

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.06.23

# 珠江三角洲小菜蛾区域性引诱剂的研制 及诱集效应研究

戴建青<sup>\*</sup>, 陈大嵩, 叶静文, 吕欣, 徐齐云, 李志刚,  
李军, 安新城, 韩诗畴<sup>\*</sup>

(广东省生物资源应用研究所, 广东省动物保护与资源利用重点实验室, 广东省野生动物保护与利用公共实验室, 广州 510260)

**摘要:** 小菜蛾 *Plutella xylostella* L. 是为害十字花科蔬菜的世界性大害虫。小菜蛾的综合防治技术中, 昆虫信息素技术因其安全无污染的特点受到人们的关注, 但由于市售性诱剂在不同蔬菜种植区的诱蛾效果存在明显差异, 严重制约了该技术的推广和应用。因此, 本研究开展珠江三角洲区域针对性小菜蛾引诱剂研制及田间诱集效应的研究。研究表明, 小菜蛾合成性信息素组分顺-11-十六碳烯醛 (Z11-16: Ald), 顺-11-十六碳烯乙酸酯 (Z11-16: Ac) 与顺-11-十六碳烯醇 (Z11-16: OH) 均能引起小菜蛾雄成虫触角产生电生理反应。田间诱集效应试验表明, 小菜蛾合成性信息素组分 Z11-16: Ald, Z11-16: Ac 和 Z11-16: OH 在诱芯中比例为 30:70:0.1, 剂量为 100.1 μg 时的田间诱蛾效果最好, 与已报道性诱剂配方 50:50 以及 70:30:1 相比较, 诱蛾效果增加了 28%–38.1% 和 65.1%–66.9%, 明显提高了小菜蛾引诱剂的田间诱蛾效果。适用于珠三角地区的区域性小菜蛾引诱剂的研制与应用, 有望在小菜蛾地区针对性害虫生态调控技术中发挥重要作用。

**关键词:** 小菜蛾; 性信息素; 区域性引诱剂; 生态控制

中图分类号: Q968.1; S433.4

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 06-1245-05

## Development of regional attractants for diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) based on sex pheromones and its application in Pearl River Delta

DAI Jian-Qing<sup>\*</sup>, CHEN Da-Song, YE Jing-Wen, LV Xin, XU Qi-Yun, LI Zhi-Gang, LI Jun, AN Xin-Cheng, HAN Shi-Chou<sup>\*</sup> (Guangdong Key Laboratory of Animal Conservation and Resource Utilization, Guangdong Public Laboratory of Wild Animal Conservation and Utilization, Guangdong Institute of Applied Biological Resources, Guangzhou 510260, China)

**Abstract:** The diamondback moth (DBM), *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) is one of the most important pests of cruciferous crops throughout the world, particularly serious in the southern China. Some achievements of ecological control to pests by sex pheromones have been obtained, but trapping efficiency for the same kinds of attractant has significant differences in some planting areas, which could seriously inhibit its application widely. The major female sex pheromone components of DBM are (Z)-11-hexadecenal (Z11-16: Ald), (Z)-11-hexadecenyl acetate (Z11-16: Ac) and (Z)-11-hexadecenol (Z11-16: OH). The EAG results showed that three components can elicit electroantennogram (EAG) responses of DBM. To develop effective attractants of DBM to be applicable in South China, field trials were conducted in cruciferous vegetable fields in the Pearl River Delta. The results showed that the traps baited with a red rubber septum impregnated with 100.1 μg of synthetic sex pheromones (a mixture of

基金项目: 国家自然科学基金 (31371932); 广东省科技计划项目 (2012B031500022)

作者简介: 戴建青, 男, 1972年生, 副研究员, 主要从事昆虫化学生态学研究, E-mail: jqdai@giabr.gd.cn

<sup>\*</sup> 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: jqdai@giabr.gd.cn; hansc@giabr.gd.cn

