

综述与进展

昆虫信息化学物质的应用进展

苏茂文 张钟宁\*

(中国科学院动物研究所 农业虫鼠害综合治理研究国家重点实验室 北京 100080)

**Development of application for insects semiochemicals.** SU Mao-Wen, ZHANG Zhong-Ning\* (*Institute of Zoology, State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China*)

**Abstract** In this paper the latest application development of insect sex pheromone, trail pheromone, aggregation pheromone, oviposition (detering) semiochemicals and synomone were introduced. Especially, we laid a strong emphasis on the application development of sex pheromone about motitoring, mass traping and mating disruption. Comparing to sex pheromone, there were few report about trail pheromone, oviposition and oviposition detering semiochemicals, aggregation pheromone, and synomone but these pheromones are being continuously discovered and used. After a new insect pheromone has been identified, there are still lots of problems need to be solved before use it well in the field. So the influencing factors of the using efficacy of insects semiochemicals in the field were also analyzed.

**Key words** insect, semiochemicals, application, influence factor

**摘 要** 介绍昆虫性信息素 (sex pheromone)、示踪信息素 (trail pheromone)、聚集信息素 (aggregation pheromone)、产卵 (oviposition) 和产卵忌避 (oviposition detering) 信息化合物 (semiochemicals) 和种间协同素 (synomone) 在害虫控制方面的最新应用进展, 其中, 重点介绍性信息素在害虫种群监测、大量诱捕和干扰交配 3 个方面的应用进展情况。与性信息素相比, 人们对示踪信息素、聚集信息素、产卵和产卵忌避信息化合物和种间协同素的报道较少, 但这些信息素也正在不断的被人们发现和利用。从一种昆虫信息素被鉴定出来, 到其在生产当中很好应用, 尚有很多问题需要解决, 所以, 文中对昆虫信息化学物质田间应用效果的影响因子进行分析。

**关键词** 昆虫, 信息化学物质, 应用

用昆虫信息化学物质防治害虫是 20 世纪 60 年代以来发展起来的一种治虫新技术, 与化学农药相比, 它具有灵敏度高、选择性强、无毒、不污染环境、不杀伤天敌、不易产生抗药性等优点。国内外对昆虫信息化学物质的应用研究都十分重视, 因而更多害虫的信息化学物质不断被鉴定、合成和田间应用, 同时应用中的新技术、新方法和新器材也不断涌现。本文就近年来国内外昆虫信息化学物质的应用方面作一简要综述。

1 昆虫性信息素的应用

当前昆虫信息化学物质研究和应用最多的当属昆虫性信息素, 到目前已有上千种昆虫的性信息素得到了研究, 其中鳞翅目、鞘翅目、膜翅目、等翅目、双翅目等的研究较多, 以鳞翅目的研究最为详尽, 已经有 1 800 多种鳞翅目昆虫的性信息素被鉴定出来<sup>[1]</sup>。

性信息素仍然主要应用在昆虫种群预测预

\* 通讯作者, E-mail: zhangzn@ioz.ac.cn

收稿日期: 2006-01-04, 修回日期: 2006-01-19, 2007-02-24 再修回

报、干扰交配、大量诱捕 3 个方面。另外,也可与其他农药结合施用以及昆虫分类等方面,但这方面的研究较少。

### 1.1 诱捕器和诱芯

信息素在田间应用一般使用诱捕器和诱芯,而诱捕器和诱芯的结构依昆虫的种类而不同。常见诱捕器的类型有三角形、帐篷形、翅形、屋形、奶盒形、漏斗形、双圆锥形以及柱形等<sup>[2]</sup>。诱捕器和诱芯的规范化设计是信息素防治效果的一个主要影响因子。无论是害虫监测还是大面积诱杀,要得到最佳的诱捕效果,必须对诱捕器和诱芯作最优化设计。

Isaacs 等研究了一种电子装置(microsprayer)可以精确可靠地在整个害虫发生季节里控制昆虫信息素的释放,以干扰害虫的交配,不需要任何维护和组件更新。这种电子装置使信息素处于一种无氧、无光照的环境中,可以在作物生长季节里令信息素始终保持活性状态<sup>[3]</sup>。

苏建伟等比较了水盆、筒形、笼罩、泥盆和粘胶诱捕器等几种常见诱捕器对二化螟 *Chilo suppressalis* 的诱蛾效果,得出水盆诱捕器诱蛾效果最佳。他们还进一步对水盆诱捕器最佳口径、颜色及其设置高度进行了研究,结果表明:盆口直径以 24 cm 为佳,绿色水盆,诱盆的高度以高出水稻顶端约 20 cm 为佳;并且性信息素诱芯离水盆内水面的高度对二化螟雄蛾的诱捕有一定的影响,其高度在 0.5 ~ 1.0 cm 的诱蛾量最高<sup>[4]</sup>。这与郑圣年等<sup>[5]</sup>的研究结果基本一致。

徐洁莲等报道了自制矿泉水瓶诱捕器和国外的斯坦乃尔(Steiner)诱捕器对橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 的诱杀效果比较,认为自制的改装矿泉水瓶诱捕器只要选择适合的诱虫口(4 cm × 3 cm) ~ (6 cm × 4 cm)和诱芯(纤维板或海绵),其诱虫效果仍然很好,且廉价易造,大可不必用价格昂贵的国外进口产品<sup>[6]</sup>。

Oehlschlager 等研究了食叶鳃金龟 *Phyllophaga elephas* 性信息素的田间应用。比较了 4 种诱捕器, A 是 20 L 的白色塑料桶,内装

