

FEROMONKUTATÁS: LÁTVÁNYOS SIKEREK ÉS MEGOLDATLAN KÉRDÉSEK

Szöcs Gábor, Molnár Béla Péter, Kárpáti Zsolt és Tóth Miklós

HUN-REN, Agrártudományi Kutatóközpont, Növényvédelmi Intézet,
1029 Budapest, Nagykovácsi út 26–30.
E-mail: szocs.gabor@atk.hun-ren.hu

MTA 200 ÉVES
A MAGYAR
TUDOMÁNYOS
AKADEMIA

A feromonkutatás (kémiai ökológia / chemical ecology) területén, hasonlóan más tudományágakhoz, hétről-hétről új eredményekről tudósító cikkek sokasága jelenik meg. Még az összefoglaló munkákkal, könyvekkel is könyvtárak polcai telnek meg. Ebben a rövid írásban azt szeretnénk érzékelteni, hogy a magyar feromonkutatás ezernyi szállal kapcsolódik a nemzetközi élvonalhoz. Azt is be szeretnénk mutatni, hogy a feromonkutatás a szemünk előtt hajt új ágakat, amelyek átszövik a társ-tudományokat. Arra is vetítünk egy kis fényt, hogy miközben a kártevő rovarok kémiai kommunikációjának feltárása terén – olykor több évtizedes erőfeszítések ellenére – még mindig sok a megoldatlan kérdés, ugyanakkor káprázatos, új távlatokat nyílnak. Bepillantathatunk a rovarok agyában lejátszódó ingerületvezetési folyamatokba csakúgy, mint a feromontermelést és érzékelést szabályozó molekuláris mechanizmusokba. A mesterséges intelligencia és a robotika korában pedig a ma felsejlő tudományos titkok a holnapunk mindennapjaivá válhatnak.

Kulcsszavak: kártevő előrejelzés, speciális műszerek, gazdasági igény, kutatási cél elérésének kockázata, új irányvonalak

A feromonkutatás kialakulására, fejlődésére visszatekintve a kiindulópont a tölgyfapohók (*Lasiocampa quercus*) és az éjjeli nagy pávaszem (*Saturnia pyri*) esetében annak kísérletes bizonyítása volt, hogy a hím lepkék a fajtárs nőtény lepkéket annak illata, későbbi elnevezéssel élve, szexferomona segítségével találják meg (Fabre 1900a, b). A következő állomás több, mint fél évszázaddal később a selyemlepke (*Bombyx mori*) nőtényei által termelt szexferomon kémiai azonosítása volt (Butenandt és mtsai 1959). Ezzel kezdetét vette a rovarok szexferomonjainak azonosítása. Már ekkor a kutatások indítéka egyértelműen az volt, hogy a mezőgazdaságban és erdőgazdaságban komoly károkat okozó lepké- és bogárfajok feromonját ezeknek a kártevőknek a monitorizálásához, rajzásuk vizsgálatához a védekezés érdekében felhasználják. Sorra jelentek meg a tudományos cikkek, amelyek fontos

kártevők szexferomonjának sikeres feltárásáról tudósítottak.

Ez a kártevő-központú irányvonal az 1960-as évek második felétől indult el, a virágkorát az 1970-es 1980-as évek tájékán érte el, és – ha visszafogottabb mértékben is – de a mai napig tetten érhető. Ennek jegyében jöttek léte kíválgató kutatócsoportok Ausztráliában, Európában és Észak-Amerikában. Néhányat példaként megemlítünk, olyanokat, amelyekkel később magunk is kapcsolatba kerültünk: CSIRO Division of Entomology (Canberra, Australia); Swiss Federal Research Station (Wädenswil, Switzerland); Institute für Organische Chemie, Universität Hamburg (Hamburg, Germany); Department of Ecology, Lund University (Lund, Sweden); Insect Attractants, Behavior, and Basic Biology Research Laboratory ARS, USDA (Gainesville, USA), Insect Chemical Ecology Laboratory, ARS, USDA

(Beltsville, USA). A gyors felfelé ívelést és virágkort egy sor fontos mezőgazdasági kártevő szexferomonjának kémiai azonosítása, és feromoncsapda kifejlesztése fémjelezte. Ennek illusztrálására az 1. táblázatban néhány olyan példát sorolunk fel a lepkék rendjéből, amelyek külföldi laboratóriumokhoz köthető, viszont a faj nálunk is fontos kártevő.

A feromonkutatás első évtizedeiben külföldi kutatók által elsőként azonosított szexferomonok, olyan lepkefajoknál, amelyek hazánkban is fontos kártevők

Magyar név	Latin név	Család	Hivatkozás
Keleti gyümölcsmoly	<i>Grapholitha molesta</i>	Tortricidae	Roelofs és mtsai 1969
Erdei gyapjaslepke	<i>Lymantria dispar</i>	Erebidae (Lymantriidae)	Bierl és mtsai 1970
Almamoly	<i>Cydia pomonella</i>	Tortricidae	Roelofs és mtsai 1971
Készletmoly	<i>Ephestia elutella</i>	Phycitidae	Brady és Nordlund 1971
Almailonca	<i>Adoxophyes orana</i>	Tortricidae	Meijer és mtsai 1972
Tarka szőlőmoly	<i>Lobesia botrana</i>	Tortricidae	Roelofs és mtsai 1973
Tarka szőlőmoly	<i>Lobesia botrana</i>	Tortricidae	Buser és mtsai 1974
Nyerges szőlőmoly	<i>eupoecilila (Clysia) ambiguella</i>	Tortricidae	Arn és mtsai 1976a
Szilvamoly	<i>Grapholitha funebrana</i>	Tortricidae	Arn és mtsai 1976b

