

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.01.17

寄主植物挥发物对梨小食心虫受孕雌虫的引诱作用初探

李逸¹, 廖波¹, 王瑞兴¹, 盛丽梅¹, 种星星¹, 孔维娜², 马瑞燕^{1*}

(1. 中国科学院动物研究所, 北京 100101; 2. 山西农业科学院植物保护研究所病虫害综合防治重点实验室, 太原 030031)

摘要: 梨小食心虫 *Grapholita molesta* (Busck), 是一种世界性的蛀果害虫。利用产卵选择试验研究了 15 种寄主植物挥发物对梨小食心虫受孕雌虫的产卵引诱活性。室内试验表明: 受孕雌虫对不同挥发物的产卵选择趋性不同, 其中对叶醇和己酸丁酯表现出明显的产卵选择趋性。为验证寄主挥发物对受孕雌虫的实际诱捕效果, 进行了田间诱捕试验。结果发现, 挥发物中己酸丁酯、苯甲腈、叶醇、*E*-2-己烯醛以及乙酸己酯诱捕到的雌虫均为受孕雌虫, 显著高于空白对照及其他物质, 其中己酸丁酯的平均诱捕量最多, 苯甲腈次之, *E*-2-己烯醛、乙酸己酯这两种物质的平均诱捕量分别为第三、第四, 叶醇的诱捕量低于乙酸己酯, 其余物质的诱捕量均较低。综合室内及田间试验结果发现, 寄主植物挥发物对受孕雌虫的引诱作用也随它们之间的作用距离表现出一定的差异性。

关键词: 梨小食心虫; 受孕雌虫; 寄主植物挥发物; 产卵; 引诱

中图分类号: Q968.1; S436.612

文献标志码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 01-0132-06

Research of attractiveness of host-plant volatiles to the pregnant females of *Grapholita molesta* (Busck)

LI Yi¹, LIAO Bo¹, WANG Rui-Xing¹, SHENG Li-Mei¹, CHONG Xing-Xing¹, KONG Wei-Na², MA Rui-Yan^{1*} (1. Institute of Zoology, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China; 2. Shanxi Key Laboratory of Integrated Pest Management in Agriculture, Institute of Plant protection, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China)

Abstract: The *Grapholita molesta* (Busck), is a significant cosmopolitan pest and occurred in fruit growing areas around the world. The effect of 15 host-plant volatiles to the spawning activity of pregnant females of oriental fruit moth was examined. The result showed that pregnant females had different taxis response and selective propensity to these host-plant volatiles, which *Z*-3-hexen-1-ol and butyl hexanoate showed obvious attractability to pregnant females. To verify the actual trapping effect of the host-plant volatiles, the field tests were conducted. The results showed that the females of trapping of *Z*-3-hexen-1-ol, butyl hexanoate, *E*-2-hexenal, hexyl acetate and benzonitrile were all pregnant females, and the amount of trapping was significantly higher than the control and other host-plant volatiles. The average amount of trapping of butyl hexanoate was the highest and the butyl hexanoate followed, the amount of trapping of *E*-2-hexenal and hexyl acetate were third and forth in all host-plant volatiles, the average amount of trapping of *Z*-3-hexen-1-ol followed hexyl acetate, and the amount of trapping of other volatiles were lower. The comprehensive results showed that, attractiveness of the host-plant volatiles to pregnant females of oriental fruit moth was also different when the distance between them was changed.

基金项目: 国家大学生创新实验项目 (201401); 国家公益性行业专项 (201103024); 山西省基础研究项 - 青年科技研究基金 (2013021025-3)

作者简介: 李逸, 女, 1991 年生, 研究方向为鳞翅目昆虫系统学, E-mail: 840261391@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: 570665877@qq.com

收稿日期 Received: 2015-05-18; 接受日期 Accepted: 2015-07-22

Key words: *Grapholitha molesta* (Busck); pregnant females; host-plant volatiles; oviposition; attraction

