

# A feromonok és a kártevők elleni védekezés

Forrásmű: J. R. M. Thacker (2002): An Introduction to Arthropod Pest Control. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, pp.159-174.

Fordította: Geiger Barbara 2016-ban

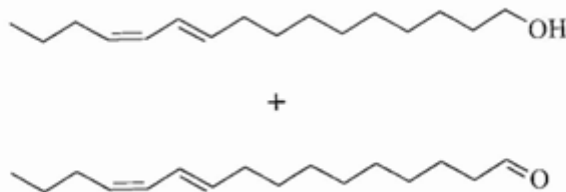
## Tartalom

A feromonok és a kártevők elleni védekezés .....	1
Bevezetés.....	2
A feromonok típusai.....	3
Feromonkémia.....	7
A feromonok formulázása .....	7
A feromoncsapdák.....	9
A feromonok használata.....	11
Monitorozás.....	11
Tömeges csapdázás .....	13
Párosodásgátlás (légtérelítés) .....	14
„Csalogat és irt” ('Lure and kill') .....	15

## Bevezetés

A feromonok olyan kémiai anyagok, amelyek a fajtársak közötti kölcsönhatásokat hangolják össze. A kémiai anyagok szemiokémikáliáknak vagy infokémikáliáknak nevezett csoportjába tartoznak. A szemiokémikáliák közé tartoznak azok a vegyületek is, amelyek a fajok közötti kommunikációt segítik, ezeket allelokémikáliáknak nevezzük. Az allelokémikáliákat a fejezet végén lényegre törően tárgyaljuk. A feromonokat folyamatosan kibocsátott kémiai anyagokként definiálták, amelyek specifikus választ váltanak ki az ugyanahhoz a fajhoz tartozó érzékelő egyedben. A fajok közötti kémiai kommunikációval foglalkozó első kísérleteket a 19. század végén végezték. Azonban az első feromon azonosítása és előállítása egészen 1959-ig váratott magára, és a feromon kifejezést is ekkor használták először.

A legelső azonosított feromon a selyemlepke (*Bombyx mori*) szexferomonja volt (7.1. ábra). Az azonosítás az 1950-es évek végén zajlott, és megközelítőleg 500 000 nőstény molyt preparáltak. Ezekből a molyokból 12 mg feromont nyertek ki. A feromonok meghatározására irányuló első kísérleteket az 1960-as évek közepén végezték a kártevők elleni védekezés számára. Azóta feromonok százait azonosították, és több mint 50 használható (több mint 300 különböző készítményben) a kártevők elleni védekezési eljárások során (7.1. táblázat). Szerencsére a feromonazonosítás technológiája is fejlődött, és így nincs szükség többé az egyedek tömeges boncolására. Például a *Platyptilia carduidactyla* (articsókát károsító moly) szexferomonjának meghatározása az 1970-es évek végén csak 20-30 kifejlett nőstény egyedre volt elegendő. A kártevők elleni védekezés során a Coleoptera, a Diptera, a Lepidoptera és az Acarina csoportok ellen is használhatóak a fejlesztett feromonok. Más fontos kártevő csoportok feromonjait (pl.: Hemiptera rend) is azonosították, de ezek kereskedelmi forgalomba nem kerültek.



7.1. ábra A selyemlepke (*Bombyx mori*) szexferomonja. A feromon két részből áll (E,Z-10,12-hexadekadién-1-ol).

## A feromonok típusai

A rovarok a termelt feromonokat többek között a lehetséges társak megtalálására, szétszóródás kiváltására, nyomkövetésre, veszélyjelzésre és az ivari érettség jelzésére használják. Ezek közül a kártevők elleni védekezésel összefüggésben az ellenkező nemű fajtársak felkutatására használt feromonoknak szentelték a legnagyobb figyelmet. A feromonoknak ez a csoportja egyaránt tartalmaz szexferomonokat és aggregációs feromonokat is. A leginkább kutatott szexferomonok a Lepidoptera rend egyedei által termelt anyagok. A legtöbb esetben a nőstény egyedek bocsátják ki a feromont a hímek csalogatására. Ilyenkor a feromon az uralkodó szélirányban szétszóródik, majd a fogékony hímek a kemotaxisként ismert folyamat során válaszolnak az ingerre, vagyis ez egy kémiai, és szél által közvetített mozgás. A távolságok, ahonnan a feromon még válaszreakciót vált ki, helyzet- és fajspecifikusak. Néhány esetben a feromonok több kilométer távolságból is érzékelhetőek, más alkalmakkor viszont ez csupán néhány száz méter. A válasz kiváltásához elengedő feromon-koncentráció függ a környezeti feltételektől és a fajtól is. Laboratóriumi vizsgálatok kimutatták, hogy csupán egyetlen feromonmolekula is elég lehet ahhoz, hogy neurológiai választ váltson ki az érzékelő fajokban. A bombikollal (a *Bombyx mori* szexferomonja) végzett szabadföldi kísérletek igazolták, hogy 200 db/ml mennyiségű feromonmolekula is elegendő, hogy viselkedési választ váltson ki a szélirányban lévő, fogékony hímekből. Azaz a feromonok már nagyon alacsony koncentrációban is hatásosak. Mikor a hímek a nőstényeket keresik, kémiai és vizuális ingereket egyaránt észlelniük kell, hogy az egyedek egymásra találjanak. A kártevők elleni védekezésben a szexferomonokat széles körben használták a kártevő fajok monitorozására. A monitorozás célja, hogy más védekezési eljárásokat is pontosan időzíthessenek, mint például a növényvédő szerek kijuttatását.

Az aggregációs feromonok párzásra is csalogatják az egyedeket. Ugyanakkor ezek az anyagok a tápnövény védekezési reakciójának kiküszöbölésére is szolgálhatnak. Ezeket az aggregációs feromonokat is széles körben alkalmazzák a kártevők elleni védekezésben a szűbogarak számos fajával szemben. A riadóztató feromonok a ragadozók fenyegetését és támadását jelzik. Azaz figyelmeztetésként szolgálnak, és általában menekülési reakciót váltanak ki az érzékelő egyedekből.

