

七种杀虫剂对松毛虫赤眼蜂的田间残留毒性*

冯宏祖^{1**} 刘 军¹ 王 兰¹ 李志刚³ 许建军^{2***}

(1. 塔里木大学/新疆建设兵团南疆特色果树生产工程实验室/农业部阿拉尔作物有害生物科学观测实验站/塔里木大学南疆农业有害生物综合治理重点实验室, 阿拉尔 843300; 2. 新疆农业科学院植物保护研究所, 乌鲁木齐 830091; 3. 阿克苏市林业局, 阿克苏 843000)

摘 要 【目的】明确常用杀虫剂不同残留期对松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* 的影响。【方法】采用模拟实验, 测定了 7 种药剂田间推荐使用剂量对松毛虫赤眼蜂蛹和成虫的残留毒性。【结果】阿维菌素和毒死蜱对松毛虫赤眼蜂成蜂的毒性最高, 在田间推荐使用浓度下, 施药后 1~3 d 赤眼蜂死亡率达到 100%, 施药后 5~10 d 死亡率在 70%以上, 而甲维盐的毒性较低, 施药后 7 d 赤眼蜂死亡率为 22.2%, 施药后 10 d 为 13.3%, 与对照无显著性差异。氯虫苯甲酰胺·高效氯氟氰菊酯在 1~7 d 的死亡率为 38%~86.8%, 至第 10 天与清水对照无显著差异。苦参碱也具有较高的毒性, 施药后 1~7 d 赤眼蜂死亡率为 28.5%~82.3%。氟啶虫胺腈的毒性和氯虫苯甲酰胺·高效氯氟氰菊酯相当, 施药后 10 d 赤眼蜂死亡率与对照差异不明显。在 7 种待测的药剂中甲氧虫酰肼对赤眼蜂的影响最小, 除施药后 1~3 d 高于对照外, 其后赤眼蜂的死亡率与对照无显著差异。在推荐使用剂量下, 7 种药剂对赤眼蜂蛹羽化出蜂率毒死蜱的影响最大, 平均出蜂率为 68%, 与清水对照差异显著, 其它几种药剂对出蜂率无影响。表明在实施释放赤眼蜂的害虫综合治理方案中, 尽量避免使用阿维菌素、毒死蜱等农药, 而甲氧虫酰肼对赤眼蜂残留毒性较低, 可以推广使用; 同时根据药剂的残留毒性掌握好最后一次施药与放蜂的间隔期, 以免造成对赤眼蜂的伤害。【结论】为开展害虫综合治理中如何协调化学防治和天敌的控害作用提供了基础数据。

关键词 松毛虫赤眼蜂, 杀虫剂, 害虫综合治理, 生物防治

Residual toxicity of seven pesticides to *Trichogramma dendrolimi*

FENG Hong-Zu^{1**} LIU Jun¹ WANG Lan¹ LI Zhi-Gang³ XU Jian-Jun^{2***}

(1. Tarim University/Engineering Laboratory of Featured Fruit Tree in Southern Xinjiang, XPCC/Scientific Observing and Experimental Station of Crop Pests in Alar; Ministry of Agriculture, P. R. China/Southern Xinjiang Key Laboratory of IPM of Tarim University, Alar 843300, China; 2. Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China; 3. Forestry Bureau of Aksu, Aksu 843000, China)

Abstract 【Objectives】To clarify the residual toxicity of common insecticides on *Trichogramma dendrolimi*. 【Methods】The residual toxicity to *Trichogramma* pupae and adults of seven insecticides applied at the recommended dose was determined by simulation experiment. 【Results】Avermectin and Chlorpyrifos had the highest toxicity to *T. dendrolimi* adults, causing 100% mortality after spraying at the recommended concentration for 1-3 days, and 70% mortality after spraying for 5-10 days. Emamectin Benzoate was less toxic, mortality rates declined to 22.2% after spraying for 7 days and to 13.3% after spraying for 10 days, which was not significantly different ($P>0.05$) to those produced by the control treatment (water). Spraying Gatifloxacin caused mortality of 38%-86.8% during 1-7 days, but mortality was not significantly different to the control ($P>0.05$) after spraying for 10 days. Matrine had relatively high toxicity to adult *T. dendrolimi* with a mortality of 28.5%-82.3% after spraying for 1-7 days. The toxicity of Sulfoxaflor was similar to that of Gatifloxacin, with no significant