Hazánk a Növényvédelmi Kutatóintézet (ma: HUN-REN ATK Növényvédelmi Intézet) Állattani Osztálya (ma: Kémiai Ökológiai Osztály) révén nagyon korán, már az 1970-es évek derekán bekapcsolódott a feromonkutatás nemzetközi vérkeringésébe. Ez egyrészt Jermy Tibor rovar-ökológus akadémikusnak, intézetünk egykori igazgatójának volt köszönhető, aki hamar felismerte, hogy a külföldi kutatási eredmények adaptálása a Kárpát-medence speciális állatföldrajzi-, klimatológiai viszonyai között csak szerény sikerrel kecsegtet. Ezért szorgalmazta a hazai feromonkutatás, mint önálló diszciplína megalapozását és segítette annak fellendülését. A gyors felívelés pedig Tóth Miklósnak köszönhető, aki nagy lelkesedéssel

és hozzáértéssel vetette bele magát a témába. Kiváló érzékkel jelölte ki a prespektivikus kutatási irányvonalat: olyan lepkefajokra összpontosítsunk, amelyek feromonja akkoriban még nem volt ismeretes, viszont palearktikus elterjedésűek (ennek megfelelően hazánkban is fontos kártevőként voltak nyilvántartva), ezért az elterjedésből adódóan kevésbé kellett

1. táblázat

attól tartanunk, hogy az amerikai kollégák „lelővik” előlünk az általunk kiszemelt fajok feromonjának azonosítását. A stratégiánk korántsem nélkülözte a nemzetközi együttműködések kiépítését, hiszen különösen a kezdetekben nélkülözhetetlen volt számunkra a külföldi feromonkémikusok bevonása mind az analitika, mind pedig a feromonkomponensek szintézise terén. A biológiai aktivitás szempontjából nélkülözhetetlen volt az izomerek és sztereoiszomerek elválasztása és nagy tisztaságú szintézise, ami a világ vezető feromonkémikusaival való együttműködések kialakítását tette szükségessé. Nem kis büszkeséggel töltött el minket, hogy már az 1980-as években olyan kiválóságokkal működhattunk együtt, mint George Rothschild

(CSIRO), Heinrich Arn (Swiss Federal Research Station), Wittko Francke (Universität Hamburg), Christer Löfstedt és Bill Hansson (Lund University), Jim Tumlinson (USDA ARS, Gainesville) és Meyer Schwarz (USDA ARS, Beltsville). Az eredmények nem is vártak magukra sokáig. De, mielőtt ebből egy kis csokorra valót bemutatnánk, ejtsünk néhány szót a feromon-szerkezetmeghatározás általános menetéről, módszertanáról.

Variációk egy témára, vagy mégsem?
A feromon-szerkezetmeghatározás általános menete ugyanis évtizedek óta hasonló, míg az egyes módszerek sokat változtak. A főbb lépések a kiválasztott faj párosodási viselkedési lépéseinek megismerése, a szexferomon termelés

helyének valamint a feromon kibocsátás szezonálisának és napszaki ritmusának feltárása, amelyet aztán a feromon kivonása és a kivonatok biológiai aktivitásának ellenőrzése követ. Amennyiben ez sikeres volt következhet a kivonatokból a feromonkomposensek kiszűrése, amely általában bioszenzoros- (csápdetektoros) gázkromatográfiával (GC-EAD)¹ történik. Ezt követi a feromonkomposensek szerkezetének feltárása, amely kulcsát a tömegspektroszkópiás eljárások jelentik (GC-MS). Amennyiben ez is sikeres, akkor már „csak” a komponensek nagy tisztaságú, izomér- (vagy ha a molekula királis, akkor enantiomér-szelektív) szintézise van hátra. De még itt sincs vége a folyamatnak, hiszen a szintetikus komponensek megfelelő arányú elegyítését, dozírozását és formulázását is ki kell dolgozni. És ha mindez megvan, akkor még hátra van, hogy a szabadföldön kipróbáljuk

a szintetikus csalétek hatástartamát, megbízhatóságát, valamint azt, hogy a célkártevőn kívül nincs-e hatással egyéb rovarfajokra, különösen a kártevővel rendszertani szempontból rokon-ságban lévő, hasonló kinézetű, de más tápnövényen élő (azaz nem-kártevő, esetleg hasznos) fajokra. Az egyes módszerekről vaskos szak-könyvek és megannyi könyvfejezet jelent meg a nagyvilágban. Egy nagyon tömör, kiváló összefoglaló azonban magyar nyelven is elérhető (Vuts és mtsai 2018).

A magyar feromonkutatásnak a kártevők előrejelzésére irányuló felívelő szakaszának néhány eklatáns eredményét a 2. táblázatban mutatjuk be. A táblázatból kiolvasható az is, hogy a kutató munka egy pillanatig sem volt sablonos, hanem élvezetes, izgalmas kalandok sorozata. Mindegyik faj más-és-más kihívást jelentett, más buktatókat kellett leküzdeni a sikerhez.

2. táblázat

Példák a hazai feromonkutatás sikereiről: Ezeknek a kártevő lepkefajoknak a szexferomonját – feromon-kémikusokkal együttműködve – mi határoztuk meg

Magyar név	Latin név	Család	Az új tudományos eredmény különlegessége, jelentősége	Hivatkozás
Káposzta-bagolylepke	<i>Mamestra brassicae</i>	Noctuidae	első hazai feromon-meghatározás	Novák és mtsai 1979
Vetési bagolylepke	<i>Agrotis (Scotia) segetum</i>	Noctuidae	2 új feromon-komponens, nélkülözhetetlenek a távhatáshoz	Tóth és mtsai 1980
Ribizszeszitkár	<i>Synanthedon tipuliformis</i> populációk (HU, AUSTR, NZ, EU, CAN)	Sesiidae	A paleartikumra nézve új izomér; feromon-polimorfizmus	Szőcs és mtsai 1985, Szőcs és mtsai 1990, Szőcs és mtsai 1991, Szőcs és mtsai 1998
Gamma bagolylepke	<i>Autographa gamma</i>	Noctuidae	kisebbik komponens azonosítása, viselkedési szerepe	Tóth és mtsai 1983
Barnacsikos sárgamoly	<i>Agapeta zoezana</i>	Tortricidae	biológiai védekezés céljából É-Amerikába betelepített moly sikeres megtelepedésének követése az új feromoncsapdával	Tóth és mtsai 1985
Tarka kertibagolylepke	<i>Mamestra suasa</i>	Noctuidae	kisebbik komponens azonosítása, viselkedési szerepe	Tóth és mtsai 1986
Szőlőilonca	<i>Sparganothis pilleriana</i>	Tortricidae	két új komponens azonosítása, így már működik a feromoncsapda	Guerin és mtsai 1986
Lombosfa-fehérmoly	<i>Leucoptera malifoliella (scitella)</i>	Lyonetiidae	két metil csoport miatt királis feromon; rokona a kávé-aknázómoly-nak	Francke és mtsai 1987, Tóth és mtsai 1989a

¹ Megjegyezzük, hogy ilyen műszeregyüttes hazánkban, sőt a régiókban is egyedül az Intézetünkben működik.