梨小食心虫 *Grapholitha molesta* (Busck) 是世界性的主要蛀果害虫之一 (Torriani *et al.*, 2010; Mazzi and Dorn, 2012), 可为害多种核果类和仁果类果树 (Kovanci *et al.*, 2005; Myers *et al.*, 2006; Gong *et al.*, 2012)。近年来, 我国黄河流域、长江流域的多个省份发生严重, 严重的果园蛀果率达 30% - 40% (Trimble *et al.*, 2007; Khan *et al.*, 2010)。在山西省太谷地区梨小食心虫第一代和第二代为害桃梢; 第三代和第四代主要危害桃果和梨 (赵志国等, 2012)。越冬代雌虫交尾后大量产卵于寄主嫩梢上, 幼虫孵化后钻蛀到嫩梢内部生长发育, 造成嫩梢萎蔫枯死, 随着果实成长, 继而转移到果实上进行为害。合适的寄主植物为其提供良好的产卵场所和足够的营养, 使种群适合度最大化, 为害虫暴发提供条件。

植食性昆虫与其寄主植物之间关系密切, 适宜的寄主环境对于昆虫的生存是十分重要的。在植食性昆虫寻找寄主植物的过程中, 寄主植物释放的挥发性气味物质起着重要的通讯引导作用 (Visser, 1998)。昆虫对寄主的选择通常分为两个过程, 前者, 远距离接到刺激后促使昆虫向刺激定向运动 (定向阶段)。后者, 近距离“着陆”后鉴别是否取食或产卵 (黄立华和程遐年, 2001)。研究证明: 梨小食心虫相遇产生性行为之前雌虫要找到适宜的寄主植物, 在找到之前雌虫会推迟其交配期或减少其交配行为 (Margalith, 2003)。此外, 受孕雌虫能够依据寄主所散发的特殊气味来辨别寄主, 选择合适的产卵场所, 以保证下一代能有足够的食料 (杜家纬, 2001)。因此, 研究从寄主植物挥发物中寻找能够引诱受孕雌虫的关键物质, 并利用它诱杀受孕雌虫, 就可为梨小食

心虫的预测及防治提供新的思路与途径, 为生态治理梨小食心虫提供一定的理论依据。本研究对可能引起梨小食心虫受孕雌虫定向行为、产卵行为的植物挥发物进行了初步的探究, 旨在筛选出某些能激发梨小食心虫受孕雌虫行为反应的关键物质。

1 材料与方 法

1.1 供试昆虫

试验所用梨小食心虫为 1 - 3 日龄交尾过的雌虫, 来自于山西农业大学实验室继代饲养种群, 野外种群采集于山西省太谷县西山底村桃园, 且每年都通过采集野外种群对室内种群进行复壮。梨小食心虫的整个生活史均在可调控的光照培养箱内 (温度为 $26^{\circ}\text{C} \pm 0.8^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 70% - 80%, 光周期为 L:D = 15 h:9 h) 进行。

每天 10:00 取羽化当天的雌雄成虫 25 对, 放于单独养虫罐中饲养, 观察其交配行为, 并在每天 18:00 - 20:00 (梨小交尾活性最高时间段) 将正在交尾的雌雄虫用指形管同时取出, 待交尾结束后, 留交尾雌虫待用。每 3 天将单独养虫罐中的雌雄虫全部更新为新一批的羽化成虫。直至受孕雌虫达到试验的样本量。

1.2 供试样品

15 种植物挥发物的标准样品的名称、纯度及来源详见表 1。以上植物挥发物 (Natale *et al.*, 2004; Pinero and Dorn, 2007; 陆鹏飞等, 2010) 均用纯度为 98% 正己烷 (天津市进丰化工) 溶解后配制成 $5 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ 溶液待用。并以等量正己烷溶液作为对照。

表 1 标准样品的名称、纯度及来源

Table 1 Compound, purity and source of standard chemical samples

序号 Number	样品名称 Compound	纯度 (%) Purity	来源 Source
1	叶醇 Z-3-hexen-1-ol	≥98	Aladdin
2	芳樟醇 6-octadien-3-ol	≥99	Xiya
3	E-2-己烯醛 E-2-hexenal	≥98	Aladdin
4	苯甲醛 Benzaldehyde	≥99	Aladdin

