

化学信息素在蔬菜害虫 综合防治中的应用

杜永均

摘 要 介绍了化学信息素,特别是性信息素,在蔬菜害虫综合防治中的应用及其意义,并分析了影响性信息素技术防治效果的各种环境因素,以及使用中存在的问题和注意要点。

关键词 化学信息素 性信息素 蔬菜害虫 综合防治 安全农产品

蔬菜害虫防治工作中不合理使用杀虫剂,已成为制约我国无公害蔬菜和出口创汇蔬菜产业发展的瓶颈。牢固树立“公共植保”和“绿色植保”的理念,把害虫防治作为人与自然和谐系统的重要组成部分,发挥对高产、优质、高效、生态、安全蔬菜产业的保障和支撑作用,在害虫综合治理(IPM)中加强生物防治技术的研究与应用势在必行。天敌昆虫、微生物制剂、化学信息素和植物源杀虫剂,正逐步成为害虫综合治理的基本技术之一,至今已占国际农药市场份额的3%;而在生物防治中三者分别为15%、36%、28%和21%。化学信息素利用技术具有选择性强、风险低以及可兼容性,在IPM技术体系中已起着非常重要的作用。其中,性信息素处于主导地位,约占化学信息素的80%;聚集信息素为10%;其他化学信息素如食物或植物气味的引诱物、驱避剂等则为10%左右。至今,主要蔬菜害虫性信息素的化学结构已得到了鉴定,斜纹夜蛾(*Spodoptera litura*)、甜菜夜蛾(*S. exigua*)、小菜蛾(*Plutella xylostella*)、棉铃虫(*Helicoverpa armigera*)等害虫的性信息素更是广泛应用于害虫预测预报和防治中。本文对国内外化学信息素的研究与应用情况及应注意的问题作一介绍。

1 化学信息素的基本概念和应用原理

化学信息素是生物个体之间起化学通讯作用的化合物的统称,是昆虫交流的化学分子语言。这些信息化合物调控着生物个体的各种行为,如引起同种异性个体性冲动及为了达到有效交配与生殖以繁衍后代的性信息素;帮助同类寻找食物、迁居异地和指引道路的标记信息素;为了群聚

生活而分泌的聚集信息素;以及其他调控报警、产卵、取食、寄生蜂寻找寄主等行为的各种化学信息素。其中,调控昆虫雌性吸引的雌性昆虫所分泌的性信息素化合物既敏感,又专一,作用距离较远,引诱力强,尤其是那些成虫寿命较短的昆虫。昆虫性信息素主要是雌成虫释放信息素化合物引诱雄成虫,也有雄成虫释放的。许多昆虫的性信息素化合物是在位于腹部后端产卵器附近的信息素腺体中生物合成的,多种化合物通过各种生化反应从脂肪酸前体中合成得到,不同昆虫由于生物合成线路的差异,合成了不同化合物,它们的分子长度、功能基团、不饱和性、双键的对称性等均不同,由此形成种的专一性。昆虫一般是通过其触角上的嗅觉受体蛋白与气味分子结合,通过中枢神经系统的整合,最终识别释放者释放的信号物质。嗅觉受体的敏感性非常强,性成熟雌蛾一般每小时仅释放0.1~10.0 ng,雄蛾在下风几百米外都能检测到。雄蛾在行为上表现为在气流中对目标气味源的定向飞行反应。性诱剂产品正是通过有机合成与自然性信息素一样的性信息素化合物,并通过释放器释放到田间引诱异性。

2 应用技术上的关键问题

2.1 各组分化合物的比例

性信息素是多组分并以特定的比例、浓度起引诱作用的。同时,完整的性信息素化合物组分决定诱芯的活性,如果缺失其中的一些组分,即使是极微量的,也可以显著降低其活性,甚至失去引诱作用。如豆野螟(*Manuca testulalis*)的性信息素主要组分是E10, E12-16: Ald(100),但是微量组分E10, E12-16: O1(5)和E10-16: Ald(5)是不可缺少的^[1]。一些亲缘关系很近的昆虫性信息素组分比较接近,如斜纹夜蛾、甜菜夜蛾、粉斑螟等性信息素中都含有Z9, E12-14: OAc,但在不同昆虫中所占比例不同,Z9, E12-14: OAc在斜纹夜蛾中占10%左右,如果缺失这一组分,仅仅是Z9, E11-14: OAc就没有引诱作用,如果含量太高或