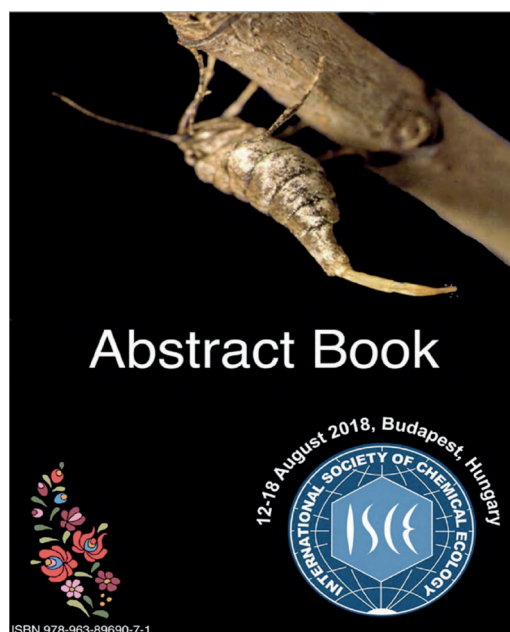
A 2. táblázat folytatása

Magyar név	Latin név	Család	Az új tudományos eredmény különlegessége, jelentősége	Hivatkozás
Közönséges- és sárgafényű aranybagoly	<i>Dyachrysia chrysitis</i> és <i>D. tutti</i>	Noctuidae	A reproduktív izoláció / faj-szétválás köztes fázisa	Tóth és mtsai 1988, Lőfstedt és mtsai 1994
Akác-moly	<i>Etiella zinckenella</i>	Pyalidae: Phycitinae		Tóth és mtsai 1989b, Tóth és mtsai 1996
Amerikai fehér medvelepke	<i>Hyphatria cunea</i>	Arctiidae	Diepoxid komponensek, sztereoizomerek	Tóth és mtsai 1989c
Sárga lucernaaraszó	<i>Tephрина arenacearia</i>	Geometridae	királis feromon	Tóth és mtsai 1991
Köszmétearaszó	<i>Abraxas grossulariata</i>	Geometridae	királis feromon	Tóth és mtsai 1992
Somkóró- és mácsonya-bagolylepke	<i>Heliothis maritima</i> és <i>H. virescens</i>	Noctuidae	aldehid főkomponens mellett aldehid is, ennek arány fajra jellemző	Szőcs és mtsai 1993a
Tollascsapú-, nagy-, aranyos téliaraszó és tölgy- és sárgás tavasziaszó	<i>Colotois pennaria</i> , <i>Erannis defoliaria</i> , <i>Agriopsis aurantiaria</i> , <i>A. leucophaea</i> , <i>A. marginaria</i>	Geometridae	királis feromonok szerepe a fajok elkülönülésében (a rajzási időszak mellett)	Szőcs és mtsai 1993b
Almalevél törpeaknázómoly	<i>Stigmella malella</i>	Nepticulidae	ősi, szekunder alkohol típusú feromon	Tóth és mtsai 1995
Európai süzsanót-dízmoly	<i>Agonopterix ulicetella</i>	Oecophoridae	biológiai védekezés céljából Új-Zélandra betelepített moly sikeres megtelepedésének kimutatása az új feromoncsapdával	Suckling és mtsai 2000
Vadgesztenyelevél-aknázómoly	<i>Cameraria ohridella</i>	Gracillariidae	A nősténylepke csak pikogramnyi mennyiségben termeli a feromont, a GC-nek csak a csápdetektora (EAD) érzékeli	Francke és mtsai 2002
Északi téliaraszó	<i>Operophtera fagata</i>	Geometridae	A kisebbik komponens a GC-nek csak a csápdetektora érzékeli, ez különbözteti el az <i>O. brumata</i> fajtól	Szőcs és mtsai 2004
Nyárfa-gyapjaslepke	<i>Leucoma salicis</i>	Erebidae (Lymantriidae)	Királis epoxid	Szőcs és mtsai 2005
Tölgyaknázó sörtés-moly	<i>Tischeria ekebladella</i>	Tischeriidae	nemcsak új szerkezetű feromon, hanem új természetes anyag is (MS könyvtárakban nem szerepelhetett)	Molnár és mtsai 2012
Selyemfényű puszpángmoly	<i>Cydalima perspectalis</i>	Crambidae: Spilomelinae (Pyralinae)	Lárva ürülékéből azonosított vegyületek taszítják a fajtárs, tojásrakó nőstényeket	Molnár és mtsai 2017
Pontuszi tűzmoly	<i>Duponchelia fovealis</i>	Crambidae: (Pyralinae)	Első, lepkénél kimutatott trans- (E) konfigurációjú feromon főkomponens	Molnár és mtsai 2018
Selyemfényű puszpángmoly	<i>Cydalima perspectalis</i>	Crambidae: Spilomelinae (Pyralinae)	A lepkék vonzásához olyan tápnövény-illat alapú csalétek kidolgozása, amely csak a távhatású komponenseket tartalmazza (szemben a lepke által felfogott sok egyéb komponenssel)	Molnár és mtsai 2019