续上表

序号 Number	样品名称 Compound	纯度 (%) Purity	来源 Source
5	壬醛 Nonanal	≥96	Xiya
6	Z-β-罗勒烯 Ocimene	≥69	Xiya
7	金合欢烯 Farnesene	≥98	Aladdin
8	甲基庚烯酮 6-methyl-5-hepten-2-one	≥99.5	Xiya
9	苯甲腈 Benzonitrile	≥98	Aladdin
10	乙酸己酯 Hexyl acetate	≥99	Xiya
11	乙酸丁酯 Butyl acetate	≥99	Xiya
12	乙酸异戊酯 3-methylbutyl acetate	≥99	Xiya
13	己酸丁酯 Butyl hexanoate	≥98	Aladdin
14	Z-3-己烯丁酸酯 Z-3-hexen-1-ylbutyrate	≥98	Xiya
15	Z-3-己烯乙酸酯 Z-3-hexen-1-ylacetate	≥97	Xiya

1.3 不同寄主植物挥发物对梨小食心虫产卵选择的影响

1.3.1 试验装置

试验装置 (Holveck, 2011) (1-A) 和它的分解图 (1-B)。1-B 中所示的装置包括: 上方为圆柱形玻璃杯, 内置硫酸纸、棉球及滤纸; 下方为顶端与侧壁开口的圆柱形玻璃缸; 中间为连接二者的圆柱形玻璃管。整个装置置于光线均匀、温度恒定、空气流通较好的稳定环境中。

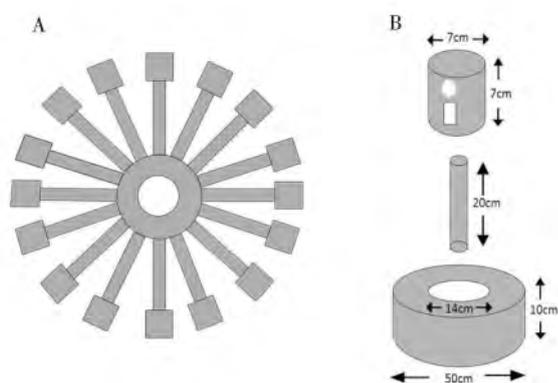


图1 试验装置图

Fig. 1 Experimental device

1.3.2 试验方法

取已交配的、健壮的梨小食心虫受孕雌虫 5 头, 放入圆柱形透明玻璃缸内, 并将顶端开口罩一层白色纱布, 每个透明玻璃杯底部和侧壁都铺有硫酸纸用以收集梨小食心虫卵, 杯内均放有相

同大小的体积约为 2 cm × 2 cm × 2 cm 一团棉花以及一张 1.5 cm × 1.5 cm 方形滤纸。每天 8:30 在滤纸上滴加 10 μL 相应挥发物溶液 (对照组滴加正己烷), 并在棉花团上滴加等量 5% 蜂蜜水, 将玻璃杯外端开口加盖。每天 10:30 观察统计玻璃杯内硫酸纸上的落卵量。连续观察统计直到雌虫全部死亡为一次重复, 然后将试验装置用酒精擦拭清洗干燥后进行下一次重复, 共 6 次重复。

田间诱捕试验地选在山西省太谷县 (37°18'N, 112°29'E, 海拔 824 m) 西山底村桃园内进行。桃园的主要栽培品为的“大久保”, 平均树龄为 6 年, 株距为 2.5 m, 行距为 5 m。试验小区按照太谷县果农的标准进行剪枝和喷洒杀虫剂、杀菌剂和除草剂。利用水盆诱捕器和挥发物指形管引诱雌虫。指形管内装有等量的 1.5 mL 挥发物溶液, 水盆诱捕器采取完全随机排列, 间距为 30 m。从 2014 年 7 月 30 日至 8 月 10 日, 每天统计 6:00 - 9:00 虫量, 然后将雌虫捞回解剖统计并清除雄虫及其他杂物。需要每天加水。每个处理 (包括对照) 重复 4 次。

1.4 数据处理

将原始数据进行开平方 (sqrt) 转换以稳定方差 (Nguyen, 2012), 将转化后的数据用 One-Way ANOVA 参数检验进行显著性检验, 并进行 Tukey 检验数据间的差异性。利用 Excel 2013 和 SPSS 19.0 统计软件处理数据。

