

梨小食心虫生物防治研究进展*

冉红凡^{1**} 路子云¹ 刘文旭¹ 马爱红¹ 刘小侠²
孙海鹏³ 李建成^{1***} 张青文²

(1. 河北省农林科学院植物保护研究所, 河北省农业有害生物综合防治工程技术研究中心, 农业部华北北部作物有害生物综合治理重点实验室, 保定 071000; 2. 中国农业大学植物保护学院 北京 100092; 3. 河北农业大学林学院, 保定 071001)

摘 要 梨小食心虫 *Grapholita molesta* (Busck) 是世界性分布的果树主要害虫之一, 可危害多种果树。多年来, 过度依赖化学农药防治梨小食心虫效果并不理想, 且杀伤天敌、污染环境、导致农药残留。利用自然天敌防治梨小食心虫高效、无毒、无污染, 符合当前社会对环保的要求。本文结合前人工作, 从病原微生物、寄生性天敌、捕食性天敌、性信息素、化学信息物质等方面, 综述了梨小食心虫生物防治的研究进展, 并对其应用前景进行了展望。

关键词 梨小食心虫, 生物防治, 性信息素, 进展

Advances in research on the biological control of the oriental fruit moth

RAN Hong-Fan^{1**} LU Zi-Yun¹ LIU Wen-Xu¹ MA Ai-Hong¹ LIU Xiao-Xia²
SUN Hai-Peng³ LI Jian-Cheng^{1***} ZHANG Qing-Wen²

(1. Plant Protection Institute, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences; IPM Center of Hebei Province; Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northern Region of North China, Ministry of Agriculture, Baoding 071000, China;

2. College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100092, China;

3. Forestry College, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

Abstract The oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Busck), is a major pest of fruit crops worldwide that causes serious damage in most fruit-growing areas. Control of this pest has mainly depended on chemical pesticides which have undesirable side effects, for example, reducing the abundance of natural predators of pests and environmental pollution from pesticide residues. In contrast, using predators to control the oriental fruit moth is both effective, and produces no pesticide residues or other environmental pollution. This paper reviews previous research on biological control agents for the OFM, including pathogenic microorganisms, parasites, predators, sex pheromones, and semiochemicals. Potential future developments in the biological control of this pest are also discussed.

Key words oriental fruit moth, biological control, sex pheromone, research advances

梨小食心虫 *Grapholitha molesta* (Busck) (*Cydia molesta* Busck) 属鳞翅目 Lepidoptera 卷蛾科 Tortricidae, 又称梨小蛀果蛾、梨姬食心虫、桃折稍虫、东方蛀果蛾, 简称“梨小”, 是核果类(桃、李、杏、樱桃等)和仁果类(苹果、梨

等)果树的主要害虫之一(陈梅香等, 2009)。梨小食心虫在世界各大洲的果树产区都有分布; 在我国除西藏外的其他地区均有发生, 尤以北方桃、梨果产区发生最为普遍。梨小食心虫幼虫在果树的发育期危害枝梢和果实, 可严重影响

*资助项目 Supported projects: 国家现代梨产业技术体系建设专项资金(CARS-29-08); 国家公益性行业(农业)科研专项经费项目(201103024); 河北省农科院科技研究与发展计划项目(A2015120303); 河北省农科院财政项目(F16C10004)

**第一作者 First author, E-mail: ranhongfan@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: lijiancheng08@163.com.

收稿日期 Received: 2016-05-31, 接受日期 Accepted: 2016-08-10

果品的产量和质量。多年来,主要依赖化学农药防治梨小食心虫,由于该虫具有钻蛀特性,幼虫一旦蛀入嫩梢和果实,化学农药就不能起到较好的防治作用。此外农药的长期使用不仅加快了害虫抗药性发展、用药量日趋增加,而且杀伤天敌、污染生态环境、导致果品农药残留超标(李波等, 2008; Stelinski *et al.*, 2008)。利用自然天敌防治梨小食心虫,不仅符合当前环保的要求,对环境、人畜安全,无污染,没有农药残留等问题;而且天敌昆虫对寄主专一性强,有利于对害虫种群的长期持续控制。近年来,在食心虫生物防治研究方面开展了大量工作,现综述如下。

1 梨小食心虫的天敌种类

1.1 寄生性天敌

通过对文献资源的整理,查明世界上共记录梨小食心虫的天敌 255 种,分属昆虫纲膜翅目、双翅目、缨翅目、鞘翅目;蛛形纲蜱螨目,共 5 目 20 科;其中大部分为寄生性天敌,捕食性天敌仅 3 种(范仁俊, 2015)。在新西兰, Derek (1987)记录了寄生于梨小食心虫的 7 种膜翅目天敌昆虫,其中 1 种属于金小蜂科 Pteromalidae, 2 种属于茧蜂科 Braconidae, 4 种属于姬蜂科 Ichneumonidae, 以及双翅目寄蝇科 1 种,它们分别寄生于梨小食心虫的卵、幼虫及蛹上,并对它们的生物学进行了记述。

在我国,梨小食心虫的卵寄生蜂有赤眼蜂,幼虫寄生蜂有齿腿瘦姬蜂、小茧蜂、钝唇姬蜂等(郭普, 2006)。梨小食心虫的其他天敌因子还有中国齿腿姬蜂 *Pristomerus chinensis* Ashmead、黄眶离缘姬蜂 *Trathala flavo-orbitalis* (Cameron)、日本黑瘤姬蜂 *Coccygomimus nipponicus* (Uchida)、斑痣悬茧蜂 *Meteorus pulchricorpus* Wesmael、食心虫白茧蜂 *Phanerotoma planifrons* (Nees)、松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* Matsumura、广赤眼蜂 *T. evanescens* Westwood 等(陈梅香等, 2009)。

此外,孟国玲等(1998)记载黑胸茧蜂 *Bracon nigrorufum* (Cushman) 寄生梨小食心虫,在室

内接种能完成世代发育,对梨小食心虫的自然种群也有一定的控制作用。另据记载,肿腿蜂和寄生蝇也可寄生梨小食心虫(陈君和程惠珍, 2000; 傅丽君等, 2005)。

对梨小食心虫有寄生和控制作用的天敌还包括欧洲特有的苍白宽口姬小蜂 *Hyssopus pallidus* (Askew) (膜翅目: 姬小蜂科) (Häckermann *et al.*, 2007, 2008)、暗黑赤眼蜂 *Trichogramma pintoi* Voegelé (沈健等, 2012)、寄生胡蜂 *Macrocentrus ancyliivorus* Rohwer (Haeussler, 1932; Peter, 1979; Afonso, 2001; Rodrigues *et al.*, 2011)、短管赤眼蜂 *Trichogramma pretiosum* Riley (Rodrigues *et al.*, 2011)。

