

棉铃虫食诱剂的田间诱捕效果*

修春丽¹ 栗爱丽¹ 路伟^{1,2} 刘政³ 陆宴辉^{1**}

(1. 中国农业科学院植物保护研究所植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193;

2. 新疆农业大学, 乌鲁木齐 830052; 3. 新疆农垦科学院, 石河子 832000)

摘要 【目的】评价生物食诱剂对棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 成虫的田间诱捕效果, 为发展棉铃虫成虫诱杀防治技术提供科学依据。【方法】2016-2017年, 在新疆昌吉和石河子、河南新乡、河北廊坊, 利用粘板诱杀法、诱盒诱杀法和撒施诱杀法评价了棉铃虫食诱剂的诱集效果。【结果】食诱剂对各个地区棉花、花生和玉米田棉铃虫成虫均表现出了明显的诱捕作用。撒施诱杀法的诱虫量最高, 是诱盒诱杀法的4.4-16.2倍。【结论】棉铃虫食诱剂适用于不同地区、不同作物上棉铃虫成虫诱捕, 其中诱盒诱杀法适用于棉铃虫成虫种群监测, 撒施诱杀法则适用于其成虫诱杀防治。

关键词 棉铃虫, 食诱剂, 诱捕效果, 种群监测, 诱杀防治

The effectiveness of using food attractant to lure cotton bollworm moths into traps under field conditions

XIU Chun-Li¹ LI Ai-Li¹ LU Wei^{1, 2} LIU Zheng³ LU Yan-Hui^{1**}

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

3. Xinjiang Academy of Agricultural Reclamation, Shihezi 832000, China)

Abstract [Objectives] The trapping efficiency of food attractant on cotton bollworm (*Helicoverpa armigera*) moths was evaluated under field conditions to provide a basis for developing mass trapping technology for this pest. [Methods] We tested the effectiveness of food attractant on cotton bollworm moths in sticky traps, quadrate traps and with the splashing method in Changji and Shihezi (Xinjiang), Xinxiang (Henan) and Langfang (Hebei) during 2016-2017. [Results] Cotton bollworm moths were effectively attracted by food attractant using sticky and quadrate traps in cotton, peanut and corn fields at each site. The average number of moths trapped per day with the splashing method was 4.4-16.2 times that using quadrate traps. [Conclusion] Food attractant is suitable for the mass trapping of cotton bollworm moths in different crop fields and different sites. The quadrate trap is most suitable for monitoring of the cotton bollworm moth population, whereas the splashing method is best for the prevention and control of this pest.

Key words cotton bollworm, food attractant, trapping efficiency, population monitoring, mass trapping

多种植食性昆虫具有寄主嗜好性, 偏好选择某种或某些植物, 在此行为过程中植物挥发性物质通常发挥了主要作用 (Bruce *et al.*, 2005; Schoonhoven *et al.*, 2005)。利用这种寄主选择习性, 可以研发诱集植物、引诱枝把等昆虫行为调控措施, 用于植食性害虫的成虫防治 (Foster and Harris, 1997; 陆宴辉等, 2008)。食诱剂是

基于植食性害虫偏好食源或其挥发物而研制的一类成虫行为调控剂, 目前实蝇、夜蛾、甲虫等多种(类)农林害虫食诱剂已产业化应用 (陆宴辉等, 2016)。例如, 甲基丁香酚等多款实蝇食诱剂产品已应用于实蝇类害虫的种群监测与防控、以及入侵性实蝇种类的种群根除中发挥了重要作用 (Shelly *et al.*, 2014)。棉铃虫食诱剂

*资助项目 Supported projects: 中国烟草总公司重大专项 (110201601022-LS-02); 国家重点研发计划 (2017YFD0201900)

**通讯作者 Corresponding author, E-mail: yhlu@ippcaas.cn

收稿日期 Received: 2017-11-16, 接受日期 Accepted: 2017-12-29

Magnet[®]已在澳大利亚、美国、南非等国的棉花、玉米等作物上大规模使用,对棉铃虫种群控制效果显著(Gregg *et al.*, 2016)。随着全社会对化学农药减量使用、害虫绿色防控需求的刚性增加以及昆虫化学生态学研究技术的不断成熟,食诱剂的研发与应用已成为当前农作物害虫防控科技研究中的一个重要方向(陆宴辉等, 2016)。

棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 属于鳞翅目夜蛾科 (Lepidoptera: Noctuidae), 是一种世界性重大农业害虫, 已记载的寄主植物多达 200 多种。在我国, 棉铃虫可以危害棉花、玉米、大豆、花生等多种主要农作物, 20 世纪 90 年代初曾连年暴发成灾, 给棉花等多种作物生产带来了严重的经济损失(郭予元, 1998)。我国自 1997 年商业化种植转 Bt 基因抗虫棉花(简称: Bt 棉花)以后, 各地棉铃虫种群得到了有效控制, 其发生危害程度日趋减轻(Wu *et al.*, 2008)。但近年来, 随着 Bt 棉花种植规模压缩等作物种植结构调整, 棉铃虫区域性种群基数逐步回升, 在玉米、花生、向日葵等非 Bt 棉花作物上危害程度明显加重(陆宴辉等, 2018)。长期以来, 无论是以化学防治为主还是以 Bt 棉花种植利用为主的棉铃虫综合防治, 都以主害虫态——幼虫为防治重点。棉铃虫成虫繁殖能力强, 并具有季节性寄主转换和远距离迁飞习性(吴孔明和郭予元, 2007), 是导致其种群繁衍、扩散危害与区域成灾的关键。因此, 成虫期应是棉铃虫区域性种群治理的关键时期(陆宴辉等, 2018)。

本试验于 2016-2017 年在新疆、河北、河南多地系统评估了生物食诱剂对棉铃虫成虫的引诱效果, 以期为食诱剂田间使用技术的发展及其在棉铃虫种群防控中的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

棉铃虫生物食诱剂以及方形诱捕盒(实用专利号 ZL201320281966.8)由深圳百乐宝农业科技有限公司生产并提供。三角形诱捕器与粘虫板购自北京中捷四方生物科技股份有限公司, 颜色

与尺寸等详细信息见奚术英等(2017)。

1.2 试验方法

1.2.1 利用粘板诱杀法评价引诱效果 试验于 2016 年 6 月 19 日至 7 月 31 日在新疆昌吉棉花田(约 4 hm²)进行, 试验期间棉田不使用任何农药, 其他种植管理措施同当地常规棉田。将三角形诱捕器组装好, 诱捕器底部铺上一张塑料粘虫板(白色, 长方形, 长 25 cm、宽 15 cm), 将诱捕器挂置在田间插好的竹竿上, 诱捕器底部距地面 1.5 m, 按照每 667 m² 地均匀悬挂 3 个诱捕盒的标准进行布置。在粘虫板中间放一个直径为 9 cm 的塑料培养皿, 在培养皿中加入 30 mL 食诱剂。对照组粘板中心只加培养皿, 不加食诱剂。每 7 d 调查一次粘板上诱捕到的棉铃虫成虫、并更换粘虫板和新鲜食诱剂。食诱剂处理及空白对照各重复 8 次, 在田间随机排列放置。

1.2.2 利用诱盒诱杀法评价引诱效果 试验于 2017 年 6 月 1 日至 6 月 12 日在新疆石河子棉花田、2016 年 8 月 15 日至 8 月 20 日在河南新乡棉花田、2016 年 8 月 22 日至 8 月 27 日在河南新乡玉米田、2017 年 8 月 10 日至 8 月 29 日在河南新乡花生田、2017 年 8 月 21 日至 8 月 24 日在河北廊坊玉米田、进行。试验期间, 试验田未使用任何化学农药, 也没有开展其他农事操作。试验田重复数以及每块试验田内诱捕盒数量详见表 1, 试验田两两间隔 20 m 以上。由于方形诱捕盒中没有粘虫板, 仅空盒则没有任何诱虫效果, 故本试验中没有设置已知诱虫效果为零的、不放置食诱剂的空白对照。

食诱剂与水 1:1 配比, 即取 1 L 食诱剂然后加 1 L 的水, 每升食诱剂加入 200 g/L 氯虫苯甲酰胺悬浮剂 5 mL, 混合均匀后使用。于下午 17:00 左右, 取混合均匀的棉铃虫食诱剂, 倒在方形诱捕盒底部塑料垫片上, 每个诱捕盒加注 60-70 mL。按照每 667 m² 地均匀悬挂 3 个诱捕盒的标准进行布置, 花生地诱捕盒挂置高度为距地 1 m、棉花和玉米地挂置高度为 1.5 m。试验开始当天按上述步骤加配好的食诱剂, 随后每 14 d 添加一次食诱剂。每 1-3 d 调查一次诱捕盒