杜永均,男,博士,温州医学院健康与环境生态研究所,325035,

E-mail: dyj@wzmc.net

收稿日期:2006-12-11

致谢:本文承中国农业科学院蔬菜花卉研究所朱国仁研究员和上海市农业技术推广服务中心李惠明先生审定,特此致谢

太低都会降低引诱作用,甚至没有活性。小菜蛾的主要组分为 Z11-16: Ald, Z11-16: OAc,但加入微量的 Z11-16: Oi可以显著提高引诱力。Z11-16: Ald也是一些螟虫类性信息素的组分之一。在田间实际应用时,设置多种诱捕器非常不便,但在许多情况下,不同昆虫的诱芯不能捆在一起使用。

2.2 合成化合物的纯度

信息化化合物的分子长度、功能基团的位置、双键的对称性、环的大小及分支等差异可以极大地影响其活性,一些极微量的化学结构类似物可抑制活性化合物的引诱力。性信息化化合物的纯度非常重要,但不同害虫对化学信息素的化学性质有不同要求。如豆野螟的性信息素主要组分 E10, E12-16: Ald在 99%纯度时具有引诱作用,但在纯度只有 92%时就没有活性,其 EZ, ZE, ZZ异构体都会显著抑制引诱作用^[2-3]。玉米螟 (*Ostrinia fumacalis*)化学信息素各组分的纯度对活性非常重要,一些杂质会大幅度降低对雄蛾的诱捕效率。

2.3 化学信息素的稳定性

许多性信息素化合物在野外高温、高湿、紫外线和空气中极不稳定,容易氧化、降解。如小菜蛾的主要性信息素组分 Z11-16: Ald(醛类化合物)极不稳定,在野外极易降解,其诱芯的持效期决定于醛的稳定性。选择合适的抗紫外线和抗氧化剂可以延长性诱剂产品的寿命,但不同化合物由于化学性质的差异而有不同的要求。一些化合物可以选择比较稳定的结构类似物来替代,可以取得同样的引诱活性。性诱剂产品的持效时间取决于释放器(诱芯)本身的材料结构、释放均匀性、所含化合物的稳定性和剂量大小。在确保化合物稳定的前提下,剂量大,持续时间长。但剂量过大,或诱芯密度过大,则会抑制昆虫对性信息素的识别,产生迷向作用,这一点在应用推广中要十分注意。

3 化学信息素在蔬菜害虫防治中的应用

3.1 预测预报

由于城乡环境变化推动测报技术的革新,包括灯光的干扰及传统的糖醋液诱蛾作用下降等,尤其是一些弱趋光性的昆虫采用常规的测报技术不能达到理想效果。如斜纹夜蛾灯光诱捕量低,而性诱非常灵敏且诱捕量大,可以做到早期田间预测^[4]。性信息素引诱的是雄成虫,可在经济损失之前检测到虫害的发生,并精确地确定为害地点和范围,有助于制定正确的防治策略,选择适宜的防治措施和最佳喷施农药时间。国际上性信息素年销售量的 30%用于预测预报,1996年美国仅用于舞毒蛾 (*Lymantria dispar*)测报的诱芯就高达 30万枚。

高质量测报诱芯的标准是持效性长和释放均一性,国内已开发出持效期 6~8周的测报诱芯。性诱测报灵敏度高、成本低,而灯诱测报设备的投资高,安装、购置灯管、耗电、维修等费用高^[4-5]。性诱测报便于开展群众性预测预

