

印楝素乳油对梨小食心虫的防控效果研究*

张怀江^{1,2**} 王 秀² 仇贵生¹ 方江升³ 李 贞² 张青文² 刘小侠^{2***}

(1. 中国农业科学院果树研究所, 兴城 125100; 2. 中国农业大学昆虫系, 北京 100193;

3. 合肥星宇化学有限公司, 合肥 230031)

摘 要 【目的】探索 0.3%印楝素乳油对梨小食心虫 *Grapholita molesta* 的控制效果。【方法】根据梨小食心虫的生物习性, 采用浸渍法和浸虫法对梨小食心虫 1 日龄、3 日龄、5 日龄的卵和 3 龄、5 龄幼虫进行了杀虫活性测定, 采用药膜法对梨小食心虫初孵幼虫进行毒力测定, 并通过田间试验测定 0.3%印楝素乳油对梨小食心虫的控制效果。【结果】0.3%印楝素乳油对梨小食心虫 1 日龄、3 日龄和 5 日龄卵的致死中量分别为 6.5195、4.5789、6.6268 mg/L, 对初孵幼虫的致死中量为 6.0495 mg/L, 效果较好, 而对 3 龄和 5 龄幼虫几乎没有杀伤作用。使用有效成分为 2.0 mg/kg ~ 3.0 mg/L 的印楝素乳油在田间进行梨小食心虫防治试验时, 药后 5 d 和 10 d 的防治效果在 63.18% ~ 76.22% 之间, 至药后 15 d 时, 防效则下降到 27% 以下, 果实受害明显, 表明该药剂已失去控制作用。【结论】印楝素乳油不能作为防治梨小食心虫的专用药剂, 仅可在其发生危害的初期, 防治其他害虫时, 作为兼治的药剂来使用。

关键词 梨小食心虫, 印楝素, 毒力测定, 田间试验

Effectiveness of azadirachtin EC in controlling the oriental fruit moth *Grapholita molesta*(Busck)

ZHANG Huai-Jiang^{1,2**} WANG Xiu² QIU Gui-Sheng¹ FANG Jiang-Sheng³
LI Zhen² ZHANG Qing-Wen² LIU Xiao-Xia^{2***}

(1. Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xingcheng 125100, China;

2. College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

3. Chemistry Company of Xingyu in Hefei, Hefei 230031, China)

Abstract [Objectives] To evaluate the effectiveness of the botanical pesticide 0.3% azadirachtin (AZ) EC as a means of controlling the oriental fruit moth (*Grapholita molesta*). [Methods] Immersion and dipping tests were used to determine the insecticidal activity of AZ EC against 1-day-old eggs, 3-day-old eggs, 5-day-old eggs, third instar larvae and fifth instar larvae, and the residual film method to assess the toxicity of this pesticide to newly hatched larvae. The degree and duration of control by spraying AZ EC was also investigated in the field. [Results] LC₅₀s of AZ EC with respect to 1-day-old eggs, 3-day-old eggs, 5-day-old eggs, and newly hatched larvae, were 6.5195, 4.5789, 6.6268, 6.0495 mg/L, respectively, but the pesticide had no effect on third instar larva and fifth instar larvae. Application of AZ EC at dosages of 2.0-3.0 mg/L reduced the abundance of *G. molesta* in the field by 63.18%-76.22% 5-10 days after spraying, but decreased to just 27% 15 days after spraying. [Conclusion] AZ EC is not an effective insecticide against *G. molesta*.

Key words *Grapholita molesta*, azadirachtin, toxicity determination, field trial

印楝素(Azadirachtin)是从印楝 *Azadirachta indica* 中提取的天然活性物质, 属于四环三萜类化合物(樊会丹等, 2009), 是植物源农药的重

要代表品种之一, 具有广谱、低毒、不易产生抗性和环境相容性好等优点, 符合当前对绿色农药的诉求和农业可持续发展的要求(陈小军等,

*资助项目 Supported projects: 国家梨产业技术体系专项(CARS-29-08)

**第一作者 First author, E-mail: zhanghuaijiang@sina.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: liuxiaoxia611@cau.edu.cn