及其周围棉铃虫成虫死亡个体数量(其中 2016 年河南新乡棉田棉铃虫成虫分雌雄分别记录),调查后及时清理诱捕盒,将诱捕盒中的成虫死亡个体移出,以免下次调查时重复计数。

1.2.3 利用撒施诱杀法评价引诱效果 2016 年 8 月 16 日至 8 月 20 日,在河南新乡棉花田开展利用诱盒诱杀法(见 1.2.2)进行诱杀效果评价的同时,在相邻的棉花田中同时进行撒施诱杀法效果评价试验。诱盒诱杀法和撒施诱杀法试验田均为 5 块,每块棉田为 667 m^2 ,随机排列,相邻田间间隔 20 m。

撒施诱杀法: 每 667 m^2 撒施配制好的食诱剂 200 mL(同 1.2.2),与诱盒诱杀法的每 667 m^2 用量相同。在每块试验棉田中间选择一行棉花,于下午 17:00 左右将食诱剂均匀滴洒到棉花顶端叶片上,撒施条带长度约 10 m。自第 2 天起,逐日调查撒施条带及其周围的棉铃虫成虫死亡个体数量,分雌雄性分别记录。随后将死亡成虫清除,以免下次调查时重复计数。

1.3 数据统计分析

利用三角形诱捕器评估试验中,食诱剂处理和空白对照上成虫诱捕数量经 $\log_{10}(n+1)$ 转换后,采用 t -检验分析差异性。撒施诱杀法和诱盒诱杀法的平均诱虫量,同样经 $\log_{10}(n+1)$ 转换后再进行 t -检验。

2 结果与分析

2.1 利用粘板诱杀法评价引诱效果

先后 6 次的调查中,放置食诱剂的三角形诱捕器中粘虫板上粘着的棉铃虫成虫数量依次为 (3.63 ± 1.24)、(4.63 ± 0.89)、(4.63 ± 0.63)、(7.63 ± 1.78)、(6.50 ± 0.91)、(6.63 ± 0.82) 头,而不放食诱剂的粘虫板上棉铃虫分别为 0、(0.13 ± 0.13)、(0.13 ± 0.13)、0、(0.25 ± 0.16)、0 头(图 1)。较空白对照,食诱剂诱捕到的棉铃虫成虫数量显著偏高(6 月 26 日: $t=4.79$, $df=14$, $P=0.0003$; 7 月 3 日: $t=9.27$, $df=14$, $P<0.0001$; 7 月 10 日: $t=10.90$, $df=14$, $P<0.0001$; 7 月 17 日: $t=8.11$, $df=14$, $P<0.0001$; 7 月 24 日: $t=11.06$, $df=14$, $P<0.0001$; 7 月 31 日: $t=16.62$, $df=14$,

$P<0.0001$)。食诱剂处理中单个诱捕器 6 d 诱捕成虫总量(33.63 头)是对照(0.50 头)的 67.25 倍。

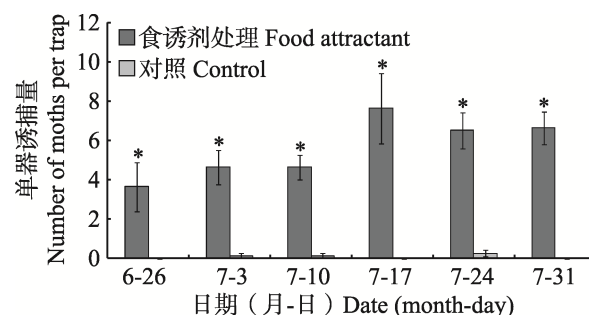


图 1 利用粘板诱杀法评价食诱剂对棉铃虫成虫的引诱效果

Fig. 1 Trapping efficiency of food attractant on cotton bollworm moths using sticky trap

图中数据为平均数±标准误。柱上标有星号表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。

Data are mean $\pm$ SE. Histograms with asterisk are significantly different ($P<0.05$). The same below.

