

印楝素不同处理方法对烟粉虱的室内毒力测定

文吉辉^{1,2}, 侯茂林¹, 卢伟^{1,2}, 黎家文²

(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 100094; ²湖南农业大学生物安全科技学院, 长沙 410128)

摘要: 【目的】明确印楝素及其不同施药方式对烟粉虱各虫态的致死作用。【方法】采用黄瓜叶片浸液法和叶柄内吸法测定了 0.3% 印楝素乳油对烟粉虱成虫、1 日龄卵、5 日龄卵和 1~4 龄若虫的室内毒力。【结果】在所测试的浓度范围 (0.3125~10.0 mg·L⁻¹) 内, 两种处理方式下烟粉虱各虫态的校正死亡率均随印楝素浓度的增大而顺次显著增大, 印楝素叶片浸液处理的校正死亡率高于叶柄内吸处理。印楝素叶片浸液处理对烟粉虱成虫、1 日龄卵、5 日龄卵、1 龄若虫、2 龄若虫、3 龄若虫、4 龄若虫的致死中浓度 LC₅₀ 值分别为 3.0246、2.2019、5.7109、0.5909、0.7465、1.6948 和 2.6603 mg·L⁻¹, 而叶柄内吸处理的 LC₅₀ 值分别为 6.016、4.0321、6.0537、0.8614、0.9941、2.2419 和 4.4533 mg·L⁻¹。【结论】印楝素叶片浸液处理对烟粉虱各龄若虫的致死作用均高于叶柄内吸处理, 烟粉虱低龄若虫期是采用印楝素防治的最佳时期。印楝素乳油可望成为防治烟粉虱的重要药剂之一。

关键词: 印楝素; 烟粉虱; 浸液生测法; 内吸生测法; 室内毒力

Toxicity of Foliar or Systemically Applied Azadirachtin to *Bemisia tabaci* Gennadius (Homoptera, Aleyrodidae)

WEN Ji-hui^{1,2}, HOU Mao-lin¹, LU Wei^{1,2}, LI Jia-wen²

(¹Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences/State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Beijing 100094; ²College of Bio-safety Sciences and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128)

Abstract: 【Objective】The objective of this experiment is to test mortality and LC₅₀ of 0.3% azadirachtin (AZ) EC against sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci*. 【Method】Both cucumber leaf disc dipping method and petiole wrapping method were used. 【Result】Mortalities of whiteflies treated by AZ disc dipping method were higher than that treated by petiole wrapping method at the tested AZ concentrations between 0.3125 mg·L⁻¹ and 10.0 mg·L⁻¹, and the mortalities of whiteflies in both the two bioassay methods were significantly dosage-dependent. The medium lethal concentration (LC₅₀) of AZ by disc dipping method to adults, 1-d and 5-d old eggs and, 1st, 2nd, 3rd and 4th instar nymphs were 3.0246, 2.2019, 5.7109, 0.5909, 0.7465, 1.6948 and 2.6603 mg·L⁻¹, respectively; and the LC₅₀ of AZ treated by petiole wrapping method were 6.016, 4.0321, 6.0537, 0.8614, 0.9941, 2.2419 and 4.4533 mg·L⁻¹, respectively. 【Conclusion】Therefore, lethal effect of dipping method is higher than wrapping application; young nymph is the best stage for whitefly control by AZ. AZ may be one of the most significant botanical chemical in the control of sweetpotato whitefly.

Key words: Azadirachtin; *Bemisia tabaci*; Dipping bioassay; Systemic bioassay; Toxicity

0 引言

【研究意义】烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 近年来成为中国蔬菜、经济作物和园林花卉上的一种重要害虫^[1]。由于频繁使用化学杀虫剂, 烟粉虱在世

界范围内已经对包括烟碱类杀虫剂在内的多种化学农药产生了抗性生物型^[2~4], 因此有必要寻求新型的害虫不易产生抗性的杀虫物质。【前人研究进展】印楝素是从楝树 (*Azadirachta indica* A. Juss.) 中提取出来的一种四环三萜类固醇化合物, 它对多种植食性昆虫具