3 ~ 5 cm 深,浓度为 1% ~ 2% 的清洁剂水溶液。B 是在 A 的基础上,再在水桶的上方设置 2 个相互交叉的镀锌金属片(高 75 cm × 宽 33 cm),并在每个金属片的中心位置设 1 个直径为 5 cm 的圆孔,以便于空气自由通过。诱芯为薄膜释放装置(ChemTica International, San Jose, Costa Rica),用铁丝悬挂在圆孔中。C 是一个容积为 20 L 的矩形塑料箱,四面分别开一个 16 cm × 23 cm 或 20 cm × 23 cm 的窗,内装 4 cm 深,浓度为 3% 的清洁剂水溶液,将诱芯悬挂在箱子顶部中心位置。D 是一个灯光引诱装置,2 个相互交叉的镀锌金属片(高 35 cm × 宽 20 cm)的交叉轴上放置一个 23 cm 长的灯管(8 W, 12 V),金属片的下面连接着一个端部直径为 50 cm 的镀锌金属漏斗,最下面用一个金属篓(直径 40 cm × 深度 80 cm)收集害虫。结果表明,设置性诱芯的诱捕器以 B 型为最好,以 11 mg/d 的释放速率对于诱捕食叶鳃金龟非常有效,其有效半径为 5 ~ 15 m。D 型灯光诱捕器的诱捕效率是 B 型的 10 倍之多,但是成本是后者的 20 倍,故种植者还是喜欢使用 B 型诱捕器<sup>[7]</sup>。

以前用聚乙烯小瓶和小袋设计长毛草盲蝽 *Lygus rugulipennis* 性信息素诱芯,诱捕效果较差,Innocenzi 等应用玻璃毛细管(体积 5  $\mu$ L, catno. TLC940-040X, Fisher Scientific, UK)设计诱芯,效果明显提升<sup>[8]</sup>。

Tóth 等认为应用丽金龟 *Anomala solida* Er 性信息素的 2 种诱芯:一是橡胶管。二是 0.7 mL 的带盖聚乙烯小瓶,完全可以对该丽金龟进行监测、干扰交配和大量诱捕<sup>[9]</sup>。

### 1.2 昆虫种群预测预报

种群预测预报的基本原理是:昆虫羽化之后,往往寻找配偶交配,于是利用人造雌虫性信息素源便可吸引雄虫飞来,从而可以监测和预测害虫的发生期、发生量以及分布区域等,以估计害虫危害的面积和控制适期。由于性信息素测报诱捕器具有灵敏度高、专一性强、使用方便和成本低廉等优点,使得其在害虫测报上广泛应用。

Grafton-Cardwell 等利用信息素有效地监测

了黄圆蚧 *Aonidiella citrina* 的分布范围, 黄圆蚧诱芯对雄蚧的有效期长达 4 个月<sup>[10]</sup>。利用载有 100  $\mu\text{g}$  无花果臀纹粉蚧信息素的硅橡胶塞引诱雄蚧, 诱芯有效期至少为 12 周, 有效距离至少为 50 m<sup>[11]</sup>; 载有 200  $\mu\text{g}$  橘臀纹粉蚧 *Planococcus citri* 信息素的诱芯对雄蚧的有效期长达 16 周<sup>[12]</sup>。Mendel 等在松树林中, 利用以色列松干蚧 *Matsucoccus josephi* 性信息素诱芯监测其捕食性天敌松干蚧花螭 *Elatoputius nipponensis* 种群动态和地理分布, 并用来判定以色列松干蚧的其它捕食性天敌<sup>[13]</sup>。

在储藏物昆虫中, 信息素目前主要用作诱饵监测储藏物昆虫的种群动态<sup>[14]</sup>。迄今为止, 至少有 35 种储藏物昆虫的信息素被鉴定出来<sup>[15, 16]</sup>, 其中几乎一半的种都有合成的信息素, 并被不同程度地应用到了生产上。在北美, 印度谷螟 *Plodia interpunctella* 的性诱剂引诱力很强, 其诱捕器销路最好, 其次是斑皮蠹。谷斑皮蠹、花斑皮蠹、药材窃蠹、家具窃蠹、小圆皮蠹、大粉长谷蠹和谷蠹的诱捕器在许多国家已形成产品, 应用效果良好<sup>[17, 18]</sup>。

陈国发等应用人工合成的性信息素对靖远松叶蜂 *Diprion jingyuanensis* 的昼夜反应节律、成虫发生期及分布区域进行了监测和检测。采用塑料管式诱芯和 Lund-I 型诱捕器。结果显示其昼夜反应节律发生在白天, 反应高峰为 11:00 ~ 14:00; 对其成虫发生期和持续期的监测显示, 不同年份和海拔高度的成虫发生期和持续期不同; 对分布区域的检测表明, 在以前未有靖远松叶蜂分布的山西省太岳山森林公园已有该虫的分布<sup>[19]</sup>。

Löfstedt 等鉴定出红醋栗穿孔蛾 *Lampronia capitella* 的性信息素, 这是第一次鉴定出鳞翅目单孔亚目穿孔蛾总科昆虫的性信息素, 田间生测结果表明可以用于监测该穿孔蛾的种群发生动态等<sup>[20]</sup>。

由于应用瘿蚊防治蚜虫是相对昂贵的生物防治手段<sup>[21, 22]</sup>, Choi 等应用瘿蚊 *Aphidoletes aphidimyza* 的性信息素, 监测该瘿蚊的种群密度, 以帮助种植者确定释放该瘿蚊的最佳时机

来防治蚜虫, 从而减少了盲目性, 为种植者降低了使用成本<sup>[23]</sup>。

传统的防治方法已经很难有效的防治杨大透翅蛾 *Sesia apiformis*, Francke 等鉴定出杨大透翅蛾的 2 种新型性信息素 3Z, 13Z-18OH 和 2Z, 13Z-18Ald, 二者以 2:3 的比例混配, 应用红色橡胶诱芯和白色 Delta 诱捕器可以监测杨大透翅蛾的种群动态<sup>[24]</sup>。

Gibb 等鉴定出橘花巢蛾 *Prays nephelomima* 的性信息素 (Z)-7-碳烯醛。以红色橡胶诱芯, 使用量为 300  $\mu\text{g}$ /个, 监测出橘花巢蛾雄虫一年四季皆有发生, 于夏末和秋天是盛发期<sup>[25]</sup>。