7.1. Táblázat *Kereskedelmi forgalomban kapható feromonkészítmények*

Célszervezet	Magyar név	Feromon	Hatásmechanizmus
<i>Adoxophyes orana</i>	almailonca	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Anarsia lineatella</i>	barackmoly	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Anthonomus grandis</i>	gyapottok- ormányosbogár	szexferomon	hímek és nőtények monitorozása és tömeges csapdázása
<i>Bactrocera oleae</i>	olajbogyó-fúrólégy	szexferomon	hím legyek monitorozása és gyérítése „csalogat és irt” módszerrel
<i>Carposina niponensis</i>	bogyórágó moly	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Ceratitis capitata</i>	földközi-tengeri gyümölcslegy <sup>a</sup>	szintetikus attraktáns	hím gyümölcslegyek gyérítése „csalogat és irt” módszerrel
<i>Chilo suppressalis</i>	egyszínű nádfúrómoly	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Cosmopolites sordidus</i>	banánsziszik	aggregációs feromon	hímek és nőtények tömeges csapdázása
<i>Cydia funebrana</i>	szilvamoly	szexferomon	hím molyok monitorozása, párosodásgátlása és gyérítése „csalogat és irt” módszerrel
<i>Cydia nigricana</i>	borsómoly	szexferomon	hím populációk monitorozása
<i>Cydia pomonella</i>	almamoly	szexferomon	hím molyok monitorozása, párosodásgátlása és gyérítése „csalogat és irt” módszerrel
<i>Dacus cucurbitae</i>	fúrólégy	szexferomon	nőtény legyek gyérítése „csalogat és irt” módszerrel
<i>Dendroctonus frontalis</i>	fenyőszú	aggregációs feromon	hímek és nőtények tömeges csapdázása
<i>Dendroctonus ponderosae</i>	fenyőszú	aggregációs feromon	hímek és nőtények tömeges csapdázása
<i>Dendroctonus pseudotsuga</i>	fenyőszú	aggregációs feromon	hímek és nőtények tömeges csapdázása
<i>Dendroctonus rufipennis</i>	fenyőszú	aggregációs feromon	hímek és nőtények tömeges csapdázása

## 7.1 táblázat folytatása

Célszervezet	Magyar név	Feromon	Hatásmechanizmus
<i>Dryocoetes confusus</i>	fenyőszú	aggregációs feromon	hímek és nőstények tömeges csapdázása
<i>Eucosma gloriola</i>	sodrómoly	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Eupoecilia ambiguella</i>	nyerges szőlőmoly	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Grapholita molesta</i>	keleti gyümölcsmoly	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Heliothis virescens</i>	bagolylepke	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Homona coffearia</i>	sodrómoly	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Ips sexdentatus</i>	hatfogú szú	aggregációs feromon	hímek és nőstények tömeges csapdázása
<i>Ips typographus</i>	betűzőszú	aggregációs feromon	hímek és nőstények tömeges csapdázása
<i>Keiferia lycopersicella</i>	sarlósajkú moly	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Lobesia botrana</i>	tarka szőlőmoly	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Lymantria dispar</i>	gyapjaslepke	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Musca domestica</i>	házilégy	szexferomon	hím legyek párosodásának gátlása
<i>Oryctes rhinoceros</i>	orrszarvúbogárfaj	aggregációs feromon	hímek és nőstények tömeges csapdázása
<i>Ostrinia nubilalis</i>	kukoricamoly	szexferomon	hímek monitorozása
<i>Pectinophora gossypiella</i>	sarlósajkú moly	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Pityogenes chalcographus</i>	rézmeteszó szú	aggregációs feromon	hímek és nőstények tömeges csapdázása
<i>Platynota idaeusalis</i>	sodrómoly	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása és gyérítése „csalogat és irt” módszerrel
<i>Platyptilia carduidactyla</i>	tollasmoly	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Plutella xylostella</i>	káposztamoly	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Popilla japonica</i>	japán cserebogár	szexferomon	hímek és nőstények gyérítése „csalogat és irt” módszerrel

## 7.1 táblázat folytatása

Célszervezet	Magyar név	Feromon	Hatásmechanizmus
<i>Prays citri</i>	citrus virágmoly	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Prays oleae</i>	olajfamoly	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Rhyacionia buoliana</i>	fenyőilonca	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Rhynchophorus ferrugineus</i>	pálmaormányos	aggregációs feromon	hímek és nőtények tömeges csapdázása
<i>Rhynchophorus palmarum</i>	pálmaormányos	aggregációs feromon	hímek és nőtények tömeges csapdázása
<i>Sanninoidea exitiosa</i>	üvegszárnyú lepke	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Scolytus multistriatus</i>	kis szilvázócsészű	szexferomon	hím bogarak megfigyelése és gyérítése „csalogat és irt” módszerrel
<i>Spodoptera exigua</i>	apró jegyesbagoly	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Spodoptera frugiperda</i>	bagolylepke	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Synanthedon Hector</i>	üvegszárnyú lepke	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Synanthedon myopaeformis</i>	üvegszárnyú almafalepke	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Synanthedon pictipes</i>	üvegszárnyú lepke	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Synanthedon tipuliformis</i>	üvegszárnyú ribizskelepke	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása
<i>Tetranychus urticae</i>	kétfoltos takácsatka	riadóztató feromon	a növényvédő szerek hatékonyságának növelése
<i>Thaumetopoea pityocampa</i>	fenyő-búcsújárólepke	szexferomon	hím lepkék monitorozása és tömeges csapdázása
<i>Trypodendron lineatum</i>	sávós fenyőszű	aggregációs feromon	hímek és nőtények tömeges csapdázása
<i>Zeuzera pyrina</i>	kis farontólepke	szexferomon	hím molyok párosodásának gátlása

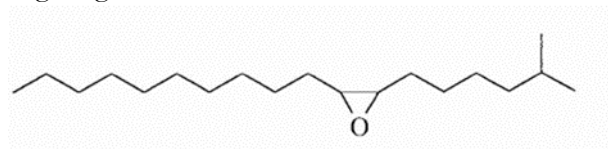
Megjegyzés:

<sup>a</sup>Szigorúan véve ez az anyag nem feromon. A csalogató anyagként használt trimedlur tulajdonképpen egy kairomon, amelyet a kártevő elleni védekezésre használnak.

