéma-szolgáltatást nyújt az *Oulema* fajok által okozott kártétel csökkentésében.

Javaslat: Javasolt olyan gazdálkodási gyakorlatok alkalmazása, amelyek támogatják a természetes ellenségek megőrzését, például diverz élőhelyek fenntartása, erdősávok telepítése, valamint a célzott, okszerű (nem rutinszerű), az kártevők térebéli eloszlását figyelembe vevő permetezés bevezetése, amely lehetővé teszi a biológiai ágensek túlélését és hosszú távú fennmaradását.

### 3. A *R. padi* és *P. alienus* prekolonizációjának hatása az *Oulema* fajok táplálkozására:

Az eredmények igazolták, hogy a különböző rovarfajok között kialakuló, növényen keresztül közvetített kölcsönhatások szigorúan fajspecifikusak és kimenetelük nagymértékben függ a gazdanövény válaszreakcióitól. A vetésfehérítő bogarak viselkedésének változása a kabóca- és levéltetű-fertőzés hatására különösen figyelemre méltó, és további vizsgálatokat indokol.

Javaslat: Érdemes fitohormonális elemzésekkel kiegészíteni a kísérleteket, hogy pontosabb képet kapjunk a növényi válaszreakciók hátterében húzódó mechanizmusokról.

### 4. Az *Oulema* fajok táplálkozásának hatása a *Psammotettix alienus* táplálkozására és utódszámára:

A kísérletek nem mutattak ki jelentős eltérést a kabócák viselkedésében a különböző kezelések hatására, ami arra utal, hogy a rágó típusú kártétel ebben az esetben nem befolyásolja érdemben a szipókás faj preferenciáját. Ez megerősíti a szakirodalmi megállapítást, miszerint az ilyen típusú kölcsönhatások rendszerspecifikusak.

Javaslat: A megfigyelések kiterjesztése más fajpárokra és gazdanövényekre, valamint különböző biotikus és abiotikus stresszfaktorok együttes hatásának vizsgálata új kutatási irányokat nyithat meg.

### 5. Elektropenetrográfias (EPG) vizsgálatok

Az adatok alapján a *P. alienus* képes érzékelni a növényi sérülések típusát, és ehhez táplálkozási viselkedését – különösen a hímek esetében – adaptívan módosítja. A természetes és mesterséges kártételek eltérő hatásai hangsúlyozzák, hogy a sérülés eredete meghatározó tényező a táplálkozási viselkedés szabályozásában.

Javaslat: További kutatások szükségesek annak feltárására, hogy pontosan milyen szövetszintű vagy molekuláris folyamatok

felelősek a viselkedésbeli eltérésekért, illetve milyen jelátviteli utak aktiválódnak különböző típusú sérülések esetén.

## ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Kidolgoztam egy új, az eddigiéknél gyorsabb, egyszerűbb és költséghatékonyabb hisztológiai eljárást, melynek segítségével a szipókás rovarok – elsősorban a kabócák táplálkozási viselkedése jobban feltérképezhető.
2. Az eredményeim kvantitatív módon igazolták, hogy a természetes ellenségek jelenléte szignifikánsan mérsékli az *Oulema* fajok által okozott levélkárosodás mértékét.
3. A vetésfehérítő bogár kártételi mértékének növekedésével csökkent az ezermagtömeg és a termés hozam.
4. A *P. alienus* és a *R. padi* prekolonizációja nincs szignifikáns hatással az *Oulema* fajok táplálkozására, azonban megfigyelhető egy érdekes tendencia, miszerint a levéltetűvel előkezelt növényeket szívesebben választja a kontroll növényekhez képest, szemben a kabóca által prekolonizált növényekkel, ahol gyakrabban választotta a kontroll növényeket.
5. Az *Oulema* fajok prekolonizációja nincs hatással a *P. alienus* táplálkozására és tojásrakására a választásos tesztben.
6. Az EPG-s vizsgálatok igazolták, hogy a mesterséges sebzés szignifikáns hatással volt a floémszíváson belül a nyáltermeléssel eltöltött idő hosszára, ami arra utal, hogy a csíkos gabonakabóca penetrációs viselkedése függ a növényt ért mechanikai kár biotikus/abiotikus eredetétől.
7. Az EPG-s vizsgálatokban szignifikáns különbséget találtam a nemek között az első floém-penetrációig eltelt időben.

8. Az EPG-s mérésekben az *Oulema* fajok által okozott kártétel szignifikáns hatást gyakorolt a penetrációs fázisok közötti átmenetek összes számára.
9. Az EPG-s mérésekben az *Oulema* fajok által okozott kártétel hímeknél szignifikánsan csökkentette az egyes táplálkozási fázisok közötti átmenetek számát.