报,引诱害虫种类单一,设置诱捕器方便,峰型明显,农民只需观察诱捕器内蛾量,配以蛾峰至防治适期的发育进度历期,就可得到最佳防治适期。而测报灯诱集的昆虫源种类多,鉴定种类需要一定的专业技术。

在我国由于性诱测报历史较短,用于中长期测报暂时较为困难,但积累 3~4 a的数据后,可以根据几年的性诱数据整理成一个转换系数,将历年的灯诱数据转换成性诱模拟数据,用于中长期的虫情发生动态预警可能比灯诱的准确率更高。2005年,上海地区斜纹夜蛾特重发生年、甜菜夜蛾中等偏重发生年的预报就是通过灯诱数据转换性诱模拟数据作出的成功预报^[4]。

3.2 害虫防治

70%的化学信息素应用于害虫防治,但基本防治策略因虫而异。目前国际上比较成熟的有群集诱捕法和迷向法。群集诱捕法即通过人工合成化学信息素引诱雄蛾,并用物理方法捕杀雄蛾,从而降低雌雄交配,减少后代种群数量而达到防治的目的。美国 1996年仅防治棉铃象甲 (*Anthonomus grandis*)的诱芯就达到 125万枚。国内近年来也逐步开发了斜纹夜蛾、甜菜夜蛾、小菜蛾等蔬菜害虫的高质量防治诱芯。迷向法是通过大量释放信息化合物,使田间到处弥漫高浓度的化学信息素,迷惑雄虫寻找雌虫,从而干扰和阻碍了雌雄的正常交配行为,最终影响害虫的生殖,抑制其种群增长。尽管其作用机理尚不清楚,但已在一些害虫防治中取得了成功。

3.2.1 群集诱捕 斜纹夜蛾的趋光性比较弱,使用性信息素的诱捕效果显著优于灯诱^[4],这不仅表现在总诱捕量和高峰期诱捕量的差异,而且性诱剂诱捕 5 d的雄成虫占 91%,而灯诱只有 86%^[6]。根据雄蛾的飞行习性,采用蛾类通用型或改进型诱捕器,甚至用可乐瓶加工自制都是理想的诱捕器,比传统的水盆诱捕器诱捕效果要好得多。斜纹夜蛾的雄蛾平均交配 6.3次,最高可以达到 13次;雌蛾最多可以交配 3次,半数的雌蛾交配 1次^[7]。如果诱捕量较小,就不能减少雌雄蛾交配的机率及交配雌虫的数量,从而不能影响下一代的种群数量。因此,对雄蛾的高诱捕量是性诱剂能否起到显著防效的关键。斜纹夜蛾具有迁飞性,飞行范围大,单位诱芯在一定的风速下所覆盖的范围大,这样,单位面积所需要的诱芯数量少,防治面积同样也大,否则附近的雄蛾会飞向诱捕器,因此单一防治面积至少要 2 hm²以上。诱捕器在防治区周围地带密度可以设置得大一些,用以诱杀从远处飞来的虫源,在防治区域中间地带可以少量使用。近几年各地进行的防治试验结果表明,高质量的斜纹夜蛾性信息素诱芯可以显著抑制其种群,从而降低农药的使用次数^[8-9],国内已有能满足防治需要的高质量产品。例如,近两年宁波北仑大面积青花菜栽培中,应用性诱剂防治斜纹夜蛾,一茬青花菜至少可以降低施用农药 1~3次;在芦笋栽培中甚至可以达到不施用化学农药的效果(待发表)。

甜菜夜蛾的诱捕方法与斜纹夜蛾类似,但由于其个体较小,诱捕器的雄虫进口要小于斜纹夜蛾的进口;还因间行为习性的差异,田间诱虫量一般比斜纹夜蛾少。就目前商用产品来说,单位面积应用的诱芯数量与斜纹夜蛾的差不多。另外,粘胶诱捕器也具有比较好的诱捕效果。