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金 (31560513); 新疆维吾尔自治区财政林业科技专项: 果园食心虫绿色防控关键技术研究与示范新林计发[2014]40 号文

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

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

收稿日期 Received: 2016-01-07, 接受日期 Accepted: 2016-06-09

difference in mortality compared to the control after 10 days. Methoxyfenozide had the least toxicity to *T. dendrolimi* among seven insecticides tested, with no significant difference in mortality compared to the control after the first 1-3 days of spraying. At the recommended dose, Chlorpyrifos had the greatest influence on the eclosion rate whereas all the other pesticides had no effect. The average eclosion rate after spraying Chlorpyrifos was 68%, which was significantly different from the control. The result showed that application of highly toxic insecticides, such as Abamectin and Chlorpyrifos, should be avoided after releasing *Trichogramma* as part of an integrated pest management program. The use of low residual toxic insecticides like Methoxyfenozide is recommended. In order to avoid adverse effects on *Trichogramma* from residual insecticide toxicity, the delay between the final pesticide application and the release of *Trichogramma* should be more strictly observed. [Conclusion] It provides the basic data for coordinating the chemical control and natural enemies control on integrated pest management.

Key words *Trichogramma dendrolimi*, insecticide, integrated pest management, biological control

赤眼蜂 *Trichogramma* spp. 是许多农林害虫重要的卵寄生性天敌, 尤其是在抑制鳞翅目害虫发生危害方面发挥重要作用。近年来, 我国对赤眼蜂规模化扩繁技术的研究已取得显著成效, 成功研制出了利用柞蚕卵、米蛾卵、人造卵繁殖赤眼蜂的技术(刘树生和施祖华, 1969; 万方浩等, 2000; 耿金虎等, 2005)。新疆自 1998 年起在赤眼蜂繁殖及田间应用领域通过技术引进创新, 形成了具有自主知识产权的技术成果, 2009—2013 年在南疆地区苹果园和香梨园开展利用人工繁殖赤眼蜂防治苹果蠹蛾、梨小食心虫综合配套技术试验示范, 结果显示, 果园释放赤眼蜂对苹果蠹蛾等蛀果类害的持续防治效果显著(许建军等, 2014)。

在有害生物综合防治中, 化学防治仍是当前及今后一段时期内控制害虫的重要手段(Rae *et al.*, 2009; 高希武, 2010; Bueno *et al.*, 2011), 化学农药在使用中不但杀死靶标害虫, 也伤害了天敌昆虫, 尤其是高毒农药对赤眼蜂有很大的杀伤力, 如常规的有机磷类、氨基甲酸酯类和拟除虫菊酯类杀虫剂以及部分新烟碱类杀虫剂和大环内酯类药剂(阿维菌素)对赤眼蜂具有极高的安全风险(朱九生等, 2009; Carmo *et al.*, 2010; Bueno *et al.*, 2011; 王德森等, 2011; 王彦化等, 2012; 徐华强等, 2014), 如何协调化学防治和生物防治的关系一直是害虫综合治理中需要解决的关键问题(Gardner *et al.*, 2011; Prabhaker *et al.*, 2011)。开展农药对赤眼蜂的毒性和安全性评价, 避免或减轻农药在使用过程中对天敌的

伤害就显得尤为重要。国内外学者在农药对赤眼蜂影响方面开展了大量的研究, 取得了许多重要的研究成果, 但较多的研究是在室内条件下进行的杀虫剂对赤眼蜂的急性毒性评价(Carmo *et al.*, 2010; Bueno *et al.*, 2011; 王德森等, 2011; 王彦化等, 2012; 徐华强等, 2014)。而赤眼蜂在田间的活动空间以及接触农药的剂量和方式(接触施药后的植物表面、取食花蜜等)与室内不完全相同, 导致农药对赤眼蜂的室内测定与田间应用结果可能不同。另外, 农药施用后被植物吸收或在光照、温度、湿度等因素下降解, 赤眼蜂摄入的药量减少, 死亡率就会偏小。因此, 如何正确评价农药对赤眼蜂的田间急性毒性以及残留毒性, 研究和掌握农药对天敌的安全性, 合理选择和使用农药, 是协调化学防治与生物防治的关键。

笔者采用模拟试验, 评估了 7 种杀虫剂田间残留毒性对赤眼蜂存活力的影响, 为开展害虫综合治理中如何协调化学防治和天敌的控害作用提供了基础数据。

1 材料与方法

1.1 供试蜂种

松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* Matsumura, 新疆农科院植物保护研究所提供。在人工气候箱中(温度 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$, 相对湿度 70%~80%, 光周期 L:D=16:8)以柞蚕卵为寄主进行繁殖。将羽化 24 h 内的赤眼蜂成蜂供测定用。

