



Les feromones com a eina de control de plagues en una agricultura ecorracional

L'agricultura viu actualment una transició cap a un model productiu més sostenible ambientalment i que integra els valors que demanda el mercat amb el respecte a l'ecosistema. Des del punt de vista de la protecció de cultius, la Unió Europea està limitant el nombre de matèries actives de síntesis pels efectes directes que tenen sobre aplicadors, consumidors i organismes no diana. Però, a més dels efectes directes, cada vegada es tenen més en compte els efectes sobre l'ecosistema, tant en la producció dels inputs com en el manteniment dels equilibris ecològics entre espècies. Hem de considerar que un ecosistema equilibrat evita l'explosió incontrolada de plagues i afavoreix el control d'aquestes. Per això, les restriccions de la legislació europea han deixat de ser l'únic motiu per a limitar l'ús de plaguicides. La creixent sensibilització social que demanda aliments més segurs, produïts d'una forma més respectuosa amb el medi ambient i de qualitat, està provocant canvis en el model productiu cap a una agricultura més sostenible i ecorracional.

Si ens cenyim a la protecció de cultius, les alternatives que tenen els productors per al control de plagues passen per la utilització de

mètodes biològics i biotecnològics que reemplacen l'aplicació de fitosanitaris d'ampli espectre i perfils ecotoxicològics no acceptables actualment. El desenvolupament de noves estratègies per al control biològic i la millora dels sistemes productius i d'alliberament d'agents de control biològic han portat a incrementar l'eficàcia d'aquests mètodes. En aqueix sentit, la globalització ha provocat la disseminació de moltes espècies invasives, el control de les quals depèn d'una actuació ràpida per a restablir l'equilibri mitjançant la introducció d'agents de control o l'augment dels agents existents en la zona.

Entre els mètodes biotecnològics més utilitzats per al control de plagues, s'inclouen l'obtenció de varietats més resistents, el desenvolupament de bioplaguicides i l'aplicació de noves tècniques de control basades en semioquímics. Un semioquímic és una substància produïda per un organisme que transmet informació a un altre organisme. Amb aquesta definició tan àmplia, és bastant intuïtiu deduir que la comunicació mitjançant semioquímics és una de les més habituals en la naturalesa. Aquesta comunicació es

pot produir entre individus de diferents espècies o entre individus de la mateixa espècie, com és el cas de les feromones. Si coneixem les substàncies que participen en aquesta comunicació, podem fer-ne ús en el nostre benefici per a alterar, suprimir o simular aquesta comunicació, la qual cosa suposa una eina de gran potencial per al control de plagues.

La lluita contra plagues mitjançant feromones i altres atraients suposa una alternativa per les característiques particulars que té:

- 1. les feromones són substàncies naturals de baixa toxicitat**, la qual cosa suposa un gran avantatge ambiental i per als aplicadors;
- 2. són substàncies molt específiques**, ja que cada insecte té una feromona pròpia, per la qual cosa permet actuar sobre una plaga sense afectar altres espècies;
- 3. no generen resistències**, perquè, en ser pròpies de l'espècie, no existeixen mecanismes de detoxificació ni canvis en el lloc d'acció;
- 4. actuen a concentracions extremadament baixes**, per la qual cosa es poden desenvolupar mètodes de control amb xicotetes quantitats d'aquestes substàncies.

Figura 1. Dispositius per al seguiment de poblacions
A. *Tuta absoluta*
B y C. *Bactrocera oleae* (femelles i mascles)
D. *Aonidiella aurantii*
E. *Chilo suppressalis*
F. *Drosophila suzukii*



En resum, podríem dir que, utilitzant xicotetes quantitats de feromona, podem interferir específicament una plaga de manera sostenible sense provocar alteracions sobre el medi ambient ni resultar perillosos per als aplicadors o els consumidors finals. Actualment, hi ha descrits més de 3.500 semioquímics d'insectes, que poden consultar-se en la base de dades The Pherobase: Database of pheromones and semiochemicals. La majoria de les feromones que es produeixen en el món se sintetitzen químicament per a disposar de quantitats suficients de producte per a actuar sobre les plagues. No obstant això, algunes d'elles se sintetitzen a partir de substàncies d'origen natural amb rutes biosintètiques similars a les que utilitzen els mateixos insectes per a produir les feromones. Aquest camí de les rutes biosintètiques està sent cada vegada més estudiat.