收稿日期: 2007-01-11; 接受日期: 2007-05-17

基金项目: 中央科研院所社会公益研究专项项目 (2004DIB4J156)

作者简介: 文吉辉 (1980-), 男, 湖南永州人, 硕士研究生, 研究方向为昆虫生态学。E-mail: jihuiwen2005@yahoo.com.cn。通讯作者侯茂林 (1968-), 湖南安仁人, 副研究员, 博士, 研究方向为昆虫生态与害虫防治。Tel: 010-68919714; E-mail: maolinhou@cjac.org.cn

有触杀、拒食、忌避和抑制生长发育等作用^[5-9]。印楝素杀虫剂对高等动物毒性低^[10]、在环境中能迅速而彻底地降解、抗性风险低以及对非靶标生物有非选择性作用^[11], 因此印楝素杀虫剂成为 21 世纪最有发展前景的植物源农药^[12]。据报道, 印楝植株中以印楝素 (azadirachtin) 为主的多种杀虫活性物质, 对 8 目 400 多种农、林、储粮和卫生害虫有生物活性^[7]。仅印楝素就对 200 多种昆虫具有其它植物物质杀虫剂无法比拟的高生物活性^[13]。国外已经开发了多种印楝制剂, 这些制剂对烟粉虱^[14]、翠纹金刚钻 (*Earias vittella* Fabricius)^[15]、西花蓟马 (*Frankliniella occidentalis* Pergrande)^[16]、稻绿蝽 (*Nezar viridula* Linnaeus)^[17]、甘蓝夜蛾 (*Mamestra brassicae* Linnaeus)^[18]有明显的控制效果。中国也开发了印楝素乳油制剂^[19,20], 据报道对二化螟 (*Chilo suppressalis* Walker)^[21]、褐飞虱 (*Nilaparvata lugens* Stål)^[22]、小菜蛾 (*Plutella xylostella* Linnaeus)^[23]、菜粉蝶 (*Piers rapae* Linnaeus)^[24]、甜菜夜蛾 (*Spodoptera exigua* Hübner)^[25]、斜纹夜蛾 (*S. litura* Fabricius)^[26]等害虫具有良好的控制作用。【本研究切入点】在国内尚未有印楝素对烟粉虱控制效果的报道, 印楝素对烟粉虱各虫态的毒力作用不明确。

【拟解决的关键问题】本文在室内测定印楝素乳油对烟粉虱各虫态的毒力, 以期对印楝素应用于烟粉虱的种群控制提供指导。

1 材料与方法

1.1 供试虫源、寄主植物和药剂

供试烟粉虱为 B 型, 在温室内采用黄瓜苗 (中农 16 号) 培养至少 10 代以上。黄瓜种子经温水催芽后播种于装有蛭石的塑料营养钵中, 在光周期 L : D=14 : 10、温度 (27±1) °C、相对湿度 (70±4) % 的温室中培养, 长到 5 片真叶时 (播种后 3~4 周) 用于试验。第 1 片真叶期每盆浇 64 g 复合肥 (总养分≥45%, N : P₂O₅ : K₂O=15 : 15 : 15, 山东鲁西化工股份有限公司)。

供试药剂为爱禾[®] (0.3% 印楝素乳油, 云南中科生物产业有限公司), 用无离子水稀释成 0.3125、0.625、1.25、2.5、5.0、10.0 mg·L⁻¹ 6 个浓度, 以清水为对照。本毒力试验均在人工气候箱 (RXZ 智能型, 宁波江南仪器厂) 内进行, 温度 (26±1) °C, 相对湿度 (80±5) %, 光照周期 L : D=14 : 10, 光照强度 12 000 LX。

1.2 印楝素对烟粉虱成虫的毒力

叶片浸液法^[3]。剪取黄瓜苗顶部第 2 片真叶, 取直径 55 mm 的圆片, 浸入系列浓度药液中 10 s。取出放在室内自然晾干 (约 1 h), 然后将单个圆片正面朝下铺在直径 60 mm 的玻璃培养皿中 (事先倒入 12 g·L⁻¹ 的琼脂 3~5 mm 厚, 以保湿)。将在 -4 °C 冷冻 60 s 发育期一致的烟粉虱成虫轻轻拍入皿内, 每皿接入成虫 30~40 头 (不分雌雄), 用扎孔保鲜膜封口, 再将培养皿倒置于人工气候箱中。48 h 后, 在双目显微镜下检查烟粉虱成虫死亡情况。用解剖针轻轻触动虫体, 不动者视为死亡。每处理 4 次重复。