2 结果与分析

2.1 梨小食心虫对不同寄主挥发物的产卵选择结果

梨小食心虫对不同寄主挥发物的产卵选择结果如表 2 所示, 受孕雌虫在 15 种寄主植物挥发物上均可产卵, 但各挥发物以及对照上的平均产卵量差异不显著 ($F = 15.05$, $df = 15$, $P = 0.375$)。其中, 受孕雌虫对叶醇的产卵选择率最高为 28.34%, 平均落卵量为 11.7 ± 7.4 粒, 其次为己酸丁酯为 5.5 ± 4.9 粒 (13.36%), 再次是苯甲腈

4.2 ± 4.2 粒以及 *Z*-3-己烯醇乙酸酯为 3.5 ± 2.3 粒, 壬醛、乙酸乙酯、乙酸异戊酯次之且平均落卵量均为 3.3 ± 3.3 粒, 其余挥发物质落卵量均较少, 对照上无落卵量。

由表 2 看出, 梨小食心虫受孕雌蛾对叶醇和己酸丁酯这两种物质具有较好的产卵选择趋性。但由于装置内的环境与田间的环境有很大差别, 装置内气流较静止, 挥发物在空气中梯度浓度不大, 因而雌虫依靠嗅觉寻找产卵场所的能力可能受到很大限制。所以选择产卵试验的结果并不能完全证明挥发物性质对受孕雌虫的引诱效果。

表 2 梨小食心虫对不同寄主挥发物的产卵选择结果

Table 2 Oviposition preference of *Grapholitha molesta* (Busck) to different host-plant volatile components

样品名称 Compound	平均落卵量 \pm 标准误 (粒) Mean number of eggs \pm SE	百分比 (%) Percent
叶醇 <i>Z</i> -3-hexen-1-ol	11.7 ± 7.4	28.34
芳樟醇 6-octadien-3-ol	2.2 ± 1.5	5.26
<i>E</i> -2-己烯醛 <i>E</i> -2-hexenal	0.8 ± 0.7	2.02
苯甲醛 Benzaldehyde	0.2 ± 0.2	0.40
壬醛 Nonanal	3.3 ± 3.3	8.10
<i>Z</i> - β -罗勒烯 Ocimene	1.2 ± 1.2	2.83
金合欢烯 Farnesene	0.5 ± 0.5	1.21
甲基庚烯酮 6-methyl-5-hepten-2-one	0.3 ± 0.2	0.81
苯甲腈 Benzonitrile	4.2 ± 4.2	10.12
乙酸己酯 Hexyl acetate	0.2 ± 0.2	0.42
乙酸丁酯 Butyl acetate	3.3 ± 3.3	8.10
乙酸异戊酯 3-methylbutyl acetate	3.3 ± 3.3	8.10
己酸丁酯 Butyl hexanoate	5.5 ± 4.9	13.36
<i>Z</i> -3-己烯丁酸酯 <i>Z</i> -3-hexen-1-ylbutyrate	1.0 ± 1.0	2.43
<i>Z</i> -3-己烯乙酸酯 <i>Z</i> -3-hexen-1-ylacetate	3.5 ± 2.2	8.50
对照 CK	0	0

2.2 田间诱捕试验

为了验证寄主植物挥发物对梨小食心虫受孕雌虫的实际诱捕效果, 对 15 种寄主挥发物进行了田间诱捕试验。每天将田间诱捕到的全部雌虫带回后在室内解剖, 观察并统计受孕雌虫的数量。这 15 种挥发物的平均诱捕量如图 2 所示。15 种挥发物质及对照的平均诱捕量差异显著 ($F = 7.100$,

$df = 5$, $P = 0.001 < 0.05$), 己酸丁酯、苯甲腈、叶醇、*E*-2-己烯醛以及乙酸己酯诱捕到的雌虫全部为受孕雌虫, 且显著高于对照, 其中己酸丁酯的平均诱捕量最多, 苯甲腈次之, *E*-2-己烯醛、乙酸己酯这两种物质的平均诱捕量分别为第三、第四, 叶醇的诱捕量低于乙酸己酯, 其余物质的诱捕量均较低。