1.2 供试杀虫剂

14% 氯虫苯甲酰胺·高效氯氟氰菊酯 (Gatifloxacin tablets) CS, 瑞士先正达公司, 田间推荐使用剂量 500 mg/L; 22% 氟啶虫胺胍 (Sulfoxaflor) SC, 美国陶氏益农公司, 田间推荐使用剂量 250 mg/L; 24% 甲氧虫酰肼 (Methoxyfenozide) SC, 美国陶氏益农公司, 田间推荐使用剂量 333.3 mg/L; 0.3% 苦参碱 (Matrine) AS, 石家庄植物农药研究所生产, 田间推荐使用剂量 2 000 mg/L; 1.8% 阿维菌素 (Abamectin) EC, 陕西上格之路生物科学有限公司; 田间推荐使用剂量 333.3 mg/L; 5% 甲维盐 (Emamectin benzoate) ME, 江苏辉丰农化股份有限公司, 田间推荐使用剂量 666.7 mg/L; 48% 毒死蜱 (Chlorpyrifos) EC, 美国陶氏益农公司, 田间推荐使用剂量 625 mg/L。

1.3 方法

将供试农药按田间推荐浓度稀释, 用手持喷雾器分别喷洒到苹果、香梨叶片上, 叶片正反面均喷湿为止, 为防止漂移, 两种药剂间隔不少于 10 m, 以喷清水的苹果、香梨叶片为对照。喷药后 0、1、2、3、5、7、10 d 分别采集叶片, 置于试管 (2 cm×10 cm) 中备用。(1) 在放置药剂处理 0 d 叶片的指形管中放入育有 50 头左右的即将羽化的赤眼蜂柞蚕卵, 封口后放入培养箱, 待羽化结束后, 检查成蜂羽化率, 以清水做对照, 每处理 15 次重复。(2) 在放置药剂处理 1~10 d 叶片的指形管内接入 40~50 头 24 h 内羽化的赤眼蜂成蜂, 让其在叶片上自由爬行, 封住管口并饲喂 10% 蜂蜜水, 每处理重复 15 次。处理完后放于人工气候箱中 (温度 (25±1) °C, 相对湿度 70%~80%, 光周期 L:D=16:8)。24 h 后检查松毛虫赤眼蜂成蜂的存活情况, 以毛笔轻轻触蜂体不动者为死亡标准。

1.4 数据分析

采用 DPS 14.10 软件进行数据分析, 计算赤眼蜂的死亡率, 并采用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同杀虫剂对松毛虫赤眼蜂的田间毒性

采用模拟法测定了 7 种杀虫剂对松毛虫赤眼蜂成蜂的田间毒性, 结果表明: 香梨叶片用药剂处理后, 不同种类的药剂对松毛虫赤眼蜂成蜂的毒性存在明显差异, 且同一种类药剂的不同品种对同种赤眼蜂成蜂的毒性也存在明显差异 (表 1)。总体来看, 阿维菌素田间使用浓度对松毛虫赤眼蜂毒性最强, 赤眼蜂成蜂的平均死亡率为 90.7%, 而同样是大环内酯类杀虫剂的甲氨基阿维菌素本甲酸盐对松毛虫赤眼蜂的毒性较低, 平均死亡率为 53.2%, 二者差异极显著 ($P<0.01$)。毒死蜱对松毛虫赤眼蜂的残留毒性和阿维菌素相当, 二者无显著差异 ($P<0.05$)。田间残留毒性最小的是甲氧虫酰肼, 在田间推荐使用浓度施药后对松毛虫赤眼蜂成蜂的平均死亡率为 26.9%, 和其它药剂存在极显著差异 ($P<0.01$)。苦参碱、氯虫苯甲酰胺·高效氯氟氰菊酯、甲维盐、氟啶虫胺胍的平均死亡率居中。以施药后 1~10 d 的平均死亡率大小推断各个药剂对松毛虫赤眼蜂的残留毒性大小顺序为: 毒死蜱和阿维菌素>0.3% 苦参碱、氯虫苯甲酰胺·高效氯氟氰菊酯、甲维盐、氟啶虫胺胍>甲氧虫酰肼。苹果叶片用药剂处理后, 不同种类的药剂在是药后不同时间对松毛虫赤眼蜂成蜂的死亡率与香梨叶片处理的基本一致 (表 2)。