叶柄内吸法^[27]。将黄瓜苗顶部第 2 片真叶剪下, 立即将叶柄浸入系列浓度药液中, 24 h 后取直径 55 mm 的圆片, 其它步骤和方法与圆片浸液法相同。每处理 4 次重复。

1.3 印楝素对烟粉虱卵的毒力

采用浸卵法^[28]和叶柄内吸法^[27]测定印楝素对 1 日和 5 日龄卵的毒力。在无虫笼 (60 cm×60 cm×60 cm, 下同) 中接入烟粉虱成虫让其在长势一致的黄瓜苗上产卵 24 h 后, 将黄瓜顶端第 2 片嫩叶用于试验 (1 日龄卵), 或者将有卵植株转移到无虫笼中, 产卵后第 5 天用于试验 (5 日龄卵)。在解剖镜下每叶标记 70~100 粒卵。采用浸卵法时, 将叶片放入系列浓度药液中浸泡 10 s, 取出置室内晾干, 再用清水湿润的脱脂棉 (以不滴水为准) 包住叶柄放在直径 90 mm 的玻璃培养皿中 (以琼脂保湿, 与上同)。采用叶柄内吸法时, 用蘸有不同浓度印楝素乳油的脱脂棉 (以药液不滴落为准) 包住叶柄, 放在直径 90 mm 铺有琼脂的培养皿中, 用蘸清水的湿棉球包住叶柄作为对照。再将培养皿放入人工气候箱中。7 d (1 日龄卵) 或 2 d (5 日龄卵) 后在解剖镜下检查各处理的孵化卵数, 计算死亡率。每处理重复 4 次。

1.4 印楝素对烟粉虱若虫的毒力

在无虫笼中接入烟粉虱成虫让其在长势一致的黄瓜苗上产卵, 24 h 后赶走成虫, 再把有卵的植株转移到无虫笼中。根据邱宝利等^[29]报道的黄瓜上烟粉虱若虫各龄期发育历期, 在产卵后第 7 天 (1 龄)、10 天 (2 龄)、13 天 (3 龄)、16 天 (4 龄) 分别在解剖镜下标记 70~100 头若虫, 剔除多余若虫。采用叶片浸渍法^[28]和叶柄内吸法^[27]测定印楝素乳油对各龄若虫的毒力, 方法与卵毒力试验相同。处理 3 d 后在解剖镜下检查 1 至 4 龄若虫死亡情况, 凡虫体干瘪、颜色变枯黄者视为死亡^[1,14]。

1.5 数据分析

利用 Visual Basic 编程求毒力回归方程($y=a+bx$)、 LC_{50} 及其 95% 置信区间^[30], 采用陈年春^[31]的方法求 LC_{50} 的标准误差 Sm , 利用卡方 (χ^2) 检验回归方程的真实性。采用方差分析检验处理对校正死亡率的影响, Duncan 新复极差法比较同一处理方式下各印楝素浓度间烟粉虱校正死亡率的差异显著性 ($P=0.05$), 独立样本 T 检验比较相同印楝素浓度不同处理方式下烟粉虱校正死亡率的差异显著性 ($P=0.05$)。方差分析前校正死亡率 (P) 经反正弦 ($\sin^{-1} \sqrt{p}$) 转换。

2 结果与分析

表 1 印楝素不同处理方式对烟粉虱成虫的毒力

Table 1 Toxicities of azadirachtin (AZ) applied in different modes to *B. tabaci* adults

印楝素处理方法 AZ treatment modes	毒力回归方程 Toxicity regress equation	LC_{50} (95% 置信限) LC_{50} (95% confidence interval)($mg \cdot L^{-1}$)	卡方值 χ^2	标准误 Sm
圆片浸液法 DD	$y = 4.6002 + 0.8318x$	3.0246 (2.3064~3.9666)	2.2761	0.3110
叶柄内吸法 PW	$y = 4.3805 + 0.7949x$	6.016 (2.8354~12.7645)	10.724	0.6491