En l'actualitat, ja existeixen empreses que produeixen feromones a partir de substàncies produïdes per plantes i microorganismes.

MÈTODES DE CONTROL BASATS EN FEROMONES

Els principals mètodes de lluita basats en feromones es classifiquen en tres grups: la detecció de plagues, la confusió sexual i l'atracció-afectació.

LA DETECCIÓ DE PLAGUES (Figura 1)

Encara que no és un mètode de control directe de plagues, resulta molt efectiu per al maneig d'aquestes. Hem de tindre en compte que la detecció de plagues permet realitzar els seguiments de les poblacions d'insectes, planificar tractaments, establir llinars de tractament, detectar l'aparició de noves plagues i fins i tot diferenciar algunes poblacions d'insectes d'una forma senzilla a causa de l'especificitat de les feromones. A Espanya, en l'actualitat, aquest sistema s'utilitza per exemple per a seguir i planificar tractaments de plagues de quarantena, com la mosca del Mediterrani *Ceratitis capitata* Wiedemann; per a detectar possibles introduccions de plagues invasives, com *Bactrocera dorsalis* (Hendel), i per a la detecció precoç de la introducció de plagues en noves zones, com ocorre amb *Delotococcus aberiae* (De Lotto). En plagues establides, els paranyes esquerats amb feromones permeten seguir les dinàmiques poblacionals i, per tant, saber quin és el moment idoni o la necessitat de tractament o de solta d'agents de control biològic.

LA CONFUSIÓ SEXUAL (Figura 2)

És el mètode de control de plagues basat en feromones més utilitzat en el món. Està basat en l'ús de feromones sexuals, que són les emeses per un gènere de l'espècie per a atraure a l'altre gènere —normalment, les femelles als mascles—. Aquest mètode consisteix a emetre a l'ambient una concentració de feromona sexual de l'espècie a bastament per a impedir, dificultar o simplement retardar l'aparellament, provocant una disminució de la població en les següents generacions de la plaga. Aquest mètode de control es va usar a principis dels anys setanta amb lepidòpters com l'eruga peluda de l'alzina o el cuc rosat del cotó, però ha sigut en els últims 15 anys quan ha tingut un important auge en altres ordres d'insectes, com els hemípters. En 2006, ja es tractaven en el món amb confusió sexual més de 600.000 hectàrees (Witzgall i col. 2008) i en 2018 es van superar les 800.000 (Benelli i col. 2019), aproximant-se en l'actualitat al milió d'hectàrees. La feromona es distribueix en el camp col·locant difusors passius —anomenats emissors— o nebulitzadors. En qualsevol cas, la distribució d'aquests emissors ha de ser homogènia per a cobrir tota la superfície i, com a norma general, s'ha d'aplicar abans que comence el cicle d'aparellament de l'insecte i mantenir-se activa durant tots els períodes de còpula de l'insecte. Un inconvenient d'aquest sistema és l'elevat preu de síntesi d'algunes d'aquestes feromones, factor que pot arribar a fer inviable la seua utilització. Finalment, cal assenyalar que aquesta tècnica no és aplicable en xicotetes parcel·les, ja que l'efecte d'invasió en les vores d'aquestes és molt elevat. Per exemple, en *Lobesia botrana* Denis & Schiffermüller, es recomana que la superfície a tractar siga major de cinc hectàrees perquè la tècnica proporcione bons resultats. Com a norma general, la tècnica de confusió sexual resulta més eficaç com més gran siga la superfície tractada.