2.2 杀虫剂施药后不同时期对赤眼蜂成蜂的残留毒性

7 种不同药剂喷施用香梨叶片后 1~10 d, 松毛虫赤眼蜂接触叶片 24 h 的死亡率存在显著差异 (表 1)。施用药剂后 1~10 d, 接触含有毒死蜱和阿维菌素残留的香梨叶片的赤眼蜂死亡率显著高于其它几种药剂, 施药后 1~3 d 的死亡率均达到 100%, 施药后 5~10 d 的死亡率也在 70% 以上, 而甲氧虫酰肼田间使用浓度施药后 5 d 对松毛虫赤眼蜂成蜂没有影响, 死亡率仅为 10.1%, 与清水对照无显著差异 ($P<0.05$)。苦参碱、氯虫苯甲酰胺·高效氯氟氰菊酯、甲维盐、氟啶

表 1 松毛虫赤眼蜂成虫接触含有不同残留期农药香梨叶片 24 h 的死亡率 (%)

Table 1 The 24 h mortality rate of *Trichogramma dendrolimi* adults contacted by pear leaf with pesticides of different residual period

药剂处理 Treatment	1 d	2 d	3 d	5 d	7 d	10 d	平均 Average
阿维菌素 Abamectin	100.0±0.0a(A)	100.0±0.0a(A)	100.0±0.0a(A)	88.6±2.8a(AbAB)	81.3±5.1aA(bcB)	74.0±4.1aA(cB)	90.7±12.0aA
苦参碱 Matrine	82.3±3.7bB(aA)	81.7±3.2bB(aA)	63.5±2.4bB(bB)	53.8±5.0bB(bB)	28.5±4.2bcBC(cC)	12.7±4.9bB(dC)	53.7±27.5bcB
氯虫苯甲酰胺·高效氯氟氰菊酯 Gatifloxacin tablets	86.9±3.2bB(aA)	83.9±2.0bB(abA)	73.8±4.8bB(bA)	51.7±5.0bB(cB)	38.0±6.8bB(dB)	14.9±3.1bB(eC)	58.1±27.9bB
甲维盐 Emamectin benzoate	81.6±1.5bB(aA)	81.9±2.0bB(aA)	67.1±6.4bB(bAB)	53.1±8.5bB(cB)	22.2±3.3cCD(dC)	13.3±4.7bB(dC)	53.2±29.3cB
甲氧虫酰肼 Methoxyfenozide	57.3±4.4cC(aA)	45.0±3.7cC(dA)	26.9±4.3cC(cB)	10.1±1.4cC(dC)	10.1±2.6dD(dC)	11.7±2.5bB(dC)	26.9±20.0dC
毒死蜱 Chlorpyrifos	100.0±0.0a(A)	100.0±0.0a(A)	100.0±0.0a(A)	87.6±3.7Aa(bAB)	84.5±5.3aA(bABC)	70.9±5.8aA(cC)	90.5±13.1aA
氟啶虫胶脒 Sulfoxaflor	80.7±3.6bB(aA)	78.7±3.6bB(abA)	68.7±3.9bB(bcAB)	59.8±5.4bB(cB)	29.4±8.6bcBC(dC)	15.3±3.1bB(dC)	55.4±27.1bcB
CK	8.3±1.4dD(aA)	9.0±1.4dD(aA)	8.7±1.4 dD(aA)	8.8±0.9cC(aA)	9.9±1.0dD(aA)	8.9±0.7bB(aA)	9.0±2.4eD

表中数据为平均值±标准误。同列数据后标有不同小写字母表示经 Duncan's 新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著, 不同大写字母表示在 $P<0.01$ 水平差异显著; 括弧中不同小写字母表示同行数据经 Duncan's 新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著, 不同大写字母表示在 $P<0.01$ 水平差异显著。下表同。

Data in the table are mean±SE, and followed by different lowercase letters in the same column indicate significant difference at the 0.05 level, while with capital letters indicate significant difference at the 0.01 level by Duncan's new multiple range test. Means with the different lowercase letters in the same row in the parenthesis indicate significant difference at the 0.05 level, while with capital letters indicate significant difference at the 0.01 level by Duncan's new multiple range test. The same below.