### 1.3 干扰交配

干扰交配的基本原理是: 在充满性信息素气味的环境中, 雄蛾丧失寻找雌蛾的定向能力, 致使田间雌雄的交配概率大为减少, 从而使下一代虫口密度急剧下降。

王淑芬等在约 4  $\text{hm}^2$  的试验林中, 用金钱松小卷蛾 *Celypha pseudolexicola* 性信息素做了干扰交配试验, 其自制干扰源有 2 种: (1) 塑料小方块, 体积约 1  $\text{cm}^3$ , 用棉线穿挂, 将所需剂量的引诱剂用微量注射器注入其中, 使其慢慢释放; (2) 将粗棉线剪成 10 cm 小段, 浸在引诱剂及适量聚苯乙烯的正己烷溶液中, 浸透取出晾干即成。每个干扰源约含 200  $\mu\text{g}$  引诱剂, 共设干扰源约 4 000 个, 间距为 5 m。结果表明干扰源设置前晚, 6 个水盆型诱捕器的诱蛾量(头)分别为 5, 51, 37, 6, 22, 15, 每个诱捕器均诱到蛾子, 但干扰源设置后, 次日检查的诱蛾量(头)分别下降为 0, 0, 1, 0, 2, 0, 说明雄蛾辨识雌蛾方向的能力已受到严重干扰, 用性信息素干扰金钱松小卷蛾交配是切实可行的<sup>[26]</sup>。

在 2 块面积分别为 14.1 和 15  $\text{hm}^2$  的棉田, 从棉株 8~10 叶期开始仅使用性信息素防治甜菜夜蛾 *Laphygma exigua*。所用诱芯为 Yoto-con-S 的 Twistie rope, 性信息素含量为 160 mg/个, 诱芯用量为 1 000 个/ $\text{hm}^2$ 。结果表明, 雌蛾的交配率降低了, 持效期可达 100 d; 和对照区相比, 卵量降低 57%, 幼虫量降低 95%。说明即

使在较小的面积上,同样可以利用性信息素来防治棉田中甜菜夜蛾等具有强飞行活动能力的害虫<sup>[27]</sup>。

自1990年以来,已成功应用醋栗透翅蛾 *Synanthodon tipuliformis* 性信息素干扰醋栗透翅蛾交配。例如,在美国华盛顿州,James等应用性信息素对醋栗透翅蛾进行干扰交配,面积为32 hm<sup>2</sup> (78 英亩),诱芯(Shin-Etsu Company of Japan)设置密度为500~687.5个/hm<sup>2</sup> (200~275个/英亩)<sup>[28]</sup>。但是,最近该项防治策略却发生了失败,Suckling等分析了其中的原因可能是,自从应用该防治策略以来,人们减少了化学农药的使用,造成该虫种群复苏<sup>[29]</sup>。所以,人们设置的诱捕器密度可能低于其有效性要求的阈值,故而发生干扰交配的失败。Suckling等还对不同颜色诱捕器的诱捕效果作了比较,认为黄色诱捕器最佳<sup>[29]</sup>。

Ortiz等利用欧洲白蜡暗斑螟 *Euzophera pinguis* 性信息素对其进行了干扰交配试验。白色橡胶诱芯,10 mg/个,密度为50个/hm<sup>2</sup>,处理区捕虫量比对照区减少95%,产卵和害虫发生率减少35%~40%。总释放量估计平均为5.4 mg/hm<sup>2</sup>/d,持效期可达56 d<sup>[30]</sup>。

#### 1.4 大量诱捕

大量诱捕的基本原理是:在田间设置大量的信息素诱捕器诱杀田间雄虫,导致田间雌雄比例严重失调,减少雌雄间的交配比率,使下一代虫口密度大幅度下降。

师光禄等应用人工合成的性信息素对华北落叶松鞘蛾 *Coleophora sinensis* 进行了监测,并开展了大量诱杀试验。结果表明,该引诱剂对华北落叶松鞘蛾雄蛾有较强的引诱作用,60个诱捕器在成虫扬飞期共诱到鞘蛾成虫51万头,应用诱捕器后,林地内华北落叶松鞘蛾被害率下降50.1%,虫口密度下降81.2%<sup>[31]</sup>。

洪家保等研究了2种烟青虫性信息素诱剂配方对烟青虫 *Helioverpa assulta* 成虫的诱杀效果。结果表明:诱蛾地烟青虫幼虫的虫口密度和有虫株率都有明显的降低,2种诱芯使虫口密度和有虫株率的降低幅度均在66.67%~

90.91%之间,说明烟青虫性信息素诱剂在烟草生产上具有广泛的应用前景<sup>[32]</sup>。

在约20 hm<sup>2</sup>的试验林中,王淑芬等用金钱松小卷蛾 *Celypha pseudoloxicola* 性信息素大量诱捕金钱松林中的小卷蛾,设置了2 200个信息素诱捕器,每个相距约10 m,诱芯上用塑料薄膜遮挡,以防雨淋。每晚每器最多可诱捕雄蛾1 000多头,一般都在300头以上,诱芯的持效期可达14 d<sup>[29]</sup>。

王香萍等报道了应用小菜蛾 *Plutella xylostella* 性诱剂可以使甘蓝田的农药使用减少3~5次,降低田间子代幼虫密度,试验面积为2 hm<sup>2</sup>。含顺-11-十六碳烯醛、顺-11-十六碳烯乙酸酯及顺-11-十六碳烯醇(50:50:1)的小菜蛾性诱剂除了能在低海拔地区使用外,在海拔1 200 m的湖北省山区也仍然适用<sup>[33]</sup>。

苏建伟等应用二化螟性信息素对60 hm<sup>2</sup>早稻田的越冬代和第1代二化螟成虫进行了大面积诱捕,田间采用绿色水盆诱捕器,布设密度为25个/hm<sup>2</sup>。结果表明诱捕区的卵块数比对照区有明显下降,下降率为74.39%;第1代二化螟成虫的发生量较对照区有明显下降,下降率为61.41%;诱捕区田间稻丛的百株枯鞘率、枯心率和白穗率比对照区有明显下降,下降率分别为70.90%,57.01%,和44.30%;诱捕区未使用农药,但防治效果好于对照区(平均施药1.24次)<sup>[35]</sup>。