Figura 2. Difusors comercials de feromona per a confusió sexual. Difusors passius per a A. *Aonidiella aurantii* i B. *Lobesia botrana*. Nebulitzador per a C. *Chilo suppressalis* (EPA)



La confusió sexual, el mètode de control de plagues basat en feromones més utilitzat, es basa en l'ús de feromones sexuals, que són les emeses per un gènere de l'espècie per a atraure l'altre gènere.

L'única manera d'aconseguir una agricultura sostenible és aconseguint que els sistemes de producció siguen rendibles i, en aquest aspecte, els mètodes de control biotecnològics han de competir econòmicament amb els mètodes de producció convencional.

L'ATRACCIÓ-AFECTACIÓ (Figura 3)

Consisteix a atraure selectivament i eficaçment a un organisme fins a un dispositiu on afectar-lo, de manera que puguem actuar sobre aquest, la seua descendència o altres organismes de la seua mateixa espècie. Els tres mètodes d'atracció-afectació més habituals són l'atracció i mort, l'atracció-contaminació i l'atracció-esterilització. En els dispositius d'atracció i mort, se sol utilitzar un insecticida o un parany físic —aigua, cola, laberint— que faça que l'insecte que arriba fins al parany muira. Aqueixos dispositius s'estan emprant amb gran eficàcia sobre plagues d'importància econòmica com les mosques de la fruita, morruts dels plataners i plagues de magatzem (Navarro-Llopis i col. 2017). No obstant això, en els dispositius d'atracció contaminació i d'atracció esterilització, es pretén que l'organisme que arribe al dispositiu es veja contaminat per un agent de control microbiològic o esterilitzat per un agent químic i fuja perquè transmeta aqueixa contaminació o aqueixa condició d'esterilitat a altres organismes de la mateixa espècie (Navarro-Llopis i col. 2015).

El principal avantatge dels sistemes d'atracció i mort és el canvi de paradigma de l'aplicació de l'insecticida. En aquest cas, l'insecte és atret d'una forma específica fins a un dispositiu on l'insecticida actuarà sobre ell. És a dir, l'insecte és atret a l'insecticida i no és l'insecticida el que ha d'afectar l'insecte (foto p. 36), la qual cosa suposa una aplicació de molta menor quantitat de tòxics, més específics, sense residus, poc perillosa per a l'aplicador i sense afectació d'organismes no diana.

En el cas dels dispositius d'atracció i mort, l'insecticida es manté confinat en el dispositiu, la qual cosa permet utilitzar-lo a una concentració molt menor, ja que el contacte és directe. Atés que l'aplicació es realitza de forma tan dirigida, és possible la utilització de substàncies actives que, d'una altra forma, no han d'usar-se per la seua persistència o característiques com la bioacumulació. Finalment, l'avantatge d'aquests sistemes d'atracció-afectació respecte als de confusió sexual és la menor quantitat de feromona necessària per a la seua aplicació, ja que no es tracta de confondre els insectes en un núvol de feromona, sinó d'atraure'ls específicament a un lloc determinat.

Un dels pocs problemes que poden tindre aquests sistemes d'atracció i mort és la generació de resistències, perquè s'apliquen de forma continuada en el temps i l'exposició pot ser subletal en el cas de contactes lleus. És per això que és necessària l'alternança d'insecticides amb maneres d'acció diferents.

Figura 3. Dispositius d'atracció-afectació. A. Picusan® modificada per a atracció infecció de *Rhynchophorus ferrugineus*, dispositiu d'atracció i mort B. Magnet-MED®, C. Servatray®, D. Decis® trap i dispositiu d'atracció esterilització per a *Ceratitis capitata*.





Mascles apegats en un sistema d'atracció i mort.

La utilització de les tècniques basades en feromones ja resulta econòmicament competitiva en alguns cultius, com ocorre en els casos de l'arna de la vinya, la carpocapsa de la poma, el cuc del cotó i els minadors dels brots en fruiters.