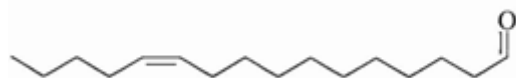
Forrás: Az adatok a következő műből származnak: Copping, L. G. (szerk.) (2001): *Biopesticide Manual*. Farnham, Surrey: BCPC Publications

## Feromonkémia

Kémiailag a legtöbb feromon egy vagy több kettős kötést tartalmazó, alacsony molekulatömegű, illékony molekulából áll. Ez érthető, hiszen a feromonok által kiváltott speciális válaszreakciók időben lehatároltak. A napjainkig kémiailag leírt feromonok többségét lepkekártevők termelik. Ezek a feromonok rendszerint C<sub>10</sub>-C<sub>21</sub> szénláncú, telítetlen alifás alkoholok, acetátok, aldehidek, vagy ketonok származékai (lásd 7.2. és 7.3. ábrák). A legtöbb rovar speciális biokémiai módon szintetizál feromonokat, amelyben szigorúan szabályozott, hogy a megfelelő geometriai és optikai izomerek keletkezzenek. Ennek eredményeképpen a rovarok nagy része csak specifikus izomerek érzékelése esetén válaszol az ingerre. Ez növeli a szintetikus feromonok előállításának költségeit. Mindemellett több módszert is kifejlesztettek a szintetikus feromonok nagymennyiségű kereskedelmi előállítására. Az egyes izomerek által kiváltott specifikus válaszreakció mellett számos rovar számára szükséges az is, hogy a különböző feromonkomponensek pontosan meghatározott arányban legyenek jelen a feromonkészítményben. Például a *Clepsis spectrana* és az *Adoxophyes orana* molyok szexferomona azonos, mindkettő *cis*-9 és a *cis*-11 tetradekanol acetátokból áll. Azonban ennek a két komponensnek a pontos aránya dönti el, hogy melyik faj fog reagálni.



7.2. ábra A gyapjaslepke (*Lymantria dispar*) (+*cis*-7,8-epoxi-2-metiloktadekán) szexferomona.



7.3. ábra A *Platyptilia carduidactyla* (articsókát károsító moly) (*cis*-11-hexadekanol) szexferomona.

## A feromonok formulázása

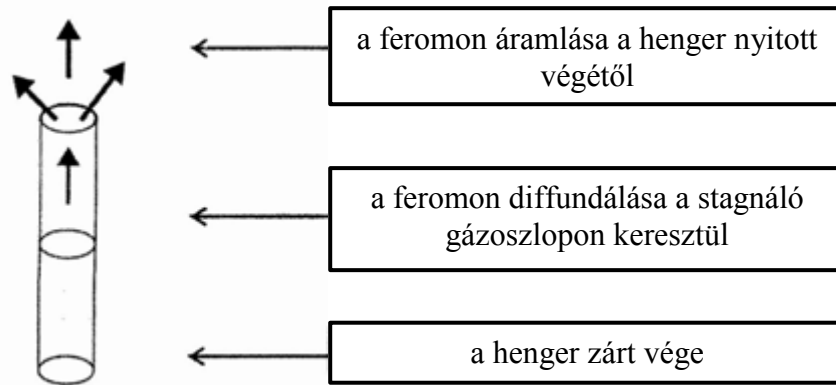
Mivel a feromonok illékony vegyületek, ezért speciális eszközöket fejlesztettek ki a kibocsátásuk szabályozására. Ezeket együttesen szabályozott feromonkibocsátóknak (diszpenzereknek) nevezzük. Céljuk pedig az, hogy a kijuttatás mértékét, és annak egyenletességét szabályozzák, valamint azt az időszakot, amikor a feromon majd hatást vált ki. Ahol a feromon több komponensből áll, az is fontos, hogy a feromondiszpenzer megfelelő arányban bocsásson ki minden komponenset. Az elmúlt 40 évben fejlesztett fő diszpenzer-változatok: műanyag hengerek, laminált korongok, mikrokapszulák és feromonnal impregnált gumi kibocsátók. Ha nem ezeket a speciális diszpenzer-típusokat használnánk, az adott növényállományban kijuttatott feromon gyorsan elpárologna.

Az üreges hengerek rövid műanyag csöveket tartalmaznak, egyik végükön zártak, és feromonnal töltöttek. A műanyag a feromon számára áthatolhatatlan, a kibocsátás tulajdonképpen a folyadék és a levegő határfelületén, párologással történik, majd a feromon a levegőoszlopon keresztül diffundál a henger nyitott vége felé (7.4. ábra). A hengerek kibocsátásának mértéke a cső kiürülésével csökken. A kibocsátás mértékét a henger átmérője, valamint a feromon kémiai összetétele határozza meg. A legtöbb henger kihelyezése kézzel történik a növényállományban.

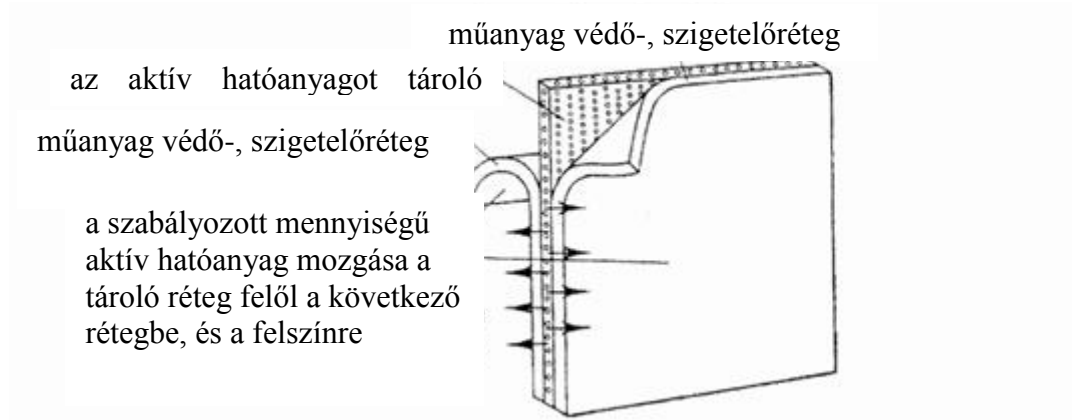
A laminált korongok két permeábilis, műanyag réteg közé ékelt központi, porózus, feromont tartalmazó réteget tartalmaznak (7.5. ábra). A hengerekhez hasonlóan ezeknek a kibocsátóknak a kihelyezése is kézzel történik. A feromon a korongból a műanyag rétegeken keresztül diffundál a

levegőbe. A kibocsátás mértéke következésképpen részben szabályozható a rétegek vastagságának változtatásával.