2.2 利用诱盒诱杀法评价引诱效果

如表 1 所示,2016 年在河南新乡的棉花和玉米上评价了棉铃虫食诱剂效果,2017 年又在河南新乡、河北廊坊以及新疆石河子的花生、玉米和棉花上进行了试验,单日单个诱捕盒平均诱虫量为 0.64-1.84 头,不同地方单日单器最高诱虫量为 4-17 头不等。

2.3 利用撒施诱杀法评价引诱效果

2016 年 8 月 15-20 日,使用诱盒诱杀法和撒施诱杀法对比评估食诱剂对棉铃虫的诱捕效果,结果如图 2 所示。由此可知,试验期间的 5 d,撒施诱杀法诱捕到的棉铃虫数量均显著高于诱盒诱杀法(8 月 16 日: $t=10.39$, $df=8$, $P<0.0001$; 8 月 17 日: $t=7.73$, $df=8$, $P=0.0001$; 8 月 18 日: $t=4.39$, $df=8$, $P=0.0023$; 8 月 19 日: $t=7.80$, $df=8$, $P=0.0001$; 8 月 20 日: $t=2.94$, $df=8$, $P=0.0187$),撒施诱杀法的单日平均诱虫量是诱盒诱杀法的 4.4-16.2 倍。其中,撒施诱杀法于 8 月 16 日棉铃虫成虫平均诱捕数量最高,每 10 m 长施药条带平均诱虫量达到 (60.73 ± 8.04) 头,是当日诱盒诱杀法平均诱虫量 (4.8 ± 0.97) 头/诱捕盒的 12.7 倍;另外,对比 8 月 17 日的撒施

表 1 利用诱盒诱杀法评价食诱剂对棉铃虫成虫的引诱效果
Table 1 Trapping efficiency of food attractant on cotton bollworm moths using quadrate trap

年份 Year	地点 Location	作物 Crop	时期 Period	田块(重复) 数量 Number of tested fields	每田块诱捕器 数量(个) Number of traps per field	单日单器平均 诱虫量(头) Average number of moths per trap per day	单日单器最高 诱虫量(头) The highest number of moths per trap per day
2016	河南新乡 Xinxiang, Henan	棉花 Cotton	8.16-8.20	5	3	1.84±0.28	4
	河南新乡 Xinxiang, Henan	玉米 Maize	8.23-8.27	8	5	0.64±0.08	4
2017	河南新乡 Xinxiang, Henan	花生 Maize	8.11-8.29	3	5	0.65±0.04	17
	河北廊坊 Langfang, Hebei	玉米 Maize	8.22-8.24	3	5	1.13±0.06	15
	新疆石河子 Sihezi, Xinjiang	棉花 Cotton	6.2-6.12	3	5	0.83±0.08	8

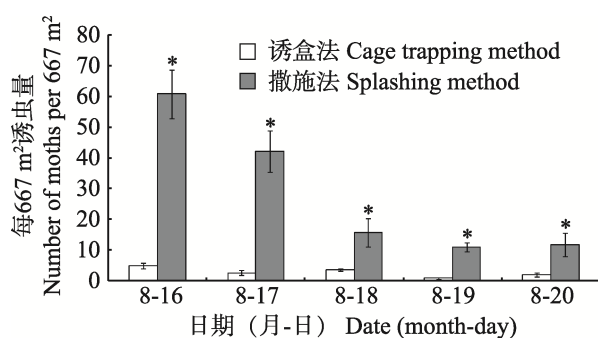


图 2 利用撒施诱杀法评价棉铃虫食诱剂的引诱效果

Fig. 2 Trapping efficiency of food attractant on cotton bollworm moths using splashing methods

诱杀法(42.13±6.80)头和诱盒诱杀法(2.60±0.81)头的诱虫量发现,前者的诱虫效果是后者的16.2倍,诱捕效果倍数达到最高(图2)。同时,5 d内诱盒诱杀法和撒施诱杀法诱集的棉铃虫成虫中,雌性所占的比例分别为0.53和0.55。

3 讨论

本文使用三角形诱捕器结合利用粘虫板测试了生物食诱剂对棉铃虫成虫的吸引效果,发现放置食诱剂的粘虫板上棉铃虫成虫数量显著高于空白对照。这表明食诱剂对棉铃虫成虫有较强引诱效果,结合利用粘虫板可以进行有效诱捕。但在田间使用过程中发现,粘虫板放置7-10 d以后常粘有大量尘土以及棉铃虫成虫鳞片,粘捕效果较前期明显下降。同时,普通粘虫板对棉铃虫等大型蛾类昆虫的粘捕作用相对较弱。因此,