收稿日期 Received: 2016-11-06; 接受日期 Accepted: 2016-11-16

Z11-16: Ald, Z11-16: Ac and Z11-16: OH at a ratio of 30:70:0.1) have a stronger attraction to male DBM. It enhanced male catches by 28%–38.1% and 65.1%–66.9%, respectively, compared with the traps with reported formulations (synthetic sex pheromones of Z11-16: Ald, Z11-16: Ac and Z11-16: OH at a ratio of 50:50 and 70:30:1) during the whole trapping period. The studies would be expected to make it possible to develop more efficient regional attractant of DBM applicable in the Pearl River Delta, and may provide more effective technique for monitoring and controlling this insect pest.

**Key words:** *Plutella xylostella*; sex pheromone; regional attractant; ecological control

小菜蛾 *Plutella xylostella* L. 属鳞翅目菜蛾科, 是十字花科蔬菜的重要害虫, 也是抗药性最为严重的蔬菜害虫之一 (Talekar and Shelton, 1993)。该虫主要取食危害甘蓝 *Brassica oleracea* var. *capitata*、花椰菜 *B. oleracea* var. *botrytis*、菜薹 *B. parachinensis* 等十字花科蔬菜, 全世界每年因小菜蛾产生的损失和防治费用保守估计高达 40–50 亿美元 (Zalucki *et al.*, 2012)。小菜蛾在我国南方沿海地区危害尤为严重, 严重影响十字花科蔬菜的产量和品质, 造成的产量损失可高达 30% 以上 (马春森等, 2010)。近年来, 小菜蛾对常规化学农药抗性增加, 危害程度加重, 给我国蔬菜产业构成严重威胁 (赵怀玲和尤明生, 2001)。因此, 迫切需要发展新型安全高效的害虫防治技术来实现对该害虫的生态控制。

昆虫信息素技术可应用于害虫测报和防控技术中, 是害虫生态控制技术体系中的重要组成部分。国内外学者在小菜蛾性信息素方面开展了大量研究工作, 研究表明其性信息素基本组分是顺-11-十六碳烯醛 ((Z)-11-Hexadecenal (Z11-16: Ald)) 和顺-11-十六碳烯醇乙酸酯 ((Z)-11-Hexadecenyl acetate (Z11-16: Ac)), 二者比率为 1:1 (或 4:6, 8:2) 时对雄蛾具有引诱活性 (Tamaki *et al.*, 1977; Koshihara *et al.*, 1978)。Chisholm 等 (1979) 试验认为 Z11-16: Ald 和 Z11-16: Ac 以 7:3 对小菜蛾雄蛾具有较好的诱蛾效果。加入微量组分顺-11-十六碳烯醇 ((Z)-11-hexadecenol (Z11-16: OH)) 和顺-9-十四碳烯醇乙酸酯 ((Z)-9-tetradecenol (Z9-14: OH)) 具有增效作用 (Koshihara and Yamada, 1980; Chisholm *et al.*, 1983)。国内小菜蛾性诱剂在信息素主组分 Z11-16: Ald 和 Z11-16: Ac 以 5:5 或 7:3 比例时诱蛾效果较好 (刘询等, 1985; 邓建宇等, 2007)。

昆虫信息素技术具有经济有效、不污染环境、保护天敌、对环境和食品安全无抗性等优点, 可以减少化学农药的施药次数和用量, 降低农药

残留量, 保护生态环境和农产品的安全生产 (杜家纬, 2001)。然而, 在我国不同地区推广使用小菜蛾引诱剂时, 发现同种性诱剂采用相同使用技术, 在不同蔬菜种植地区的诱蛾效果存在明显差异。同时, 不同公司生产的小菜蛾性诱剂产品在几个蔬菜种植地区的田间应用效果也存在明显差异 (谢圣华等, 2010; 李振宇等, 2011)。这些都严重影响了小菜蛾性诱剂在我国各蔬菜种植地区的广泛使用。因此, 区域性小菜蛾引诱剂相关的基础和应用研究工作的开展尤为迫切需要。为了研发适用于珠三角地区的小菜蛾性引诱剂, 提高昆虫性诱剂的田间诱捕效果, 本文开展区域针对性小菜蛾引诱剂研制及田间诱集效应比较研究。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试试剂