Basilis等报道了合成的肩桃广肩小蜂 *Eurytoma amygdali* 性信息素田间引诱雄蜂的试验,试验面积为9 hm<sup>2</sup>,应用白色矩形纸板粘胶诱捕器,橡胶诱芯,性信息素用量为10 mg/个,结果表明该蜂种群发生数量可下降60%<sup>[36]</sup>。

#### 1.5 其他

人们早就怀疑阳桃实蝇 *Bactrocera carambolae* 和木瓜实蝇 *B. papayae* 这2个近缘种可能有自然杂交的现象发生,但是一直没有确实可靠的证据来证明这一现象的真实性,Wee等通过对雄虫性信息素组分的分析为杨桃实蝇和木瓜实蝇可以在野外互相杂交提供了可靠的证据<sup>[37]</sup>。

这2种实蝇的雄虫都喜食含有甲基丁子香酚(methyl eugenol, 简称 ME)的植物, 木瓜实蝇雄虫取食 ME 以后产生2种性信息素组分为2-丙烯基-4, 5-二甲氧基苯酚(DMP)和(E)-松柏醇(CF)<sup>[38, 39]</sup>, 然而, 阳桃实蝇产生CF<sup>[38, 40]</sup>、6-氧代-1-壬醇(OXO)和其他的微量组分。通过对二者的实验室杂交后代的性信息素组分分析, Wee 等发现杂交后代性信息素组分除了 DMP+CF, CF+OXO 组合以外, 还有许多的变型, 例如, CF、OXO+CF+DMP、DMP 等<sup>[40]</sup>, 而在野外捕捉到的木瓜实蝇的性信息素组分也的确出现 CF+OXO 组合, 阳桃实蝇的性信息素组分出现 DMP+CF 组合, 这样从性信息素组分的层次上就充分的证明了阳桃实蝇和木瓜实蝇可以在野外互相杂交的事实。

金龟子 *Osmoderma eremita* 喜欢居住在老的空的落叶树中<sup>[41, 42]</sup>。Svensson 等认为利用金龟子性信息素监测其发生量可以衡量树洞的数量, 从而帮助有关部门确定需要保护的森林地区; 同时 *O. eremita* 性信息素也可诱集其天敌 *Elater ferrugineus* 的雌雄成虫, 这可以帮助有关部门制定适当的生物控制手段<sup>[43]</sup>。

在植食性昆虫中, 植物挥发物可作用于雌性昆虫的神经和激素系统, 使其产生并释放信息素, 还可以增强雌性信息素对雄蛾的吸引力<sup>[44~46]</sup>。Yang 等报道了一些苹果挥发物对苹果小卷蛾 *Cydia pomonella* 性信息素的增效作用<sup>[47]</sup>。

## 2 昆虫示踪信息素的应用

昆虫示踪信息素在蚂蚁和蜜蜂中早已被发现, 但是关于它们的应用研究则罕见报道。许多白蚁的性信息素与示踪信息素是一种物质<sup>[48, 49]</sup>。最近, 美国康斯坦丁大学已成功地从黑翅土白蚁 *Odontotermes formosanus* 体内抽提合成了该白蚁的示踪信息素, 并将此种信息素与杀虫微生物混合, 研制出一种对土白蚁有示踪作用的灭治白蚁新药。这种新型的生物杀虫剂对灭治黑翅土白蚁效果好, 毒性低、对环境无污染, 并且价格便宜, 施工简便, 值得在世界各国

进行推广<sup>[50]</sup>。

## 3 昆虫聚集信息素的应用

昆虫聚集信息素(aggregation pheromone)通常被定义为由昆虫产生, 并能引起雌、雄两性同种昆虫聚集行为反应的化学物质<sup>[51]</sup>。昆虫聚集信息素主要应用于虫情监测和害虫的诱杀。最初, 昆虫聚集信息素应用于森林害虫小蠹的防治, 后来, 在露尾甲 Nitidulidae 上得到成功应用<sup>[52]</sup>。对于某些仓储害虫, 如谷象 *Sitophilus granarius*, 还可以用聚集信息素辅助研究其分布<sup>[53]</sup>。聚集信息素可以与杀虫剂混用, 诱杀半翅目害虫以及一些鞘翅目害虫<sup>[54]</sup>。寄主植物挥发物与昆虫聚集信息素混用可以起增效作用, 合成的萝卜菜跳甲 *Phyllotreta cruciferae* 聚集信息素与异硫氰酸烯丙酯(allyl isothiocyanate)混用比单独使用可以大大增加诱捕量<sup>[55]</sup>。另外, 起增效作用的途径还有添加一些植物性增效剂, 死虫或活虫<sup>[56, 57]</sup>; 结合使用模拟的寄主<sup>[58]</sup>。最近 Lacey 等报道了黑腹尼虎天牛 *Neoclytus acuminatus acuminatus* 的聚集信息素, 这是第1个天牛科昆虫聚集信息素, 这种信息素已经在新西兰应用<sup>[59]</sup>。高长启等应用聚集信息素监测与防治了纵坑切梢小蠹 *Tomicus piniperda*, 通过大面积防治和抽样调查, 利用虫口密度、有虫株率和梢被害率3项指标的减退率证实了应用聚集信息素防治纵坑切梢小蠹的效果显著可靠。结果表明, 其防治效果虫口密度减退率平均为94.35%, 有虫株率减退率平均为87.7%, 被害梢减退率为88.39%<sup>[60]</sup>。

## 4 产卵和产卵忌避信息化合物的应用

许多植物为防御昆虫产卵, 能通过自身的次生代谢途径, 产生一系列忌避昆虫产卵的化学物质, 统称为植物源昆虫产卵忌避异种化感物(insect oviposition-detering allelochemicals, 简称 ODAs), 它归属于益己素(allomones)的类别<sup>[61]</sup>; 另一方面, 当很多昆虫选择好寄主植物以后, 为了使其后代占有适宜的小生境, 避免食物竞争, 维持一定的种群密度, 雌虫产卵时, 便在寄主上