收稿日期 Received: 2016-07-29, 接受日期 Accepted: 2016-08-09

2010)。印楝素的防治谱很广,对同翅目、膜翅目、虱目、缨翅目等 400 多种农林、仓储和卫生害虫具有明显的活性,对线虫和真菌也有良好的活性,因此在农业昆虫的防治中发挥了重要的作用(李富根等,2014)。对农业昆虫鳞翅目害虫的防效中,赵善欢等(1984)用含 $20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 印楝素的人工饲料饲喂亚洲玉米螟 3~4 龄幼虫 2 d,观察了其对幼虫生长发育的抑制作用和引起各器官的病变症状,结果发现,印楝素可以明显延长幼虫的发育历期,最终导致其不能化蛹而死亡,但是其作用效果比较缓慢。侯有明等采用状态空间分析法对施用印楝素乳油后小菜蛾的种群动态模拟分析表明,印楝素乳油对小菜蛾的控制作用主要表现在种群发展初期对成虫的忌避作用(侯有明等,2002)。使用印楝素制剂处理叶片时,对 3 龄小菜蛾幼虫具有较好的毒杀和生长发育抑制作用,对多种杀虫剂产生抗性的田间品系和敏感品系的毒力无显著差异,因此印楝素可作为已经产生抗性的小菜蛾治理中重要的替代品种之一(胡美英等,1996)。

梨小食心虫 *Grapholita molesta* (Busck) 属鳞翅目,卷蛾科,目前其广泛分布于全国各地的果区,可对桃、梨、苹果、杏、李、山楂等多种果树产生较为严重的为害。梨小食心虫目前的防治策略主要为化学防治,同时也在田间和室内开展了不少高效药剂的筛选(蔡明飞等,2010;李晓军等,2013)。由于其具有转移为害的习性,且生活场所较为隐蔽,常常导致已有的化学农药防治效果较差,致使用药的频度也呈增加的趋势,且田间使用的药剂种类多为菊酯类和有机磷类杀虫剂,这也加剧了梨小食心虫对目前已有杀虫剂抗性风险的产生。为了广泛寻找新型的替代杀虫剂,我们在田间和室内开展了 0.3%印楝素乳油对梨小食心虫的防治效果的研究,以期为目前常用的杀虫剂提供备选的替代药剂,开辟梨小食心虫防控的新思路。

1 材料与方法

1.1 供试药剂

0.3%印楝素乳油(成都绿金生物科技有限责

任公司),2.5%高效氟氯氰菊酯水乳剂(广东瑞德丰生物科技有限公司)

1.2 供试昆虫

供试虫梨小食心虫 2010 年采自于河北深州桃园,参照杜鹃等(2009)的饲养方法在光周期为 16L:8D,温度(26 ± 1) ,相对湿度 $70\%\pm 10\%$ 条件下连续饲养 30 代以上,以 1 日龄、3 日龄、5 日龄卵作为供试卵。同时,参照 Dyar 法则和王芳等(2016)梨小食心虫幼虫龄期的划分方法,选取 3 龄、5 龄和初孵幼虫作为供试幼虫。

1.3 田间试验条件

田间试验在辽宁省兴城市中国农业科学院果园进行,园内主栽梨树品种为华酥、早酥、锦丰等,供试品种为华酥,树龄 14 年生,株行距为 $2\text{ m}\times 4\text{ m}$,行间空闲,耕作条件一致。

1.4 试验方法

1.4.1 印楝素乳油对梨小食心虫卵的杀卵活性测定方法 参照农业行业标准:农药室内生物测定试验准则(杀虫剂第五部分杀卵活性测定浸渍法)(NY/T 1154.6-2006)(农业部农药检定所,2006)的要求开展试验,将供试药剂分别用蒸馏水稀释成 2 000 倍($1.5\text{ }\mu\text{g/L}$) 1 600 倍($1.875\text{ }\mu\text{g/L}$) 1 200 倍($2.5\text{ }\mu\text{g/L}$) 800 倍($3.75\text{ }\mu\text{g/L}$) 400 倍($7.5\text{ }\mu\text{g/L}$) 和 200 倍($15\text{ }\mu\text{g/L}$) 6 个系列浓度药剂,把各个日龄的卵卡在对应该浓度的药剂中浸泡 5 s 后取出,吸干多余的药液,而后自然晾干。放于 9 cm 培养皿中(培养皿铺上湿润的定性滤纸保湿)。每个处理的供试卵数为 30~50 粒,重复 3 次。待对照组 90%的卵孵化后用体视显微镜检查各个处理组的孵化率。卵的死亡率用 Abbott 公式进行校正,使用 EXCEL 软件编程求毒力回归方程($y=a+bx$) LC_{50} 值、95%置信区间(黄剑和吴文君,2004),比较不同卵龄间毒力大小的差异。