A jelen cikk terjedelmi korlátai miatt a táblázatban csak a lepkékre szorítkoztunk, pedig idővel a bogarak, gyümölcslegyek, gubacsszünnyogok is terítékre kerültek. Külön fejezetet érdemelne a tápnövény-illatanyagokon (kairmonokon) alapuló tápnövény – fitofág rovar kémiai kommunikációs csatorna és ennek kölcsönhatása a kártevő ivari kommunikációjával. Az ebbe a témába tartozó eredményeink sorából most csak egyet emelünk ki: a Smaragd tuja és a nagy tujaszú (borókasú) (*Phloeosinus aubei*) bonyolult, királis illatanyagokon alapuló kolonizációs folyamatát (Bozsik és mtsai 2024). Szintén terjedelmi korlátok miatt nem térhetünk ki a feromonokon alapuló kártevő-gyérítési módszerek kidolgozását célzó kutatásokra (pl. légtérletítés “air permeation / mating disruption / confusion technique”, csald és öld “lure and kill”). Ennek a korszaknak, legalábbis a korszak első évtizedeinek további érdekessége a hazai feromonkutatás részéről, hogy a szerteágazó nemzetközi együttműködéseinket szinte kivétel nélkül kutatói lelkesedés hívta életre és működtette (mindegyik partner részéről), nemzetközi pályázatok bürokratikus útvesztőibe akkoriban nem kellett bocsátkoznunk.

A nemzetközi együttműködésben írt tudományos cikkeinken kívül a magyar feromonkutatás elismerését jelzik, hogy hazánkban három rangos nemzetközi feromonos konferencia került megrendezésre. A Nemzetközi Biológiai Védekezés Európai részlegének Kelet- és Nyugat-Palearktikus Szekciója (*International Organization of Biological Control East- and West-Palearctic Research Section* – IOBC WPRS and EPRS) első alkalommal megrendezett közös tudományos konferenciájára “*Development of application of attractant pheromones for monitoring and forecasting of insect pests in agriculture and forestry, with special attention to species occurring in both East- and West-Europe*” címmel Balatonalmádiban került sor, 1984-ben. Majd 2009-ben egy hasonló közös IOBC WPRS-EPRS konferencia volt Budapesten, Szemiokemikáliák határok nélkül (“*Semiochemicals without borders*”) címmel. A sorból kiemelkedik a Nemzetközi Kémiai Ökológiai Társaság (*International So-*

ciety of Chemical Ecology) 34. éves konferenciája 2018-ban, amely szintén Budapesten került megrendezésre (ISCE2018) (1. ábra). Mind-egyiknek a házigazdája az intézetünk volt, a főszervezője pedig Tóth Mikós és Csapata. A legutóbbi időben pedig Kárpáti Zsolt alakított ki gyümölcsöző együttműködést Thomas Schmitt professzor Evolúciós Kémiai Ökológiai Csoportjával a Würzburgi Egyetem (Evolutionary Chemical Ecology Group, Department of Animal Ecology and Tropical Biology, University of Würzburg) (Kárpáti 2023).



1. ábra. A „34th Annual Meeting of the International Society of Chemical Ecology”, Budapest, 2018, Összefoglaló kötetének borító lapja

Az ismeretterjesztést mindig is szívügyünknek tekintettük. Amikor egy újabb kártevő feromonját sikerült azonosítanunk, igyekeztünk késedelem nélkül tájékoztatni a hazai szakmai köröket is, sőt széles körben a gazdákat és a tudomány új eredményei iránt fogákony érdeklődőket is. Itt most nincs lehetőség arra, hogy akárcsak néhány írásunkat beidézzük. Egy kivételt azért teszünk: erről a ma is prosperáló korszakról szól közérthető formában egy tudományos-ismeretterjesztő zsebkönyvünk is (Molnár és Szöcs 2023).

Alapkutatói eredményeinkre támaszkodva 1993-ban, Intézetünk szaktanácsadói tevékenységének részeként, beindítottuk a CSALOMON® feromoncsapda családot. A 2020-as évek elejére a mezőgazdasági termelők már mintegy 200 kártevő rovarfaj előrejelzésére, észlelésére alkalmas feromoncsapdát vásárolhattak a CSALOMON®-től. A csapdák használatával, az illető kártevők tulajdonságaival foglalkozó, folyamatosan frissített, kimerítő szaktanácsadói anyagok szabadon elérhetők honlapunkon (www.csalomoncsapdak.hu). Sajnálatos módon a CSALOMON® hatékony működtetését napjainkban jelentősen megnehezíti az Intézet Julianna majori Kísérleti Telepének felszámolására irányuló törekvés.

Ahogy egy termőre forduló gyümölcsfa is új ágakat hoz, úgy hozott új ágakat a feromonkutatás is – előbb külföldön, de ehhez kapcsolódóan nemsokára magyar kutatók részvételével külhoni és itthoni feromon-laboratóriumokban. Még fontos kártevők feromonjának azonosítása várat magára, még több évtizedes erőfeszítések ellenére sem ismerjük sok faj kémiai kommunikációjának fontos részleteit, még továbbra is sürgető az igény, hogy ezekre a fajokra is kifejlesszünk feromoncsapdát, de máris szédítően új távlatokat nyitnak a feromonkutatás új ágai.

A rovar-elektrofiziológia szintet lépett: a perifériás érzékelés kutatása, a rovarcsápon feromonhatásra keletkező ingerületek vizsgálata az elektroantennográfiától (EAG) előbb az egyedi érzékszőrök vizsgálatára (Single Sensillum Recordings – SSR), majd pedig az ingerületek primer agyi reprezentációjának felderítésének szintjeire emelkedett. Az új technikák lehetővé tették, hogy élő rovarokon *in-situ* nyomon lehessen követni a fiziológiai folyamatok lefutásának menetét. Így például közvetlenül mérni lehet, hogy milyen változások zajlanak le a csápon lévő, a feromon felfogásáért felelős érzékszőrök belsejében az ingerlést követően, hogyan jön az idegsejt ingerületbe („firing”) milliszekundumok alatt és miként terjed tovább a csápból az agyba az idegpályán az ingerület. A hazai feromonkutatás – szintén nemzetközi együttműködéssel – ilyen kérdések tanul-