1.2 捕食性天敌

据田间观察梨小食心虫的捕食性天敌有草蛉、瓢虫、步甲、花蝽、蜘蛛、蚂蚁等。

孟豪等(2011)查阅梨小食心虫天敌文献资料,仅发现 3 种捕食性天敌,未说明具体种类;而在中国,梨小食心虫的天敌全部为寄生性。

另据报道,蒲螨 (*Pyemotes* sp.) 对梨小食心虫也有一定的防治效果(周巍等, 2011)。

1.3 病原微生物

应用病原微生物防治农业害虫是生物防治的重要内容。应用病原微生物,对梨小食心虫进行防治的报道并不多。目前,用于防治梨小食心虫的致病微生物主要包括苏云金杆菌 (*Bt*)、白僵菌等。白僵菌为真菌,其杀虫有效物质是白僵菌的活孢子(范仁俊, 2015)。

2 天敌昆虫在梨小食心虫生物防治中的应用

2.1 寄生性天敌昆虫在梨小食心虫生物防治中的应用

赤眼蜂为梨小食心虫卵期最重要的天敌,可通过梨小食心虫卵期释放赤眼蜂进行防治。20 世纪 80 年代开始,各地陆续有利用赤眼蜂防治梨小食心虫的研究和报道。如 1981 年在山东栖霞县苹果、桃混栽园,利用松毛虫赤眼蜂防治第

2 代梨小食心虫, 每 667 m² 总蜂量 20 万头, 梨小食心虫卵寄生率达到 82%~89%, 桃梢和果实被害率均低于对照, 防治效果好于喷药一次的果园 (冯建国和张勇, 1988; 冯建国等, 1992)。此后在山东临沭县苹果园、新疆塔里木垦区, 应用赤眼蜂防治梨小食心虫, 综合来看, 防治效果明显优于化学防治 (冯建国等, 1992; 齐美玲和朱海黎, 1985)。

在山西, 从当地梨小食心虫卵中采集赤眼蜂, 确定优势蜂种 (山西梨小食心虫卵中优势种赤眼蜂有松毛虫赤眼蜂和广赤眼蜂)。然后在室内扩繁优势蜂种, 田间释放防治梨小食心虫。自每代梨小食心虫卵初盛期开始释放优势种赤眼蜂, 每隔 3~5 d 释放 1 次, 每代卵期释放 3~4 次, 每次每公顷释放赤眼蜂 30 万~45 万头。赤眼蜂防治可与性诱剂防治或生物农药防治联合使用。放蜂桃园若使用化学农药防治, 应在放蜂 3 d 后进行 (李唐等, 2010)。

徐丽君等 (2014) 将释放松毛虫赤眼蜂与性信息素诱捕器结合, 辅以化学农药; 在蛾发生盛期后 2~3 d 释放松毛虫赤眼蜂 (1.5 万头/667 m²), 7 d 释放一次, 共释放 2 次; 同时每块田悬挂 5 个诱捕器; 于 4 月末幼虫高峰期喷杀虫剂一次; 该处理可以显著控制梨小食心虫的数量, 减少化学农药用量, 对果品质量和生态环境都有积极意义。

沈健等 (2012) 研究了暗黑赤眼蜂对梨小食心虫卵的寄生效果, 结果表明, 在室内条件下, 暗黑赤眼蜂对其非自然寄主梨小食心虫卵的寄生效果与松毛虫赤眼蜂相似, 说明暗黑赤眼蜂是一种防治梨小食心虫的潜在寄生蜂。

寄生胡蜂广泛分布于世界大部分桃生长区, 是梨小食心虫幼虫的寄生蜂, 曾被成功用于防治梨小食心虫 (Haeussler, 1932; Afonso, 2001)。在巴西, 它是数量最多的一种寄生蜂 (Rodrigues *et al.*, 2011)。在澳大利亚南部桃园, 利用寄生胡蜂来防治梨小食心虫, 平均每棵桃树释放 60 头雌蜂, 平均寄生率为 4% (Peter, 1979)。

在巴西, Rodrigues 等 (2011) 在桃园中发现有短管赤眼蜂存在, 利用梨小食心虫和地中海

粉斑螟 *Anagasta kuehniella* 的卵在室内繁育短管赤眼蜂, 并从中选择最有潜力的品系用于防治梨小食心虫。证实可以利用短管赤眼蜂进行梨小食心虫的生物防治。

2.2 捕食性天敌昆虫在梨小食心虫生物防治中的应用

对于梨小食心虫的捕食性天敌利用, 相关报道较少。但在一些文章中提到对一些捕食性种类的保护利用。

要充分保护和利用这些有益的天敌, 尽量不要在天敌的敏感期间使用农药。另外在桃园中可间作绿肥如猪屎豆或花生, 一来可提高土壤肥力, 二来为天敌提供猎物、活动、繁殖场所, 增加了天敌的种群数量, 能更好的控制害虫的危害 (雷艳梅和劳有德, 2014)。

在梨小食心虫幼虫出土前, 用钢锹将树盘打一遍, 一般可使表土下陷 3 cm, 可打死部分幼虫, 地面打平后, 梨小食心虫幼虫为红色, 可招来大量鸟类啄食。也可在园地放养鸡等家禽啄食幼虫 (景春华, 2009)。

在田间, 每棵石楠上释放 1~5 管蒲螨 (每管含新生蒲螨 2~3 万头), 对梨小食心虫的寄生率最高可达 79%, 最低也在 25% 以上。可见该虫对梨小食心虫具有较强的控制能力 (周巍等, 2011)。

2.3 病原微生物在梨小食心虫生物防治中的应用

采用白僵菌 (1.75 kg/hm²) 和对硫磺做胶露剂 (0.2 kg/hm²) 混合液, 在枇杷园梨小食心虫越冬幼虫孵化期和第 1 代脱果期各喷洒地面两次防治梨小食心虫取得了较好的防治效果 (曹仲根等, 2004)。

杨华和马光 (2003) 连续两年应用苏云金杆菌 (Bt) 防治梨小食心虫, 蛀果率仅为 0.131%~0.281%, 与果蔬利的防治效果基本一致。其适宜浓度为 300 倍。何超 (2008) 用 2 000 IU/μL Bt 悬浮剂 1 000 倍液, 药后 7 d 防治效果可达 80%, 而且对成虫和幼虫的触杀效果都较好。傅丽君等 (2005) 用 Bt 可湿性粉剂 300 倍液防治梨小食

心虫,有较好的效果,但要注意施药时间及与农药的互作。

3 昆虫性信息素在梨小食心虫生物防治中的应用

昆虫性信息素是由昆虫个体分泌于体外,能被同种异性个体所接受,并引起异性个体产生一定的行为和生理反应(如觅偶、定向求偶、交配等)的微量化学物质。利用昆虫性信息素防治害虫是 20 世纪 60 年代以来发展的一种防治技术,具有特异性强、高效、无毒、无污染、不伤害天敌等优点(李庆燕等,2012)。

梨小食心虫性信息素由 George 在 1965 年从该种雌蛾的腹部分离得到。自 Roelofs 等(1969)鉴定梨小食心虫性激素的主要成分为(Z)-8-十二碳烯-1-醇醋酸酯以来,有关梨小食心虫性信息素的合成与应用研究迅速展开。中国科学院动物研究所药剂毒理室杀虫剂组等(1976)、中国科学院动物研究所药剂毒理室杀虫剂组(1977)、四川大学化学系昆虫信息素组(1980)分别合成了梨小食心虫性外激素(Z)-8-十二碳烯-1-醇醋酸酯,并进行了田间诱蛾试验,结果表明合成的梨小食心虫性外激素具有强烈的诱蛾活性。