A mikrokapszulázott feromonkibocsátók előnye a korongokhoz és a hengerekhez képest, hogy a szokványos permetezőberendezésekkel is kijuttathatók. A mikrokapszulák 5-20  $\mu\text{m}$  átmérőjűek és a feromont egy 0,1-2  $\mu\text{m}$  vastag, műanyag, polimerizált rétegbe zárva tartalmazzák.<sup>1</sup> A feromon kibocsátásának mértéke befolyásolható a mikrokapszula kémiai összetételének, a mikrokapszula falvastagságának, valamint méretének a változtatásával.



7.4. ábra Feromonkibocsátásra szolgáló üreges henger. A hengerek rendszerint 100-500  $\mu\text{m}$  átmérőjűek. Az átmérő határozza meg leginkább a kibocsátás mértékét. Átvéve Birch, M.C. & Haynes, K.F. (1982). *Insect Pheromones*. London: Edward Arnold című munkájából.



7.5. ábra A laminált korong diszpenzer sematikus ábrázolása. Átvéve Birch, M.C. & Haynes, K.F. (1982): *Insect Pheromones*. London: Edward Arnold című munkájából.

Különbféle adjuvánsokat is adhatnak egy-egy mikrokapszulához a formulázáskor annak érdekében, hogy befolyásolják a feromon kibocsátásának mértékét.

<sup>1</sup>A mikrokapszulák rovarölő szerekkel együtt is használhatóak. A cél a kibocsátók ilyen jellegű kialakításakor is az, hogy a rovarölő szer kijuttatását szabályozzák. Ezeket a 4. fejezetben fogaljuk össze.



A gumi kibocsátó a legszélesebb körben használt feromondiszpenzer, emellett szabványként használják az új szabályozott-kibocsátórendszerekkel folytatott kísérletekben. A gumi kibocsátóban a feromon abszorpciójának elősegítésére valamilyen oldószert is használnak (rendszerint diklórmetánt). Az oldószert elpárolog, és az impregnált kibocsátót ezután zárt fiolákban, vagy hermetikusan lezárt fóliaborítékokban tárolják.

Az 1970-es években folytatott kutatások kimutatták, hogy a feromon aldehidek negatív kölcsönhatásba kerülnek a kibocsátóban már jelen lévő vegyületekkel. A kibocsátó dianilinetánnal való előkezelése megoldást nyújt ezekre a problémákra. Mindamellet minél összetettebb feromonokat azonosítanak, annál inkább fontos, hogy tisztában legyünk azzal, hogy ilyen problémák előfordulhatnak.

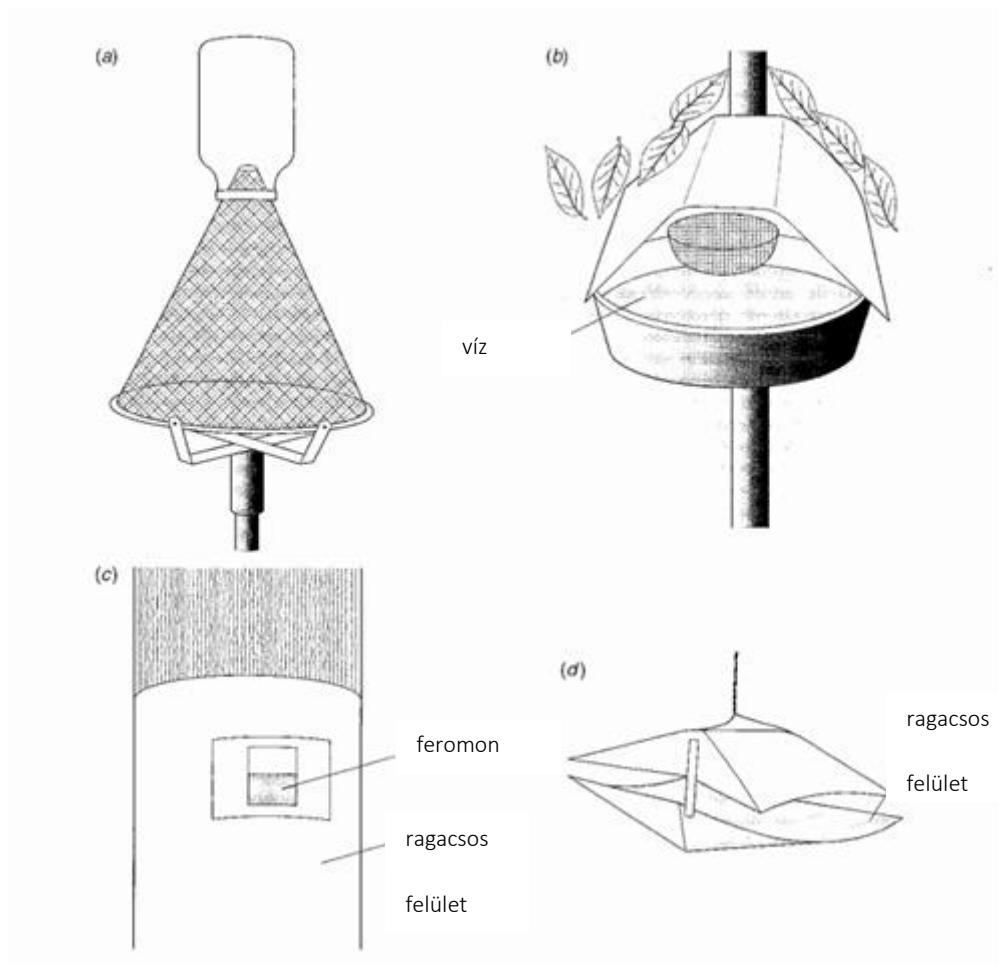
A fentiek felül még számos különféle szabályozott-diszpenzerrendszerrel találkozhatunk. Ezek többek között szilárd polivinil rudak, cigaretta filterek, polietilén fiolák, fogászati tamponok, rizsszemek és elektronikusan vezérelt, szabályozott kibocsátású berendezések. Ezeknek a rendszereknek a célja, hogy a feromon kibocsátását szabályozzuk. Bármelyik diszpenzerrendszert használjuk, általában a feromonok mellé néhány más jellegű rovarcsapdát is társítunk. Ahol a feromonokat mikrokapszulák formájában juttatják ki, ott valószínűleg feromoncsapdákat fognak használni a kezelés hatékonyságának monitorozására. A feromoncsapdákat a következő fejezetben mutatjuk be részletesen.