## A SZERZŐNEK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓI

### 1. Folyóiratcikkek

**Gerstenbrand, R.** ; Fülöp, D. ; Samu, F. ; Tholt, G. Simplified and rapid staining of leafhopper salivary sheaths in plant tissues for electrical penetration graph waveform correlations Micron 140 Paper: 102959 (2021)

Samu, Ferenc ; Szita, Éva ; Simon, Janka ; Cséplő, Mónika ; Botos, Erika ; Pertics, Botond ; Růžičková, Jana ; **Gerstenbrand, Regina** ; Rakszegi, Marianna ; Elek, Zoltán ; Vida, Gyula ; Tholt, Gergely Cereal leaf beetle (*Oulema* spp.) damage reduces yield and is more severe when natural enemy action is prevented Crop protection 185 Paper: 106893 , 9 p. (2024)

### 2. Konferenciaközlemények

Samu, F ; **Gerstenbrand, R.** ; Simon, J. ; Fülöp, D. ; Szita, É. ; Botos, E. ; Tóth, F. ; Molnár, B. P. ; Vida, Gy. ; Jordán, F. ; Tholt, G. Gabona táplálékhálózatok vizsgálata – fajok közti interakciók feltárása komplex megközelítéssel In: Haltrich, Attila; Varga, Ákos (szerk.) 68. Növényvédelmi Tudományos Napok Budapest, Magyarország: Magyar Növényvédelmi Társaság (2022) 74 p. pp. 17-17. , 1 p.

Samu, F ; **Gerstenbrand, R.** ; Simon, D. ; Szita, É. ; Tóth, F. ; Molnár, B. P. ; Vida, Gy. ; Jordán, F. ; Tholt, G. Természetes ellenségek szerepe gabona táplálékhálózatokban: van-e tényleges hatás a terméseredményre? 7. Kvantitatív Ökológiai Szimpózium Vácrátót (2022) pp. 25

Samu Ferenc, Szita Éva, Simon, Janka, Cséplő Mónika, Botos Erika, Pertics Botond, Růžičková Jana, **Gerstenbrand Regina**, Rakszegi Marianna, Elek Zoltán, Vida Gyula és Tholt Gergely: Természetes ellenségek gátolhatják-e gabonakártevők kártételét? XXII. Magyar Pókász Találkozó Vácrátót-Vác (2023)

### 3. További tudományos művek

Fulop, David; Szita, Eva ; **Gerstenbrand, Regina** ; Tholt, Gergely ; Samu, Ferenc Consuming alternative prey does not influence the DNA detectability half-life of pest prey in spider gut contents PEERJ 7 Paper: e7680 , 14 p. (2019)

Pertics, Botond Zsombor; Tholt, Gergely; Kis, András; Szita, Éva; Gerő, Kornél; **Gerstenbrand, Regina**; Simon, Janka; Samu, Ferenc Widely-based full-genome analyses enable development of universal and strain-specific PCR toolkit for wheat dwarf virus detection, revealing new alternative hosts and challenging strain-host specificity Plant Methods 21 Paper: 100 (2025)