1.4.2 印楝素乳油对梨小食心虫幼虫的杀虫活性测定方法 参照农药室内生物测定试验准则的相关要求,并根据梨小食心虫的生活习性将其生物测定方法做了适当调整,以在果面均匀设置

药膜的方法测定对初孵幼虫的杀虫活性。将供试药剂分别用蒸馏水稀释成 2 000 倍 (1.5 mg/kg)、1 600 倍 (1.875 mg/L)、1 200 倍 (2.5 mg/L)、800 倍 (3.75 mg/L)、400 倍 (7.5 mg/L) 和 200 倍 (15 mg/L) 6 个系列浓度药剂, 取直径为 5 ~ 6 cm 的未成熟金冠苹果于配制好的药液中浸果 10 s, 取出后自然阴干, 每果接 20 粒左右 6 日龄的梨小食心虫卵 (12 h 内即孵化), 每个重复接 3 个苹果, 试验设 4 次重复, 48 h 后检查在果面及周围的死虫数, 并剖果检查蛀入果实中幼虫的死亡情况。3 龄和 5 龄幼虫的活性测定参照农业行业标准: 农药室内生物测定试验准则 (杀虫剂第六部分杀虫活性测定浸虫法) (NY/T 1154.6-2006) (农业部农药检定所, 2006) 进行。根据毒力测定的初试结果, 将供试药剂分别用蒸馏水稀释成 1 倍 (3 000 mg/L)、10 倍 (300 mg/L)、20 倍 (150 mg/L)、40 倍 (75 mg/L)、80 倍 (37.5 mg/L) 5 个系列浓度药剂, 将试虫于配制好的药液中浸药 5 s 后, 用滤纸吸取虫体表面多余的药液, 将其置于人工饲料中, 48 h 后记录死亡率。

死亡率用 Abbott 公式进行校正, 用 EXCEL 软件编程求毒力回归方程 ($y=a+bx$) LC_{50} 值、95% 置信区间 (黄剑等, 2004), 比较不同龄期间毒力大小的差异。

1.4.3 印楝素乳油对梨小食心虫田间药效试验 试验共设 0.3% 印楝素乳油 900、1 200、1 500 倍液 (3.0、2.5、2.0 mg/L) 3 个浓度, 对照药剂 2.5% 高效氟氯氰菊酯水乳剂 2 000 倍液 (12.5 mg/kg) 以及不施药空白对照共 5 个处理。每处理设 4 个重复小区, 每小区用树 3 ~ 5 株 (保证可调查果实在 500 个以上), 小区随机排列。每小区调查 2 ~ 4 棵树, 在每株调查树的树冠四周及内膛中上部随机调查 50 ~ 100 个果实, 共计 200 个以上果实。在施药前调查卵果和虫果基数, 药后 5、10、15 d 调查蛀果率, 以药后新增虫果率计算防治效果。试验于 2014 年 6 月 19 日进行, 正值田间梨小食心虫第二代卵发生初期, 采用担架式动力喷雾器 (ZL-22-160 型)。工作压力 2.5 ~ 3.5 MPa/cm², 喷头为可调喷枪, 喷孔直径 1.0 mm 左右, 确保全树果实均匀着药。

防治效果 (%) = (对照区新增虫果率% -

处理区新增虫果率%) / 处理区新增虫果率% × 100,

新增虫果率 (%) = 施药后各期虫果率 (%) - 施药前各期虫果率 (%)。

1.5 数据统计方法

利用 Excel 2007 和 SPSS 21.0 软件进行统计分析, 采用 Turkey 检验法对不同浓度处理后的死亡率进行差异显著性检验, 采用 Duncan's 新复极差法 (DMRT) 法对梨小食心虫的田间防治效果进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 印楝素乳油对梨小食心虫卵和幼虫的毒力测定结果

从表 1 的结果可以看出, 0.3% 印楝素乳油对梨小食心虫的卵的杀伤效果较好。其中效果最好的为 3 日龄卵, 其致死中量为 4.5789 mg/L (换算为该农药的稀释倍数为 655 倍), 且 3 日龄卵致死中量的 95% 置信区间与 1 日龄和 5 日龄 2 个虫态之间没有重叠, 表明 3 龄卵与 1 龄和 5 龄卵的毒力测定存在有显著差异, 而 1 日龄和 5 日龄之间则没有显著差异。