仲同生和林国强(1982)应用易得原料制得梨小食心虫性信息素的活性成分,(Z)-8-十二碳烯-1-醇醋酸酯及其反式异构体。李久明等(2008)以廉价的工业化原料 1,6-己二醇为起始原料,以简便的方法合成了梨小食心虫性信息素(Z/E)-8-十二碳烯-1-醇醋酸酯(化合物 1、2)(Z/E 比例 GC 分析摩尔比为 79:21),总收率为 35.7%。虽然该方法路线较长,但综合来看更为经济。王亚璐等(2007)以 8-溴-1-辛醇、三苯基膦和正丁醛为原料,分别以二甲亚砷钠盐和二甲亚砷作为强碱和溶剂,通过 Wittig 试剂合成梨小食心虫性信息素,收率 30%。产物结构经 IR、NMR、MS 分析得到证实。提出的合成方法原料易得,路线短,副产物少,操作简单常规。

李庆燕(2013)应用 Wittig 反应合成梨小食

心虫性信息素,通过相转移催化技术,合成了梨小食心虫性信息素的主要成分(Z)-8-十二碳烯-1-醇,(Z)-8-十二碳烯-1-醇醋酸酯和(E)-8-十二碳烯-1-醇醋酸酯。通过正交试验,研究了相催化技术合成梨小食心虫性信息素的反应时间、催化剂用量等条件,旨在探索高效低成本的合成技术。结果表明:条件优化后,收率 60%,改进了合成工艺,降低了成本。

3.1 应用梨小食心虫性信息素进行预测预报

Omelyuta 和 Chernishov(1997)于 1992~1993 年,在乌克兰的果园利用粘板和合成的性信息素监测梨小食心虫,从而得到它的发生动态。在巴西 Bento Goncalves 的 2 个桃园,Arioli 等(2005)对梨小食心虫种群季节动态进行监测,每个桃园挂两个 Delta 诱捕器,在桃园生产期发现 4 个高峰,前 7 d 的平均温度与梨小食心虫的诱捕量呈正相关。

冉红凡等(2011)以性诱芯诱捕器来监测河北省赵县、顺平、沧州、昌黎等地桃园和梨园内的梨小食心虫发生动态,并对其发生规律进行了调查和总结。结果表明梨小食心虫在赵县梨园和顺平桃园,均为年生 4 代;而在沧州梨园以及昌黎桃园和梨园均为年生 3 代。上述不同地区梨小食心虫代数的差别,初步分析认为是由于沧州、昌黎地处海边,气温较更靠近内陆的赵县和顺平低导致。资料记载梨小食心虫成虫 4 月中旬开始出现(中国科学院动物研究所,1987),但在该研究中,梨小食心虫成虫在 4 月初即发生,4 月中旬即有进入高峰的可能。梨小食心虫发生期的提前可能与地球气候的变暖,导致生物发生期改变有关。在该研究中,桃园大量发生期在 5 月上旬—8 月中旬,以 7 月为高峰;在梨园则以 7 月上旬—9 月中旬为高峰期,前期维持很低的虫口,与桃园相比前期虫口数量明显低,而后期则明显高于桃园,并且持续时间长于桃园。证明了梨小食心虫在 7 月以后向梨园转移的理论,与前人的研究结果基本一致。但在赵县梨园和顺平桃园,发生规律则有所不同。赵县梨园内,发生量普遍较高,但以前期最高;而顺平桃园中,前后期均较

高; 这主要与两县果树品种单一有关。

Kim 等 (2011) 将信息技术与性信息素诱捕器结合, 制作出遥感信息素诱捕器, 在韩国苹果园内监测梨小食心虫发生动态及成虫活动时间, 发现一年有 4 次高峰。在匈牙利, 梨小食心虫 1 年发生 3 代, 还有 1 个不完全的第 4 代。梨小食心虫的性信息素不仅能诱到梨小食心虫, 还能诱到李小食心虫。在桃园, 二者比例约为 1:1; 在李园, 李小食心虫是梨小食心虫的 7 倍 (Hári and Péntzes, 2010)。

对来自韩国罗州的梨园梨小食心虫的性信息素进行了鉴定。在梨小食心虫雌虫腹部末端的性信息素中, 用气相色谱探测到四个组分。色谱 (GC) 分析表明: 它包括 (Z)-8-十二碳烯-1-醇醋酸酯 (Z8-12 Ac), (E)-8-十二碳烯-1-醇醋酸酯 (E8-12 Ac), (Z)-8-十二碳烯-1-醇 (Z8-12 OH), 以及十二烷醇 (12 OH), 比例为 100:6.8:19.1:5.4。在田间诱捕试验中, 单纯的 Z8-12 Ac 本身对梨小食心虫雄虫没有吸引力, 而当 Z8-12 Ac 中加入 4%, 5% 或 6% 的反式异构体时, 会比其他比例的 Z:E 混合物诱蛾量要高。除了这两种外, 再加入 Z8-12 OH, 梨小食心虫雄虫的诱捕量会显著增加。尽管在雌蛾腹部末端的提取物中, 探测到有大量的 Z8-12 OH, 但加入 1% 的 Z8-12 OH 就足以增加诱捕量。Z8-12 Ac, E8-12 Ac 和 Z8-12 OH 的比例为 95:5:1 的混合诱饵, 已成功用于监测梨小食心虫雄虫的飞行 (Yang *et al.*, 2002)。

3.2 性诱捕器诱杀技术

利用性诱剂可诱杀大量梨小食心虫雄成虫, 从而降低果园虫口密度, 是一种高效、经济、有利于生态保护的防治方法。一般果园间隔 20~25 m 放置一个诱捕器, 地势高低不平的丘陵山地或果树密度大、枝叶茂密的果园放置宜密一些; 反之, 地势平坦的洼地或果树密度较小的果园放置间隔可适当远一些 (屈振刚等, 2010a)。

中国科学院动物研究所在多年研究的基础上, 研制出高效诱芯。高效性诱剂诱蛾量多, 持

续时间长, 利用其进行害虫防治可以减少诱芯用量, 大幅度减少用工和诱捕器成本, 还能在一定范围内集中诱杀梨小食心虫成虫, 实际应用价值明显, 适宜在果园进行较大面积的示范推广 (中国科学院绿色农业技术集成与发展中心, 2009; 屈振刚等, 2010b)。

3.3 性信息素迷向干扰防治技术

性信息素迷向法是利用在充满性信息素气味的环境中, 使雄虫丧失寻找雌虫的定向能力, 致使雌雄间的交配几率大为减少, 从而使下一代虫口密度急剧下降, 达到防治的目的。采用迷向防治时, 每 hm^2 用性诱芯 900 个或迷向丝 450 个比较适宜 (何超等, 2008; 屈振刚等, 2010)。