卡方值小于 $\chi^2_{(5, 0.05)} = 11.07$, 故毒力回归方程与实际相符。下同

$\chi^2 < \chi^2_{(5, 0.05)} = 11.07$ shows that toxicity regress equation is practical. DD: dis-dipping, PW: petiole wrapping. The same as below

致死作用受浓度显著影响 (浸液法 $F_{(5, 18)} = 4004.12$, $P < 0.01$; 内吸法 $F_{(5, 18)} = 920.98$, $P < 0.01$), 随印楝素浓度的增大死亡率顺次显著增大。印楝素最高浓度 ($10.0 \text{ mg} \cdot L^{-1}$) 浸液处理和内吸处理的校正死亡率分别为 71.2% 和 63.68%。清水对照、印楝素 $0.3125 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ 和 $0.625 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ 浓度叶片浸液和叶柄内吸处理的死亡率之间无显著差异, 其余浓度下两处理方式之间校正死亡率均存在显著差异。从表 2 中毒力回归方程斜率看, 1 日龄烟粉虱卵对印楝素叶片浸液处理比对叶柄内吸处理更为敏感, 致死中浓度前者低于后者 (LC_{50} 分别为 2.2019 和 $4.0322 \text{ mg} \cdot L^{-1}$)。

表 2 印楝素不同处理方式对烟粉虱卵的毒力

Table 2 Toxicities of azadirachtin applied in different modes to eggs of *B. tabaci*

印楝素处理方法 AZ treatment modes	卵龄 Egg age	毒力回归方程 Toxicity regress equation	LC_{50} (95% 置信限) LC_{50} (95% confidence intervals)($mg \cdot L^{-1}$)	卡方值 χ^2	标准误 Sm
叶片浸液法 DD	I	$y = 4.6383 + 1.055x$	2.2019 (1.9384~2.5012)	10.232	0.1111
	II	$y = 4.1281 + 1.1523x$	5.7109 (4.8939~6.6643)	10.631	0.2704
叶柄内吸法 PW	I	$y = 4.447 + 0.9132x$	4.0321 (2.8661~5.6724)	10.449	0.2300
	II	$y = 4.1927 + 1.0323x$	6.0537 (5.0679~7.2313)	10.420	0.3089

I: 1 日龄烟粉虱卵; II: 5 日龄烟粉虱卵

I: 1 d old *B. tabaci* eggs; II: 5 d old *B. tabaci* eggs

2.1 印楝素对烟粉虱成虫的毒力

印楝素圆片浸液或叶柄内吸处理对烟粉虱成虫有较强的致死作用 (圆片浸液 $F_{(5, 18)} = 124.07$, $P < 0.01$; 叶柄内吸 $F_{(5, 18)} = 61.03$, $P < 0.01$), 且随印楝素浓度增大而顺次增强。印楝素最高浓度 ($10.0 \text{ mg} \cdot L^{-1}$) 浸液处理和内吸处理的校正死亡率分别为 68.38% 和 53.27%。毒力回归方程的斜率 (表 1) 浸液处理大于内吸处理, 这表明烟粉虱成虫对印楝素浸液处理相对于内吸处理更敏感。圆片浸液和叶柄内吸的致死中浓度分别为 $3.2046 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ 和 $6.016 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ 。

2.2 印楝素对烟粉虱卵的毒力

在相同处理方式下, 印楝素对 1 日龄烟粉虱卵的

印楝素对 5 日龄烟粉虱卵的致死作用也和浓度有密切关系 (浸液法 $F_{(5, 18)} = 2256.79$, $P < 0.01$; 叶柄内吸法 $F_{(5, 18)} = 454.67$, $P < 0.01$), 在相同处理方式下, 校正死亡率随印楝素浓度的增大而顺次显著增大。印楝素各浓度对 5 日龄卵的校正死亡率均低于相应浓度对 1 日龄卵的校正死亡率。清水对照、印楝素 0.3125 、 0.625 、 1.25 和 $2.5 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ 浓度下叶片浸液和叶柄内吸死亡率之间无显著差异, 印楝素 5.0 和 $10.0 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ 浓度下两处理方式之间校正死亡率均存在显著差异。表 2 中的毒力回归方程斜率表明, 5 日龄烟粉虱卵对印楝素叶片浸液处理比对叶柄内吸处理更为敏感, 致死中