表 2 松毛虫赤眼蜂成虫接触含有不同残留期农药苹果叶片 24 h 的死亡率 (%)

Table 2 The 24 h mortality rate of *Trichogramma dendrolimi* adults contacted by apple leaf with pesticides of different residual period

药剂处理 Treatment	1 d	2 d	3 d	5 d	7 d	10 d	平均 Average
阿维菌素 Abamectin	100.0±0.0a(A)	100.0±0.0a(A)	100.0±0.0a(A)	89.4±1.9(abAB)	82.9±2.3aA(bBC)	69.5±4.3aA(cC)	90.3±12.3aA
苦参碱 Matrine	85.0±2.6bB(aA)	74.8±3.8bcBC(bAB)	64.7±3.1bcB(bBC)	53.4±7.8bB(cC)	26.2±6.6cC(dD)	16.4±4.3bB(dD)	53.4±27.3cdCD
氯虫苯甲酰胺·高效氯氟氰菊酯 Gatifloxacin tablets	88.8±2.8bAB(aA)	82.5±1.6bB(abAB)	74.6±3.7bB(bB)	56.9±3.9bB(cC)	40.7±3.9bB(dD)	16.1±2.8bB(eE)	59.9±26.6bB
甲维盐 Emamectin benzoate	83.6±2.6bB(aA)	64.8±7.9cC(bB)	62.6±5.5cB(bB)	52.3±4.2bB(bB)	23.2±5.1cC(dC)	11.3±3.1bB(dC)	49.6±27.4dD
甲氧虫酰肼 Methoxyfenozide	52.5±1.9cC(aA)	42.5±4.8dD(aA)	24.1±4.1dC(bB)	11.4±2.8cC(cBC)	8.7±3.3dD(cBC)	13.7±3.4bB(cC)	25.5±18.2eE
毒死蜱 Chlorpyrifos	100.0±0.0a(A)	100.0±0.0a(A)	100.0±0.0a(A)	88.8±2.5aA(bAB)	84.1±6.8aA(bBC)	72.8±3.4aA(cC)	90.9±12.3aA
氟啶虫胶脒 Sulfoxaflor	82.7±2.7bB(aA)	79.5±2.4bB(aAB)	68.0±4.5bcB(bBC)	61.4±3.7bB(bC)	28.9±5.9bcBC(cD)	16.1±2.6bB(dD)	56.1±26.7bcBC
CK	8.2±1.6dD(aA)	8.7±2.1eE(aA)	9.0±0.7eD(aA)	8.8±2.5cC(aA)	7.6±1.6dD(aA)	8.4±2.1bB(aA)	8.5±3.8fF

虫胺脲施药后 1~10 d 对松毛虫赤眼蜂成蜂死亡率逐渐下降, 施药后 10 d 与清水对照无显著差异 ($P<0.05$)。不同药剂处理苹果叶片后 1~10 d, 松毛虫赤眼蜂接触叶片 24 h 的死亡率与处理香梨叶片的一致 (表 2)。

2.3 杀虫剂对松毛虫赤眼蜂出蜂率的影响

药剂处理后的香梨叶片对松毛虫赤眼蜂的出蜂率有一定影响, 不同药剂处理后松毛虫赤眼蜂的出蜂率之间有较大差异 (图 1)。田间使用浓度下苦参碱和甲氧虫酰肼的出蜂率略高于清水对照, 阿维菌素、氯虫苯甲酰胺·高效氯氟氰菊酯、甲维盐、氟啶虫胺脲的出蜂率略低于对照, 但与对照相比均无显著性差异 ($P<0.05$)。毒死蜱出蜂率为 68%, 显著低于对照 ($P<0.05$), 显微镜下剖卵检查, 发现不能羽化的赤眼蜂成蜂在突破柞蚕卵壳前已经死亡, 说明当田间喷施毒死蜱后投放赤眼蜂寄生卵卡对其影响较大, 推测毒死蜱的熏杀作用对赤眼蜂蛹和成虫发挥作用。