冯明祥等 (2002) 用合成的梨小食心虫性激素实施迷向法防治桃树梨小食心虫, 第 1 代成虫迷向率分别为 95.9% 和 95.7%, 迷向区的蛀梢率比对照区分别减少 82.1% 和 80.9%; 2001 年, 第 3 代幼虫蛀梢率, 迷向区比对照区减少了 74.4%, 取得了较好的防治效果。陈湖等 (2006) 进行了梨小食心虫性诱剂在沙地果园的应用试验。结果表明: 在冀东沙地梨园、桃园, 梨小食心虫 5 月为初发生期, 6 月和 8 月虫量较多, 5~9 月持续存在; 桃园与梨园距离越近, 梨园梨小食心虫发生越多; 迷向法的防治效果显著优于常规化学防治法, 但蛀果率仍为 9%, 单纯迷向法达不到防治要求; 用性诱剂预测梨小食心虫发生期指导药剂防治是可靠的方法。

窦文忠等 (2014) 在新疆库尔勒香梨上, 用迷向法防治梨小食心虫, 在生产中悬挂迷向管的开始时间应在 4 月 5 日以前为好, 每株树上均匀悬挂 2 个迷向管防治梨小食心虫的效果最好, 可减少化防次数 4 次, 667 m^2 节省化防成本 220 元, 增收 160 元以上, 虫果率降低至 0.3% 以下, 商品果率可提高至 95% 以上, 且该防治方法不杀死天敌, 药效持久, 不产生空气污染和果品残留。

何超等 (2008) 在陕西省蒲城县梨园对梨小食心虫进行了迷向防治试验。结果表明, 日本迷向丝和中捷性诱芯对梨小食心虫有很好的迷向效果, 且方法简单, 持效期长, 无公害。迷向丝

和中捷性诱芯可推广应用于梨小食心虫的防治工作中。徐研等(2009)以乙基纤维素为囊壳,采用相分离法制备了梨小食心虫性信息素微囊剂,并进行了室内释放分析。在室内稳定条件下,能持续释放 110 d 以上。陆鹏飞等(2010)对梨小食心虫性信息素的组分、释放节律、雄蛾的行为反应、应用技术等进行了详尽的综述。涂洪涛等(2012)在河南省郑州市应用性信息素缓释剂迷向防治桃园中的梨小食心虫,取得了较好的防治效果。张国辉等(2010)选用澳大利亚的迷向丝以及中国科学院动物研究所的诱芯,在陕西省梅县进行了迷向防治试验,迷向丝和性诱芯对梨小食心虫均有明显的迷向防治效果,各处理的迷向率都在 90%以上,防效均在 64%以上。建议生产上使用迷向丝 255 条/hm²或迷向诱芯 450 只/hm²更为经济。

2010 年在山东省莱阳市的桃园和梨园对梨小食心虫进行了迷向防治研究。在应用性信息素迷向的果园中,梨小食心虫发生数量明显低于对照果园,使用密度增加,梨小食心虫的发生数量降低,迷向率增加。桃园与梨园施用信息素散发器后,梨小食心虫的蛀果率明显低于对照园,桃园与梨园对梨小食心虫的防治效果分别在 40.34%~73.57%和 54.24%~92.38%之间。研究表明,梨园中信息素散发器对梨小食心虫的防治效果高于桃园(周洪旭等,2011)。

在美国加利福尼亚州,应用迷向法防治梨小食心虫,取得了较好效果,与应用化学农药的果园比较,防治效果相同甚至更好(Craig et al., 1987)。在澳大利亚的桃园和梨园,Il'ichev 等(2006)应用可喷雾的微胶囊性信息素制剂来防治梨小食心虫,迷向率可达 96%~99%,取得了较好的防治效果。美国北卡罗来纳州用迷向法防治梨小食心虫,在苹果落花期施用西维因以降低越冬代虫口密度,然后每 28 d 喷施性信息素 12.4 g/hm² 一次,可将受害率降低到 1%以内,显著降低了信息素的使用量(Kovanci et al., 2005)。

Stelinski 等(2005)使用高密度性信息素蜡滴对梨小食心虫进行交尾干扰。每棵树上使用

30~100 滴,可以在梨小食心虫高种群密度下干扰交尾,效果显著。此后,Stelinski 等(2006)将蜡滴技术机械化,在卡车上安装机械涂抹器用于大面积喷施梨小食心虫性信息素蜡滴。结果显示,处理 667 m² 仅需 23 min,为迷向丝所需时间的一半,缩短了劳动时间。在夏季早期,机械喷施蜡滴的迷向效果达 52 d,但在夏季的中晚期,迷向仅能维持 1 周。研究还发现,由于机械喷施到植物上的蜡滴体积较小,具有易挥发,持效期短的缺点,要多次喷施才能达到效果。因此,研制大蜡滴是解决问题的关键。蜡滴的商业应用需要每 hm² 运用 3 000 滴。在这一密度下,雄虫的定位能力的干扰很可能是一种成因机理。这已经在梨小食心虫 *Grapholita molesta* 和苹淡褐卷蛾 *Epiphyas postvittana* 上得到证实(Witzgall et al., 2010)。

1998~2000 年在韩国罗州利用装有梨小食心虫性信息素有效成分的混合溶液分配器进行干扰梨小食心虫交配的试验。对 3 年的诱捕量和为害水平的评估表明,通过同一地点年复一年的降低种群可以提高迷向法防治梨小食心虫的效果(Yang et al., 2003)。

在保加利亚东南部桃园,利用日本产的散布器,对梨小食心虫进行性信息素的交配干扰防治,取得了明显效果,对果实的危害降低到了 0.1%~0.2%,而对照区用药 5~6 次,果实损害率依然达到了 5%~6%(Kutinkova et al., 2010)。

4 植物源信息素梨小食心虫生物防治中的应用

化学信息物质是由害虫的寄主植物挥发出来的,对寄主昆虫的生理和行为产生一定影响的有机物。目前对植物化学信息物质的研究包括了苹果蠹蛾(周文等,2010)、桃小食心虫(李晓颖等,2011)等,但对梨小食心虫这方面的研究并不多。国内只有陆鹏飞等(2010)对梨小食心虫寄主植物挥发物进行了研究,关于梨小食心虫寄主转换的机制、挥发物的鉴定、关键挥发物的筛选等方面进行了总结,筛选出了一定数量的活性

物质,并在田间进行了诱蛾试验。

此后, Lu 等 (2012) 从 6 个不同的梨树品种中分离出 12 组分的活性物质,并在田间测定出两个不同组合对梨小食心虫两性成虫均有引诱活性。而且诱到的雄蛾多于雌蛾,表明这些化学物质可能参与了梨小食心虫的交配觅偶行为。