浓度分别为 5.7109 和 6.0537 mg·L⁻¹。

2.3 印楝素对烟粉虱若虫的毒力

印楝素叶片浸液处理和叶柄内吸处理, 印楝素浓度对各龄若虫的校正死亡率有显著影响(叶片浸液 L1~L4: $F_{(5,18)}=371.88、609.94、1642.27、456.00$, $P<0.01$; 叶柄内吸 L1~L4: $F_{(5,18)}=283.44、526.04、333.68、219.58$, $P<0.01$), 随印楝素浓度的增大各龄若虫死亡率顺次显著增大。叶片浸液处理对各龄若虫的致死作用分别高于叶柄内吸处理的致死作用。从

不同龄期来看, 相同印楝素浓度在相同处理方式下对低龄若虫的校正死亡率高于高龄若虫的校正死亡率。印楝素对烟粉虱各龄若虫的毒力回归方程如表 3 所示。两种处理方式下毒力回归方程的斜率均随若虫龄期的增大而顺次减小, 这表明低龄若虫比高龄若虫对印楝素更为敏感。两种处理方式下印楝素对各龄若虫的致死中浓度也随若虫龄期的增大而增大。各龄若虫浸液处理比叶柄内吸处理回归方程 LC₅₀ 小, 且置信限没有重叠, 说明烟粉虱若虫对印楝素浸液处理更敏感。

表 3 印楝素不同处理方式对烟粉虱若虫的毒力

Table 3 Toxicities of azadirachtin applied in different modes to nymphs of *B. tabaci*

印楝素处理方式 AZ treatment modes	若虫龄期 Nymph instars	毒力回归方程 Toxicity regress equation	LC ₅₀ (95% 置信限) LC ₅₀ (95% confidence intervals)(mg·L ⁻¹)	卡方值 χ^2	标准误 Sm
叶片浸液法 DD	L1	$y = 5.3310 + 1.4487x$	0.5909 (0.5227~0.6680)	9.297	0.0285
	L2	$y = 5.1765 + 1.3903x$	0.7465 (0.6615~0.8424)	3.501	0.0351
	L3	$y = 4.6915 + 1.3467x$	1.6948 (1.5403~1.8648)	6.017	0.0624
	L4	$y = 4.4314 + 1.3381x$	2.6603 (2.4154~2.9300)	2.354	0.1020
叶柄内吸法 PW	L1	$y = 5.0888 + 1.3711x$	0.8614 (0.6922~1.0720)	2.067	0.0354
	L2	$y = 5.0033 + 1.283x$	0.9941 (0.8913~1.1088)	3.193	0.0428
	L3	$y = 4.5905 + 1.1680x$	2.2419 (2.0158~2.4932)	10.124	0.0944
	L4	$y = 4.256 + 1.1470x$	4.4533 (3.8586~5.1696)	6.524	0.2218

3 讨论

由于气候条件的变化、蔬菜保护地的日益扩大以及广谱性杀虫药剂的大量使用等原因, 烟粉虱等害虫发生为害日趋严重^[2]。目前, 在研究和应用农业防治、物理机械防治和生物防治技术的同时, 适时、合理地施用一些高效、低毒、低残留的药剂, 仍然是非常重要的防治烟粉虱的手段^[1]。印楝素杀虫剂对多种害虫有很强的生物活性, 对多数天敌昆虫伤害小, 有利于害虫天敌的种群增长^[32,33], 因此具有广阔的应用前景。