分泌一类标记化学物质,以避免自己或其他昆虫再到这里产卵,或者是幼虫的粪便中含有这种物质,以警告同种或异种的雌虫不要在该寄主及附近产卵,这类化学物质统称为昆虫产卵的忌避信息素(insect oviposition-detering pheromones,简称ODPs),它归属于抗聚集信息素(epideictic pheromones)的类别。Klein等鉴定出海灰翅夜蛾幼虫粪便中含有的产卵忌避素组分为:香芹酚、丁子香酚、叶绿醇、麝香草酚和橙花叔醇<sup>[62]</sup>。Li等又鉴定出秆野螟属*Ostrinia*幼虫粪便的产卵忌避素组分为棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和亚麻酸<sup>[63]</sup>。这种产卵忌避物质在植食性和捕食性昆虫中都有存在,例如,植食性昆虫中鳞翅目的黄地老虎*Agrotis segetum*<sup>[64]</sup>,菠萝褐灰蝶*Thecla basilides*<sup>[65]</sup>,海灰翅夜蛾*Spodoptera littoralis*<sup>[66,67]</sup>,草地夜蛾*S. frugiperda*<sup>[68]</sup>,粉夜蛾*Trichoplusia ni*<sup>[69]</sup>,玉米螟*Ostrinia nubilalis*<sup>[70]</sup>;鞘翅目的松天牛*Monochamus alternatus*<sup>[71]</sup>;捕食性昆虫如异色瓢虫*Harmonia axyridis*,龟纹瓢虫*Propylea japonica*<sup>[72]</sup>。其中,由于幼虫的粪便中含有产卵忌避素,黄地老虎和玉米螟的产卵减少率可达90%。另外,通过生物提取或人工合成害虫的产卵忌避信息素/异种化合物,在害虫产卵盛期喷洒在农作物上,就可以有效地抑制害虫在作物上的产卵,使作物免遭为害。Katsoyannos首次用ODPs防治欧洲樱桃实蝇*Rhagoletis cerasi*,显示出明显的防治效果,取得成功<sup>[73]</sup>。

产卵信息化合物就是可以激起昆虫产卵行为的化学物质,与产卵忌避化合物的作用恰好相反,但同样可以用于害虫的防治上。五带淡色库蚊*Culex quinquefasciatus*的产卵信息素在许多国家的疫区已经被应用<sup>[74,75]</sup>。最近,Olagbemi等从一种可再生植物体中找到某种植物前体用以合成五带淡色库蚊*Culex quinquefasciatus*的产卵信息素,大大地降低了该产卵信息素的生产成本<sup>[76]</sup>。

## 5 种间协同素的利用

植物在被害虫取食或产卵后,会释放一些

特定化合物以吸引害虫天敌,从而降低害虫对其的危害<sup>[77~81]</sup>,这种化合物可看作协同素或互益素(synomone)。Colazza等鉴定出蚕豆和菜豆被稻绿蝽*Nezara viridula*危害后释放的协同素为(E)- $\beta$ -石竹烯<sup>[82]</sup>。在过去的几年里人们已经从15多个不同的三级营养系统中,发现了许多类型的害虫取食诱导协同素,表明害虫取食诱导的协同素是一种普遍的现象,具有在生物防治方面应用的可能性<sup>[83,84]</sup>。例如,Aukema等利用植物被云杉大小蠹*Dendroctonus micans*危害所释放的协同素诱集其天敌*Rhizophagus grandis*,以监测*R. grandis*在田间的分布<sup>[85]</sup>。另一方面,由于害虫产卵而诱导的协同素仅在3种不同的三级营养系统中发现,分别是:榆树(*Ulmus minor*)-榆叶象甲*Xanthogaleruca luteola*-卵寄生蜂*Oomyzus gallerucae*,长白松(*Pinus sylvestris*)-普通锯角叶蜂*Diprion pini*-卵寄生蜂*Chrysonotomyia ruforum*,蚕豆(*Vicia faba*)和菜豆(*Phaseolus vulgaris*)-稻绿蝽-沟卵蜂*Trissolais basalis*<sup>[82]</sup>。

## 6 昆虫信息化学物质田间应用效果的影响因子

尽管许多的昆虫信息化学物质被鉴定出来,但并不是每一个都可以应用于田间害虫生物治理,例如许多蚜虫的性信息素就没有被充分的利用起来,像监测蚜虫种群的动态,引诱蚜虫寄生蜂,或者散布蚜虫病原菌等<sup>[86,87]</sup>。的确,在田间要实现经济、持续、有效的害虫防治策略,必须要克服许多问题。例如,马铃薯长管蚜*Macrosiphum euphorbiae*性信息素在室内引诱效果良好而在田间效果却较差<sup>[88]</sup>,Goldansaz等分析了可能的4种原因:一是田间试验区马铃薯长管蚜的发生量较少。二是田间释放的性信息素的质量和释放量与室内相比可能已经发生了变化。三是可能存在未知的信息素微量组分,尤其在田间对激起马铃薯长管蚜的反应显得格外重要。四是雄蚜到达性信息素来源的方式<sup>[89]</sup>。

Innocenzi等发现当长毛草盲蝽*Lygus*

rugulipennis 3 种性信息素组分(丁酸己酯, (*E*)-2-己烯丁酸, (*E*)-4-氧-2-己烯醛)中的 2 种即丁酸己酯和(*E*)-4-氧-2-己烯醛二者混合组成的诱芯才对雄长毛草盲蝽诱捕效果明显, 而当 3 种组分一起混合时, 诱捕效果反而下降<sup>[89]</sup>。

以色列松干蚧和海岸松干蚧 *Matsucoccus faytaudi* 田间大量诱捕法的研究表明, 信息素剂量、诱捕器大小、诱捕器类型对雄蚧的诱捕效果均有影响<sup>[90]</sup>。2 种蚧虫的诱捕数量随着剂量的增大而增加。海岸松干蚧的诱捕数量不受诱捕器类型的影响, 以色列松干蚧用 delta 诱捕器诱捕到的数量最大。对于 2 种蚧虫来说, 大的诱捕器可以诱捕到较多的蚧虫。