小菜蛾性信息素 ((Z)-11-hexadecenal ((Z)-11-16: Ald), (Z)-11-hexadecenyl acetate ((Z)-11-16: Ac) 和 (Z)-11-hexadecenol ((Z)-11-16: OH), 均购于日本 Shin-Etsu 化学公司。以上化合物经 GC 检测其纯度均在 98% 以上。正己烷, 二氯甲烷等试剂购自广东省粤科生物有限公司。

### 1.2 诱芯和诱捕器

实验使用的诱芯为本实验室加工的硅橡胶塞, 诱芯形状为钟形, 颜色为红色, 诱芯载体长度为  $15 \pm 2$  mm, 最大断面直径  $10 \pm 1$  mm, 每只诱芯净重  $720 \pm 20$  mg, 容积约 200  $\mu$ L。使用前配制诱芯。根据试验要求, 将性信息素组分配制成一定浓度的二氯甲烷溶液, 然后定量加入于硅橡胶塞的凹形杯内, 待二氯甲烷彻底挥发后, 装入塑料袋置于冰箱内, 低温保存备用。

诱捕器采用黄色塑料盆 (D = 20 cm, h = 10 cm), 盆中放置约 8 cm 的清水, 并加少许洗衣粉, 在盆的上部用细铁丝固定诱芯, 诱芯位于盆的中央且距离水面 2–3 cm。

### 1.3 实验设计与方法

#### 1.3.1 小菜蛾触角电位 (EAG) 测定

触角电位: 触角电位仪为 Syntech 公司生产。CS205 刺激控制器的工作条件为直流电, 增益 200。电极通过信号放大器在计算机上显示, Syntech 公司提供操作专用软件。

试验参照 Xu 等 (2006) 的方法。实验首先用重蒸正己烷配制所需溶液, 实验中所用的合成性信息素样品浓度为 20 ng/ $\mu$ L, -20 $^{\circ}$ C 贮存备用。将巴斯德滴管清洗干净后在约 200 $^{\circ}$ C 烘箱中烘烤 2-3 h 备用, 以 2-3 日龄小菜蛾雄蛾为试虫, 用眼科虹膜剪将其触角自基部剪下, 再用手术刀切除触角末端 2-3 节, 参考电极接入触角基部, 记录电极套住端部, 横搭在 PR205 (Gain10X) 电极上的触角用 Spectra<sup>R</sup> 360 导电胶连接。用微量移液器抽取 5  $\mu$ L 的待测性信息素样品滴加到长方形滤纸片上 (面积 30 mm  $\times$  5 mm), 放置 20 s 左右待溶剂正己烷挥发后, 放入巴斯德管内, 再把巴斯德滴管一端插入直径约 12 mm, 长约 17 cm 的钢管上一直径约 3 mm 小孔内。钢管内通有的连续气流速度约 4 mL/s, 刺激管一端有软管相连, 软管内气流速度也保持 4 mL/s。通过刺激控制仪控制软管中以持续 0.5 s 的间隔气流流出, 脚踏板控制气流产生, 间隔气流将巴斯德滴管内待测信息素样品吹出, 通过巴斯德滴管尖端进入钢管内, 两股混合气流吹送到钢管末端相距约 1-2 cm 处的昆虫触角, 引起触角产生电生理反应。两次刺激触角的间隔时间超过 60 s 以保证小菜蛾触角敏感性恢复。