mányozásához is csatlakozott. Így például a perifériás feromon érzékeléssel kapcsolatban sikerült igazolnunk, hogy a csápon elhelyezkedő, feromon felfogásért felelős érzékszőrök adaptációja okozza a kukoricamolylet (*Ostrinia nubilalis*) hímek esetében, hogy miután a neki megfelelő arányú, kétkomponensű szintetikus feromonforrás irányába felrepül, a repülés közben már csökken az a képessége, hogy a feromonkeverék pontos arányát érzékeli (Kárpáti és mtsai 2013). Ez olyan területeken, ahol a kukoricamolynak mindkét feromontörzse megtalálható (pl. Olaszország, Franciaország, Szlovénia és az 1900-as évek elején történt behurcolást követően Észak-Amerika), a törzsek közötti egyébként ritka hibridizáció valószínűségét megnövelheti. Ugyancsak a kukoricamolylet esetében központi idegrendszeri neurofiziológiai és neuroanatómiai vizsgálatok során sikerült mindkét feromontörzs esetében azonosítanunk azokat az agy szaglólólebenyében (antennal lobe) elhelyezkedő területeket, melyek a feromonkomponensek felfogásáért felelősek (Kárpáti és mtsai 2008).

Természetesen a molekuláris biológiai módszerek is egyre szélesebb teret nyertek a feromonkutatásban. A feromon-receptorokat valamint a feromon-bioszintézisben részt vevő enzimeket kódoló gének irodalma rohamosan terebélyesedik. Hasonlóképpen növekszik ennek megfelelően a molekuláris összehasonlításokat, törzsfákat közlő cikkek száma is. E helyütt meg sem kísérelhetjük, hogy erről a területről akárcsak egy vázlatos áttekintést nyújtsunk. Csupán érdekességnek említjük meg, hogy manapság már nem lehetetlen, legalábbis laboratóriumi szinten, hogy élesztőgombával bizonyos lepkefajok szexferomonját állítsassuk elő heterológ expresszió segítségével (Hangström és mtsai 2013). Saját házunk tájára visszatérve, a kukoricamolylet (*O. nubilalis*) ún. E- és Z-feromontörzseire molekuláris markert írtunk le, amelynek segítségével már hernyó stádiumban meg lehet állapítani, hogy melyik törzshöz tartozik az adott helyen fellépő populáció (Bozsik és mtsai 2019). Ez azért fontos, mert a törzsek egyébként morfológiailag megkülönböztethetetlenek egymástól, ugyanakkor kizárólag törzs-specifikus feromoncsapdával van

esély a monitorozásukra. Egy további cikkünkben pedig a kukoricamoly feromontermelésének beindításáért felelős neurohormont (pheromone biosynthesis activating neuropeptide – PBAN) kódoló genomi régió klónozása révén a folyamatban résztvevő mRNS expresszióját és méret szerinti osztályait tártuk fel (Fodor és mtsai 2017).

A fentiekből látható, hogy az egyre-másra jelentkező gyakorlati problémákra mindig is fogékonyak voltunk. Kerestük a megoldást, ha új, inváziós kártevő ütötte fel a fejét, és akkor is, ha valamilyen okból (pl. az engedélyezett növényvédő szerek körének szűkülése miatt és/vagy peszticid-rezisztens populációk kialakulása miatt) egy már jól ismert kártevő vált hirtelen sokkal veszélyesebbé, mint korábban. Az utóbbi években például az ázsiai méhatka (*Varroa destructor*) kaptáron belüli elterelésére keresünk olyan fiasítási illanyagokat (kairomonokat), amelyek felhasználhatóak lesznek az atkák felszaporodásának megakadályozására, ily módon a méhcsaládok megvédésére (Teski és mtsai 2022).

Végül, egy példa erejéig térjünk vissza az alapokhoz, ahhoz, hogy milyen fontos, hogy a kártevő viselkedését pontosan megismerjük. Egy általánosan elfogadott paradigma dőlhet meg, legalábbis a vizsgált tápnövény-rovar kapcsolatra vonatkozóan. Kimutattuk ugyanis, hogy a trópusi környezetben széles körben alkalmazott köztes termesztésben használt, repellens (push) növény, a *Desmodium intortum* (Fabaceae) mégsem az elképzelt módon éri el a kártevő lepkék egyedszámának csökkenését (Erdei és mtsai 2024). A növény illatmintázatának vizsgálata rámutatott, hogy a növény nem olyan mértékben termeli a riasztásban szerepet játszó (mono- és szeszkviterpén) vegyületeket, mely alátámasztaná a repellens mivoltát. Éppen ellenkezőleg, ugyanis az őszi sereghernyójú bagolylepke (*Spodoptera frugiperda*) nőtényei előszeretettel választják tojásrakásra az egyik tápnövényükkel, a kukoricával szemben, sőt ha a lárváknak kínálnak választást, azok is a *Desmodium* növényt választják tápnövénynek. Viszont a növény föld feletti részeit borító szilíciumban gazdag horgas és túszerű fedősző-

rők (trichoma) tömegesen képesek csapdába ejteni a hernyókat. A horgas szőrök beleakadnak a hernyók kutikulájába és egyre mélyebbre hatolva a testükbe, immobilizálják őket. A szabadulni próbáló áldozatba még több szőr akad bele, perforálva a szerveit, mely végső soron a lárvá elpusztulásához vezet. A szőrök olyan erősen tartanak, hogy akár kisebb hüllőket, kétélűeket is csapdába ejthetnek. Ahogyan a tanulmány egyik kutatója rámutatott, a *Desmodium* végső soron hatékonyan eléri a kártevő populáció csökkentését, de a hatás mód merőben eltérő és meglepő. Nem riasztó illat burkot von a kultúrnövény köré, inkább szögesdrótot képez. Mindezek ismerete más kártevő rovar – tápnövény kapcsolat esetében is fontos lehet a megfelelő csaletek-növény kiválasztásában, és egyben példát szolgáltat egy alternatív mechanizmusra a híres „push-pull” (Cook és mtsai 2007) (TM érzékletes magyar fordításában: húzi-voni) technológián belül.