新种植的桃树,能够吸引交配过的梨小食心虫雌蛾产卵。将同一植物的完整的新梢和老叶的空气挥发物样本收集,用液相色谱分析。将出现于新梢,但不出现于老叶的化合物用于田间试验。将合成化合物诱捕器诱到的蛾子与标准的乙酸松油酯 (TA) 食物诱捕器诱到的蛾子进行比较。TA 食物诱捕器能诱捕到梨小食心虫雄虫和交配过的雌虫,但合成化合物诱捕器仅诱捕到梨小食心虫雄虫。(Z)-3-乙烯醇醋酸酯 (E)- β -罗勒烯 (E)- β -法尼烯比例为 1 2 2 的混合物能诱捕到梨小食心虫雄虫。此外, 1 mg (E)- β -罗勒烯和 (E)- β -法尼烯也能诱捕到梨小食心虫雄虫 (Il'ichev *et al.*, 2009)。

5 其他生物防治技术

利用昆虫其他的激素,如保幼激素和蜕皮激素。例如何超 (2008) 用灭幼脲防治梨小食心虫效果较好,持效期长。

在保加利亚, Genchev (2002) 用 Co60 辐射梨小食心虫的成熟蛹,产生不育雄虫。再将不育雄成虫释放到田间,以此来抑制梨小食心虫的种群数量到一个较低的水平。最适宜运用不育技术的是梨小食心虫的越冬代,因为虫口密度较低。

对昆虫病原线虫抗干燥能力以及对梨小食心虫致死能力进行了研究,结果表明在 25℃、相对湿度 50.5% 的小空间控制器中处理 9 h 后,斯氏线虫 GA 品系的存活率最高,达到 75.1%; 选取具较高抗干燥能力的 5 种昆虫病原线虫品系对梨小食心虫进行了致病性测定,发现异小杆线虫 *Heterorhabditis* sp. ZH 品系对梨小食心虫有较高防效。该研究仅在室内对线虫防治梨小食心虫进行了一些尝试性研究,对其在田间的应用效果以及应用条件等还需进一步研究 (李宁等, 2011; 范芳芳和徐成体, 2014)。

Riga 等 (2006) 进行了病原线虫防治梨小食心虫的试验。在实验室条件下,几种病原线虫 *Steinernema carpocapsae* (Weiser), *S. feltiae* (Filipjev), *S. riobrave* (Cabanillas, Poinar and Raulston) 和 *Heterorhabditis marelatus* (Liu and Berry) 都具有显著的杀虫活性。

6 展望

6.1 天敌昆虫和致病菌种类

目前对梨小食心虫有效的致病菌仅有白僵菌、苏云金杆菌等,而且远没有达到实际应用的程度。相信随着社会对农药污染、害虫抗药性和食品安全的关注,会有越来越多的致病微生物被发现并用于对梨小食心虫的田间防治。比较有可能的是一些真菌类如绿僵菌和原生动物类如微孢子虫。另外也有可能会有新的寄生性天敌被发现并用于对梨小食心虫的生物防治。

6.2 天敌的应用技术

寄生性天敌的田间应用,受制于大规模生产的水平不够,而且天敌昆虫容易受到田间各种因素的影响。其控制害虫的作用较为缓慢,不容易被广大农民接受。相信随着环境意识的增强,加上有效的宣传,会有越来越多的人意识到生物防治的重要性。简便性的应用技术是其推广的基础。田间应用技术也应该被进一步研究,以简化应用程序并提高其防治效果。

6.3 性信息素的应用技术

性信息素的应用主要体现在监测、诱杀和迷向干扰交配三个方面。尤其是迷向干扰技术,适用于大面积栽培的果园。但以我国目前的生产实践来说,还是以各家各户分散种植为主。想要将该技术推广到一定的面积,形成规模,有一定的难度。目前我们在尝试与当地政府或者行业协会合作。

6.4 植物源挥发物

植物源挥发物是近几年兴起的一种生物防治手段。依靠寄主植物挥发物质,可以有效吸引

到害虫的雌雄两性,尤其是雌蛾。这有效补充了性信息素只能吸引到雄蛾的不足。但该方法目前应用还不广,相关产品并不多。相信随着研究的深入和技术的进步,会有更多相关产品进入市场。

6.5 其他生物防治方法

其他生物防治方法还包括昆虫激素类药物如灭幼脉等等,以及辐射不育技术。将来人类会开发出更多相关产品。

参考文献 (References)

- Afonso APS, 2001. Controle da *Grapholita molesta* (Busck, 1916) (Lepidoptera: Tortricidae) no sistema de produção integrada de pêssegos. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade), Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 62f.
- Arioli CJ, Carvalho GA, Botton M, 2005. Seasonal fluctuation of *Grapholita molesta* (Busck) using sexual pheromone in peach orchards in Bento Gonçalves, RS, Brazil. *Ciencia Rural*, 35(1): 1–5.
- Cao ZG, Ma Y, Li WH, Cheng YF, Luo YX, 2004. The control technology of *Grapholitha molesta* Busck in loquat. *Shaanxi Forest Science and Technology*, (2): 21–23. [曹仲根, 马宇, 李文华, 程玉峰, 罗云雪, 2004. 枇杷梨小食心虫防治技术. 陕西林业科技, (2): 21–23.]
- Chen J, Cheng HZ, 2000. Advances in applied research on *Scleroderma* spp. *Chinese Journal of Biological Control*, 16(4): 166–170. [陈君, 程惠珍, 2000. 肿腿蜂的应用研究进展. 中国生物防治, 16(4): 166–170.]
- Chen MX, Luo YQ, Zhao CJ, Tao WQ, Ma WE, Wang H, 2009. Research advance on *Grapholitha molesta* Busck. *Northern Horticulture*, 33(8): 144–147. [陈梅香, 骆有庆, 赵春江, 陶万强, 马万娥, 王合, 2009. 梨小食心虫研究进展. 北方园艺, 33(8): 144–147.]
- Chen H, Zhang XS, Hao BF, Fu Y, Yu LC, Long XH, 2006. The application test of sex pheromone of *Grapholitha molesta* Busck in sandy orchard. *Hebei Fruits*, (5): 6–7. [陈湖, 张新生, 郝宝锋, 傅友, 于丽辰, 龙锡辉, 2006. 梨小食心虫性诱剂在沙地果园的应用试验. 河北果树, (5): 6–7.]
- Craig VW, Philipp K, Richard ER, 1987. Control of oriental fruit moth by mating disruption. *California Agriculture*, 41(5/6): 7–8.
- Derek AR, 1987. Parasitism of the oriental fruit moth *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae): The New Zealand position in a world perspective. *New Zealand Entomologist*, 10 (1): 13–26.
- Dou WZ, He YY, Wang XB, 2014. The effect analysis of mating disruption with sex pheromone for controlling *Grapholitha molesta* in korla pear. *Shanxi Fruits*, (3): 5–7. [窦文忠, 何元英, 王小兵, 2014. 性诱剂迷向法防治库尔勒香梨梨小食心虫的效果分析. 山西果树, (3): 5–7.]
- Fan FF, Xu CT, 2014. A survey on application and research of entomopathogenic nematodes. *Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 44(2): 37–39. [范芳芳, 徐成体, 2014. 昆虫病原线虫应用及研究概况. 青海畜牧兽医杂志, 44(2): 37–39.]
- Fan RJ, 2015. The Occurrence Regulation and Controlling of Fruit Tree Boring Worms in North China. Beijing: China Agriculture Press. 162–172. [范仁俊, 2015. 北方果树食心虫发生规律与控制. 北京: 中国农业出版社. 162–172.]
- Feng JG, Tao X, Zhang Y, Zhuang QY, 1992. Biological control for the apple insects by using *Trichogramma dendrolimi* and *Beauveria bassiana*. *Entomological Journal of East China*, 1(1): 67–71. [冯建国, 陶训, 张勇, 庄乾营, 1992. 赤眼蜂、白僵菌防治苹果害虫的研究. 华东昆虫学报, 1(1): 67–71.]
- Feng JG, Zhang Y, 1988. The research on controlling fruit tree pests with *Trichogramma dendrolimi*. *Entomological Knowledge*, 25(6): 344–347. [冯建国, 张勇, 1988. 松毛虫赤眼蜂防治果树害虫的研究. 昆虫知识, 25(6): 344–347.]
- Feng MX, Jiang RD, Wang PS, Gong XH, 2002. Control *Grapholitha molesta* using sex pheromone mating disruption in peach orchard. *Deciduous Fruits*, (5): 9–10. [冯明祥, 姜瑞德, 王佩圣, 宫象晖, 2002. 用性外激素迷向法防治桃树梨小食心虫. 落叶果树, (5): 9–10.]
- Fu LJ, Zhao SX, Dai XH, 2005. Bionomics and control of *Grapholitha molesta* Busck in loquat orchard. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 27(3): 425–428. [傅丽君, 赵士熙, 戴小华, 2005. 枇杷园梨小食心虫发生与防治研究. 江西农业大学学报, 27(3): 425–428.]
- Genchev N, 2002. Suppression of oriental fruit moth (*Grapholita molesta*, Lepidoptera: Tortricidae) populations using the sterile insect technique // Bloem S, Carpenter J E, Hendrichs J (eds). Evolution of Lepidoptera Population Suppression by Radiation Induced Sterility, Proceedings of a final Research Co-ordination Meeting, FAO/IAEA. 49–59.
- George, JA, 1965. Sex pheromone of the oriental fruit moth *Grapholita molesta* (Busck). *Can. Entomol.*, 97(9): 1002–1007.
- Guo P, 2006. Encyclopedia of Plant Protection. Beijing: Chinese Three Gorges Publishing House. 996, 1029, 1049. [郭普, 2006. 植保大典. 北京: 中国三峡出版社. 996, 1029, 1049.]
- Häckermann J, Rott AS, Dorn S, 2007. How two different host species influence the performance of a gregarious parasitoid:

- host size is not equal to host quality. *Journal of Animal Ecology*, 76(2): 376–383.
- Häckermann J, Rott AS, Dorn S, 2008. Consequences of mixed species infestation on the searching behavior and parasitism success of a larval parasitoid. *Biocontrol*, 53(5): 725–736.
- Haeussler GJ, 1932. *Macrocentrus ancylivorus* Roh., an important parasite of the oriental fruit moth. *J. Agric. Res.*, 45(2): 79–100.
- Hári K, Péntzes B, 2010. Selectivity of the oriental fruit moth sex pheromone trap in peach and apricot orchards. *International Journal of Horticultural Science*, 16(2): 17–20.
- He C, 2008. Studies on sex pheromone mass trapping, mating disruption and biorational control of *Grapholitha molesta*. Master dissertation. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University. [何超, 2008. 梨小食心虫 *Grapholitha molesta* 性诱干扰及无害化防治技术研究. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.]
- He C, Qin YC, Zhou TC, Hua L, Zhang R, 2008. Experiment of mating disruption control *Grapholitha molesta* Busck by using sex pheromone. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 17(5): 107–109. [何超, 秦玉川, 周天仓, 花蕾, 张锐, 2008. 应用性信息素迷向法防治梨小食心虫试验初报. 西北农业学报, 17(5): 107–109.]
- Il'ichev AL, Kugimiya S, Williams DG, Takabayashi J, 2009. Volatile compounds from young peach shoots attract males of oriental fruit moth in the field. *Journal of Plant Interactions*, 4(4): 289–294.
- Il'ichev AL, Stelinski LL, Williams DG, and Gut LJ, 2006. Sprayable microencapsulated sex pheromone formulation for mating disruption of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Australian peach and pear orchards. *Journal of Economic Entomology*, 99(6): 2048–2054.
- Insect Sex Pheromone Group, Department of Chemistry, Sichuan University, 1980. The synthesis and field bioassay of *Grapholitha molesta* sex attractant. *Journal of Sichuan University (Natural Science Edition)*, 17(2): 145–151. [四川大学化学系昆虫信息素组, 1980. 梨小食心虫性诱剂的合成及大田生测. 四川大学学报(自然科学版), 17(2): 145–151.]
- Insecticide Group, Drug Toxicology Lab., in the Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, 1977. The synthesis of (Z)-8-dodecenyl acetate in sex pheromone of *Grapholitha molesta*. *Acta Chimica Sinica*, 35(55): 221. [中国科学院动物研究所药剂毒理室杀虫剂组, 1977. 梨小食心虫性外激素顺-8-十二碳烯醋酸酯的合成. 化学学报, 35(55): 221.]
- Jing CH, 2009. The integrated control measures of *Grapholitha molesta* Busck. *Hebei Fruits*, (2): 41–42. [景春华, 2009. 梨小食心虫综合防治措施. 河北果树, (2): 41–42.]
- Kim Y, Jung S, Kim Y, Lee Y, 2011. Real-time monitoring of oriental fruit moth, *Grapholitha molesta*, populations using a remote sensing pheromone trap in apple orchards. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 14(3): 259–262.
- Kovanci OB, Walgenbach JF, Kennedy GG, Schal C, 2005. Effects of application rate and interval on the efficacy of sprayable pheromone for mating disruption of the oriental fruit moth *Grapholitha molesta*. *Phytoparasitica*, 33(4): 334–342.
- Kutinkova H, Samietz J, Dzhuvinov V, Veronelli V, Iodice A, 2010. Control of oriental fruit moth, *Cydia molesta* (Busck), by isomate OFM rosso dispensers in peach orchards in Bulgaria-preliminary results. *Integrated Fruit Protection in Fruit Crops, IOBC/wprs Bulletin*, 54: 331–336.
- Lei YM, Lao YD, 2014. The occurrence characteristics and integrated control of *Grapholitha molesta* Busck in Nanning, Guangxi. *Agricultural Research and Application*, (2): 58–60. [雷艳梅, 劳有德, 2014. 广西南宁地区梨小食心虫的发生特点及综合防治, 农业研究与应用, (2): 58–60.]
- Li B, Qin YC, He L, Wu XM, 2008. The control of oriental fruit moth with sex pheromone dispensers and mixtures of sugar-acetic acid-ethanol. *Acta Phytophylacica Sinica*, 35(3): 285–286. [李波, 秦玉川, 何亮, 吴学民, 2008. 不同性诱芯与糖醋酒液防治梨小食心虫. 植物保护学报, 35(3): 285–286.]
- Li JM, Yong JP, Yu GP, Haji AA, 2008. A economical method of synthesis of the sex pheromone of *Grapholitha molesta*. *Agrochemicals*, 47(7): 500–501. [李久明, 雍建平, 于观平, 阿吉艾克拜尔·艾萨, 2008. 梨小食心虫性信息素的廉价合成. 农药, 47(7): 500–501.]
- Li N, Wang ZG, Yan AH, Wang QY, Huang DZ, Bi YG, Ma XC, 2011. Anti-desiccation ability of several entomopathogenic nematode strains and their pathogenity to *Grapholitha molesta*. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 34(2): 90–93. [李宁, 王志刚, 阎爱华, 王勤英, 黄大庄, 毕拥国, 马向超, 2011. 昆虫病原线虫抗干燥能力及其对梨小食心虫致死能力研究. 河北农业大学学报, 34(2): 90–93.]
- Li QY, 2013. Field test of *Grapholitha molesta* sex pheromone synthesised using phase transfer catalytic method. Master dissertation. Taigu: Shanxi Agricultural University. [李庆燕, 2013. 梨小食心虫性诱剂的相转移催化合成及田间应用研究. 硕士学位论文. 太谷: 山西农业大学.]
- Li QY, Liu JL, Zhao LL, Ma RY, 2012. Applications of slow release technique of sex pheromone in pest control. *Chinese Journal of Biological Control*, 28(4): 589–593. [李庆燕, 刘金龙, 赵龙龙, 马瑞燕, 2012. 缓释技术在性信息素防治害虫中的应用. 中国生物防治学报, 28(4): 589–593.]
- Li T, Lian ML, Ma PS, Zhang XX, Zhou YN, 2010. Survey of