小菜蛾性信息素的研究可以追溯到1974年,利用合成性信息素诱芯可以有效地减少化学农药的使用次数^[10]。小菜蛾是全球性的害虫,为害季节长,抗药性强,利用性信息素技术可能是一有效的防治方法。小菜蛾也可多次交配,但比斜纹夜蛾次数少,一晚通常交配1~3次^[11]。小菜蛾的飞行高度低,灯诱效果一般不理想,而性诱捕器放置位置低是提高诱捕效果的因素之一。小菜蛾飞行距离短,一次性飞行仅10 m左右,最长飞行扩散距离夏季可以达到615 m,而秋季则为286 m^[12]。因此,单位面积性诱捕器数量要多于斜纹夜蛾。理想的小菜蛾诱捕器是水盆和粘胶诱捕器,前者成本较低,但需要经常换水和清理^[13]。

其他蔬菜害虫如大豆食心虫诱芯的诱捕量十分可观,但防治效果低于50%;小地老虎、瓜绢螟、豆荚螟、豆野螟等害虫的性信息素已得到初步的鉴定,但在田间的防治效果并不十分理想,有待于进一步的研究。

3.2.2 迷向 迷向技术在红铃虫(*Pectinophora gossypiella*)、果树害虫上的应用面积较大,有大量成功实例,如1996年埃及防治红铃虫的面积达到20万 hm^2 。迷向技术大幅降低害虫的交配机率,减少下一代的卵和幼虫虫口密度。尤其是在欧美地区,由于使用群集诱杀的劳动力成本高,而使迷向技术的推广面积更大。引起迷向作用的可能原因:通过周缘神经系统的适应(adaptation)或中枢神经系统的钝化(habituation)引起的感觉和行为反应能力降低甚至消失。抑制(arrestment)。在诱芯性信息素浓度高于性成熟雌虫释放的浓度时抑制雄虫的上风向飞行。引诱反应节律的改变。连续不断的化学信息素的存在,致使雄蛾对诱芯的反应要早于对性成熟雌蛾的反应。诱芯气味对自然性信息素气味结构的改变,极大地改变了雄蛾的飞行轨迹,从而改变了雄蛾对雌蛾位置的寻找和定位能力。对性成熟雌虫挥发性气味的伪装(camouflage)。在性成熟雌虫释放性信息素的下风方向的一定位置,在合成化合物的背景下,雄蛾无法检测到自然释放的性信息素组分。诱芯与性成熟雌虫释放的性信息素之间的竞争。雄成虫对诱芯的飞行浪费了找到雌成虫的机会。合成化合物可以破坏自然性信息素的正常比例,产生神经输入信号的失衡,从而阻止了雄成虫的正常行为反应^[14]。

对甜菜夜蛾的迷向防治比较成功,诱芯多采用Z9, Z12-14:Oac和Z9-14:O1按9:1或7:3配制而成^[15-18],美国和日本的相关报道很多。例如,采用机器喷(Puffer)的方法,30 min间隔,在256 hm^2 番茄周缘设40个喷头,160 m间距,以每天每公顷释放46 mg的A1量可以完全抑制交配,而在60 hm^2 范围内则需要117个喷头,释放

量为每天每公顷266 mg,卵量减少76%^[16]。此外,采用高剂量的聚乙烯管也能达到同样的防治效果^[17-18]。

小菜蛾的迷向防治报道不少^[19-21],各国都有一定的试验示范面积,在一定的化学农药辅助下,可以达到预期的防治效果^[19]。McLaughlin等^[20]在甘蓝地采用Z11-16:Ald和Z11-16:Oac(7:3)防治小菜蛾9周,处理与对照的用药次数为13:3,防效显著。这一方面可能是迷向效果,另一方面可能是减少用药增加了天敌的抑制作用。但Schröder等^[21]报道了在罩笼条件下以275 $\text{g}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的剂量(A1)防治甘蓝上的小菜蛾,没有显著的防治效果,为此,认为该技术防治小菜蛾并不成熟。然而,根据笔者在国内的一些初步试验表明,如果使用得当,在一茬蔬菜中小菜蛾幼虫减退率可以达到50%以上。