2.2 0.3% 印楝素乳油对梨小食心虫幼虫的毒力测定结果

从表 2 的结果可以看出, 0.3% 印楝素 EC 对梨小食心虫初孵幼虫的杀虫活性较高, 对初孵幼虫的 LC_{50} 值为 6.0495 mg/L (换算为农药稀释倍数则为 495 倍)。而对于 3 龄和 5 龄幼虫的 LC_{50} 值均在 800 mg/L 之上, 表明该药剂对 3 龄和 5 龄幼虫没有杀伤效果。初孵幼虫的致死中量的 95% 置信区间与 3 龄和 5 龄幼虫的置信限不重叠, 表明初孵幼虫与另外两种虫态的毒力存在显著的差异, 而 3 龄和 5 龄幼虫这 2 个虫态之间的毒力测定结果则没有显著差异。

2.3 0.3% 印楝素乳油对梨小食心虫的田间防治效果

0.3% 印楝素乳油对梨小食心虫的田间防治效果见表 3。试验时各处理区的卵果率在 2.40% ~

表 1 0.3%印楝素乳油对梨小食心虫卵的毒力测定结果
Table 1 Toxicity of 0.3% azadirachtin EC on the eggs of *Grapholita molesta* in laboratory

处理 Treatment	回归方程(y=) Equation regression	相关系数 Correlation coefficient	LC ₅₀ (mg/L)	95%置信区间 95% confidence limits
1 日龄卵 1 day old eggs	3.1285+2.2929x	0.9606	6.5195	5.6115–7.9180
3 日龄卵 3days old eggs	3.2385+2.6659x	0.9922	4.5789	4.0872–5.1780
5 日龄卵 5 days old eggs	3.1182+2.2913x	0.9761	6.6268	5.7092–7.9614

表 2 0.3%印楝素乳油对梨小食心虫幼虫毒力测定结果
Table 2 Toxicity of 0.3% azadirachtin EC on the larva of *Grapholita molesta* in laboratory

处理 Treatment	回归方程(y=) Equation regression	相关系数 Correlation coefficient	LC ₅₀ (mg/L)	95%置信区间 95% confidence limits
初孵幼虫 Newly-hatched larvae	3.2278+2.2670x	0.9794	6.0495	5.2471–7.1779
3 龄幼虫 Third instar larvae	1.6892+1.1361x	0.9671	820.9721	665.0904–1 013.0561
5 龄幼虫 Fifth instar larvae	1.1574+1.1698x	0.9578	848.7506	689.2638–1 045.1060

表 3 0.3%印楝素 EC 防治梨树梨小食心虫田间药效试验结果
Table 3 Control efficiency of 0.3% azadirachtin EC *Grapholita molesta*

药剂 Pesticide	处理 Treatment	项目 Item	药前虫果率 Fruit-boring rate before spraying	药后各期效果 Corrected mortality		
				5 d	10 d	15 d
0.3%印楝素 EC	2.0 mg/kg	虫果率 Fruit-boring rate	0	0.42±0.32	1.31±0.53	23.80±0.34
	(1 500 倍)	防效 (%) Corrected mortality		67.59±20.11b	76.22±13.56b	14.93±5.32b
	2.5 mg/kg	虫果率 Fruit-boring rate	0	0.41±0.13	2.42±0.50	21.15±1.76
	(1 200 倍)	防效 (%) Corrected mortality		67.64±11.61b	64.14±9.54b	26.68±5.13b
	3.0 mg/kg	虫果率 Fruit-boring rate	0	0.47±0.16	1.84±0.38	26.03±3.47
	(9 00 倍)	防效 (%) Corrected mortality		63.18±13.17b	73.54±6.04b	14.92±12.31b
2.5%高效氯氟 氰菊酯 EW	12.5 mg/kg	虫果率 Fruit-boring rate	0.43±0.12	0.43±0.12	1.11±0.05	1.35±0.10
	(1 500 倍)	防效 (%) Corrected mortality		100.00a	92.69±2.85a	95.15±3.10a
空白对照 CK	—	虫果率 Fruit-boring rate	0	1.09±0.08	7.58±1.20	29.35±2.30

表中数据为平均数±标准误。同列数据后标有不同字母表示经 Duncan’s 多重检验法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。
Data in the table are mean±SE, and followed by different letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level by Duncan’s multiple range test.