试验中共测试 6 根触角, 每信息素样品平行刺激 3 次, 空白对照为重蒸正己烷溶液。

#### 1.3.2 小菜蛾合成性信息素引诱剂田间诱集效应研究

田间诱集试验 1 在广东省从化市十字花科蔬菜菜心 *Brassica campestris* L. 田进行。所有的田间试验均在小菜蛾成虫发生的高峰期进行。小菜蛾性诱剂诱芯放置于水盆诱捕器中央距离水面 2-3 cm, 诱捕器放置高于蔬菜顶部约 20 cm。试验设计 A, B, C, D, E, F, G, H 共 8 个处理 (如表 1 所示), 其中处理 A, B, C, D, E 为本试验设置待测定性诱剂配方, 处理 F, 处理 G 为有文献报道的引诱剂配比 (Koshihara and Yamada, 1980; Chisholm *et al.*, 1983; 刘询等, 1985; 邓建宇等, 2007), H 为空白对照, 每个处理在田间设置 6 个重复, 诱盆在田间随机放置, 且每盆相距约 20 m。对于每种不同的处理每隔 2 d 调查一次, 统计诱蛾数, 并将诱捕到的小菜蛾成虫从水盆中捞出清理。同时更换诱盆的位置以减小位置对诱蛾效果的影响, 并及时向诱盆中添加水以保持诱芯与水面的距离。施肥、除草剂使用等均按菜园园艺场常规操作。

田间诱捕试验 2 在广东省番禺区十字花科蔬菜菜心和小白菜 *Brassica rapa* L. 田进行。试验设计 B, C, D, F, G, H 共 6 个处理 (如表 1 所示), 每个处理在田间设置 5 个重复。其他的方法同田间诱蛾试验 1, 每隔 2 d 调查一次, 统计田间诱蛾数。

表 1 小菜蛾性诱剂配方中各信息素的组份比例及其含量

Table 1 Formulation design of chemicals on DBM sex pheromone in lures

试验组 Treatments	性信息素组份 ( $\mu$ g) Sex pheromones		
	顺-11-十六碳烯醇 (Z)-11-hexadecenol	顺-11-十六碳烯醛 (Z)-11-hexadecenal	顺-11-十六碳烯乙酸酯 (Z)-11-hexadecenyl acetate
A	90	10	0.1
B	70	30	0.1
C	50	50	0.1
D	30	70	0.1
E	10	90	0.1
F	50	50	0
G	70	30	1
H	0	0	0

## 1.4 数据分析

实验数据差异是否显著采用单因素方差分析方法, 试验中小菜蛾的 EAG 反应值 (平均值  $\pm$  标准误,  $n=6$ ) 用重蒸正己烷引起的 EAG 反应作为空白对照, 各信息素测定样品的 EAG 反应采用 Duncan 氏多重比较检测差异显著性 ( $P < 0.05$ )。小菜蛾田间诱蛾数 (平均值  $\pm$  标准误,  $n=6$ ) 不同处理之间进行 Duncan 氏多重比较 ( $P < 0.05$ )。所有数据均由 SPSS 13.0 Windows 数据包处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 小菜蛾对几种合成性信息素组分的触角电位反应

触角电生理测试结果表明: 试验中小菜蛾合成性信息素 3 组分顺-11-十六碳烯醛, 顺-11-十六碳烯醇乙酸酯和顺-11-十六碳烯醇均能引起小菜蛾雄蛾触角产生电生理反应, EAG 反应绝对值分别为  $0.089 \pm 0.009$  mV,  $0.101 \pm 0.010$  mV 和  $0.081 \pm 0.008$  mV, 其中以顺-11-十六碳烯醇乙酸酯引起的 EAG 反应较大, 但小菜蛾性信息素三组分间的 EAG 反应值未达到显著差异 ( $P > 0.05$ ) (见图 1)。