- infection damage and control of the oriental fruit moth, *Grapholitha molesta* (Busck) in peach orchard. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 38(5): 47–50. [李唐, 连梅力, 马平顺, 张筱秀, 周运宁, 2010. 桃园梨小食心虫发生为害调查及防治对策, 山西农业科学, 38(5): 47–50.]
- Li XY, Wang ZG, Bi YG, Yan AH, 2011. Inhibition of growth and fecundity by seven non-host plant volatiles against peach fruit borer, *Carposina sasakii* Matsumura. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 34(5): 73–77. [李晓颖, 王志刚, 毕拥国, 阎爱华, 2011. 7 种非寄主植物挥发物对桃小食心虫繁殖与发育的影响. 河北农业大学学报, 34(5): 73–77.]
- Lu PF, Huang LQ, Wang CZ, 2010. Semiochemicals used in chemical communication in the oriental fruit moth, *Grapholitha molesta* Busck (Lepidoptera: Tortricidae). *Acta Entomologica Sinica*, 53(12): 1390–1403. [陆鹏飞, 黄玲巧, 王琛柱, 2010. 梨小食心虫化学通信中的信息物质. 昆虫学报, 53(12): 1390–1403.]
- Lu PF, Huang LQ, Wang CZ, 2012. Identification and field evaluation of pear fruit volatiles attractive to the oriental fruit moth, *Cydia molesta*. *Journal of Chemical Ecology*, 38(8): 1003–1016.
- Meng GL, Gong XW, He D, Zhao PZ, Jiang DR, Huang TB, 1998. Relationships between *Bracon nigrorufum* (Cushman) and its hosts. *Entomological Knowledge*, 35(2): 94–97. [孟国玲, 龚信文, 何道, 赵盘珍, 蒋东荣, 黄天保, 1998. 黑胸茧蜂与寄主关系的研究. 昆虫知识, 35(2): 94–97.]
- Meng H, Zhao LD, Li XW, Li JG, Ren WJ, Zhang LJ, Ma RY, 2011. The investigation into natural enemies of *Grapholitha molesta* (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 39(8): 858–861. [孟豪, 赵利鼎, 李先伟, 李纪刚, 任文俊, 张利军, 马瑞燕, 2011. 梨小食心虫的天敌资源, 山西农业科学, 39(8): 858–861.]
- Omelyuta VP, Chernishov OV, 1997. Pheromone traps. *Zakhist Roslin*, 42: 52–56.
- Peter B, 1979. An attempt to control oriental fruit moth, *Cydia molesta* Busck by mass releases of *Macrocentrus ancylivorus* Rohwer (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of the Australian Entomological Society*, 18(3): 211–212.
- Qi ML, Zhu HL, 1985. The integrated control of *Grapholitha molesta* with mainly *Trichogramma* sp. *Xinjiang Farm Research of Science and Technology*, (6): 14–15. [齐美玲, 朱海黎, 1985. 以赤眼蜂为主综合防治梨小食心虫. 新疆农垦科技, (6): 14–15.]
- Qu ZG, Liu WX, Lu ZY, Zhong Y, Li JC, 2010a. Field population dynamic of *Grapholitha molesta* Busck in pear orchard and peach orchard in Hebei Province. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 14(8): 141–142, 145. [屈振刚, 刘文旭, 路子云, 钟勇, 李建成, 2010. 河北省梨小食心虫田间种群动态调查. 河北农业科学, 14(8): 141–142, 145.]
- Qu ZG, Sheng SM, Wang HT, Sheng CF, Li JC, 2010b. Comparison of trapping effects of two kinds of sex attractant lure on oriental fruit moth in peach orchard. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 14(2): 30–31, 35. [屈振刚, 盛世蒙, 王红托, 盛承发, 李建成, 2010. 梨小食心虫性诱剂 2 类诱芯的桃园田间诱蛾效果比较. 河北农业科学, 14(2): 30–31, 35.]
- Ran HF, Liu WX, Qu ZG, Lu ZY, Yu LC, Hao BF, Liu CQ, Li JC, 2011. The occurrence dynamics of *Grapholitha molesta* Busck adults in different types of orchards in Hebei Province. The Academic Annual Conference in 2011, China Society of Plant Protection. Suzhou. 225–231. [冉红凡, 刘文旭, 屈振刚, 路子云, 于丽辰, 郝宝锋, 刘春琴, 李建成, 2011. 河北省不同类型果园梨小食心虫成虫发生动态. 中国植物保护学会 2011 年学术年会. 苏州. 225–231.]
- Riga E, Lacey LA, Guerra N, Headrick HL, 2006. Control of the oriental fruit moth, *Grapholitha molesta*, using entomopathogenic nematodes in laboratory and fruit bin assays. *Journal of Nematology*, 38(1): 168–171.
- Rodrigues ML, Garcia MS, Nava DE, Botton M, Parra JRP, Guerrero M, 2011. Selection of *Trichogramma pretiosum* lineages for control of *Grapholitha molesta* in peach. *Florida Entomologist*, 94(3): 398–403.
- Roelofs WL, Comeau A, Selle R, 1969. Sex Pheromone of the oriental fruit moth. *Nature*, 224(5220): 723–726.
- Shen J, Wu JX, Xu XL, Xu JJ, 2012. The parasitism performance of parasitic wasp *Trichogramma pintoi* Voegelé on the oriental fruit moth, *Grapholitha molesta* (Busck). *Acta Phytophylacica Sinica*, 39(4): 352–356. [沈健, 仵均祥, 许向利, 许建军, 2012. 暗黑赤眼蜂对梨小食心虫卵的寄生作用. 植物保护学报, 39(4): 352–356.]
- Stelinski LL, Gut LJ, Mallinger RE, Epstein D, Reed TP, Miller JR, 2005. Small plot trials documenting effective mating disruption of Oriental Fruit Moth by using high densities of wax-drop pheromone dispensers. *Journal of Economic Entomology*, 98(4): 1267–1274.
- Stelinski LL, Miller JR, Ledebuhr R, Gut LJ, 2006. Mechanized applicator for large-scale field deployment of paraffin-wax dispensers of pheromone for mating disruption in tree fruit. *Journal of Economic Entomology*, 99(5): 1705–1710.
- Stelinski LL, Miller JR, Rogers ME, 2008. Mating disruption of citrus leafminer mediated by a noncompetitive mechanism at a remarkably low pheromone release rate. *Journal of Chemical*