6.00% ,均超过 1%的防治指标 ,且田间有零星蛀果 ,可以开展试验。试验期间不施药空白对照区的虫果率药后 5、10、15 d 分别上升至 1.09%、7.58%和 29.35% ,果实受害十分严重。供试药剂 0.3%印楝素乳油各浓度处理 ,药后 5 d 的防治效果在 63.18% ~ 67.64%之间 ,各处理区均有新增被蛀虫果。药后 10 d 各处理区虫果率为 1.31% ~ 2.42% ,防治效果在 64.14% ~ 76.22%之间。至药后 15 d 各处理区虫果率达 21.15% ~ 26.03% ,果实受害明显 ,药剂已失去控制作用。对照药剂

2.5%高效氯氟氰菊酯水乳剂药后 5、10、15 d 的防治效果分别为 100%、92.69%、95.15% ,防效明显高于药剂处理区。供试药剂药后各期的防治效果差异均不显著。

3 讨论

梨小食心虫是一种重要的蛀果类害虫 ,以幼虫钻蛀寄主的果实和新梢 ,果实被害后 ,早期易导致果实脱落 ,造成减产 ,后期虽然不提前落果 ,但是果实内部充满虫粪 ,不堪食用 (范仁俊等 ,

2013)。由于其具有隐蔽危害的特点,药剂防治的关键时期一般选择其直接暴露环境中的阶段为最佳,分别为卵期、初孵幼虫钻蛀期、幼虫转移为害期和成虫期(蔡明飞等,2010;宫庆涛等,2014;刘中芳等,2014)。考虑到成虫的活动能力较强,在田间实际应用的情况下药剂对其直接的杀伤作用较小,因此在本文中我们选择了卵、初孵幼虫、3龄和5龄幼虫作为供试虫,使用生物制剂印楝素对其进行田间和室内活性的测定。

印楝素是一种新型的植物源杀虫剂,具有环保、高效低毒等优点。已有的研究报道表明,印楝素对14个目的400多种昆虫表现出不同的生物活性,其神经内分泌、表皮、脂肪体、马氏管、生殖系统等器官表现出不同程度的病理变化,从而使其生长发育受到严重抑制,最终死亡(Schmutterer, 1990)。印楝素作为一种重要的植物源杀虫剂,不仅具有拒食、胃毒等作用方式,还可以对成虫的生殖系统和卵孵化率有较大的影响。在已有的报道中,印楝素对小菜蛾(侯有明等,2002)、马铃薯甲虫(陆振强等,2015)、烟粉虱(文吉辉等,2007)、斜纹夜蛾(戴建青等,2005)等多种害虫具有明显的拒食和直接毒杀作用,而在本文中,印楝素乳油对卵和初孵幼虫活性较好,对3龄和5龄幼虫的室内和田间的作用效果均不太理想。由于印楝素乳油对多种鳞翅目昆虫幼虫表现为多种活性,除了直接致死外,对幼虫最主要表现为拒食作用(戴建青等,2005;陈小军等,2010),而本研究表明印楝素对梨小食心虫具有一定的直接致死效应,但是否具有拒食作用需要在今后的工作中继续进行。梨小食心虫大部分时间均在果实内部蛀果为害,喷施的药液多残留在果实表面,被害虫直接取食量和接触时间均较短,从而导致该药剂对梨小的防治效果较差。

印楝素杀虫剂能较好的满足目前农药研发的方向,如高效、低毒、无残留、选择性好等,由于其活性成分是自然存在的物质,因此其具有良好的生物和环境安全性,但是从本文的结果看