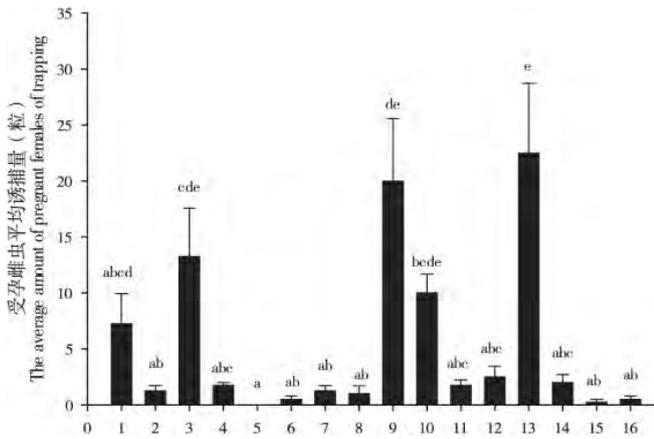


图2 15种挥发物及对照在田间对受孕雌虫的平均诱捕量 (头)

Fig. 2 Mean average amount of pregnant females of trapping of six different host-plant volatiles

注: 横轴数字依次代表: 1, 叶醇; 2, 芳樟醇; 3, *E*-2-己烯醛; 4, 苯甲醛; 5, 壬醛; 6, *Z*- β -罗勒烯; 7, 金合欢烯; 8, 甲基庚烯酮; 9, 苯甲腈; 10, 乙酸己酯; 11, 乙酸丁酯; 12, 乙酸异戊酯; 13, 己酸丁酯; 14, *Z*-3-己烯丁; 15, *Z*-3-己烯乙酸酯; 16, 对照。条形图上具有相同字母者差异不显著 ($P > 0.05$)。Note: The numbers on the abscissa above represents respectively: 1, *Z*-3-hexen-1-ol; 2, 6-octadien-3-ol; 3, *E*-2-hexenal; 4, Benzaldehyde; 5, Nonanal; 6, Ocimene; 7, Farnesene; 8, 6-methyl-5-hepten-2-one; 9, Benzonitrile; 10, Hexyl acetate; 11, Butyl acetate; 12, 3-methylbutyl acetate; 13, Butyl hexanoate; 14, *Z*-3-hexen-1-ylbutyrate; 15, *Z*-3-hexen-1-ylacetate; 16, CK. The same letters above the bars indicate no significant difference ($P > 0.05$).

3 结论与讨论

近些年来国内外有关寄主植物挥发物与梨小食心虫关系的报道不在少数,但其中有关单一挥发物成份与其受孕雌虫的研究鲜有报道,本文作者针对这点进行了详细探索与研究。室内研究发现,梨小食心虫受孕雌虫对叶醇和己酸丁酯这两种物质具有较好的产卵趋性。在双向嗅觉实验中也曾证明己酸丁酯对已交配的雌虫表现出吸引作用,对处女雌虫没有作用 (Natale *et al.*, 2004),行为和电生理实验表明已交配的雌虫对含有苯甲腈的混合物有显著趋性 (Pinero and Dorn, 2007)。本试验结果表明,苯甲腈对受孕雌虫的产卵引诱作用仅次于己酸丁酯和叶醇,在田间的诱捕量仅低于己酸丁酯,进一步印证了己酸丁酯及苯甲腈对受孕雌虫的吸引作用。然而 Natale 以及 Pinero

并没有对他们室内得到的研究结果进行田间验证。尽管田间试验容易受到环境因素的影响,以致于有时很难以得到可靠性的结论,也很难详细观察到成虫对气味源的各步行为反应,但是利用气味源进行的田间诱蛾活性试验是检验气味源有效与否的客观标准,对气味源活性的评价起着决定的作用 (Bellas and Bartell 1983); 同时可以获得诱捕各方面的重要信息 (Cardé and Hagaman 1979),为利用气味源进行虫情测报和进一步防治提供最直接的依据。本文正是将室内试验与田间相结合,详细研究了 15 种挥发物对受孕雌虫的引诱作用,并且意外的发现,叶醇在室内对受孕雌虫也有较好的产卵引诱作用,*E*-2-己烯醛和乙酸己酯在室内对受孕雌虫的产卵引诱活性较差,但田间诱捕试验却表现出相反的结果。