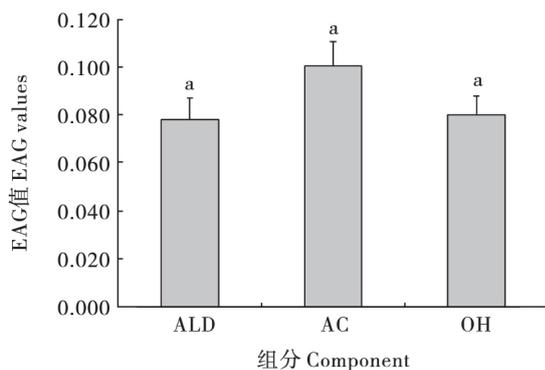


图 1 小菜蛾对 3 种合成性信息素组分的 EAG 反应  
Fig. 1 Electroantennogram (EAG) responses of DBM elicited by 3 sex pheromones compounds

注: ALD, 顺-11-十六碳烯醛; AC, 顺-11-十六碳烯醇乙酸酯; OH, 顺-11-十六碳烯醇。标有不同字母表示差异显著 (邓肯氏新复极差检测,  $P < 0.05$ )。Note: ALD, (Z)-11-hexadecenal; AC, (Z)-11-hexadecenyl acetate; OH, (Z)-11-hexadecenol. Means followed by the different letters in the same range are significantly different (Duncan,  $P < 0.05$ )

### 2.2 不同小菜蛾信息素引诱剂田间诱蛾效应比较

田间诱捕试验结果表明, 试验中几种不同配

方性信息素引诱剂对小菜蛾雄成虫均具有明显的引诱作用, 诱蛾数量均显著高于空白对照 (Duncan,  $P < 0.05$ ) (见图 2)。其中处理 D 以性信息素组分 Z11-16: Ald, Z11-16: Ac 和 Z11-16: OH 在诱芯中比例为 30:70:0.1, 剂量为  $100.1 \mu\text{g}$  时的田间诱蛾效果最好, 诱捕器诱捕到  $98.5 \pm 5.7$  的平均诱蛾量, 与报道性诱剂处理 F, 处理 G 的平均诱蛾量  $71.3 \pm 4.8$  和  $59.0 \pm 2.4$  相比, 分别增加了 38.1% 和 66.9% 的诱蛾量, 显著提高了小菜蛾性信息素引诱剂的田间诱蛾效果 (Duncan,  $P < 0.05$ )。其中处理 C 的诱捕小菜蛾数量也明显高于除处理 D 之外的其他小菜蛾引诱剂处理组。

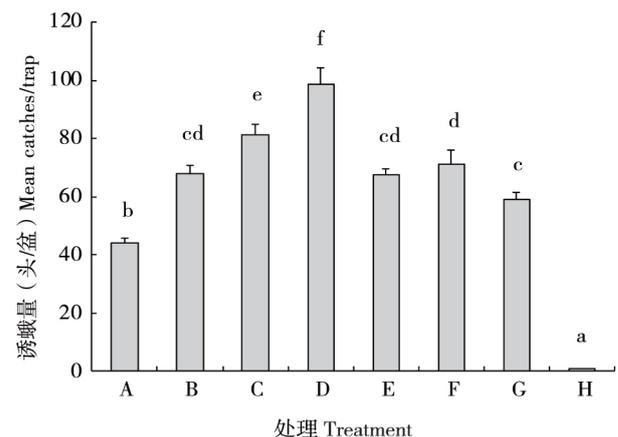


图 2 几种小菜蛾性信息素引诱剂的田间诱蛾效果比较

Fig. 2 Mean catches moth per trap of DMA baited with sex pheromones in cruciferous fields

注: 标有不同字母表示差异显著 (邓肯氏新复极差检测,  $P < 0.05$ )。下图同。Note: Means followed by the different letters in the same range are significantly different (Duncan,  $P < 0.05$ ). The same below.