粘板诱杀法只适用于棉铃虫食诱剂的短期评价试验,但不适用在棉铃虫防控实践中与食诱剂的配套使用。

本文利用诱盒诱杀法进一步评价了棉铃虫食诱剂的引诱效果,单日单个诱捕盒的平均诱虫量为0.64-1.84头,7 d每个诱捕盒能诱集4.48-12.88头棉铃虫成虫。这与2016年新疆昌吉利用粘板诱杀法的每7d诱捕量(3.63-7.63头成虫)基本相同。这说明,诱盒诱杀法同样能有效诱杀棉铃虫成虫,并适用于玉米、花生、棉花等不同作物以及华北、西北等不同地区。诱盒诱杀法主要靠食诱剂中的速效杀虫剂来快速杀死棉铃虫成虫(Liu *et al.*, 2017),方形诱捕盒可循环利用,因此适合用于棉铃虫食诱剂的大规模推广应用。李钦钦和杨芳林(2016)发现蛾类诱捕器也适用于棉铃虫食诱剂的田间使用,并认为诱捕器与食诱剂结合使用较已有的其他成虫诱集方法具有明显优势。比如,与杨树枝把诱蛾方法相比,食诱剂弥补了杨树枝资源缺乏、杨树枝把诱杀棉铃虫需天亮前捕捉成虫的不足。另外,食诱剂对棉铃虫雌雄成虫均有诱捕效果,较性诱剂更具种群控制潜力,也便于预测预报实践中成虫动态监测、雌性成虫卵巢发育解剖及其分级等工作的结合开展。

本试验同时比较了诱盒诱杀法和撒施诱杀法对棉铃虫成虫的诱集作用。发现撒施诱杀法诱捕的棉铃虫成虫数量是诱盒诱杀法的10多倍,

这与孔德生等(2016)的试验结果趋势一致。主要原因可能是,将食诱剂集中施用,释放的挥发性组分浓度显著增加,从而可有效降低背景信息的干扰作用,增强对靶标害虫的引诱效果(窦术英等,2017)。在本试验中,利用撒施诱杀法每 667 m^2 5 d 平均诱杀棉铃虫成虫 141.33 头,雌性成虫比率为 0.55,表明食诱剂对棉铃虫成虫及其后代具有明显的种群控制潜力。孔德生等(2016)报道,在花生上利用诱盒诱杀法和撒施诱杀法使用棉铃虫食诱剂,对棉铃虫成虫诱捕效果明显,能显著降低田间落卵量和后代幼虫发生量。

结合本研究结果进行综合分析,认为诱盒诱杀法和撒施诱杀法均能有效诱捕棉铃虫成虫。其中,诱盒诱杀法诱集到的棉铃虫成虫尸体比较集中,主要分布在诱盒及其周围,便于后续调查,更加适用于成虫动态监测;而撒施诱杀法不需要诱捕装置,诱捕量大,简单方便并省时省力,更加适用于棉铃虫成虫诱杀防治。已有研究表明,食诱剂与害虫性诱剂、聚集信息素等结合使用,可显著提高对靶标害虫的诱杀效果(Fernández *et al.*, 2010; Hossain *et al.*, 2013; Ranger *et al.*, 2014)。同时,由引诱源与趋避源的结合使用形成的“推-拉”技术,能显著提高害虫行为调控效果,也在多种农作物害虫种群控制中推广应用(Cook *et al.*, 2007)。因此,有待加强研究棉铃虫食诱剂与其他行为调控措施之间结合使用等多样化的田间应用技术。

参考文献 (References)