田间诱捕试验显示,己酸丁酯、苯甲腈、*E*-2-己烯醛、乙酸己酯、叶醇这 5 种物质对受孕雌虫的平均诱捕量显著高于其余物质及对照,结合室内试验结果发现,寄主植物挥发物在室内和田间的作用表现出一定的差异性:*E*-2-己烯醛、乙酸己酯这 2 种物质在室内条件下对受孕雌虫的产卵引诱作用较弱,但在田间的诱捕量却显著高于其他大多数物质;叶醇、己酸丁酯、苯甲腈这 3 种物质在室内条件下对受孕雌虫表现出较好的产卵引诱作用,在田间的诱捕量也相当可观,而且己酸丁酯与苯甲腈在室内产卵引诱试验以及田间诱捕试验中表现均优于其他物质。有研究证明,不同的寄主植物挥发物,对植食性昆虫的行为作用也不尽相同。有些物质属于长距离引诱剂,为昆虫提供的是远距离 (定向) 吸引的作用,当成虫进入一定距离范围后,这些物质作用降低,此时另外一些物质在较近范围内刺激成虫,诱导受孕雌虫产卵 (或取食) (樊慧等, 2004)。姚英娟等也报道过,植食性昆虫对于寄主植物的寻找,首先是在远距离外感受来自寄主植物释放的信号并且进行定向后进一步寻找寄主;待昆虫到达近距离后“着陆”并决定是否产卵 (或取食),而在这个过程中决定昆虫去留的主要是寄主植物释放的挥发性气味物质 (姚英娟等, 2004)。根据樊慧以及姚英娟的报道可推测这种差异性很有可能与它们之间的作用距离相关: ① *E*-2-己烯醛和乙酸己酯远距离对受孕雌虫的定向吸引作用较强,近距离对受孕雌虫的产卵引诱较弱; ② 己酸丁酯、苯甲腈及叶醇近距离内对受孕雌虫的产卵引诱作用和远距离对受孕雌虫的定向吸引作用均较强。但需要

进一步研究印证。

寄主植物挥发物是将植食性昆虫及其寄主植物联系在一起的重要信息纽带, 因此研究寄主植物挥发物对植食性昆虫的引诱作用已经越来越受到人们的关注。通过本文的试验不仅筛选出 5 种实际中对梨小食心虫受孕雌虫引诱作用较好的挥发物, 而且证明了不同的寄主挥发物对梨小食心虫受孕雌虫的引诱作用因它们之间的距离不同而有所差异, 并对它们进行了初步划分。如果我们能够从植食性昆虫的寄主植物挥发物中明确不同物质的具体作用, 并且在实际生产中针对性的增加这些物质的量来增强对受孕雌虫的引诱作用, 不仅对梨小雌虫的防治效果有积极意义, 也可为进一步开发针对于受孕雌虫的田间诱芯提供理论依据。但梨小食心虫的寄主植物挥发物远不止这些, 更为具体深入的研究工作有待进一步开展。

参考文献 (References)