本研究发现, 印楝素对烟粉虱各虫态的接触毒杀作用和内吸毒杀作用均很强, 校正死亡率均随印楝素浓度的增大而顺次显著增大, 但接触毒杀作用强于内吸处理。笔者的结果与已有的报道相似。Coudriet 等^[5]报道用印楝水提取物处理烟粉虱卵后, 低龄若虫死亡率达 90%。Kumar 等^[14]研究报道了印楝素浸种、沟施和喷雾处理不仅能降低番茄上烟粉虱的侵染量、产卵量及孵化率, 还对若虫有毒杀作用, 3 种处理方式下若虫死亡率分别为 35%、91% 和 93%, 同时降低羽化率。

烟粉虱各虫态对浸液处理和叶柄处理印楝素的敏感性大小一致, 均为 1 龄若虫 > 2 龄若虫 > 3 龄若虫 > 1 日龄卵 > 4 龄若虫 > 成虫 > 5 日龄卵。五日龄卵是快孵化的卵, 印楝素对其毒杀作用最小, 10.0 mg·L⁻¹ 浸液处理和内吸处理校正死亡率分别为 60.98% 和 57.49%。成虫对印楝素较不敏感, 可能原因是成虫有飞行能力不易接触、吸收致死剂量。4 龄若虫体表蜡质较厚, 印楝素不易穿透, 致使死亡率较低。

只有当印楝素药剂浓度达到一定程度时才能有效毒杀烟粉虱, 浓度过低不仅无防治效果反而有增加下一代烟粉虱抗药性的风险, 浓度过高会增大生产成本, 所以选择合适的浓度具有重要实践意义。在本实验中, 5.0 mg·L⁻¹ 印楝素浸液处理和叶柄内吸处理对 1 龄若虫的死亡率分别达 89.24% 和 86.26%。基于本文的室内毒力测定结果, 可以在烟粉虱低龄若虫期使用 5.0 mg·L⁻¹ 印楝素进行叶面喷雾或灌根防治。

据报道, 印楝素对多种害虫具有包括毒杀、忌避、调节生长发育等多种生物活性^[5-9]。本文在室内测定了印楝素对烟粉虱各虫态的毒力, 笔者另有研究表明, 印楝素对烟粉虱成虫的寄主评价行为和产卵, 对各虫

态生长发育均有不同程度的影响(研究结果正在发表之中),因此,印楝素有望成为防治烟粉虱的重要药剂之一。

4 结 论

本文结果和分析表明,印楝素浸液处理或叶柄内吸处理对烟粉虱各虫态均有毒杀作用,校正死亡率随印楝素浓度增大而顺次显著增大;浸液处理的校正死亡率在相同条件下均高于叶柄内吸处理;两种处理方式对低龄若虫的毒力最强。因此,印楝素有望在烟粉虱的防治中发挥重要作用。