### 2.3 几种小菜蛾性信息素引诱剂配方的田间诱蛾效应比较

田间诱捕试验结果表明, 试验中 5 种不同配方性信息素引诱剂对小菜蛾雄成虫均具有明显的引诱作用, 诱蛾数量均显著高于空白对照处理 H (Duncan,  $P < 0.05$ ) (见图 3)。同样处理 D 以 Z11-16: Ald, Z11-16: Ac 和 Z11-16: OH 比例为 30:70:0.1 时的田间诱蛾效果最好, 诱捕器平均诱蛾数量为  $78.6 \pm 4.8$ , 显著高于性诱剂处理 F, 处理 G 诱捕器平均诱蛾量  $61.4 \pm 3.6$  和  $47.6 \pm 2.1$ , 诱蛾量分别增加了 28.0% 和 65.1%, 显著提高了性诱剂的田间诱蛾数量 (Duncan,  $P < 0.05$ )。其中处理 D 每诱捕器诱捕小菜蛾成虫总数达 393 头,

诱蛾量明显高于其他小菜蛾性诱剂处理组, 为适用于珠三角地区的小菜蛾性诱剂。

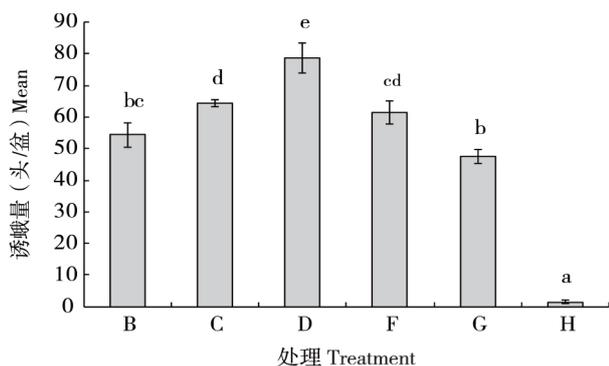


图3 几种小菜蛾性信息素引诱剂的田间诱蛾效果比较

Fig.3 Mean catches moth per trap of DMA baited with sex pheromones in cruciferous fields

### 3 结论与讨论

与其它许多已报道的蛾类昆虫的性信息素一样, 小菜蛾由雌蛾释放信息素引诱雄蛾, 由两个或两个以上的性信息素组分组成。本文的田间诱蛾试验结果表明, 该地区小菜蛾引诱剂以组分 Z11-46: Ald, Z11-46: Ac 和 Z11-46: OH 在诱芯中比例为 30:70:0.1, 剂量为 100.1  $\mu\text{g}$  时的田间诱蛾效果最好, 与已报道小菜蛾引诱剂配方相比, 显著提高了田间诱蛾效果。本文试验地选取在珠三角地区典型蔬菜种植区, 两个试验地均为十字花科蔬菜种植面积大, 小菜蛾发生比较重的区域, 这一最适配比性诱剂是否适用于更大范围的小菜蛾害虫防治, 还需要更进一步田间试验验证。与文献报道的日本小菜蛾性信息素组分 Z11-46: Ald、Z11-46: Ac 和 Z11-46: OH 以 50:50:1 比例 (Koshihara and Yamada, 1980); 加拿大三元组分 Z11-46: Ald、Z11-46: Ac 和 Z11-46: OH 比例为 70:30:1 (Chisholm *et al.*, 1983); 韩国三元组分 Z11-46: Ald、Z11-46: Ac 和 Z11-46: OH 以 10:90:1 比例诱蛾效果最好 (Yang *et al.*, 2007); 国内报道 Z11-46: Ald、Z11-46: Ac 和 Z11-46: OH 以 50:50:1 和 7:3:1 配比 (刘询等, 1985; 邓建宇等, 2007) 相比, 本文试验开发的区域针对性引诱剂中小菜蛾性信息素组分比例存在明显差异。自然状态下, 昆虫信息素通讯系统在种群间和种群内的个体间存在一定差异, 且昆虫的化学信息通讯系统并不是静止的, 在某些选择压力下可能

会发生演化, 如生态环境变化及人为干预等因素作用下, 昆虫不同地理种群间会发生遗传变异和遗传分化的现象。不同地理种群小菜蛾遗传多样性分析也表明其地理种群具有较高的遗传多样性 (王少丽等, 2002; 朱勋等, 2012)。