- Ecology*, 34(8): 1107–1113.
- Synthesise Group, Drug Toxicology Lab. and Pheromone Group, Technical Lab. in the Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Orchard Technology group, Tongxian County, Beijing, 1976. The synthesis and activity of sex pheromone of *Grapholitha molesta* Busck. *Entomological Knowledge*, 13(2): 57–59. [中国科学院北京动物研究所药剂毒理室合成组, 技术室外激素组, 北京市通县果园科技组, 1976. 梨小食心虫性外激素的合成与活性. 昆虫知识, 13(2): 57–59.]
- Technology integration and development center of green agriculture, Chinese Academy of Sciences, 2009. Highly active sex attractants research breakthrough in *Grapholitha molesta* [EB/OL]. 2009-09-21. <http://agri.chinannn.com/BugTitle.jsp?id=376>. [中国科学院绿色农业技术集成与发展中心, 2009. 梨小食心虫高效性诱剂研究获突破性进展 [EB/OL]. 2009-09-21. <http://agri.chinannn.com/BugTitle.jsp?id=376>.]
- The Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, 1987. Chinese Agricultural Insects (volume II). Beijing: China Agriculture Press. 51. [中国科学院动物研究所, 1987. 中国农业昆虫(下册). 北京: 中国农业出版社. 51.]
- Tu HT, Zhang JY, Chen HJ, Guo XH, 2012. Experiments on mating disruption control of *Grapholitha molesta* by using sex pheromone in peach orchard. *Journal of Fruit Science*, 29(2): 286–290. [涂洪涛, 张金勇, 陈汉杰, 郭小辉, 2012. 应用性信息素缓释剂迷向防治桃树梨小食心虫研究. 果树学报, 29(2): 286–290.]
- Wang YL, Zhang T, Song W, Zhou YW, Feng JT, Zhang X, 2007. Synthesis of the sex pheromone of *Grapholitha molesta*. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 9(2): 178–180. [王亚璐, 张涛, 宋卫, 周一万, 冯俊涛, 张兴, 2007. 梨小食心虫性信息素的合成. 农药学报, 9(2): 178–180.]
- Witzgall P, Kirsch P, Cork A, 2010. Sex pheromones and their impact on pest management. *J. Chem. Ecol.*, 36(1): 80–100.
- Xu LJ, Wang CL, Ni M, Ma XF, 2014. The research on green prevention and control technology of *Grapholitha molesta* in peach orchard. *Chinese Horticulture Abstracts*, (1): 79, 110. [徐丽君, 王程亮, 倪萌, 马晓峰, 2014. 桃园梨小食心虫绿色防控技术研究. 中国园艺文摘, (1): 79, 110.]
- Xu Y, Wu GL, Wu XM, Qin YC, 2009. Microcapsulating and controlled release characteristics of sex pheromone of *Grapholitha molesta*. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 11(1): 65–71. [徐研, 吴国林, 吴学民, 秦玉川, 2009. 梨小食心虫性信息素微囊化及释放特性. 农药学报, 11(1): 65–71.]
- Yang CY, Han KS, Jung JK, Boo KS, Yiem MS, 2003. Control of the oriental fruit moth, *Grapholitha molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) by mating disruption with sex pheromone in pear orchards. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 6(1): 97–104.
- Yang CY, Jung JK, Han KS, Boo KS, Yiem MS, 2002. Sex pheromone composition and monitoring of the oriental fruit moth, *Grapholitha molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) in Naju pear orchards. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 5(2): 201–207.
- Yang H, Ma G, 2003. The experiment of controlling *Grapholitha molesta* Busck by BT. *Northern Fruits*, (6): 12. [杨华, 马光, 2003. BT 防治梨小食心虫试验. 北方果树, (6): 12.]
- Zhang GH, Huang M, Wu JX, Du J, Cai MF, Bao XW, 2010. Control effect of mating disruption with synthetic sex pheromone on oriental fruit moth, *Grapholitha molesta* Busck. *Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)*, 30(3): 232–234. [张国辉, 黄敏, 仵均祥, 杜娟, 蔡明飞, 鲍晓文, 2010. 迷向处理对梨小食心虫的防治效果. 山西农业大学学报(自然科学版), 30(3): 232–234.]
- Zhong TS, Lin GQ, 1982. The synthesis of (Z)-8-dodecen-1-ol and its trans-isomer in sex pheromone of *Grapholitha molesta* Busck. *Acta Chimica Sinica*, 40(4): 381–385. [仲同生, 林国强, 1982. 梨小食心虫性信息素顺-8-十二碳烯-1-醇乙酸酯及其反式异构体的合成. 化学学报, 40(4): 381–385.]
- Zhou HX, Li LL, Yu Y, 2011. Scale control over *Grapholitha molesta* with mating disruption of sex pheromone. *Acta Phytophylacica Sinica*, 38(5): 385–389. [周洪旭, 李丽莉, 于毅, 2011. 性信息素迷向法规模化防治梨小食心虫. 植物保护学报, 38(5): 385–389.]
- Zhou W, Liu WX, Wan FH, Shen JR, 2010. Research advances in the effects of host plant volatiles on *Cydia pomonella* behaviors and the application of the volatiles in pest control. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 21(9): 2434–2440. [周文, 刘万学, 万方浩, 申建茹, 2010. 寄主植物信息化合物对苹果蠹蛾行为的影响及其在防控中的应用. 应用生态学报, 21(9): 2434–2440.]
- Zhou W, Zhong HD, Huang HP, Dong LK, Ou KF, Li CR, 2011. Control study of parasitoid *Pyemotes* sp. against oriental fruit moth (*Grapholitha molesta* Busck). *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 39(3): 1380–1382. [周巍, 钟汉东, 黄和平, 董立坤, 欧克芳, 李传仁, 2011. 寄生性天敌蒲螨对梨小食心虫的控制研究. 安徽农业科学, 39(3): 1380–1382.]