从大量的试验结果来看,影响迷向防治效果的因素很多。首先,从化学信息素释放技术的角度来讲,信息素混合物的基质是至关重要的。比较喷施和诱芯迷向两大类技术,前者的优点是化合物相对完全地弥漫在植物表面,而高剂量的诱芯在局部所起的钝化作用大,但容易留下无化合物气味的区域。混合物的组成和浓度比率也起重要作用,尤其是一些微量化合物。此外,害虫的生物学习性,如雄成虫是否引诱雌成虫,雌成虫在植株上的栖息位置,雌成虫是否有迁飞习性,种群的年世代数等也是重要的影响因子。种群密度与迷向技术的种群控制效果关系密切,许多害虫在近距离时依赖于视觉、触觉以及在昆虫中采用了声音信息。所以,在害虫种群密度高时,迷向技术就失去控制效果。目前,利用迷向技术防治蔬菜害虫还有许多工作要做,需要积累大量的产品技术、化合物释放量、害虫生态行为和田间气候等多方面应用数据^[22-23]。

4 影响昆虫化学信息素释放和识别的外在因子

雌蛾性信息素的合成和释放,雄蛾的感觉、识别都受多种生物和非生物因子的影响,如世代、地理区系、种群密度、风速、温度等。

4.1 气候条件

温度影响化合物的挥发性和稳定性。高温可能会加速合成化合物的释放和分解,同时影响雄蛾对性信息素的行为反应。例如,在实验室条件下,小菜蛾性信息素对雄蛾的引诱定向反应与温度成负线性关系,温度越高,引诱作用越低,在18~4℃时定向反应最强,高于24℃就很微弱。田间试验也表明,气温高于27℃时,很少能诱捕到小菜蛾雄蛾^[24]。诱捕斜纹夜蛾的适宜温度为13~32℃,这一区间内温度的变化没有显著影响诱芯的引诱效果^[25]。空气相对湿度可以明显影响雄蛾对化学信息素的反应,但不同昆虫的表现不同。例如湿度对斜纹夜蛾就没有影响^[25]。然而,小菜蛾性信息素对雄蛾的引诱定向反应与湿度也成负线性关系,在实验室条件下,最理想的相对湿度是82.6%。在高湿度的气

条件下,对醛比例较高的诱芯反应较强。所以,季节影响性诱剂在田间的应用效果,醛酯 50% 配比的小菜蛾诱芯在春秋季节的诱捕效果较好,而在夏冬季则较差。

风速和气流影响化学信息素气味的扩散速度和气味的结构,由此影响雄虫对目标的飞行定向反应。一些昆虫在一定风速时不再起飞;在一定的风速范围内,增加风速可使处于下风向位置更远距离的雄虫能检测到性信息素气味分子,并向目标源定向飞行,这样增加了诱芯作用的有效空间。如在风速 $2 \sim 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,诱捕斜纹夜蛾雄蛾的有效距离比较远^[25]。风向也是一重要因子。诱捕器在上风向位置的诱捕量要高于下风向。一般诱捕器需要放置在比较空旷的地方。围墙、灌木或树叶较密的地方,因气流的限制或不畅,诱捕量要小得多,如果在温室中使用,更应注意气流的畅通。由于昆虫飞行的习性差异,不同昆虫在垂直位置上的飞行高度不同,因此,在设置诱捕器时应选择合适的高度。此外,诱捕器的颜色也可能影响对某些害虫的诱捕效果。