昆虫性信息素测报和防治技术在农林害虫的治理中的应用已是一项成熟且应用较广的先进技术, 也是害虫综合治理的重要组成部分。自从上世纪七十年代小菜蛾性信息素成分被分离鉴定以来 (Tamaki *et al.*, 1977), 许多国家开展了小菜蛾性信息素的基础与应用研究, 包括利用小菜蛾性诱剂进行害虫预测预报 (刘琦等, 1985; Mõttus *et al.*, 1997), 大量诱捕法等害虫控制技术的应用等 (Reddy and Urs, 1997; Reddy and Guerrero, 2000)。但昆虫引诱剂在整个害虫防治中所占的比例还较小, 许多人对该项技术的应用前景持谨慎看法。许多公司和单位研制出的引诱剂商业化产品, 在实际生产应用中发现防效不稳定和不同地区应用效果存在差异, 影响了昆虫引诱剂的推广使用。

此外, 小菜蛾信息素引诱剂的田间诱蛾效果受到各种因子的影响, 包括温湿度等环境条件, 性信息素组分比例、纯度和用量、诱捕器的种类和放置高度、虫口基数和作物种植情况都会对使用效果产生影响 (戴建青等, 2010)。近年来, 信息素生物合成和调节的最新研究成果也被应用于生产中, 如利用昆虫组织或细胞培养物来生产高立体异构体纯度的信息素; 或是将分离后的基因移植到微生物和植物中, 在适当的条件下产生高纯度的信息素 (Ding *et al.*, 2016)。总之, 制定昆虫引诱剂生产和使用规范标准, 依据昆虫生物学特性, 借鉴最新先进科技成果, 结合我国农业的实际情况, 开发质高效好、使用方便的引诱剂产品, 来促进信息素技术的更大规模推广应用以及在害虫综合治理中发挥更大的作用。

### 参考文献 (References)

- Chisholm MD, Steck WF, Underhill EW, *et al.* Field trapping of diamondback moth *Plutella xylostella* using an improved four components Sex attractant blend [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1983, 9: 113-118.
- Chisholm MD, Underhill EW, Steck WF. Field trapping of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) using synthetic sex attractants [J]. *Environmental Entomology*, 1979, 8: 516-518.
- Dai JQ, Han SC, Du JW. Research advances in the diamondback moth