将可能引起昆虫信息化学物质田间应用失败的原因总结有如下几点: 一是昆虫的生理状况和外界气象条件(温度、湿度、气压、风速和风向等); 二是合成信息化学物质纯度不够(即使极微量的立体或光学异构体杂质也会极大地影响害虫的行为反应); 三是组分或配比有问题; 四是化学结构鉴定错误; 五是飞行昆虫的定向行为复杂, 诱捕器的设计和摆放位置影响诱芯的效果; 六是虫口密度的大小; 七是诱捕器在田间的排列方式和设置高度; 八是试验地周围植被的构成。

## 7 展望

昆虫信息化学物质在害虫综合治理中已经得到了广泛应用, 它解决了那些因使用化学农药带来的一系列问题(高毒、污染环境、杀伤天敌、抗药性和残留等)。随着当前人们环境保护意识的提高, 未来化学农药的使用将会被限制的愈来愈严格, 而像应用昆虫信息化学物质这种对环境友好的害虫治理方法, 前景将会越来越广阔。但是, 我们要认识到应用昆虫信息化学物质来防治害虫也有其不足的一面, 就是防治效果看起来比较缓慢而且使用成本较高, 这些问题也许是一个过渡的问题, 效果虽然缓慢, 但经过 2~3 年的连续应用后一般都会取得良好的效果, 如果使用信息素微胶囊缓释剂型来

代替传统的橡胶诱芯, 由于持效期增加, 诱捕效果会更好, 但国内对信息素微胶囊剂型的研究开发比较少, 陈增良等研制了一种诱芯和小菜蛾性信息素微胶囊缓释剂型, 田间诱捕试验效果不错, 为我国信息素微胶囊剂型的开发引入了新的方法<sup>[34]</sup>。相信随着人们不断对昆虫信息化学物质的开发和利用, 成本较高的问题也会被克服的, 比如, 从可再生资源中找到某种前体物质用以合成害虫信息素, 降低合成信息素的成本<sup>[76]</sup>; 使用自制的诱捕器, 廉价但诱捕效果不差<sup>[6]</sup>。另外, 还有一个问题就是在田间通常是几种害虫同时发生, 那么针对这种情况, 如果我们每种害虫都应用信息化学物质来诱杀防治, 会否存在相互干扰的问题? 这还需要我们在以后的研究和实践中继续去探索。所以, 针对某一害虫, 利用昆虫信息化学物质来防治只是其中一种手段, 还应该“因虫制宜、因地制宜”的结合其他防治措施, 比如农业防治、生物防治和化学防治等, 方能取得理想的治虫效果。

## 参 考 文 献

- 1 Http://www-pherolist.slu.se/pherolist.php
- 2 Carcé R. T., Elkinton J. S. In: Hummel H. E., Miller T. A. (eds.), *Techniques in Pheromone Research* Springer-Verlag, 1984. 111~129.
- 3 Isaacs R., Ulczynski M., Wright B., Gut L. J., Miller J. R. *J. Econ. Entomol.*, 1999, **92** (5): 1 157~1 164.
- 4 苏建伟, 张桂芬, 范伟民, 宣维健, 盛承发. 中国水稻科学, 2001, **15**(3): 197~200.
- 5 郑圣年, 胡召彬, 方志鹏, 周德春, 王桂芝, 等. 安徽农学通报, 2000, **6** (5): 49~50.
- 6 徐洁莲, 韩诗畴, 欧剑峰, 黄鸿, 吴华. 中国南方果树, 2004, **33** (4): 13~14.
- 7 Oehlschlager A. C., Leal W. S., Gonzalez L., Chacon M., Andrade R. *J. Chem. Ecol.*, 2003, **30** (8): 27~36.
- 8 Innocenzi P. J., Hall D., Cross J. V., Hesketh H. J. *Chem. Ecol.*, 2005, **31** (6): 1 400~1 413.
- 9 Tóth M., Subchev M., Sredkov I., Szarukán I., Leal W. J. *Chem. Ecol.*, 2003, **29** (7): 1 643~1 649.
- 10 Grafton-Cardwell E. E., Millar J. G., O'Connell N. V., Hank L. M. *J. Agricul. Urban Entomol.*, 2000, **17**: 75~88.
- 11 Millar J. G., Daane K. M., McElfresh J. L., Moreira J., Malakarkuenen R. *J. Econ Entomol.*, 2002, **95** (4): 706~714.
- 12 Serrano M. S., Lapointe S. L., Meyerdirk D. E. *Environ. Entomol.*, 2001, **30** (2): 339~345.