4.2 寄主植物的作用

在田间,雄蛾所面对的不仅是合成性信息素混合物,还有各种植物的混合气味。由于昆虫与植物关系的长期进化互动,寄主植物在植食性昆虫性信息素的生物合成、释放、空间分布和持续时间、行为识别中起多种作用。一些性信息素的前体物来自寄主植物,有的仅是对寄主植物化合物进行简单的化学结构修饰而成,一些昆虫甚至利用代谢副产品作为性信息素^[26]。美洲棉铃虫 (*Helicoverpa zea*) 性信息素的释放甚至还依赖于植物的存在及其气味刺激^[27]。植物气味在雌虫释放性信息素引诱雄虫中的作用研究较少。但有研究表明,植物气味可协同提高性信息素的引诱作用^[28]。在感觉生理方面,嗅觉受体一般分专一的和广谱的,对性信息素的感受是属于前一类,而对寄主植物气味的反应则属于后一类^[29],两种信号在中枢神经水平上进行合并、整合^[30]。然而,Ochieng等^[31]发现寄主植物气味在专一的嗅觉受体对性信息素的周缘感觉反应中起协同作用,增强嗅觉细胞对性信息素的感受反应。因此,同一性诱剂产品在不同的害虫寄主植物中的试验效果可能会有差异。

4.3 昆虫地理区系的差异

长期的地理隔离、作物品种、气候条件等因子的差异导致昆虫在性信息素的释放量、各组分和比例产生较大的变化,同时,昆虫对信息素的化学感觉反应及其行为反应也产生变异。例如,北美不同地区的蔷薇斜条卷叶蛾 (*Choristoneura rosaceana*) 雌蛾性信息素的主要组分 Z11-14:OAc、Z11-14:OH 和 Z11-14:Al 在释放量上有很大差异,其比例也不同^[32]。同时,雄蛾对各化合物的触角电位反应也有很大不同。因此,这些变异导致同一诱芯在田间的诱捕试验结果也不同。同样的豆荚螟 (*Etiella zinckenella*) 诱芯在匈牙利能诱到雄虫,但在我国台湾就诱不到^[2]。

4.4 杀虫剂的使用

杀虫剂处理可以改变昆虫释放性信息素化合物,导致

性信息素化合物的量和比例发生变化,也可以降低雄虫对性信息素的反应。如杀虫剂处理后,红铃虫 (*Pectinophora gossypiella*)^[33] 和斜纹夜蛾^[34] 成活雌蛾的性信息素化合物释放量增加,各组分的比例也发生了变化,而且,雄蛾的风洞生物测定对性信息素的反应下降,从而减少了交配的数量。这些可能引起田间诱捕效果的差异。

5 结语

化学信息素应用技术是在农药使用造成种种问题的背景下得以迅速发展的,但其应用推广的阻力也正是从农药而来。至今该技术在害虫防治中所占的比例还较小,许多农业技术推广人员对该项技术的应用前景持谨慎的看法,原因是多方面的。首先,对化学信息素所要控制的整个自然系统的复杂性缺乏足够的了解,缺少对目标害虫的生物学、生态学、化学调控行为反应、影响因子、化学信息素在自然状况下的各种细节等的详细数据。其次,许多害虫的性信息素在合成化合物的纯度、稳定性、释放器的释放速率等方面的工作还不够扎实,技术和产品在田间使用效果、稳定性、持久性、使用方法还有欠缺,有的应用成本较高,因此难以为用户所接受。但是,随着应用技术不断开发和探索,性信息素应用技术将逐步成为 IPM 的重要技术之一。

利用性信息素控制蔬菜一些重要害虫的技术已基本成熟。应用性信息素防治技术并不是替代化学农药,而是为降低化学农药的使用量,解决蔬菜农产品的农残问题。就目前来说,主要蔬菜害虫斜纹夜蛾、甜菜夜蛾、小菜蛾的抗药性十分严重,商用化学农药的可选择范围有限。性信息素技术减少农药用量,延缓害虫对现有农药产生抗药性。因此,该技术可以使化学农药使用得更好。性信息素防治技术可以与其他一些防治技术相兼容,联合使用,充分发挥综合防治中各种技术的优势。目前,性信息素技术推广上的难度在于农民的传统观念,这就需要科研单位、企业与农业技术推广部门紧密合作,结合当地的气候和作物系统来指导农民逐步转变有害虫防治理念,正确、有效地使用性诱剂技术。