APLICACIÓ DELS SISTEMES DE CONTROL BASATS EN FEROMONES

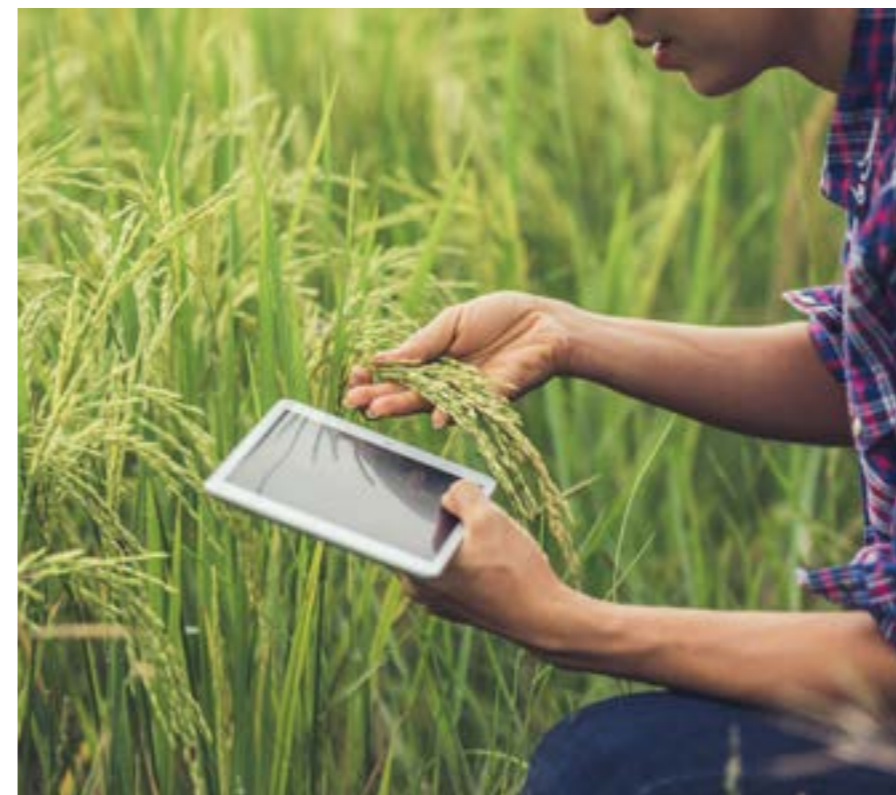
La rendibilitat d'aquests mètodes de control s'està aconseguint gràcies a diversos factors:

1. l'eliminació d'agroquímics de perfil toxicològic no acceptables actualment;
2. l'optimització dels sistemes d'aplicació;
3. el menor cost de síntesi de feromona derivat de la seua major utilització i, per tant, de l'economia d'escala;
4. la major conscienciació ambiental i toxicològica dels compradors que es trasllada als mercats;
5. la comptabilització en els costos dels efectes secundaris dels plaguicides d'ampli espectre;
6. la diferenciació en el mercat dels productes ecològics.

El primer exemple d'aplicació d'aquesta tècnica a Espanya correspon a un cultiu amb especials requeriments, per realitzar-se en zones sensibles i protegides, com és l'arròs. Des dels primers anys

en què es va utilitzar en la dècada dels anys huitanta fins a l'actualitat, l'aplicació de la confusió sexual contra el barrinador de l'arròs, *Chilo suppressalis* Walker, ha experimentat una contínua millora, de manera que ha reduït els costos d'aplicació i ha optimitzat la dosi d'aplicació i l'època d'emissió. Després d'aquesta evolució, la confusió sexual de *C. suppressalis* ha passat de ser una tècnica que només es justificava per criteris mediambientals, a causa del seu elevat cost, a ser la tècnica de referència en els arrossars espanyols afectats per aquesta plaga, pel seu cost competitiu i la seua gran eficàcia.