## A feromoncsapdák

A feromoncsapdák azokat a rovarokat fogják, amelyeket vonz a csapda által kibocsátott feromon. A feromoncsapdák legkézenfekvőbb előnye talán az, hogy nagymértékben fajspecifikusak, ezáltal egyszerű az egyedek szétválogatása. Nem szükséges különleges szaktudás ahhoz, hogy a feromoncsapda által fogott összes rovarot megszámozzák.<sup>2</sup> Mivel a rovarok rövid távolságokon belül a vizuális ingerekre is reagálnak a kémiai és a viselkedési jelek mellett, ezért a csapda kialakítása sokszor meghatározó. A feromonok egy meghatározott területen belül előforduló rovarokat fogják csalogatni, azonban ezeket a rovarokat még be is kell fogni. A csapda lényeges tulajdonságai annak színe, mérete, alakja és hogy milyen magasan helyezkedik el a talajfelszín fölött. Nem meglepő, hogy az elmúlt 40 év során számos különböző csapdatípust használtak. Néhány a 7.6. ábrán látható.

A csapdákat három kategóriába sorolhatjuk: az elsőben a rovarokat egy ragacsos felületen fogják, a másodikban ölfolyadékot használnak, a harmadik kategóriánál pedig a rovarokat egy peszticiddel átitatott műanyag lapra vonzzák, és ott pusztulnak el. Az ölfolyadék rendszerint etilén-glikol (fagyálló folyadék). Mindhárom csapdatípusnak vannak előnyei és hátrányai egyaránt. Például a Lepidoptera fajok megfigyelésére széles körben használt ragacsos csapdák olcsók, könnyű a szállításuk és a tárolásuk, emellett használatuk is egyszerű.

<sup>2</sup>Ez általában igaz is, viszont néhány feromoncsapda (például a ragacsos csapdák) több különböző fajt is gyűjthet. Emellett néhány kártevő fajra jellemző a polimorfizmus, így a csapdák fogási adatainak értékelése feltehetően nem minden esetben egyszerű feladat.



7.6. ábra Feromoncsapdák. (a) fordított tölcsér, (b) vízi csapda, (c) ragacsos csapda, (d) ragacsos csapda. Átvéve Birch, M.C. & Haynes, K. F. (1982): *Insect Pheromones*. London: Edward Arnold című munkájából.

Hátránya viszont az, hogy a ragacsos felület egy idő után lekopik, és a befogott rovarok is ellepik, ha elég nagy egyedszámban vannak jelen. Az ölfolyadékot használó és az inszekticiddel átitatott csapdák feltehetően több rovarot fognak, mint a ragacsos csapdák, de kezelésük sokkal bonyolultabb. A rovarölő szerrel átitatott csapdák használata során további biztonsági kérdések is felvetődhetnek a csapdák kihelyezésénél, és a biocidekkel való érintkezéssel összefüggésben.

A feromoncsapda által fogott rovarok száma számos tényezőtől függ. Ezek a befolyásoló tényezők vagy a csapdával, vagy a kártevővel kapcsolatosak. A fontos csapdatulajdonságok a már említett szín, méret, alak és a kirakás helye. Például a gyapjaslepke feromoncsapdák akkor a leghatásosabbak, amikor a csapdát a fatörzsek mellé helyezik el. A csapdafogást befolyásoló, kártevővel kapcsolatos tényezők a jelenlévő kártevő populáció mérete, a csapda által vonzott egyedek aránya, és azon egyedek aránya, amelyek nem tudnak kiszabadulni a csapdából. Természetesen minden paramétert befolyásolnak az uralkodó környezeti feltételek, leginkább az időjárás. Sajnos a csapdák kialakításával foglalkozó legtöbb tanulmány a csapdák összesített fogási eredményeire koncentrál, és nem próbálja meg ezeket a tényezőket önmagukban vizsgálni. A fontosabb csapdakialakító tényezőkkel kapcsolatos további kutatások kétségtelenül segítenek majd, hogy a használt feromonok maximális hatásfokkal működjenek.

## A feromonok használata

A feromonokat négy különböző módon használhatjuk a kártevők elleni védekezésben: a kártevő faj egyedszámának felmérésére, tömeges csapdázásra, párosodásgátlásra, illetve a kártevők mérgezett csalétekhez való csalogatására. A negyedik módszer „csald és öld” vagy „csalogat és irt” („lure and kill”) néven ismert. Ezek közül az egyedszám felmérésére használhatóak a feromonok a legsikeresebben.

A monitorozó (megfigyelő) rendszerekben a fogott egyedek számát (rendszerint hímek) a kártevő jelenlétének indikátoraként használják. A tömeges csapdázás során a kártevő populáció csökken, mert a populáció jelentős hányadát befogják a csapdák. Ehhez a módszerhez sokkal hatékonyabban használhatóak a mindkét nemet vonzó aggregációs feromonok, mivel a szexferomonok általában csak hímeket vonzanak. A párosodásgátlás (légtértelítés) során feromonnal (egy szexferomonnal) telítünk egy adott területet, így a hímek nem képesek megtalálni a nőstényeket, mert az érzékszervük hozzászokik a feromonhoz, vagy a feromonjelek konkurenciája miatt. A „csalogat és irt” módszer az egyedeket a feromonforráshoz csalogatja, amelyet méreggel kezeltek, rendszerint egy peszticiddel. A kártevő halálos dózist vesz fel, és később elpusztul. A következő alfejezetekben részletesen tárgyaljuk ezeket a módszereket.