## IRODALOMJEGYZÉK

- ABT, I. & JACQUOT, E. 2015. Wheat dwarf. *Virus diseases of tropical and subtropical crops*. CABI Wallingford UK.
- ALI, J. G., AGRAWAL, A. A. & FOX, C. 2014. Asymmetry of plant-mediated interactions between specialist aphids and caterpillars on two milkweeds. *Functional Ecology*, 28, 1404-1412.
- BLUBAUGH, C. K., ASPLUND, J. S., EIGENBRODE, S. D., MORRA, M. J., PHILIPS, C. R., POPOVA, I. E., REGANOLD, J. P. & SNYDER, W. E. 2018. Dual-guild herbivory disrupts predator-prey interactions in the field. *Ecology*, 99, 1089-1098.
- CHISHOLM, P. J., EIGENBRODE, S. D., CLARK, R. E., BASU, S. & CROWDER, D. W. 2019. Plant-mediated interactions between a vector and a non-vector herbivore promote the spread of a plant virus. *Proc Biol Sci*, 286, 20191383.
- CHUCHE, J., SAUVION, N. & THIERY, D. 2017. Mixed xylem and phloem sap ingestion in sheath-feeders as normal dietary behavior: Evidence from the leafhopper *Scaphoideus titanus*. *J Insect Physiol*, 102, 62-72.
- DAVIDSON-LOWE, E., SZENDREI, Z. & ALI, J. G. 2018. Asymmetric effects of a leaf-chewing herbivore on aphid population growth. *Ecological Entomology*, 44, 81-92.
- DENNO, R. F., PETERSON, M. A., GRATTON, C., CHENG, J., LANGELLOTTA, G. A., HUBERTY, A. F. & FINKE, D. L. 2000. Feeding-Induced Changes in Plant Quality Mediate Interspecific Competition between Sap-Feeding Herbivores. *Ecology*, 81, 1814-1827.
- DONG, Y.-C., WANG, Z.-J., BU, R.-Y., DAI, H.-J., ZHOU, L.-J., HAN, P., AMIENS-DESNEUX, E., BEAREZ, P. & DESNEUX, N. 2020. Water and salt stresses do not trigger bottom-up effects on plant-mediated indirect interactions between a leaf chewer and a sap-feeder. *Journal of Pest Science*, 93, 1267-1280.
- HITCHCOX, M. E., MILLER, S., PIKE, K. S. & GOULD, M. C. 2002. Cereal leaf beetle survey and biocontrol activities in Washington State, 2002.
- JOSSI, W. & BIGLER, F. 1996. Getreidehähnchen: Ertragsverluste bei Winterweizen. 3: 120–123. *Agrarforschung*, 3, 120–123.
- KHEIRODIN, A., SHARANOWSKI, B. J., CÁRCAMO, H. A. & COSTAMAGNA, A. C. 2020. Consumption of cereal leaf beetle, *Oulema melanopus*, by generalist predators in wheat fields detected by molecular analysis. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 168, 59-69.
- KOORNNEEF, A. & PIETERSE, C. M. 2008. Cross talk in defense signaling. *Plant Physiol*, 146, 839-44.
- LYNCH, M. E., KAPLAN, I., DIVELEY, G. P. & DENNO, R. F. 2006. Host-Plant-Mediated Competition Via Induced Resistance: Interactions Between Pest Herbivores On Potatoes. *Ecological Applications*, 16, 855-864.
- MEINDL, P., KROMP, B., BARTL, B. & IOANNIDOU, E. 2001. Arthropod natural enemies of the cereal leaf beetle (*Oulema melanopus* L.) in organic winter wheat fields in Vienna, Eastern Austria. *IOBC/wprs Bulletin*, 24, 79-86.
- NOURI-GANBALANI, G., BORZOUI, E., SHAHNAVAZI, M. & NOURI, A. 2018. Induction of Resistance Against *Plutella xylostella* (L.) (Lep.: Plutellidae) by Jasmonic Acid and Mealy Cabbage Aphid Feeding in *Brassica napus* L. *Front Physiol*, 9, 859.
- PFRIEME, A. K., RUCKWIED, B., HABEKUSS, A., WILL, T., STAHL, A., PILLEN, K. & ORDON, F. 2022. Identification and Validation of Quantitative Trait Loci for Wheat Dwarf Virus Resistance in Wheat (*Triticum* spp.). *Front Plant Sci*, 13, 828639.
- POZSGAI, G. & SÁRINGER, G. 2006. The taxonomy and geographical distribution of the cereal leaf beetles (*Oulema* spp.) of Hungary. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 71(4), 53-56.
- SCHWEIGER, R., HEISE, A. M., PERSICKE, M. & MULLER, C. 2014. Interactions between the jasmonic and salicylic acid pathway modulate the plant metabolome and affect herbivores of different feeding types. *Plant Cell Environ*, 37, 1574-85.
- SOLER, R., BADENES-PÉREZ, F. R., BROEKGAARDEN, C., ZHENG, S. J., DAVID, A., BOLAND, W. & DICKE, M. 2011. Plant-mediated facilitation between a leaf-feeding and a phloem-feeding insect in a brassicaceous plant: from insect performance to gene transcription. *Functional Ecology*, 26, 156-166.
- SZABOLCS, J. & HORVATH, L. 1991. Predators and parasites of *Oulema* species in Hungary. *Növényvédelem*, 27, 166-172.
- SZUNICS, L., POCSAI, E., SZUNICS, L. & VIDA, G. 2000. Viral Diseases on Cereals in Central Hungary. *Acta Agronomica Hungarica*, 48, 237-250.
- THOLT, G., SAMU, F. & KISS, B. 2015. Feeding behaviour of a virus-vector leafhopper on host and non-host plants characterised by electrical penetration graphs. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 155, 123-136.
- TJALLINGII, W. F. 2006. Salivary secretions by aphids interacting with proteins of phloem wound responses. *Journal of experimental botany*, 57, 739-45.
- WILL, T., TJALLINGII, W. F., THÖNNESSEN, A. & VAN BEL, A. J. E. 2007. Molecular sabotage of plant defense by aphid saliva. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 10536-10541.