- Cardé RT, Hagan TE. Behavioral responses of the gypsy moth in a wind-tunnel to air-borne enantiomers of disparlure [J]. *Environmental Entomology*, 1979, 8 (3): 475-484.
- Baker TC, Meyer W, Roelofs WL. Sex pheromone dosage and blend specificity of response by oriental fruit moth males [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1981, 30 (3): 269-279.
- Bellas TE, Bartell RJ. Dose-response relationship for two components of the sex pheromone of light brown apple moth, *Epiphyas postvittana* (Lepidoptera: Tortricidae) [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1983, 9 (6): 715-726.
- Visser JH. Hoet order perception in phytophagous insects [J]. *Annual Review Entomology*, 1998, 31: 121-144.
- Du JW. Chemical communication and the controlling of behaviors between plants and insects [J]. *Journal of Plant Physiology*, 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]
- Huang LH, Cheng X. Advance of interaction between *Helicoverpa armigera* and cotton [J]. *Entomological Knowledge*, 2001, 38 (6): 401-405. [黄立华, 程遐年. 棉铃虫与棉花相互作用研究进展[J]. *昆虫知识*, 2001, 38 (6): 401-405]
- Trimble RM, Pree DJ, Carter NJ. Integrated control of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) in peach orchards using insecticide and mating disruption [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2001, 94 (2): 476-485.
- Bloss J, Acree TE, Bloss JM, et al. Potential use of chemical cues for colony-mate recognition in the big brown bat, *Eptesicus fuscus* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2002, 28 (4): 819-834.
- Margalith Y. Integrated biological control of mosquitoes and black flies: A global perspective [J]. *Phytoparasitica*, 2003, 31 (3): 293.
- Fan H, Jin YJ, Li JL, et al. Advance on plant volatile semi chemicals attracting herbivorous insect [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2004, 3 (26): 79-80. [樊慧, 金幼菊, 李继良, 等. 引诱植食性昆虫的植物挥发性信息化合物的研究进展[J]. *北京林业大学学报*, 2004, 3 (26): 79-80]
- Natale D, Mattiacci L, Pasqualini, et al. Apple and peach fruit volatiles and the apple constituent butyl hexanoate attract female oriental fruit moth, *Cydia molesta*, in the laboratory [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2004, 128 (5): 22-27.
- Yao YJ, Xue D, Yang CJ. Advance of the relationship between insect behavior and information compound [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2004, 23 (4): 473-482. [姚英娟, 薛东, 杨长举. 昆虫行为与信息化合物关系的研究进展. *华中农业大学学报* [J], 2004, 23 (4): 473-482]
- Kovanci OB, Schal C, Walgenbach JF, et al. Comparison of mating disruption with pesticides for management of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) in North Carolina apple orchards [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2005, 98 (4): 1248-1258.
- Myers CT, Hull LA, Krawczyk G. Seasonal and cultivar associated variation in oviposition preference of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) adults and feeding behavior of neonate larvae in apples [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2006, 99 (2): 349-358.
- Pinero JC, Dorn S. Synergism between aromatic compounds and green leaf volatiles derived from the host plant underlies female attraction in the oriental fruit moth [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2007, 125 (2): 185-194.
- Khan MR, Khan MR, Ghani IB. Non-pesticidal treatments as management practice for codling moth *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) [J]. *Pakistan Journal of Zoology*, 2010, 42 (3): 291-294.
- Lu PF, Huang QL, Wang CZ. The chemical substance of oriental fruit moth in information communication [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2010, 53 (12): 1369-1400.
- Torriani, Marco VG, Mazzi D, et al. Structured populations of the oriental fruit moth in an agricultural ecosystem [J]. *Molecular Ecology*, 2010, 19 (13): 2651-2660.
- Du J, Wang YR, Wu JX. Effect of four different artificial diets on development and reproduction of *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) [J]. *Journal of Shanxi Agricultural University (Nat. Sci.)*, 2011, 30 (3): 228-231.
- Holveck MJ, Geberzahn N, Riebel K. An experimental test of condition-dependent male and female mate choice in zebra finches [J]. *PLoS ONE*, 2011, 6 (8): e23974.
- Gong YJ, Shi BC, Kang ZJ, et al. The complete mitochondrial genome of the oriental fruit moth *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) [J]. *Molecular Biology Reports*, 2012, 39 (3): 2893-2900.
- Mazzi D, Dorn S. Movement of insect pests in agricultural landscapes [J]. *Annals of Applied Biology*, 2012, 160 (2): 97-113.
- Nguyen CTO, Brain P, Ivarsson M. Comparing activity analyses for improved accuracy and sensitivity of drug detection [J]. *Journal of Neuroscience Methods*, 2012, 204 (2): 374-378.
- Zhao ZG. Predicting and Evaluation of Oriental Fruit Moth by Sex Pheromone Trapping [D]. Taiyuan: Shanxi Agricultural University, 2012, 43-44. [赵志国. 基于性信息素的梨小食心虫测报及评价研究[D]. 太谷: 山西农业大学, 2012, 43-44]