- 13 Mendel Z., Adar K., Nestel D., Dunkelblum E. *IOBC/WPRC Bulletin*, 1997, **20** (1): 231~240.
- 14 陈斌, 李隆术. 植物保护学报, 2002, **29**(3): 272~277.
- 15 Burkholder W. E. In: Behav. Modify. Chem. for Insect Manag., Appl. Pherom. Other Attract., Dekker, New York, 1990. 497~516.
- 16 Phillips T. W. In: Stored Product Protection; Proceeding of the 6th IWCSP at Australia, 1994. 479~486.
- 17 Mueller D., Pierce L., Beneat H., Krisdik V. *J. Kansas Entomol. Soc.*, 1990, **63**(4): 548~553.
- 18 Phillips T. W. *J. Stored Produ. Res.*, 1997, **33** (1): 17~30.
- 19 陈国发, 周淑芷, 张真, 王洪斌, 等. 北京林业大学学报, 2003, **31**(4): 16~17.
- 20 Löfstedt C., Zhu J., Kozlov M. V., Buda V., Jirle E. V., et al. *J. Chem. Ecol.*, 2004, **30** (3): 643~658.
- 21 Gilkeson L. A. *Can. Entomol.*, 1987, **12**: 1145~1146.
- 22 Van Lenteren J. C., Roskam M. M., Timmer R. *Biol. Control.*, 1997, **10**: 143~149.
- 23 Choi M. Y., Khaskin G., Gries R., Gries G., Roitberg B. D., et al. *J. Chem. Ecol.*, 2004, **30** (3): 658~670.
- 24 Francke W., Karalius V., Plass E., Lehmann L., Santos A. D., et al. *J. Chem. Ecol.*, 2004, **30** (4): 805~817.
- 25 Gibb A. R., Jamieson L. E., Sukling D. M., Ramankutty P., Stevens P. S. *J. Chem. Ecol.*, 2005, **31** (7): 1633~1644.
- 26 王淑芬, 唐大武, 叶翠层, 黄勇平, 周忠朗, 等. 中南林学院学报, 2003, **23**(4): 85~87.
- 27 董双林, 杜家纬. 昆虫知识, 2002, **39**(6): 412~417.
- 28 James D. G., Faulder R. J., Bartelt R. J. *J. Austral. Entomol. Soc.*, 1995, **34** (4): 327~333.
- 29 Sukling D., Gibb A., Bumip G., Snelling C., Ruiter J., et al. *J. Chem. Ecol.*, 2005, **31** (2): 393~406.
- 30 Ortiz A., Quesada A., Sanchez A. *J. Chem. Ecol.*, 2004, **30** (5): 991~1000.
- 31 师光禄, 王志红, 赵莉茜, 王翠英, 史军. 山西农业大学学报, 2002, **22**(4): 307~310.
- 32 洪家保, 陈学平. 昆虫知识, 2002, **39** (1): 27~30.
- 33 王香萍, 张钟宁, 雷朝亮, 赵毓朝, 吴旦旭. 昆虫学报, 2004, **47**(1): 135~140.
- 34 Chen Z. L., Fang Y. L., Zhang Z. N. *Chin. Sci. Bull.*, 2007, **52**(10): 1365~1371.
- 35 苏建伟, 宣维健, 盛承发, 戈峰. 中国水稻科学, 2003, **17** (2): 171~174.
- 36 Basilis E. M., Christos G. A., Nickolas K., Paragiotis U. *J. Chem. Ecol.*, 2004, **30** (6): 1245~1255.
- 37 Wee S. L., Tan K. H. *J. Chem. Ecol.*, 2005, **31** (4): 845~858.
- 38 Nishida R., Tan K. H., Serit M., Lajis N. H., Sukari A. M., et al., *Experientia*, 1988, **44**: 534~536.
- 39 Tan K. H., Nishida R. In: McPherson B. A., Steck G. J. (eds), Fruit Fly Pests. St. Lucia, Florida, 1996. 147~153.
- 40 Wee S. L. In: ph D thesis. Univ. Sains Malaysia Penang, Malaysia. 2000.
- 41 Luce J. M. In: van Helsdingen P. J., Willemse L., Speight M. C. D. (eds), Backgr. Inform. Invertebr. Habit. Direct. Bem Conven. Part 1: *Crustacea, Coleoptera, and Lepidoptera*. Council of Eur., Strasbourg France, 1996. 64~69.
- 42 Ranius T., Nilsson S. G. *J. Insect Conserv.*, 1997, **1**: 193~204.
- 43 Svensson G. P., Larsson M. C., Hedin J. *J. Chem. Ecol.*, 2004, **30** (2): 353~363.
- 44 McNeil J. N., Delisle J. *Experientia*, 1989, **45**: 236~240.
- 45 Raina A. K., Kingan T. G., Matto A. K. *Science*, 1992, **255**: 592~594.
- 46 Landolt P. T., Phillips T. W. *Annu. Rev. Entomol.*, 1997, **42**: 371~391.
- 47 Yang Z. H., Bengtsson M., Witzgall P. *J. Chem. Ecol.*, 2004, **30** (3): 619~629.
- 48 Laduguie N., Robert A., Bonnard O., Vieau F., Le Qué J. L., et al. *J. Insect Physiol.*, 1994, **40**: 781~787.
- 49 Wolst B., Farine J. P., Ginies C., Sémon E., Robert A., et al. *J. Chem. Ecol.*, 1999, **25**: 1305~1318.
- 50 [Http://chinapco.com/baiyi/baiyilunwen.htm](http://chinapco.com/baiyi/baiyilunwen.htm)
- 51 姜勇, 雷朝亮, 张钟宁. 昆虫学报, 2002, **45** (6): 822~832.
- 52 James D. G., Faulder R. J., Bartelt R. J. *J. Austral. Entomol. Soc.*, 1995, **34** (4): 327~333.
- 53 Placere R. *J. Stor. Prod. Res.*, 1996, **32** (3): 275~283.
- 54 Ross D. W., Dateman G. E. *For. Sci.*, 1997, **43** (1): 65~70.
- 55 Soroka J. J., Bartelt B. J., Zilkowski B. W., Cosé A. A. *J. Chem. Ecol.*, 2005, **31** (8): 1829~1843.
- 56 Bartelt R. J., Vetter R. S., Carlson D. G., Petroski R. J., Baker T. C. *J. Econ. Entomol.*, 1995, **88** (4): 864~869.
- 57 Bartelt R. J., Weaver D. K., Arbogast R. T. *J. Chem. Ecol.*, 1995, **21**: 1763~1779.
- 58 El Garhy M. E. In: Brighton Crop Protec. Confer: Pests and Diseases. British Crop Protection Council, Farnham, UK, 1996. **3**: 1059~1064.
- 59 Lacey E. S., Ginzell M. D., Millar J. G., Hanks L. M. *J. Chem. Ecol.*, 2004, **30** (8): 1493~1507.
- 60 高长启, 徐桂莲, 张晓军, 张凯鹏, 宋丽文, 等. 中国森林病虫, 2004, **23**(2): 30~32.
- 61 吴文伟, 陈建新, 宋敦伦, 何成兴, 王淑芬, 等. 西南农业学报, 2002, **15** (3): 105~111.
- 62 Klein B., Schildknecht H., Hilker M., Bombosch S. Z. *Naturf. C.*, 1990, **45**: 895~901.
- 63 Li G. Q., Ishikawa Y. *J. Chem. Ecol.*, 2004, **31** (7): 1445~1456.
- 64 Anderson P., Lofqvist J. *Environ. Entomol.*, 1996, **25**: 653~658.
- 65 Rhainds M., Gries G., Morales J. L. *Ecol. Entomol.*, 1996,

21: 105 ~ 106.