- Bruce TJA, Wadhams LJ, Woodcock CM, 2005. Insect host location: a volatile situation. *Trends in Plant Science*, 10(6): 269–274.
- Cook SM, Khan ZR, Pickett JA, 2007. The use of ‘push-pull’ strategies in integrated pest management. *Annual Review of Entomology*, 52: 375–400.
- Dou SY, Xiu CL, Zhang JP, Lu YH, 2016. The trapping efficacy of plant-derived attractant on mirid bugs under field conditions. *Plant Protection*, 43(4): 239–242. [窦术英, 修春丽, 张建萍, 陆宴辉, 2017. 盲蝽成虫食诱剂的田间诱捕效果. 植物保护, 43(4): 239–242.]
- Fernández DE, Cichón L, Garrido S, Ribes-Dasi M, Avilla J, 2010. Comparison of lures loaded with codlemone and pear ester for capturing codling moths, *Cydia pomonella*, in apple and pear orchards using mating disruption. *Journal of Insect Science*, 10(1): 1–12.
- Foster SP, Harris MO, 1997. Behavioral manipulation methods for insect pest-management. *Annual Review of Entomology*, 42: 123–146.
- Gregg PC, Del Socorro AP, Hawes AJ, Binns MR, 2016. Developing bisexual attract-and-kill for polyphagous insects: Ecological rationale versus pragmatics. *Journal of Chemical Ecology*, 42(7): 666–675.
- Guo YY, 1998. Research on Cotton Bollworm. Beijing: China Agriculture Press. 1–407. [郭予元, 1998. 棉铃虫的研究. 北京: 中国农业出版社. 1–407.]
- Hossain MS, Hossain MABM, Williams DG, Chandra S, 2013. Management of *Carpophilus* spp. beetles (Nitidulidae) in stone fruit orchards by reducing the number of attract-and-kill traps in neighbouring areas. *International Journal of Pest Management*, 59(2): 135–140.
- Kong DS, Sun HM, Zhao YL, Xu L, Hui XH, Qu MJ, Lu XT, 2016. Control effect and benefit analysis of sex attractant and biological food attractant on cotton bollworm in peanut field. *Shandong Agricultural Sciences*, 48(4): 102–105. [孔德生, 孙明海, 赵艳丽, 许玲, 惠祥海, 曲明静, 路兴涛, 2016. 性诱剂和生物食诱剂对花生田棉铃虫的防控效果及效益分析. 山东农业科学, 48(4): 102–105.]
- Li QQ, Yang F, 2016. Comparison of different trapping methods of cotton bollworm. *Xinjiang Farm Research of Science and Technology*, (9): 25–26. 李钦钦, 杨芳, 2016. 棉铃虫诱杀方法的对比分析研究. 新疆农垦科学, (9): 25–26.]
- Liu YQ, Gao Y, Liang GM, Lu YH, 2017. Chlorantraniliprole as a candidate pesticide used in combination with the attracticides for lepidopteran moths. *PLoS ONE*, 12(6): e0180255.
- Lu YH, 2016. Development strategy of botanical attractants for controlling crop insect pests// Wu KM (ed.). Development Strategy of Green Control of Crop Insect Pests in China. Beijing: Science Press. 120–132. [陆宴辉, 2016. 农业害虫植物源引诱剂防治技术发展战略// 吴孔明. 中国农业害虫绿色防控发展战略. 北京: 科学出版社. 120–132.]
- Lu YH, Jiang YY, Liu J, Zeng J, Yang XM, Wu KM, 2018. Adjustment of cropping structure increases the risk of cotton bollworm outbreaks in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(1): 19–24. [陆宴辉, 姜玉英, 刘杰, 曾娟, 杨现明, 吴孔明, 2018. 种植业结构调整增加棉铃虫灾变风险. 应用昆虫学报, 55(1): 19–24.]
- Lu YH, Zhang YJ, Wu KM, 2008. Host-plant selection mechanisms and behavioural manipulation strategies of phytophagous insects. *Acta Ecologica Sinica*, 28(10): 5113–5120. [陆宴辉, 张永军, 吴孔明, 2008. 植食性昆虫的寄主选择机理及行为调控策略. 生态学报, 28(10): 5113–5120.]
- Ranger CM, Gorzlaneyk AM, Addesso KM, Olive JB, Reding ME, Schultz PB, Held DW, 2014. Conophthorin enhances the electroantennogram and field behavioural response of *Xylosandrus germanus* (Coleoptera: Curculionidae) to ethanol. *Agricultural and Forest Entomology*, 16(4): 327–334.
- Schoonhoven LM, van Loon JJA, Dicke M, 2005. Insect-Plant Biology. Oxford: Oxford University Press. 1–421.
- Shelly T, Nishimoto J, Kurashima R, 2014. Distance-dependent capture probability of male Mediterranean fruit flies in trimedlure-baited traps in Hawaii. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17(3): 525–530.
- Wu KM, Guo YY, 2007. Geotype differentiation and regional migratory regularity of *Helicoverpa armigera* in China. *Plant Protection*, 33(5): 6–11. [吴孔明, 郭予元, 2007. 棉铃虫种群的地理型分化和区域性迁飞规律. 植物保护, 33(5): 6–11.]
- Wu KM, Lu YH, Feng HQ, Jiang YY, Zhao JZ, 2008. Suppression of cotton bollworm in multiple crops in China in areas with Bt toxin-containing cotton. *Science*, 321(5896): 1676–1678.