Ahogy a kis mustármagból nagy növény sarjad, úgy szökken szárba a feromonkutatás. Hajtotta az adottsága, a benne rejlő örökség. Minket feromon-kutatókat is hajt a megismerés vágya. Miként a mustármagnak, nekünk is szükségünk van ehhez jó talajra, gondoskodásra is.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük Intézetünk Állattani Osztálya és Kémiai Ökológiai Osztálya minden korábbi és mostani kutatójának és aszisztensének, akik a feromonkutatásokban az évtizedek során részt vettek. Köszönet illeti továbbá a nemzetközi és hazai együttműködőket, továbbá a pályázati források finanszírozóit. És nem utolsósorban köszönet azoknak a hazai és külföldi gazdáknak, akik a kutatásaink eredményeképpen megvalósult CSALOMON® feromoncsapdákat használják.

IRODALOM

- Arn, H., Rauscher, S., Buser, H.-R. and Roelofs, W. L. (1976a): Sex pheromone of *Eupoecilia ambiguella*: cis-9-dodecenyl acetate as a major component. Zeitschrift für Naturforschung, 31C: 499–503.

- Arn, H., Delley, B., Baggolini, M. and Charmillot, P. J. (1976b): Communication disruption with sex attractant for control of the plum fruit moth, *Grapholitha funebrana*: a two-year field study. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 19: 139–147.
- Bierl, B. A., Beroza, M. and Collier, C. W. (1970): Potent sex attractant of the gypsy moth: its isolation, identification, and synthesis. *Science*, 170: 87–89.
- Bozsik, G., Lakatos, A., Szócs, G. and Tóth, I. (2019): Screening some common molecular markers and a desaturase marker, linked to sex pheromone biosynthesis, in three Z-strain and an E-strain populations of the European corn borer, *Ostrinia nubilalis*, occurring in Central Europe. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 54(1): 127–136. DOI: 10.1556/038.54.2019.011
- Bozsik, G., Molnár, B. P., Hegedüs, K., Soós, T., Schulz, S., Tröger, A., Francke, W. and Szócs, G. (2024): (–)-myrtenol and (–)-apinene: Aggregation pheromone components of the cypress bark beetle *Phloeosinus aubei*. *Journal of Applied Entomology*, 148: 351–363. DOI: 10.1111/jen.13231
- Brady, U. E. and Nordlund, D. A. (1971): Cis-9,trans-12 tetradecadien-1-yl acetate in the female tobacco moth *Ephestia elutella* (Hübner) and evidence for an additional component of the sex pheromone. *Life Science*, 10: 797–801.
- Buser, H.-R., Rauscher, S. and Arn, H. (1974): Sex pheromone of *Lobesia botrana*: (E,Z)-7,9-dodecadienyl acetate in the female grape vine moth. *Zeitschrift für Naturforschung*, 29C: 781–783.
- Butenandt, A., Beckman, R., Stamm, D. and Hecker, E. (1959): Über den Sexualstoffe des Seidenspinners *Bombyx mori*. Reindarstellung und Konstitution. *Zeitschrift für Naturforschung*, 14B: 283–284.
- Cook, S. M., Khan, Z. R. and Pickett, J. A. (2007): The use of push-pull strategies in integrated pest management. *Annual Review of Entomology*, 52: 375–400. doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091407, PMID: 16968206
- Erdei, A. L., David, A. B., Savvidou, E. C., Džemedžionaitė, V., Chakravarthy, A., Molnár, B. P. and Dekker, T. (2024): The push-pull intercrop *Desmodium* does not repel, but intercepts and kills pests. *Elife*. 2024 Mar 13;13:e88695. doi: 10.7554/eLife.88695. PMID: 38477562; PMCID: PMC11021049.
- Fabre, J.-H. (1900a): Le Grand-Paon. (*Saturnia pyri* Schiff.). Souvenirs entomologiques, Septième Série, chapitre 23, Paris
- Fabre, J.-H. (1900b): Le Minime a Bande. (*Lasioampa quercus* L.). Souvenirs entomologiques, Septième Série, chapitre 24, Paris
- Fodor, J., Köblös, G., Kákai, Á., Kárpáti, Zs., Molnár, B. P., Dankó, T., Bozsik, G., Bognár, Cs., Szócs, G. and Fónagy, A. (2017): Molecular cloning, mRNA expression and biological activity of the pheromone biosynthesis activating neuropeptide (PBAN) from the European corn borer, *Ostrinia nubilalis*. *Insect Molecular Biology*, 26(5): 616–632.
- Francke, W., Franke, S., Tóth, M., Szócs, G., Guerin, P. and Arn, H. (1987): Identification of 5,9-dimethylheptadecane as a sex pheromone of the moth *Leucophaea scitella*. *Naturwissenschaften*, 74:143–144.
- Francke, W., Franke, S., Bergmann, J., Tolasch, T., Subchev, M., Mircheva, A., Toshova, T., Svatos, A., Kalinova, B., Kárpáti, Zs., Szócs, G. and Tóth, M. (2002): Female sex pheromone of *Cameraria ohridella* Desch. and Dim. (Lepidoptera: Gracillariidae): Structure confirmation, synthesis and biological activity of (8E, 10Z)-8,10-tetradecadienal and some analogues. *Zeitschrift für Naturforschung*, 57C: 739–752.
- Guerin, P. M., Buser, H.-R., Tóth, M., Höbaus, E., Schmid, A. and Arn, H. (1986): Sex pheromone of *Sparganothis pilleriana*: E- and Z-11-tetradecenyl acetates as essential components. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 40: 137–140.
- Hagström, Á. K., Wang, H.-L., Liénard, M. A., Lassance, J. M., Johansson, T. and Löfstedt, C. (2013): A moth pheromone brewery: production of (Z)-11-hexadecenol by heterologous co-expression of two biosynthetic genes from a noctuid moth in a yeast cell factory. *Microbial Cell Factories*, 12: 125 <http://www.microbialcellfactories.com/content/12/1/1>
- Kárpáti Zs. (2023): Kétnapos magyar-német kémiai-ökológiai workshopot tartottak a Növényvédelmi Intézetben. *Növényvédelem*, 84(N.S. 59): 524.
- Kárpáti, Zs., Dekker, T. and Hansoon, B. S. (2008): Reversed functional topology in the antennal lobe of the male European corn borer. *Journal of Experimental Biology*, 211: 2841–2848.
- Kárpáti, Zs., Tasin, M., Cardé, R. T. and Dekker, T. (2013): Early quality assessment lessens pheromone specificity in a moth. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110: 7377–7382.
- Löfstedt, C., Hansson, B. S., Tóth, M., Szócs, G., Buda, V., Bengtsson, M., Ryrholm, N., Svensson, M. and Priesner, E. (1994): Pheromone differences between sibling taxa *Diachrysia chrysitis* (Linnaeus, 1758) and *D. tutti* (Kostrowicki, 1961) (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Chemical Ecology*, 20: 91–109.
- Meijer, G. M., Ritter, F. J., Persoons, C. J., Minks, A. K. and Voerman, S. (1972): Sex pheromone of summer fruit tortrix moth *Adoxophyes orana*: two synergistic isomers. *Science*, 175: 1469–1470.
- Molnár B. P. és Szócs G. (2023): A csábítás illatai – A feromonok és a kairomonok szerepe a lepkék életében. *Kaleidoszkóp Könyvek. HUN-REN Magyar Kutatási Hálózat – Libri, Budapest*, pp. 153.