出,0.3%印楝素乳油在室内实验的条件下,对各个虫态的毒力测定结果差异较大,尽管对卵和初孵幼虫的毒力测定结果要明显高于3龄和5龄幼虫,但是如果换算为农药的稀释倍数则仅为600倍左右。在田间试验中,药后5d的防效即在70%以下,至药后15d时,防效则下降到27%以下,已经失去了对梨小食心虫的控制作用。由于梨小食心虫为害果实,可直接影响果实的商品价值,当田间虫果率超过5%时,则可认为药剂防治失败(仇贵生等,2008)。而若要按照室内实验的浓度指导田间生产,由于其稀释倍数较低,不仅使用成本高,而且由于该药剂的有效成分含量低,使用过程中势必会将大量二甲苯等有机溶剂释放到环境中,可能造成较大的环境压力(冯建国等,2013)。由于植物性杀虫剂印楝素特殊的作用方式,对多种鳞翅目昆虫的幼虫主要表现为拒食作用,导致其速效性差,施药前期对害虫控制效果不理想,从持续控制的角度分析,仅仅采用喷施印楝素乳油这一措施还不能完全控制梨小食心虫种群数量的增长。因此综合考虑,在田间防治梨小食心虫时,不推荐把0.3%印楝素乳油作为防治的专治药剂,仅可在梨小食心虫发生危害的初期虫口基数较低、防治其他害虫时,作为兼治的药剂来使用。

参考文献 (References)

- Cai MF, Shen J, Wu JX, 2010. Indoor control efficiency of six pesticides on eggs and adults of oriental fruit moth, (*Grapholitha molesta*). *Journal of Fruit Science*, 27(4): 636–640. [蔡明飞, 沈健, 仵均详, 2010. 不同杀虫剂对梨小食心虫卵和成虫的室内防效. *果树学报*, 27(4): 636–640.]
- Chen XJ, Yang ZY, Zhang ZX, Xu HH, 2010. Progress on safety evaluation of azadirachtin and neem insecticide. *Ecology and Environmental Sciences*, 19(6): 1478–1484. [陈小军, 杨益众, 张志祥, 徐汉虹, 2010. 印楝素及印楝杀虫剂的安全性评价研究进展. *生态环境学报*, 19(6): 1478–1484.]
- Dai JQ, Huang ZW, Du JW, 2005. Bioactivity of azadirachtin and its field efficiency against *Spodoptera litura*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 16(6): 1095–1098. [戴建青, 黄志伟, 杜家玮, 2005. 印楝素乳油对斜纹夜蛾的生物学活性剂田间防效研究. *应用生态学报*, 16(6): 1095–1098.]
- DU J, 2009. Studies on the biology and rearing of *Grapholitha*