3 讨论

在农业有害生物综合治理体系中, 生物防治措施在实践中能否成功的实施, 往往与能否协调

好化学防治和生物防治有关 (王小艺和沈佐锐, 2002 ;Gardner *et al.*, 2011 ;Prabhaker *et al.*, 2011 ; 范仁俊等, 2013)。人工繁殖和释放赤眼蜂, 是目前有效的生物防治措施, 大量研究表明, 赤眼蜂成蜂在农作物表面活动、取食花粉或液滴, 很容易接触农药进入虫体, 化学农药对赤眼蜂成虫期的毒性最高 (Carmo *et al.*, 2010 ;Bueno *et al.*, 2011 ;王德森等, 2011 ;王彦化等, 2012 ;徐华强等, 2014)。另外, 投放到田间蜂卡中的蛹也可能受到药剂的副作用而影响其羽化和出蜂率 (朱九生等, 2009), 这两个虫态可能是较为敏感的阶段, 故本研究选择松毛虫赤眼蜂蛹期和成虫期开展了 7 种杀虫剂对其田间毒性的研究。结果表明, 阿维菌素和毒死蜱对松毛虫赤眼蜂成蜂的毒性最高, 在田间推荐使用浓度下, 施药后 1~3 d 赤眼蜂死亡率达到 100%, 施药后 5~10 d 死亡率有所降低, 但也在 70% 以上。其它研究表明, 这两种农药对很多赤眼蜂种类也表现出较高的毒性风险 (朱九生等, 2009 ;徐华强等, 2014 ;张俊杰等, 2014)。14% 氯虫苯甲酰胺·高效氯氟氰菊酯微囊悬浮剂为近年研发成功的一种新型二酰胺类氯虫苯甲酰胺和高效氯氟氰菊酯的混配剂, 氯虫苯甲酰胺属于微毒级农药, 对赤眼

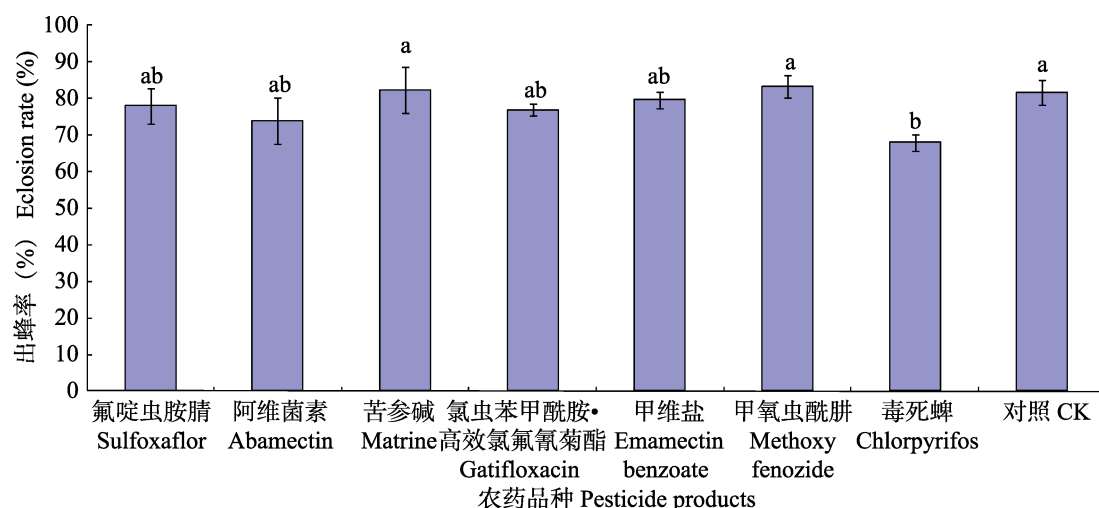


图 1 药剂对松毛虫赤眼蜂出蜂率的影响

Fig. 1 Pesticides effect on eclosion rate of *Trichogramma dendrolimi*

图中数据为平均数±标准误。柱上标有不同字母表示经 Duncan's 新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。

Data in the figure are mean±SE. Histograms with different letters indicate significantly different at 0.05 level by Duncan's new multiple range test.

蜂为中等风险至低风险性药剂(徐华强等, 2014; 张俊杰等, 2014), 高效氯氟菊酯在推荐使用浓度下对松毛虫赤眼蜂(张俊杰等, 2014)、螟黄赤眼蜂(Wang *et al.*, 2012)等具有明显的触杀毒性, 为高风险性。本研究结果表明, 当使用推荐剂量时, 对松毛虫赤眼蜂成蜂 1~7 d 的死亡率为 38%~86.8%, 至第 10 天与清水对照无显著差异, 推断氯虫苯甲酰胺·高效氯氟菊酯对赤眼蜂的田间残留毒性主要来自高效氯氟菊酯。苦参碱属于植物杀虫剂, 本研究测定对松毛虫赤眼蜂也具有较高的毒性, 施药后 1~7 d 赤眼蜂死亡率为 28.5%~82.3%。氟啶虫胺胍的毒性和氯虫苯甲酰胺·高效氯氟菊酯相当。在 7 种待测的药剂中甲氧虫酰肼对赤眼蜂的影响最小, 除施药后 1~3 d 高于对照外, 其后赤眼蜂的死亡率与对照无显著差异。本研究还明确了 7 种药剂对赤眼蜂蛹羽化出蜂率的影响。在推荐使用剂量下, 毒死蜱处理的叶片, 平均出蜂率最小为 68%, 与清水对照差异显著, 其它几种药剂处理后对赤眼蜂的出蜂率无影响, 与清水对照差异不显著。