- Molnár, B. P., Tröger, A., Toshova, Th. B., Subchev, M., van Nieukerken, E. J., Sjaak-Koster, J. C., Szócs, G., Tóth, M. and Francke, W. (2012): Identification of the females-produced sex pheromone of *Tischeria ekebladella*, an oak leafmining moth. *Journal of Chemical Ecology*, 38: 1298–1305.
- Molnár, B. P., Tóth, Z. and Kárpáti, Zs. (2017): Synthetic blend of larval frass volatiles repel oviposition in the invasive box tree moth, *Cydalima perspectalis*. *Journal of Pest Science*, 90: 873–885. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0837-0>
- Molnár, P. B., Bognár, Cs., Erdei, A. L., Fujii, T., Vági, P., Jósvai, J. K. and Kárpáti, Zs. (2018): Identification of the Female-Produced Sex Pheromone of an Invasive Greenhouse Pest, the European Pepper Moth (*Duponchelia fovealis*). *Journal of Chemical Ecology*, 44: 257–267. <https://doi.org/10.1007/s10886-018-0928-2>
- Molnár, B. P., Kárpáti, Zs. Nagy, A., Szarukán, I., Csabai, J., Koczor, S. and Tóth, M. (2019): Development of a female-targeted lure for the box tree moth *Cydalima perspectalis* (Lepidoptera: Crambidae): a preliminary report. *Journal of Chemical Ecology*, 45: 657–666.
- Novák, L., Tóth, M., Balla, J. and Szántay, Cs. (1979): Sex pheromone of the cabbage armyworm, *Mamestra brassicae*: isolation, identification and stereocontrolled synthesis. *Acta Chimica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 102: 135–140.
- Roelofs, W. L., Comeau, A. and Selle, R. (1969): Sex pheromone of the oriental fruit moth. *Nature*, 224: 723.
- Roelofs, W. L., Comeau, A. and Hill, G. M. (1971): Sex attractant of the codling moth: characterization with electroantennogram technique. *Science*, 174: 297–299.
- Roelofs, W. L., Kochansky, J., Cardé, R., Arn, H., and Rauscher, S. (1973): Sex attractant of the grape vine moth, *Lobesia botrana*. *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, 46: 71–73.
- Suckling, D.M., Gibb, A.R., Gourlay, H., Conant, P., Hirayama, C., Leen, R. and Szócs, G. (2000): Sex attractant for the gorse biocontrol agent *Agonopterix ulicetella* (Oecophoridae). *New Zealand Plant Protection Society*, 53: 66–70.
- Szócs, G., Schwarz, M., Sziráki, Gy., Tóth, M., Klun, J. A. and Leonhardt, B. A. (1985): Sex pheromone of the female currant borer, *Synanthedon tipuliformis*: identification and field evaluation. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 39: 131–133.
- Szócs, G., Miller, L.A., Thomas, W., Vickers, R. A., Rothschild, G. H. L., Schwarz, M. and Tóth, M. (1990): Compounds modifying male responsiveness to main female sex pheromone component of the currant borer, *Synanthedon tipuliformis* Clerck (Lepidoptera: Sesiidae) under field conditions. *Journal of Chemical Ecology*, 16: 1289–1305.
- Szócs, G., Búda, V., Charmillot, P., Esbjerg, P., Freier, B., Gottwald, R., Kovalev, B., Maini, S., Solomon, M. G., Sorum, O., Subchev, M., Tóth, M. and Van de Veire, M. (1991): Field tests of (*E,Z*)-3,13-octadecadien-1-ol acetate: a sex attractant synergist for male currant borer, *Synanthedon tipuliformis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 60: 283–288.
- Szócs, G., Raina, A., Tóth, M. and Leonhardt, B. A. (1993a): Sex pheromone components of *Heliothis maritima*: chemical identification, flight tunnel and field tests. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 66: 247–253.
- Szócs, G., Tóth, M., Francke, W., Schmidt, F., Philipp, P., König, W. A., Mori, K., Hansson, B. S. and Löfstedt, C. (1993b): Species discrimination in five species of winter-flying geometrids (Lepidoptera) based on chirality of semiochemicals and flight season. *Journal of Chemical Ecology*, 19: 2721–2735.
- Szócs, G., Henderson, D. and McNeil, J. N. (1998): Old World pheromone strain in the New World: sex attractant composition for the currant borer, *Synanthedon tipuliformis* Cl. (Lepidoptera: Sesiidae), in Canada. *The Canadian Entomologist*, 130: 231–234.
- Szócs, G., Tóth, M., Kárpáti Zs., Zhu, J., Löfstedt, C., Plass, E. and Francke, W. (2004): Identification of polyenic hydrocarbons from the northern winter moth, *Operophtera fagata*, and development of a species specific lure for pheromone traps. *Chemoecology*, 14: 53–58.
- Szócs, G., Tóth, M. and Kenji, M. (2005): Absolute configuration of the major sex pheromone component of the satin moth, *Leucoma salicis*, verified by field trapping test in Hungary. *Chemoecology*, 15: 127–128.
- Teski, A., Brunner, S. and Szócs, G. (2022): Electrophysiological response of *Varroa* mite to honeybee drone brood volatiles. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 57(2): 220–228. DOI: 10.1556/038.2022.00147
- Tóth, M., Jakab, J. and Novák, L. (1980): Identification of two components from the sex pheromone system of the white-line dart moth, *Scotia segetum* (Schiff.) (Lep., Noctuidae). *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 90: 505–510.
- Tóth, M., Szócs, G., Majoros, B., Bellas, T. E. and Novák, L. (1983): Experiments with a two-component sex attractant of the silver Y moth (*Autographa gamma* L.), and some evidence for the presence of both components in natural female sex pheromone. *Journal of Chemical Ecology*, 9: 1317–1325.
- Tóth, M., Guerin, P. M., Buser, H-R., Müller, H., Szócs, G., Sziráki, Gy. and Arn, H. (1985): Z-11-Tetradecenyl acetate: sex attractant of *Agapeta zoegana* (Lepidoptera: Tortricidae), a potential