66 Hilker M., Klein B. J. *Chem. Ecol.*, 1989, 15: 929~938.

67 Anderson P., Hilker M., Hansson B. S., Bomboesch S., Klein B., *et al. J. Insect Physiol.*, 1993, 39: 129~137.

68 Williams A. L., Mitchell E. R., Heath R. R., Barfield C. S. *Environ. Entomol.*, 1986, 15: 327~330.

69 Renwick J. A. A., Radke C. D. *Environ. Entomol.*, 1980, 9: 318~320.

70 Ditttrick L. E., Jones R. L., Chiang H. C. *J. Insect Physiol.*, 1983, 29: 119~121.

71 Anbutsu H., Togashi K. *J. Insect Physiol.*, 2002, 48: 459~465.

72 Aganwala B. K., Yasuda H., Kajita Y. *J. Chem. Ecol.*, 2003, 29: 357~376.

73 Bell W. J., Carle R. T. In: *Chem. Ecol. Insect*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts. 1984.

74 Mboera L. E. G., Takken W., Mdira K. Y., Chuwa G. J., Pickett J. A. *J. Chem. Ecol.*, 2000, 26: 1193~1203.

75 Mboera L. E. G., Takken W., Mdira K. Y., Chuwa G. J., Pickett J. A. *J. Med. Entomol.*, 2000, 33: 172~176.

76 Ologbemiro T. O., Birkett M. A., Luntz A. J. M., Pickett J. A. *J. Chem. Ecol.*, 2004, 30 (5): 965~976.

77 Turlings T. C., Loughrin J. H., McCall P. J., R6se U. S. R., Lewis W. J., *et al. Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1995, 92: 4169~4174.

78 Turlings T. C., Bernasconi M., Bertossa R., Bigler F., Caloz G., *et al. Biol. Control.*, 1998, 11: 122~129.

79 Dicke M. *Biochem. System. Ecol.*, 2000, 28: 601~617.

80 Dicke M., Van Loon J. J. A. *Entomol. Exp. Appl.*, 2000, 97: 327~349.

81 Gatehouse J. A. *New Phytol.*, 2002, 156: 145~169.

82 Colazza S., McElfresh J. S., Millar J. G. *J. Chem. Ecol.*, 2004, 30 (5): 945~964.

83 Cortesero A. M., Sapel J. O., Lewis W. J. *Biol. Control.*, 2000, 17: 35~49.

84 Degenhardt J., Gershenzon J., Baldwin I. T., Kessler A. *Cur. Opin. Biotechn.*, 2003, 14: 169~176.

85 Aukema B. H., Dahlsten D. I., Raffa K. F. *Environ. Entomol.*, 2000, 29: 618~629.

86 Gabrys B. J., Gadamski H. J., Klukowski Z., Pickett J. A., Sobota G. T., *et al. J. Chem. Ecol.*, 1997, 23: 1881~1891.

87 Hartfield C. M., Campbell C. A. M., Hardie J., Pickett J. A., Wadhams L. J. *Bio. Sci. Technol.*, 2001, 11: 401~410.

88 Goldansaz S. H., Dewhurst S., Birkett M. A., Hooper A. M., Smiley D. W. M., *et al. J. Chem. Ecol.*, 2004, 30 (4): 819~834.

89 Innocenzi P. J., Hall D., Cross J. V., Hesketh H. J. *Chem. Ecol.*, 2005, 31 (6): 1400~1413.

90 Branco M., Jactel H., Silva E. B., *et al. Agric. For. Entomol.*, 2004, 6 (3): 233~239.

## 海外中国昆虫学者协会(OCEA)2006 年年会在美国印地安那波里斯市举行

美国昆虫学会(ESA)第54届年会于2006年12月9~13日印地安那波里斯市举行。在此会议期间,“海外中国昆虫学者协会”举办了题为“合作、竞争与创造”专题讨论会。来自美国、加拿大及中国大陆60位专家学者以及部分在读博士生参加了此会。

会议由现任主席陈明顺博士主持。来自国内西北农林科技大学植保学院副院长仵均祥教授及四川大学生命科学院党委书记岳碧松教授分别介绍了各自大学/学院的基本情况,教学、科研能力及成果,并就吸引海外专业人才的方针、政策,以及回国应聘等方面进行了探讨。来自加州Apex Bait Technologies Inc公司总裁梁党生博士作了题为“昆虫、诱饵及贸易——昆虫学之创业”个人体会性报告。普渡大学昆虫系王常禄博士以传入我国广东的红火蚁为例,介绍了他与国内同行合作的经验及体会。之后,陈明顺主席宣布2006年度荣获学生优秀论文一、二等奖的获奖名单,并颁发奖金及证书。协会副主席张庆贺博士和秘书长(兼会计)宋齐生博士分别就今年协会的主要活动、成就以及财政状况作了总结性报告。最后大家推荐并通过下届(2007)主席、副主席及秘书长的人员组成。主席:张庆贺博士(Steding Intemational Inc);副主席:宋齐生博士(University of Missouri-Columbia);秘书长(兼会计,网页管理):方庆权博士(Georgia Southern University)。

下届年会将于2007年12月8~12日在加州圣地亚哥市(San Diego)举行。欢迎海内外昆虫学同仁积极报名参加。国内有意参加者,请与张庆贺博士联系(qing-he@rescue.com)。

注:海外中国昆虫学者协会(简称OCEA)是由在美国的华人昆虫学者于1998年11月成立的学术组织,并于2000年在美国正式注册。其宗旨是团结海内外的华人昆虫学者及组织,加强海外华人昆虫学者之间的学术交流,促进海外与国内昆虫学者之间的学术交流与合作,为昆虫学科的发展和进步作贡献。

(张庆贺)