参考文献

- [1] Downham M C A, Hall D R, Chamberlain D J, Cork A, Faman D I, Tamo M, Dahounto D, Datinon B, Adetona S Minor components in the sex pheromone of legume podborer *Manuca vitrata* development of an attractive blend [J] J Chem Ecol, 2003, 29 (4): 989 - 1 011.
- [2] Adati T, Tatsuki S Identification of female sex pheromone of the legume pod borer, *Manuca vitrata* and antagonistic effects of geometrical isomers [J] J Chem Ecol, 1999, 25 (1): 105 - 115.
- [3] Toth M, Talekar N S, Szocs G Optimization of blends of synthetic pheromone components for trapping male limbean pod borers (*Etiella zinckenella*) (Lepidoptera: Phycitidae): preliminary evidence on geographical differences [J] Bioorganic & Medicinal Chemistry, 1995, 4 (3): 495 - 497.
- [4] 李惠明,郭玉人,武向文,潘月华,冯培芳,路风琴,李亚英.不

- 同性信息素和灯具对甜菜夜蛾和斜纹夜蛾的诱捕效果与评价 [J] 中国蔬菜, 2006(4): 17 - 19.
- [5] 陈庭华, 陈彩霞, 蒋开杰, 宋挺跃, 吴海军. 斜纹夜蛾发生规律和预测预报新方法 [J] 昆虫知识, 2001, 38(1): 36 - 39.
- [6] Shih C J, Chu Y I Discrimination of the adult age structure of *Spodoptera litura* by the degree of body wearing [J] Chinese J Entomol, 1987, 7: 31 - 36.
- [7] Ou-Yang S C, Chu Y I Biology of the tobacco cutworm *Spodoptera litura*. II The longevity and mating ability of adult [J] Chinese J Entomol, 1990, 10: 27 - 36.
- [8] 兰雪琼, 黄庆文, 薛洪远, 陈斌艳, 梨美坤, 李增林. 斜纹夜蛾性诱剂试验初报 [J] 广西植保, 2006, 19(2): 6 - 7.
- [9] 盛全学, 李建国. 性诱剂防治斜纹夜蛾、甜菜夜蛾试验初报 [J] 湖北植保, 2006(1): 9.
- [10] Reddy G V P, Guerrero A. Pheromone-based integrated pest management to control the diamondback moth *Plutella xylostella* in cabbage fields [J] Pest Manag Sci, 2000, 56: 882 - 888.
- [11] Lee S T, Chu Y I, Talekar N S. The mating behavior of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) [J] Chinese J Entomol, 1995, 15(1): 81 - 89.
- [12] Shirai, Nakanura Dispersal movement of male adults of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae), on cruciferous vegetable fields, studied using the mark-recapture method [J] Appl Entomol Zool, 1994, 29(3): 339 - 348.
- [13] 王香萍, 方宇凌, 张钟宇. 小菜蛾性信息素研究及应用进展 [J] 植物保护, 2003, 29(5): 5 - 9.
- [14] Carde R T. Control of moth pests by mating disruption: successes and constraints [J] Annu Rev Entomol, 1995, 40: 559 - 585.
- [15] Shorey H H, Sisk C B, Gerber R G. Widely separated pheromone release sites for disruption of sex pheromone communication in two species of Lepidoptera [J] Environ Entomol, 1996, 25(2): 446 - 451.
- [16] Shorey H H, Gerber R G. Disruption of pheromone communication through the use of puffers for control of beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in tomatoes [J] Environ Entomol, 1996, 25(6): 1401 - 1405.
- [17] Takai M, Wakamura S. Control of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hubner), with synthetic sex pheromone [J] Agrochemicals Japan, 1996, 69: 12 - 15.
- [18] Mitchell E R, Kehat M, Tingle F C, McLaughlin J R. Suppression of mating by beet armyworm (Noctuidae: Lepidoptera) in cotton with pheromone [J] J Agri Entomol, 1997, 14(1): 17 - 28.
- [19] Mitchell E R, Hu G Y, Okine J, McLaughlin J R. Mating disruption of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) and cabbage looper (Lepidoptera: Noctuidae) in cabbage using a blend of pheromones emitted from the same dispenser [J] J Entomol Science, 1997, 32(2): 120 - 137.