- species for the biological control of knapweed. The Canadian Entomologist, 117: 1163–1165.
- Tóth, M., Szőcs, G., Löfstedt, C., Hansson, B.S. and Subchev, M.** (1986): Sex pheromone components of *Mamestra suasa*: chemical analysis, electrophysiological activity, wind tunnel activity and field tests in two European countries. Entomologia Experimentalis et Applicata, 42: 291–299.
- Tóth, M., Szőcs, G., Molnár, J. and Szarukán, I.** (1988): Field tests with sex attractants of *Diachrysa chrysitis* and *D. tutti* (Lepidoptera: Noctuidae) at several sites in Hungary. Zeitschrift für Naturforschung, 43C: 463–466.
- Tóth, M., Helmchen, G., Leikauf, U., Sziráki, Gy. and Szőcs, G.** (1989a): Behavioral activity of optical isomers of 5,9-dimethylheptadecane, the sex pheromone of *Leucoptera scitella* L. (Lepidoptera: Lyonetiidae). Journal of Chemical Ecology, 15: 1535–1543.
- Tóth, M., Löfstedt, C., Hansson, B. S., Szőcs, G. and Farag, A. I.** (1989b): Identification of four components from the female sex pheromone of the lima-bean pod borer, *Etiella zinckenella*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 51: 107–112.
- Tóth, M., Buser, H-R., Peña, A., Arn, H., Mori, K., Takeuchi, T., Nikolaeva, L. N. and Kovalev, B. G.** (1989c): Identification of (3Z,6Z)-1,3,6-9,10-epoxyheneicosatriene and (3Z,6Z)-1,3,6-9,10-epoxyeicosatriene in the sex pheromone of *Hyphantria cunea*. Tetrahedron Letters, 30: 3405–3408.
- Tóth, M., Szőcs, G., Löfstedt, C., Hansson, B. S., Schmidt, F. and Francke, W.** (1991): Epoxyheptadecadienes identified as sex pheromone components of *Tephрина arenacearia* Hbn. (Lepidoptera: Geometridae). Zeitschrift für Naturforschung, 46C: 257–263.
- Tóth, M., Buser, H-R., Guerin, P. M., Arn, H., Schmidt, F., Francke, W. and Szőcs, G.** (1992): *Abraxa grossulariata* L. (Lepidoptera: Geometridae): identification of (3Z,6Z,9Z)-3,6,9-heptadecatriene and (6Z,9Z)-6,9-cis-3,4-epoxyheptadecadiene in the female sex pheromone. Journal of Chemical Ecology, 18: 13–25.
- Tóth, M., Szőcs, G., Nieuwerkerken, E. J., Philipp, P., Schmidt, F. and Francke, W.** (1995): Novel type of sex pheromone structure identified from *Stigmella malella* (Stainton) (Lepidoptera: Nepticulidae). Journal of Chemical Ecology, 21: 13–27.
- Tóth, M., Talekar, N. S. and Szőcs, G.** (1996): Optimization of blends of synthetic pheromone components for trapping male lima-bean pod borers (*Etiella zinckenella* Tr.) (Lepidoptera: Phycitidae): preliminary evidence on geographical differences. Bioorganic and Medicinal Chemistry, 4: 495–497. DOI: 10.1016/0968-0896(96)00031-4.
- Vuts J., Koczor S., Imrei Z., Jősvai J. K., Lohonyai Zs., Molnár B. P., Kárpáti Zs., Szőcs G. és Tóth M.** (2018): Módszerek a kémiai ökológiában. Növényvédelem, 79 (54): 89–109.

PHEROMONE RESEARCH: SPECTACULAR SUCCESSES AND STILL UNRESOLVED QUESTIONS

G. Szőcs, B. P. Molnár, Zs. Kárpáti and M. Tóth

HUN-REN Center for Agricultural Research, Plant Protection Institute, Budapest, Hungary

In the field of pheromone research (chemical ecology), likewise to other disciplines, publications reporting new results appear in great numbers week to week. Even reviews and textbooks fill the shelves of libraries. In this short overview we would like to illustrate that the pheromone studies in Hungary are connected by many ways into the leading international research lines. We would also like to show the currently evolved new branches of pheromone research, which are interwoven with partner disciplines. Light is shed to splendid perspectives in an environment, where – despite of decades of efforts – the identification of pheromones of some important pests are still long awaited. Insights are given into transduction of stimuli in the brain of insects and into the genetic regulation of pheromone production and perception. In the epoch of AI and robotics these revealed secrets can turn into our everyday practice.

Keywords: pest monitoring, special instruments, practical need, risks in reaching research objectives, new research lines

Érkezett: 2025. április 28.