- semiochemicals and its applications [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2010, 31 (7): 1218–1226. [戴建青, 韩诗畴, 杜家纬. 小菜蛾化学信息素研究进展及应用概况 [J]. 热带作物学报, 2010, 31 (7): 1218–1226]
- Deng JY, Jiang YP, Wang ZG, et al. Field behavioral responses of male diamondback moth *Plutella xylostella* to different components ratios and dosages of synthetic sex attractant in China [J]. *Journal of Zhejiang University*, 2007, 33 (5): 514–518. [邓建宇, 蒋耀培, 汪祖国等. 小菜蛾雄蛾对不同组分、比例和剂量的人工合成引诱剂的田间反应 (英文) [J]. 浙江大学学报 (农业与生命科学版), 2007, 33 (5): 514–518]
- Ding BJ, Lager I, Bansal S, et al. The yeast ATF1 Acetyltransferase efficiently acetylates insect pheromone alcohols: Implications for the biological production of moth Pheromones [J]. *Lipids*, 2016, 51: 1–7.
- DU JW. Plant-insect chemical communication and its behavior control [J]. *Plant Physiology Journal*, 2001, 27 (3): 193–200. [杜家纬. 植物—昆虫间的化学通讯及其行为控制 [J]. 植物生理学报, 2001, 27 (3): 193–200]
- Koshihara T, Yamada H. Attractant activity of the female sex pheromone of diamondback moth *Plutella xylostella* (L.) and analogue [J]. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology*, 1980, 24: 6–12.
- Koshihara T, Yamada H, Tamaki Y, et al. Field attractivness of the synthetic sex pheromone of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 1978, 13 (2): 138–141.
- Li ZY, Chen AD, Zhang JM, et al. Study on trapping effects of different kinds of sex pheromone to diamondback moth [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (2): 324–327. [李振宇, 谯爱东, 章金明等. 不同性诱剂诱芯对小菜蛾引诱效果研究 [J]. 应用昆虫学报, 2011, 48 (2): 324–327]
- Liu X, Zhang ZN, Kong J. Field attractant activity of the synthetic sex pheromone of diamondback moth, *Plutella xylostella* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1985, 5 (3): 249–256. [刘珣, 张钟宁, 孔杰. 小菜蛾合成性信息素田间诱蛾活性 [J]. 生态学报, 1985, 5 (3): 249–256]
- Ma CS, Ma G, Yang HP. Overwintering of the diamondback moth, *Plutella xylostella* in temperate countries [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30 (13): 3628–3636. [马春森, 马罡, 杨和平. 小菜蛾在温带地区越冬研究进展 [J]. 生态学报, 2010, 30 (13): 3628–3636]
- Möttus E, Nömm V, Williams IH, et al. Optimization of pheromone dispensers for diamondback moth *Plutella xylostella* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1997, 23: 2145–2159
- Reddy GVP, Guerrero A. Pheromone-based integrated pest management to control the diamondback moth *Plutella xylostella* in cabbage fields [J]. *Pest Management Science*, 2000, 56: 882–888
- Reddy GVP, Urs KCD. Mass trapping of diamondback moth *Plutella xylostella* in cabbage fields using synthetic sex pheromone [J]. *International Pest Control*, 1997, 39: 125–126
- Talekar NS, Shelton AM. Biology, ecology, and management of the diamondback moth [J]. *Annual Review of Entomology*, 1993, 38: 275–301.
- Tamaki Y, Kawasaki K, Yamada H, et al. Z-11-hexadecenal and Z-11-hexadecenyl acetate: Sex pheromone components of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 1977, 12: 208–210.
- Wang SL, Sheng CF, Qiao CL. Genetic variability of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) population from different geographies [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (10): 1718–1723. [王少丽, 盛承发, 乔传令. 不同地理种群小菜蛾的遗传多样性分析 [J]. 生态学报, 2002, 22 (10): 1718–1723]
- Xie SH, Liang YP, Lin ZF, et al. Comparison experiment of different sex pheromone traps of diamondback moth, *Plutella xylostella* L. [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26 (23): 299–301. [谢圣华, 梁延坡, 林珠凤等. 不同小菜蛾性诱剂诱芯品种比较试验 [J]. 中国农学通报, 2010, 26 (23): 299–301]
- Xu HY, Li GQ, Liu ML, et al. Oviposition deterrents in larval frass of the cotton boll worm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae): Chemical identification and electroantennography analysis [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2006, 52: 320–326.
- Yang CY, Lee S, Choi KS, et al. Sex pheromone production and response in Korean populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 2007, 124: 293–298.
- Zalucki MP, Shabbir A, Silva R, et al. Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): Just how long is a piece of string? [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2012, 105 (4): 1115–1129.
- Zhao HL, You MS. Advancement in research on the insecticide resistance of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) and its management [J]. *Entomological Journal of East China*, 2001, 10 (1): 82–88. [赵怀玲, 尤民生. 小菜蛾抗药性及其治理对策的研究进展 [J]. 华东昆虫学报, 2001, 10 (1): 82–88]
- Zhu X, Yang JQ, Wu QJ, et al. Genetic diversity of different geographical populations of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) from China based on ISSR analysis [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2012, 55 (8): 981–987. [朱勋, 杨家强, 吴青君, 等. 小菜蛾不同地理种群遗传多样性的 ISSR 标记研究 [J]. 昆虫学报, 2012, 55 (8): 981–987]