References

- [1] 沈斌斌,任顺祥,吴建辉,覃振强. 几种重要药剂对烟粉虱的毒力测定. 江西农业大学学报, 2005, 27(5): 670-673.
- Shen B B, Ren S X, Wu J H, Qin Z Q. Toxicities of several important insecticides to *Bemisia tabaci*. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2005, 27(5): 670-673. (in Chinese)
- [2] Dittrich V, Ernst G H, Ruesch O U K S. Resistant mechanisms in sweetpotato whitefly population from Sudan, Turkey, Guatemala and Nicaragua. *Journal of Economic Entomology*, 1990, 83: 1665-1670.
- [3] Cahill M, Byrne F J, Gorman K, Denholm L, Devonshire A L. Pyrethroid and organophosphate resistance in the tobacco whitefly *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Bulletin of Entomology Research*, 1995, 85: 181-187.
- [4] Byrne F J, Castle S, Prabhaker N, Toscano N C. Biochemical study of resistance to imidacloprid in B biotype *Bemisia tabaci* from Guatemala. *Pest Management Science*, 2003, 59: 347-352.
- [5] Coudriet D L, Prabhaker N, Meyerdirk D E. Sweetpotato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae): effects of neem-seed extract on oviposition and immature stages. *Environmental Entomology*, 1985, 14: 776-779.
- [6] Prabhaker N, Toscano N C, Coudriet D L. Susceptibility of the immature and adult stage of the sweetpotato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) to selected insecticides. *Journal of Economic Entomology*, 1989, 82(4): 983-988.
- [7] Schmutterer, H. Properties and potential of natural pesticides from neem tree, *Azadirachta indica*. *Annual Reviews Entomology*, 1990, 35: 271-297.
- [8] Liu T X, Stansly P A. Deposition and bioassay of insecticides applied by leaf dip and spray tower against *Bemisia argentifolii* nymphs (Homoptera: Aleyrodidae). *Pesticide Science*, 1995, 44: 317-322.
- [9] Mitchell P L, Gupta R, Singh A K, Kumar P. Behavioural and developmental effects of neem extracts on *Clavigralla scutellaris* (Hemiptera: Heteroptera: Coreidae) and its egg parasitoid, *Gryon Fulviventris* (Hymenoptera: Scelionidae). *Journal Economic Entomology*, 2004, 97: 916-923.
- [10] Raizada R B, Srivastava M K, Kaushal R A, Singh R P. Azadirachtin, a neem biopesticide: subchronic toxicity assessment in rats. *Food and Chemical Toxicology*, 2001, 39:477-483.
- [11] Immaraju J A. The commercial use of azadirachtin and its integration into viable pest control programmes. *Pesticide Science*, 1998, 54: 285-289.
- [12] Goktepe I, Portier R, Ahmedna M. Ecological risk assessment of neem-based pesticides. *Journal Environmental Science and Health Part B-Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 2004, 39(2): 311-320.
- [13] 李晓东,赵善欢. 印楝素对昆虫的毒理作用机制. 华南农业大学学报, 1995, 17(1): 118-122.
- Li X D, Zhao S H. The toxic effects and mode of azadirachtin on insects. *Journal of South China Agricultural University*, 1995, 17(1): 118-122. (in Chinese)
- [14] Kumar P, Poehling H M, Borgemeister C. Effects of different application method of azadirachtin against sweet whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hom., Aleyrodidae) on tomato. *Journal of Applied Entomology*, 2005, 129(9/10): 489-497.
- [15] Gajmer T, Singh R, Saini R K, Kalidhar S B. Effect of methanolic extracts of neem (*Azadirachta indica* A. Juss) and bakain (*Melia azedarach* L.) seeds on oviposition and egg hatching of *Earias vittella* (Fab.) (Lep., Noctuidae). *Journal of Applied Entomology*, 2002, 126(5): 238-243.
- [16] Thoeming G, Borgemeister C, Setamou M, Poehling H M. Systemic effects of neem on western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Economic Entomology*, 2003, 96: 817-825.
- [17] Riba M, Martí J, Sans A. Influence of azadirachtin on development and reproduction of *Nezara viridula* L. (Het., Pentatomidae). *Applied Entomology*, 2003, 127:37-41.
- [18] Seljåsen R, Meadow R. Effects of neem on oviposition and egg and larval development of *Mamestra brassicae* L.: Dose response, residual activity, repellent effect and systemic activity in cabbage plants. *Crop Protection*, 2006, 25: 338-345.
- [19] 谭卫红,宋湛清. 天然植物杀虫剂印楝素的研究进展. 华南热带农业大学学报, 2004, 10(1): 23-27.
- Tan W H, Song Z Q. Progress in the study on natural botanical insecticide-azadirachtin. *Journal of South China University of*