## Monitorozás

Manapság már számos kártevő rutinszerűen megfigyelhető feromoncsapdák használatával. Ilyen jellegű megfigyelésekre általában azért kerül sor, hogy más védekezési eljárást alkalmazzanak, vagy, hogy észleljék a kártevők kezdeti megjelenését különösképpen a kikötőkben, és a repülőtereken. Emellett, a kártevő populációk hosszú távú monitorozása további alapvető fontosságú adatokat szolgáltat a kártevők populációiban bekövetkező változásokról. A monitoring rendszerek alkalmazási lehetőségeit a 7.2. táblázat mutatja be. A táblázat alkalmazási kategóriákba csoportosítja a monitoring programok információit. Ezek nem szigorú kategóriák, és ha a gyümölcsösök kártevő populációit egész évben aktívan monitorozzuk (adatokat a kártevő rajzásdinamikájáról), akkor a feromoncsapdák fogási adatai hosszabb időszakról is nyújthatnak információt. Éppen ilyen adatokat használnak, mikor a növényvédő szerek kijuttatásának időzítéséről hoznak döntéseket, és ugyancsak ezeknek az adatoknak a felhasználásával állapítják meg a védekezés hatását (kezelés hatékonysága). Az almamoly (*Cydia pomonella*) esetében ez a típusú megfigyelés a növényvédőszer-felhasználás 50-75%-os csökkenéséhez vezetett. Megállapították, hogy hetente 1-5 moly/csapda küszöbérték elérésekor az adott területen növényvédő szer kijuttatása szükséges.

A megfigyelésre legszélesebb körben használt feromonok a Lepidoptera fajok által termelt szexferomonok. A szexferomonok használatának legfőbb hátránya, hogy a csapdák csak hímeket fognak. A tojásrakásra képes populációk (nőstények) méretére a csapdába befogott hímek számából következtetnek. Ahogy több esetben is tapasztaljuk ez nem ideális, mivel a csapda hatékonysága majd a növekvő populációsűrűség miatt csökken. Ennek feltehetően az az oka, hogy a kártevő populáció növekedésével erősödik a kompetíció (a nőstények által és a csapda által kibocsátott feromonjelek között).<sup>3</sup> A feromoncsapdák leginkább a kártevők alacsony populációsűrűsége mellett lehetnek ideálisak a megfigyelésre, ugyanakkor kevésbé célravezetők ott, ahol a kártevő magasabb egyedszámban fordul elő. A kártevők elleni védekezés szempontjából vizsgálva a kérdést ez a módszer csak akkor alkalmazható, ha a kártevő fajok gazdasági jelentősége magas. A viszonylag alacsony gazdasági jelentőségű fajok elleni védekezésre már más módszereket dolgoznak ki.

<sup>3</sup> Ha a populációban a nőstények egyedszáma növekszik, a feromoncsapda nőstényekkel szembeni hatása csökken. A hím szempontjából ez azt jelenti majd, hogy nagyobb valószínűséggel követi a „valódi” jelet, mint a szintetikus feromont, minden más befolyásoló tényező egyenértékűvé válik.

Összefoglalva: a feromonok számos kártevő faj megfigyelésére használhatóak. A szexferomoncsapdák olcsók, használatuk egyszerű és kellőképpen hatásosak alacsony populációsűrűség esetén is, ezért ideálisak a kártevők megfigyelésére, és a kártételi küszöbérték meghatározásával alkalmazhatóak a növényvédő szerek kijuttatásának tervezésénél is.

7.2. táblázat *A feromoncsapdás megfigyelések alkalmazási lehetőségei*

Alkalmazási kategória	Alkategória	Példa
Kártevők észlelése	korai figyelmeztetés	<i>Spodoptera littoralis</i> Egyiptomban
	elterjedés	gyapjaslepke az erdőgazdaságokban
	növény-egészségügyi zárlat	<i>Popilla japonica</i> az USA-ban
védekezési módszerek küszöbértékei	időzítés	almamoly a gyümölcsösökben
	kártételi veszélyhelyzet értékelése	szúbogarak az erdőgazdaságokban
kártevő populáció	rajzásdinamika	<i>Spodoptera exempta</i> Kelet- Afrikában
sűrűség	elterjedés	gyapottok-ormányosbogár Texasban
	védekezési eljárás	<i>Pectinophora gossypiella</i> a gyapotkihozatalban

Forrás: Dátum szerint rendezve a következő műből: Jutsum, A.R. & Gordon, R.F.S. (szerk.) (1989): *Insect Pheromones in Plant Protection*. New York: John Wiley.

## Tömeges csapdázás

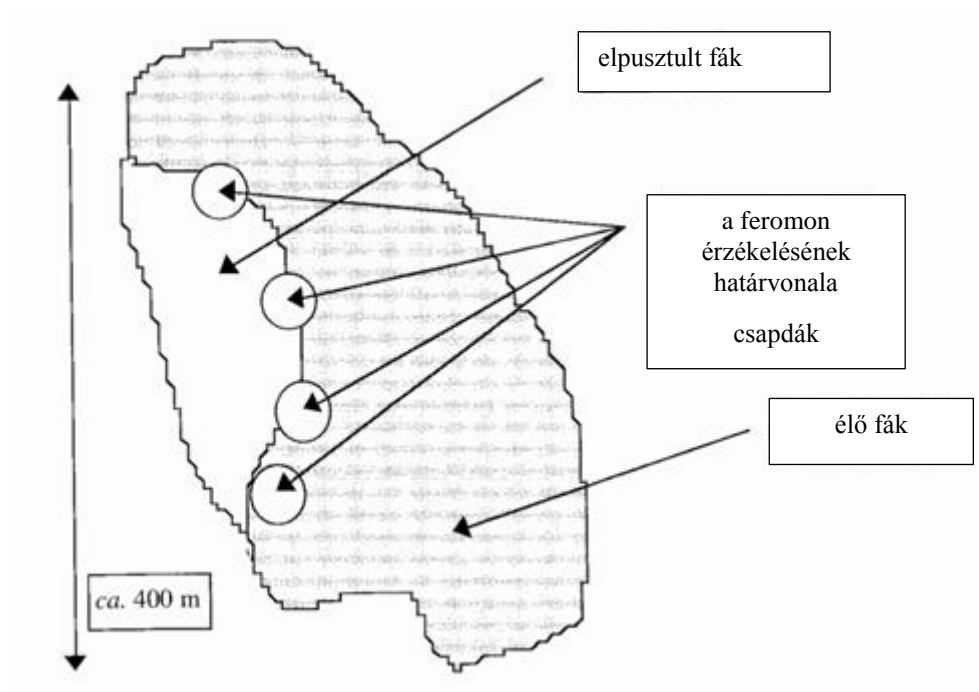
A tömeges csapdázás célja egyszerű - a kártevő populációját csökkentjük a gazdasági kártételi szint alá. A tömeges csapdázás, ellentétben a megfigyeléssel, már önmagában is egy kártevők elleni védekezési módszer. A 7.1. táblázat rávilágít, hogy az erdőgazdaságokban ezt a módszert alkalmazták a legszélesebb körben a szúbogarak visszaszorítására. Ezekben az esetekben a feromonokat arra használják, hogy a bogarakat meghatározott fákon összegyűjtsék, amelyeket ezután még az adott nemzedék kifejlődése előtt kivágnak. A tömeges csapdázás mint módszer ideális azokban az esetekben, ahol a kártevő populáció sűrűsége magas, ahol a rovarölő szerek konvencionális alkalmazása nem megoldható, és ahol az adott kultúrnövény szigetszerűen élkelődik a tájba, ezáltal kisebb a valószínűsége, hogy rövid időn belül újra benépesíti a kártevő. Elméletileg a tömeges csapdázásnak a hímek és a nőstények populációját is csökkentenie kellene. Azonban ez nem alapvető. Például a citrus virágmoly (*Prays citri*) populációit (Izraelben a citrom egyik kártevője) sikeresen szabályozzák a nőstény szexferomonjával. A feromonnal csalétkezett ragacsos csapdákat a hímek tömeges csapdázására használják. Ennek eredményeképpen a nőstények nem termékenyülnek meg, és így a kártevő elleni védekezéshez nincs szükség növényvédő szerekre. Így ennek a fajnak a tömeges csapdázása egy kivétel, mert csak a hímek populációját csökkenti. A tömeges csapdázást leginkább erdőgazdaságokban alkalmazzák a szúbogarak visszaszorítására.