- [20] McLaughlin J R, Mitchell E R, Kirsch P. Mating disruption of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in cabbage: reduction of mating and suppression of larval populations [J] J Econ Entomol, 1994, 87(5): 1198 - 1204.
- [21] Schroeder P C, Shelton A M, Feruson C S, Hoffmann M P, Petzoldt C H. Application of synthetic sex pheromone for management of diamondback moth, *Plutella xylostella*, in cabbage [J] Entomol Exp Appl, 2000, 94: 243 - 248.
- [22] Park J D, Kim K C. Control of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* Hubner (Lepidoptera: Noctuidae), using synthetic sex pheromone. II Control using mating disruption dispensers in field [J] Korean J Appl Entomol, 1995, 34(3): 169 - 173.
- [23] Mayer M S, Mitchell E R. Rapid measure of sex pheromone emission from plastic rope dispensers: example of utility in sexual communication disruption of the diamondback moth, *Plutella xylostella* [J] Phytoparasitica, 1998, 26(2): 1 - 9.
- [24] William Maa C J. Ecological approach to male diamondback moth response to sex pheromone [C] // Talekar N S. Diamondback moth management: proceedings of the first international workshop. Tainan: AVRDC Publication, 1986: 109 - 123.
- [25] Shih C J, Chu Y I. Factors influence the capture rate of *Spodoptera litura* in sex pheromone traps-vegetation, wind direction and meteorology [J] Plant Protection Bulletin Taipei, 1995, 37(1): 59 - 69.
- [26] Landolt P J, Phillips T W. Host plant influences on sex pheromone behavior of phytophagous insects [J] Ann Rev Entomol, 1997, 42: 371 - 391.
- [27] Raina A K, Kingan T G, Mattio A K. Chemical signals from host plant and sexual behavior in a moth [J] Science, 1992, 255: 592 - 594.
- [28] Light D M, Flath R A, Buttery R G, Zakm F G, Rice R E, Dickens J C, Jang E B. Host plant green-leaf volatiles synergize the synthetic sex pheromones of the common and codling moth (Lepidoptera) [J] Chemoecology, 1993, 4: 145 - 152.
- [29] Visser J H. Host odor perception in phytophagous insects [J] Ann Rev Entomol, 1986, 31: 121 - 144.
- [30] Christensen T A, Hildebrand J G. Pheromonal and host-odor processing in the insect antennal lobe: how different? [J]. Current Opinion in Neurobiology, 2002, 12: 393 - 399.
- [31] Ochieng S A, Park K C, Baker T C. Host plant volatile synergize responses of sex pheromone-specific olfactory receptor neurons in male *Helicoverpa zea* [J] J Comp Physiol, 2002, A188: 325 - 333.
- [32] El-Sayed A M, Delisle J, de Lury N, Gut L J, Judd G J R, Legrand S, Reissig W H, Roelofs W L, Unelius C R, Trimble R M. Geographic variation in pheromone chemistry, antennal electrophysiology, and pheromone-mediated trap catch of North American populations of the obliquebanded leafroller [J] Environ Entomol, 2003, 32(3): 470 - 476.
- [33] Floyd J P, Crowder L A. Sublethal effects of permethrin on pheromone response and mating of male pink bollworm moths [J] J Econ Entomol, 1981, 74: 634 - 638.
- [34] Wei H Y, Huang Y P, Du J W. Sex pheromones and reproductive behavior of *Spodoptera litura* (Fabricius) moths reared from larvae treated with four insecticides [J] J Chem Ecol, 2004, 30(7): 1457 - 1465.