- Tropical Agriculture*, 2004, 10(1): 23-27. (in Chinese)
- [20] 张志祥, 程东美, 徐汉虹, 江定心. 印楝杀虫剂防治蝗虫的应用前景. 农药科学与管理, 2004, 26(7): 8-13.
Zhang Z X, Cheng D M, Xu H H, Jiang D X. Prospect of neem-based insecticide controlling locust. *Pesticide Science and Administration*, 2004, 26(7): 8-13. (in Chinese)
- [21] 霍中洋, 高振兴, 徐德进, 常 燕, 邵彩虹, 祝树德. 印楝素乳油对水稻二化螟作用方式的研究. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2004, 25(4): 35-38.
Huo Z Y, Gao Z X, Xu D J, Chang Y, Shao C H, Zhu S D. Study on the functional patterns of azadirachtin to rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Walker). *Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Sciences Edition)*, 2004, 25(4): 35-38. (in Chinese)
- [22] 徐德进, 常 燕, 万晓泳, 张 宏, 祝树德. 0.3%印楝素乳油对水稻褐飞虱的生物活性. 现代农药, 2005, 4(4): 25-29, 33.
Xu D J, Chang Y, Wan X Y, Zhang H, Zhu S D. Bioactivities of 0.3% azadirachtin EC against *Nilaparvata lugens* Stål. *Modern Agrochemicals*, 2005, 4(4): 25-29, 33. (in Chinese)
- [23] 侯有明, 庞雄飞, 梁广文. 印楝素乳油对小菜蛾种群的控制作用. 昆虫学报, 2002, 45: 47-52.
Hou Y M, Pang X F, Liang G W. Effects of azadirachtin against the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Acta Entomologica Sinica*, 2002, 45: 47-52. (in Chinese)
- [24] 李忠英, 李凤良. 印楝素杀虫剂对小菜蛾和菜粉蝶幼虫的毒力测定初报. 贵州农业科学, 1999, 27(4): 57-58.
Li Z Y, Li F L. Toxicity test of Margosan-O to *Plutella xylostella* and *Piers rapae*. *Guizhou Agricultural Sciences*, 1999, 27 (4): 57-58. (in Chinese)
- [25] 金党琴, 祝树德. 印楝素对甜菜夜蛾室内生物活性的研究. 现代农药, 2005, 4(2): 28-30.
Jin D Q, Zhu S D. Biological activity of 0.3% azadirachtin EC to *Spodoptera exigua* (Hübner). *Modern Agrochemicals*, 2005, 4(2): 28-30. (in Chinese)
- [26] 戴建青, 黄志伟, 杜家纬. 印楝素乳油对斜纹夜蛾的生物活性及田间防效研究. 应用生态学报, 2005, 16: 1095-1098.
Dai J Q, Huang Z W, Du J W. Bioactivity of azadirachtin and its field efficiency against *Spodoptera litura*. *Chinese journal of Applied Ecology*, 2005, 16: 1095-1098. (in Chinese)
- [27] Cahill M, Denholm I, Byrne F J, Devonshire A L. Insecticide resistance in *bemisia tabaci*: Current status and implications for management. In: Brighton Crop Protection Conference: *Pests and Diseases*. Farnham, UK: British Crop Protection Council, 1996: 75-80.
- [28] 许小龙, 顾中言, 韩丽娟, 杨 阳. 溴虫脲对甜菜夜蛾的毒力及应用研究简报. 农药学报, 2003, 5(3): 85-88.
Xu X L, Gu Z Y, Han L J, Yang Y. Study on the toxicity and the effectiveness of chlorfenapyr to *Spodoptera exigua*. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2003, 5(3): 85-88. (in Chinese)
- [29] 邱宝利, 任顺祥, 林 莉, Musa P D. 不同寄主植物对烟粉虱发育和繁殖的影响. 生态学报, 2003, 23: 1206-1211.
Qiu B L, Ren S X, Lin L, Musa P D. Effect of host plants on the development and reproduction of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23: 1206-1211. (in Chinese)
- [30] 朱福兴, 王 沫, 曾水云. VB 在毒力回归计算中的应用. 昆虫知识, 2004, 4(1): 83-87.
Zhu F X, Wang M, Zeng S Y. Applications of Visual Basic programming in toxicity regress calculating. *Entomological Knowledge*, 2004, 4(1): 83-87. (in Chinese)
- [31] 陈年春. 农药生物测定技术. 北京: 北京农业大学出版社, 1991: 95-129.
Chen N C. *Technique of Pesticide Bioassay*. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1991: 95-129. (in Chinese)
- [32] James R R. Combining azadirachtin and *Paecilomyces fumosoroseus* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) to control *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal Economic Entomology*, 2003, 96(1): 25-30.
- [33] Muzeyi S S, Jembere B. Effects of botanicals, a synthetic insecticide and an insect growth regulator on survival and development of the parasitoid wasp *Cotesia flavipes* parasitising the stem-boring moth *Chilo partellus*. *International Journal of Pest Management*, 2005, 51(1): 25-30.

(责任编辑 赵利辉, 毕京翠)