Számos szúbogárfaj kémiaiilag meghatározott viselkedési mintákat követ, ekkor mindkét nem együttesen támadja meg a fákat. A szúbogarakat gyakran a tápnövény illatanyagai, és a pionír egyedek által kibocsátott feromonok is vonzzák a fákra. A tápnövény illatanyagainak és a csalogató feromonoknak a keveréke tömegesen vonzza a bogarakat, amely azért szükséges, hogy a gazdanövény védekezési reakcióival (például a gyantatermeléssel) együtt birkózzanak meg. Számos szúbogár patogén gombák vektora, ilyen gombafaj a *Ceratocystis minor*, amely behatol egészen a szíjácsig, további stresszt okozva ezzel a fának, és csökkentve a szúbogarak támadásával szemben tanúsított ellenállást. A bogarak tömeges betelepődése rendszerint szokatlan időjárási körülmények következménye. Az időjárási viszonyoktól függően évente 3-4 nemzedék figyelhető meg. A szúbogarak tömeges támadása gyakran drámai következményekkel jár. Például az 1990-es évek elején a *Pinus torreyana* (endemikus, veszélyeztetett fenyőfaj) populációjának körülbelül 15%-a pusztult el Kaliforniában az *Ips paraconfusus* szúbogár kártétele következtében. Ez mintegy 900 fát jelentett Észak-Amerika legritkább fenyőfajának sértetlen állományából.

A szúbogarak aggregációs viselkedése már legalább 200 éve ismert. Európában már jóval a feromonok felfedezése előtt ún. csalifákat használtak a bogarak elleni védekezésre. A csalifák használata egy viszonylag egyszerű módszer - élő fákat vágnak ki és hagynak az erdőben, hogy ezzel csalogassák a szúbogarakat. A szúbogarak betelepődését folyamatosan nyomon követve a fákat még az új nemzedék kialakulása előtt eltávolítják és megsemmisítik. A bogarak feromonját az 1960-as évek végén fedezték fel, azóta a csalifák alternatívájaként használják. Az első szúbogár feromonokat a *Dendroctonus brevicomis* fenyőszúból azonosították. Ennél a fajnál a nőstények a pionír egyedek, először ezek támadják meg a fákat. A nőstényeket a fenyőkben található mircén vonzza, amely a tápnövény által termelt terpenoid. A nőstények megérkezésük után kibocsátják a feromont, amelyet exo-brevikominnak nevezünk. Ez a feromon a tápnövényben lévő terpénnel keveredve nagy egyedszámban vonzza a hímeket és a nőstényeket is a fához. Az ingerre válaszoló hímek érzékelnek egy másik feromont is, a frontalint, amely a kártevő támadásainak összehangolását mozdítja elő. Amint a hímek és a nőstények megkezdik a párzást további feromonokat termelnek (verbenon és *trans*-verbenol), amelyek elriasztják a többi szúbogarat a fa megtámadásától. Ezek a vegyületek határozzák meg a kártevő populáció méretét, amelyet a tápnövény is befolyásol. Az aggregációs feromonok felfedezése és a feromoncsapdák fejlesztése vezetett ahhoz, hogy számos szúbogárfaj elleni védekezés során használják ezeket (7.1. táblázat). Szinte minden ilyen esetben hasonló a stratégia: a bogarakat tömegesen csapdazzák a fákon,

amelyeket ezután megsemmisítenek. Néhány tömegescsapdázási-programban antiaggregációs feromonokat (pl.: verbenon) is használtak a támadás visszaszorítására.

Sajnos több kutató kételkedik a tömeges csapdázási megközelítés hatékonyságában. Például az USA-ban és Skandináviában folytatott hosszú távú kísérletekben, amelyekben több millió szűbogarat csapdáztak, úgy tűnt, összességében nagyon kis hatással van a tömeges csapdázás a fapusztulásra. A kontroll területeken rendszerint nem alkalmazták ezt a módszert (a potenciális gazdasági veszteségek miatt), és így nehéz volt hiteles következtetéseket levonni a hatékonyságot illetően. Éppen a *Pinus torreyana* fenyő esetében, ahol a szűbogár populációkat csökkentették a feromonalapú tömeges csapdázási stratégia követésével, nem sikerült tudományosan igazolni, hogy a populáció csökkenése a védekezési programnak tulajdonítható. Mindamellet a megfigyelt csökkenés, és a csapdák szignifikánsan magasabb fogási adatai arra utalnak, hogy talán van néhány használható része ennek a módszernek, amely különösképpen az erdészeti kártevők szabályozásában alkalmazható. A Torrey Pine Természetvédelmi Területen előforduló szűbogarak elleni védekezési program vázlatát a 7.7. ábrán látható.