目前, 农药对赤眼蜂的风险评估较多的是室内试验。在室内条件下进行的, 赤眼蜂成蜂受到最大量的农药选择压(Carmo *et al.*, 2010; Bueno *et al.*, 2011; 王德森等, 2011; 王彦化等, 2012; 徐华强等, 2014); 而在实际生产田间施药后, 药剂会受到温度、湿度、阳光、漂移和被植物吸收等多种因素的影响, 同样浓度的农药, 在田间毒杀赤眼蜂的效果远低于室内试验。因此, 实验室测定的农药对赤眼蜂的毒性结果, 只能相对地揭示农药的毒性大小, 不能完全代表农药在田间施用时对赤眼蜂的危害程度, 应开展相关的田间风险评估试验。结合本研究结果, 在实施释放赤眼蜂的害虫综合治理方案中, 应减少使用对赤眼蜂具有高风险的农药品种, 尽量避免使用阿维菌素、毒死蜱等农药, 而甲氧虫酰肼对赤眼蜂残留毒性较低, 施药后 3 d 其残留对赤眼蜂的存活率无影响, 可在害虫综合治理中推广使用。在人工释放赤眼蜂时, 同时也要注意与最后一次施药的间隔期, 最好在施药后 5~7 d 再放蜂, 以免对赤眼蜂造成大量伤害。

参考文献 (References)

- Bueno AF, Batistela MJ, Bueno RCOF, Franca-Neto JB, Nishikawa MAN, Filho AL, 2011. Effects of integrated pest management, biological control and prophylactic use of insecticides on the management and sustainability of soybean. *Crop Protection*, 30 (7): 937–945.
- Carmo EL, Bueno AF, Bueno RCOF, 2010. Pesticide selectivity for the insect egg parasitoid *Telenomus remus*. *BioControl*, 55(4): 455–464.
- Elzen GW, O'Brien PI, Powell JE, 1989. Toxic and behavioral effects of selected insecticides on parasitoid *Microplitis croceipes*. *Biocontrol*, 34(1): 87–94.
- Fan RJ, Liu ZF, Lu JJ, Feng YT, Yu Q, Gao Y, Zhang RX, 2010. 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.]
- Gao XW, 2010. Current status and development strategy of chemical control in China. *Plant Protection*, 36(4): 19–22. [高希武, 2010. 我国害虫化学防治现状与发展策略. 植物保护, 36(4): 19–22.]
- Gardner J, Hoffmann MP, Pitcher SA, 2011. Integrating insecticides and *Trichogramma ostrinae* to control European corn borer in sweet corn: economic analysis. *Biol. Control*, 56(1): 9–16.
- Geng JH, Shen ZR, Li ZX, Zhang F, 2005. Optimal stage and temperature for cold storage of *Trichogramma dendrolimi* reared on *Antheraea pernyi* eggs. *Acta Entomologica Sinica*, 48(6): 903–909. [耿金虎, 沈佐锐, 李正西, 张帆, 2005. 利用柞蚕卵繁殖的松毛虫赤眼蜂的适宜冷贮虫期和温度. 昆虫学报, 48(6): 903–909.]
- Liu SS, Shi ZH, 1996. Recent developments in research and utilization of *Trichogramma* spp. *Chinese Journal of Biological Control*, 12(2): 78–84. [刘树生, 施祖华, 1996. 赤眼蜂研究和应用进展. 中国生物防治, 12(2): 78–84.]
- Prabhaker N, Castle SJ, Naranjo SE, Toscano NC, Morse JG, 2011. Compatibility of two systemic neonicotinoids, imidacloprid and thiamethoxam, with various natural enemies of agricultural thiamethoxam, with various natural enemies of agricultural pests. *Journal of Economic Entomology*, 104(3): 773–781.
- Rae RG, Robertson JF, Wilson MJ, 2009. Optimization of biological (*Phasmarhabditis hermaphrodita*) and chemical (iron phosphate and metaldehyde) slug control. *Crop Protection*, 28(9): 765–773.
- Wan FH, Ye ZC, Guo JY, XIE M, 2000. Progress and prospect of biological control in China. *Entomological Knowledge*, 37(2): 65–74. [万方浩, 叶正楚, 郭建英, 谢明, 2000. 我国生物防治