- molesta* Busck. Master dissertation. Yangling: Northwest A & F University. [杜娟, 2009. 梨小食心虫生物学特性及人工饲料研究. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.]
- Fan HD, Zhang GH, Yan SJ, Lin J, 2009. Advance of synthesis and structure modification and bioactivity of azadirachtin. *Chinese Journal of Organic Chemistry*, 29(1): 20–23. [樊会丹, 张从海, 严胜骄, 林军, 2009. 印楝素的合成、结构修饰剂生物活性研究进展. 有机化学, 29(1): 20–23.]
- Fan RJ, Liu ZF, Lu JJ, Feng YT, Yu Q, Gao Y, Zhang RX, 2013. Progress in the application of IPM to control the oriental fruit moth (*Grapholitha molesta*) in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(6): 1509–1513. [范仁俊, 刘中芳, 陆俊姣, 封云涛, 庾琴, 高越, 张润祥, 2013. 我国梨小食心虫综合防治研究进展. 应用昆虫学报, 50(6): 1509–1513.]
- Feng JG, Zhang XJ, Yu C, Chen WT, Cai ML, Wu XM, 2013. General situation of studies on pesticide formulations processing in China. *Journal of China Agricultural University*, 18(2): 220–226. [冯建国, 张小军, 于迟, 陈维韬, 蔡梦玲, 吴学民, 2013. 中国农业大学学报, 18(2): 220–226.]
- Gong QT, LI SH, Zhang KP, Wu HB, Liu W, Zhang XP, Sun RH, 2014. Ovipositional preference of *Grapholitha molesta* (Busck). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 25(9): 2665–2670. [宫庆涛, 李素红, 张坤鹏, 武海斌, 刘伟, 张学萍, 孙瑞红, 2014. 梨小食心虫的产卵选择性. 应用生态学报, 25(9): 665–2670.]
- Hou YM, Pang XF, Liang GW, 2002. Effect of azadirachtin against the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Acta Entomologica Sinica*, 45(1): 47–52. [侯有明, 庞雄飞, 梁广文, 2002. 印楝素乳油对小菜蛾种群的控制作用. 昆虫学报, 45(1): 47–52.]
- Hu MY, Zhao SH, Wang LC, Kuang XW, 1996. Studies on the effectiveness and growth inhibitory effect of Margosan-O on diamondback moth (*Plutella xylostella*). *Journal of South China Agricultural University*, 17(4): 1–5. [胡美英, 赵善欢, 王良川, 匡晓伟, 1996. 印楝素制剂对小菜蛾毒杀和生长发育抑制作用的研究. 华南农业大学学报, 17(4): 1–5.]
- Huang J, Wu WJ, 2004. Calculate the median lethal dose and Chi square test with EXCEL in toxicological test. *Entomological Knowledge*, 41(6): 594–598. [黄剑, 吴文君, 2004. 利用 EXCEL 快速进行毒力测定的致死中量计算和卡方检验. 昆虫知识, 41(6): 594–598.]
- Institute for the Control of Agrochemicals, 2006. Pesticides guidelines for laboratory bioactivity tests (NY/T 1154. 6-2006). [农业部农药检定所, 2006. 杀虫剂室内生物测定准则, (NY/T 1154. 6-2006).]
- Li FG, Zhang HJ, Li YS, Wang YY, 2014. Registration and application of azadirachtin. *Agrochemicals*, 53(4): 304–306. [李富根, 张宏军, 李友顺, 王以燕, 2014. 植物源农药印楝素的登记与应用. 农药, 53(4): 304–306.]
- Li XJ, Zhai H, Wang T, Li H, Wang CG, 2013. Control effects of 12 different kinds of pesticides against *Grapholitha molesta* and *Pseudauleacaspis pentagona*. *Plant Protection*, 39 (4): 168–172. [李晓军, 翟浩, 王涛, 李红, 王长君, 2013. 十二种不同杀虫剂对梨小食心虫和桑白蚧的防治效果. 植物保护, 39(4): 168–172.]
- Liu ZF, Wang Z, Yu Q, Feng YT, Gao Y Zhang RX, Fan RJ, 2014. Synergism of organosilicone to chlorantraniliprole against the egg of oriental fruit moth, *Grapholitha molesta* (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Fruit Science*, 31(1): 96–100. [刘中芳, 王振, 庾琴, 封云涛, 高越, 张润祥, 范仁俊, 2014. 氯虫苯甲酰胺添加有机硅对梨小食心虫卵的增效作用. 果树学报, 31(1): 96–100.]
- Lu ZQ, Li Z, Yin CY, Guo WC, Zhang QW, Liu XX, 2015. Control effect of azadirachtin on the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata*. *Journal of Plant Protection*, 42(4): 651–657. [陆振强, 李贞, 尹春燕, 郭文超, 张青文, 刘小侠, 2015. 印楝素对马铃薯甲虫的控制作用. 植物保护学报, 42(4): 651–657.]
- Schmutterer H, 1990. Properties and potential of natural pesticides from the neem tree *Azadirachta indica*. *Annual Review of Entomology*, 35: 271–279.
- Qiu GS, Zhang HJ, Yan WT, Zhang P, Liu CL, Zheng YC, 2008. Action of abamectin on controlling orchard main pests. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 24(11): 410–415. [仇贵生, 张怀江, 闫文涛, 张平, 刘池林, 郑运城, 2008. 阿维菌素对苹果园主要害虫的控制作用. 中国农学通报, 24(11): 410–415.]
- Wang F, Yu Q, Guo GM, Hao C, Fan RJ, 2016. Determination of larval instar number and duration of the *Grapholitha molesta* (Lepidoptera: Tortricidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(2): 390–395. [王芳, 庾琴, 郭贵明, 郝赤, 范仁俊, 2016. 梨小食心虫幼虫龄数和龄期的划分. 应用昆虫学报, 53(2): 390–395.]
- Wen JH, Hou ML, Lu W, Li JW, 2007. Insecticidal activities of azadirachtin and its effects on sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(4): 491–496. [文吉辉, 侯茂林, 卢伟, 黎家文, 2007. 印楝素的杀虫活性及对烟粉虱的趋避作用. 昆虫知识, 44(4): 491–496.]
- Zhao SH, Zhang X, Liu XQ, Huang DP, 1984. The physiological effect of azadirachtin against asiatic corn borer. *Acta Entomologica Sinica*, 27(3): 241–246. [赵善欢, 张兴, 刘秀琼, 黄端平, 1984. 印楝素对亚洲玉米螟幼虫生长发育的影响. 昆虫学报, 27(3): 241–246.]