7.7. ábra A *Pinus torreyana* állami megőrzésének vázlatát, San Diego. Átvéve Shea, P. J. (1995): Use of insect pheromones to manage forest insects: present and future. In *Biorational Pest Control Agents*, ed. F. R. Hall & J. W. Barry, pp. 272-83.

Washington, DC: American Chemical Society. című munkából. 1989 és 1990 között körülbelül 850 fát pusztítottak ki a szűbogarak. A csapdázási program befejezése után emiatt nem pusztult el több fa. 1991 és 1993 között több mint 300 000 szűbogarat fogtak.

## Párosodásgátlás (légtérelítés)

A párosodásgátlás a tömeges csapdázáshoz hasonlóan már önmagában is egy védekezési eljárás. A módszer célja, hogy megakadályozza az egyedek párosodását azáltal, hogy egy adott területet szexferomonnal telít, így a hímek képtelenek megtalálni a nőstényeket. Ez feltehetően azért következik be, mert az ingerre válaszoló hímek központi idegrendszere hozzászokhat a feromonhoz, és többé már nem válaszol, vagy mert az igazi feromoncsóvak rejtettek és a hímek egyszerűen képtelenek emiatt megtalálni a nőstényeket. A hímek úgy pusztulnak el, hogy

majdnem minden idejüket a feromoncsapdák által kibocsátott hamis jelek követésével töltötték. Mivel a módszer alapelemei a szexferomonok, ezért leginkább lepkékártevők körében alkalmazzák (7.1. táblázat). A legtöbbször idézett példa a sikeres párosodásgátlásra a *Pectinophora gossypiella* sarlósajkú moly elleni védekezéssel kapcsolatos. Ezt a példát később részletesen ismertetjük.

A *Pectinophora gossypiella* világszerte a gyapot egyik legjelentősebb kártevője. Nehéz ellene védekezni, mert az újonnan kelt lárvák gyorsan behatolnak a gyapot toktermésébe, és így védettek az inszekticidektől. A *Pectinophora gossypiella* szexferomonja a *cisz-cisz* és a *cisz-transz* 7,11-hexadekadién-acetát keveréke, és először az 1960-as években azonosították. Ezzel a feromonnal az első kísérleteket az 1970-es évek elején végezték, amikor kiderült, hogy a csapdák képesek csökkenteni a párosodások gyakoriságát, amely egyszerre vezetett alacsonyabb lárvakártételhez a gyapottokokban, valamint a helyi imágó populációk csökkenéséhez. Mindez azért volt fontos, mert a gazdálkodók aggódtak, hogy a csapdák talán odavonzzák a molyokat, amelyek később még több petét raknának a termésekre. Az 1970-es évek végén engedélyezték a feromon szintetikus változatának használatát, és az USA-ban körülbelül 20 000 hektár gyapotot kezeltek a feromonnal 1978-ban. Azóta a feromont többször alkalmazzák, ugyanakkor a gyapotban használt inszekticidek mennyisége csökkent. A feromon mégsem aratott teljes sikert, és számos gazdálkodó ennek a kártevőnek a visszaszorítására még mindig a rovarölő szerek használatát részesíti előnyben. Valószínűleg ennek egyik oka az, hogy a feromont kézzel kell kihelyezni, ami sokkal költségesebb, mint a peszticid-kijuttatás. Az USA-ban tapasztaltakhoz képest sokkal több sikert értek el ezzel a feromonnal a fejlődő országokban, Dél Amerikában, Afrikában és Ázsiában, főleg Peruban, Egyiptomban és Pakisztánban. Sok kísérleti eredmény jelenleg azt mutatja, hogy a feromon sikeresen használható a kártevő elleni védekezésben, mivel használata gazdaságos, és a védekezés hasonló, vagy jobb, mint amely a peszticidekkel elérhető, valamint a módszer még a természetes ellenségeket is kíméli. Összefoglalva úgy tűnik, hogy ez a módszer jó lehetőséget kínál a kártevők elleni védekezések időzítésére. Újabban különböző tanulmányokban kimutatták, hogy a módszer talán sokkal hatásosabb, ha a feromont magas koncentrációban használjuk. Amennyiben ez gazdaságos, akkor a jövőben több figyelmet kellene fordítanunk a párosodásgátlásra.

## „Csalogat és irt” (‘Lure and kill’)

A „csalogat és irt” módszerek célja, hogy a rovarkártevőket a csapdába csalogassa, és aztán elpusztítsa. Mióta világossá vált, hogy hogyan működnek a feromoncsapdák, vitatható, hogy vajon ez egy különálló kategória vagy sem, például mikor a feromon egy ragacsos csapdába csalogatja a kártevőt, a rovar tulajdonképpen csalogatja, majd elpusztítja. A kártevők elleni védelemmel kapcsolatban a „csalogat és irt” terminus használata már megszokottá vált, ha egy olyan helyzetre utalunk, ahol a fajokat egy rovarölő szerrel átítatott csalétket tartalmazó csapdába csalogatjuk. A rovarok elég hosszú időt töltenek a csapdában ahhoz, hogy letális dózist vegyenek fel, tehát csalogattuk is és el is pusztítottuk a kártevőt. Nyilvánvalóan az egyik előnye ennek a módszernek a peszticidek átgondolt használata, azaz inkább a kártevő jöjjön a peszticidhez, mint hogy mi próbáljuk peszticiddel megcélózni a kártevőt, amely gyakran egyszerre káros és pazarló is (lásd a 4. fejezetben).

A „csalogat és irt” módszer számos kártevő esetében használható (7.1. táblázat). A figyelemreméltóbb sikertörténetek között szerepel az *Anthonomus grandis* (gyapottok-ormányosbogár) és az *Argyrotaenia velutinana* (sodrómoly) elleni védekezés az USA-ban. A kísérleteket itt is azért végezték, hogy a ’lure and kill’ módszer használhatóságát vizsgálják a *Spodoptera* lepkefajok és a *Culex* szúnyogfajok elleni védekezés esetében. A *Culex* fajok esetében kimutatták, hogy a feromon kombinálható növekedés-szabályozóval (ezek részletes összefoglalója a 8. fejezetben olvasható). Például Kenyában végzett kísérletekben bebizonyították, hogy a

víztócsák tojásrakást befolyásoló feromon és növekedésszabályozó-anyag kombinációjával való permetezése a bábok 100%-os mortalizációját eredményezheti a célzott szúnyog populációban.