- 研究的进展及展望. 昆虫知识, 37(2): 65–74.]
- Wang DS, He YR, Guo XL, Luo YL, 2012. Acute toxicities and sublethal effects of some conventional insecticides on *Trichogramma chilonis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Journal of Economic Entomology*, 105 (4): 1157–1163.
- Wang DS, Pan F, He YR, Guo XL, Chen Q, 2011. Sublethal effects of eleven insecticides of different categories on reproduction of *Trichogrammatoidea bactrae* Nagaraja (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Acta Entomologica Sinica*, 54(1): 56–63. [王德森, 潘飞, 何余容, 郭祥令, 陈俏, 2011. 11 种不同类型杀虫剂对卷蛾分索赤眼蜂繁殖的亚致死效应. 昆虫学报, 54(1): 56–63.]
- Wang XY, Shen ZR, 2002. Selective toxicity of four insecticides on green peach aphid (Homoptera: Aphididae) and predator multicolored asian ladybird (Coleoptera: Coccinellidae) and the coordination evaluation of biological&chemical control to insect pest. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 4(1): 34–38. [王小艺, 沈佐锐, 2002. 四种杀虫剂对桃蚜和异色瓢虫的选择毒性及害虫生物防治与化学防治的协调性评价. 农药学学报, 4(1): 34–38.]
- Wang YH, Yu RX, Zhao XP, An XH, Chen LP, Wu CX, Wang Q, 2012. Acute toxicity and safety evaluation of neonicotinoids and macrocyclic lactones to adult wasps of four *Trichogramma species* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Acta Entomologica Sinica*, 55(1): 36–45. [王彦化, 俞瑞鲜, 赵学平, 安雪花, 陈丽萍, 吴长兴, 王强, 2012. 新烟碱类和大环内酯类杀虫剂对四种赤眼蜂成蜂急性毒性和安全性评价. 昆虫学报, 55(1): 36–45.]
- Xu HQ, Liu YY, Zhu GD, Xue M, 2014. Comparison of toxicity and safety evaluation of 16 kinds of pesticides on *Trichogramma ostrinae* and *Encarsia Formosa*. *Journal of Environmental Entomology*, 36 (6): 959–964. [徐华强, 刘艳艳, 祝国栋, 薛明, 2014. 16 种不同类型农药对两种寄生蜂的毒性比较和安全性评价. 环境昆虫学报, 36 (6): 959–964.]
- Xu JJ, Feng HZ, Li CM, Tuerxun, Wang L, Li ZG, He J, Guo WC, 2014. Effect of releasing *Trichogramma* to control the *Cydia pomonella* (L.) and *Grapholitha molesta* (Busck). *Chinese Journal of Biological Control*, 30(5): 690–695. [许建军, 冯宏祖, 李翠梅, 吐尔逊, 王兰, 李志刚, 何江, 郭文超, 2014. 释放赤眼蜂防治苹果蠹蛾、梨小食心虫效果研究. 中国生物防治学报, 30(5): 690–695.]
- Zhang JJ, Du WM, Jin XF, Ruan CC, Zang LS, 2014. Susceptibility of the egg parasitoid *Trichogramma dendrolimi* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) to three kinds of insecticides commonly used in fields. *Journal of Plant Protection*, 41(5): 554–560. [张俊杰, 杜文梅, 金雪菲, 阮长春, 臧连生, 2014. 松毛虫赤眼蜂对三种农田常用杀虫剂的敏感性. 植物保护学报, 41(5): 554–560.]
- Zhu JS, Lian ML, Wang J, Qin S, 2009. The toxicity of abamectin on different developmental stages of *Trichogramma evanescens* and effects on its population dynamics. *Acta Ecologica Sinica*, 29(9): 4738–4744. [朱九生, 连梅力, 王静, 秦曙, 2009. 阿维菌素对广赤眼蜂(*Trichogramma evanescens*)不同发育阶段的毒性和实验种群动态的影响. 生态学报, 29(9): 4738–4744.]