Com ja s'ha esmentat, l'ús de feromones, especialment per mitjà de confusió sexual, té el seu màxim exponent en plagues de lepidòpters. No obstant això, en les últimes dècades, s'estan destinant esforços considerables per al desenvolupament de la tècnica de confusió sexual aplicada a altres ordres



d'insectes, com el dels hemipters. L'exemple més representatiu el trobem en el diaspí *Aonidiella aurantii* Maskell, el poll roig de Califòrnia, contra el qual ja s'utilitza la confusió sexual (Vacas i col. 2010) en milers d'hectàrees de cítrics a Espanya. I el nombre va en augment. El cas d'*A. aurantii* suposa un paradigma per al desenvolupament de mètodes de control basats en semioquímics al nostre país, ja que la feromona d'aquesta espècie (Rescalure) ha sigut la primera matèria activa registrada a Europa per una empresa espanyola sense participació estrangera.

La viabilitat futura d'aquestes tècniques depèn de la seua competitivitat econòmica, independentment dels seus avantatges ambientals. L'única manera d'aconseguir una agricultura sostenible és aconseguint que els sistemes de producció siguin rendibles i, en aquest aspecte, els mètodes de control biotecnològic han de competir econòmicament

amb els mètodes de producció convencional. No obstant això, s'ha de tindre en compte els costos ambientals que tenen els sistemes de producció basats en l'aplicació intensiva d'agroquímics, tant sobre el medi ambient com sobre la salut de les persones. Hem de tindre en compte que l'aplicació intensiva i repetida de fitosanitaris provoca desequilibris en la fauna auxiliar i, per tant, l'aparició de plagues induïdes, el cost de tractament de les quals també hauria de comptabilitzar-se en els costos del tractament inicial.

Independentment del model productiu, els mètodes de control de plagues basats en feromones s'estan aplicant cada vegada més per la seua eficàcia i el seu cost cada vegada més competitiu, la qual cosa facilita el camí cap a una agricultura ecorracional.

Hem de considerar que un ecosistema equilibrat evita l'explosió incontrolada de plagues i afavoreix el control d'aquestes.

BIBLIOGRAFIA

Benelli, G., Lucchi, A., Thomson, D., & Ioriatti, C. (2019). "Sex Pheromone Aerosol Devices for Mating Disruption: Challenges for a Brighter Future". *Insects*, 10(10), 308.

Navarro-Llopis, V., Sanchis, J., Primo-Millo, J., & Primo-Yúfera, E. (2007). "Chemosterilants as control agents of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in field trials". *Bulletin of entomological research*, 97(4), 359-368.

Navarro-Llopis, V., Primo, J., & Vacas, S. (2013). "Efficacy of attract-and-kill devices for the control of *Ceratitis capitata*". *Pest management science*, 69(4), 478-482.

Navarro-Llopis, V., Ayala, I., Sanchis, J., Primo, J., & Moya, P. (2015). "Field Efficacy of a *Methylophilum anisopliae*-Based Attractant-Contaminant Device to Control *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae)". *Journal of economic entomology*, 108(4), 1570-1578.

Vacas, S., Alfaro, C., Navarro-Llopis, V., & Primo, J. (2010). "Mating disruption of California red scale, *Aonidiella aurantii* Maskell (Homoptera: Diaspididae), using biodegradable mesoporous pheromone dispensers". *Pest management science*, 66(7), 745-751.

Witzgall, P., Stelinski, L., Gut, L., & Thomson, D. (2008). "Codling moth management and chemical ecology". *Annu. Rev. Entomol.*, 53, 503-522.

>Autors de l'article:
Vicente Navarro-Llopis, Aitor Gavara i Sandra Vacas
Institut Agroforestal del Mediterrani, Centre d'Ecologia Química Agrícola, Universitat Politècnica de València.
vinallo@ceqa.upv.es