

四种农药两种处理方法对红火蚁工蚁作用的室内筛选*

张震^{1,2**} 何晓芳^{1***}

(1. 华南农业大学农学院昆虫学系, 广州 510642; 2. 广东中烟工业有限责任公司, 广州 510620)

摘要 【目的】为探讨及筛选对红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 工蚁高效低毒的药剂, 以应用于红火蚁的化学防治。【方法】本试验采用胃毒、药膜法测定阿维菌素、甲维盐、辛硫磷、高效氯氰菊酯 4 种农药对红火蚁工蚁的室内毒力测定。【结果】辛硫磷对红火蚁工蚁的胃毒 LC_{50} 值最小, 为 $3.42 \times 10^{-4} \mu\text{g/mL}$; 而甲维盐对红火蚁工蚁的触杀 LC_{50} 值最小, 为 $2.56 \times 10^{-5} \mu\text{g/mL}$ 。【结论】红火蚁工蚁对辛硫磷、甲维盐较为敏感。甲维盐作为以阿维菌素为原料经过化学修饰而得到的一种高效杀虫剂, 利用红火蚁“交哺习性”进行传毒, 作为胃毒饵剂具有较好的前景。

关键词 红火蚁, 触杀作用, 胃毒作用

A bioassay for screening the toxicity of baits to control the red imported fire ant

ZHANG Zhen^{1,2**} HE Xiao-Fang^{1***}

(1. Department of Entomology, College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou, 510642, China;

2. China Tobacco Guangdong Industrial Co. Ltd, Guangzhou, 510620, Chian)

Abstract [Objectives] To control the red imported fire ant, *Solenopsis invicta*, toxicities of four insecticides were evaluate and screened in laboratory. [Methods] The contact and oral toxicities of phoxim, beta-cypermethrin, emamectin benzoate and abamectin against worker ants of the red imported fire ant, and their toxic regression equations, were evaluated in the laboratory. Totally, five concentrations and four treatment duration (12, 24, 48 and 72 h) for each insecticide were used to test by five repeats. [Results] The results show that the all the corrected mortalities were increasing by increasing of the concentrations and the treatment durations among the four insecticides. The minimum LC_{50} values of phoxim and emamectin benzoate were $3.42 \times 10^{-4} \mu\text{g/mL}$ and $2.56 \times 10^{-5} \mu\text{g/mL}$, respectively. [Conclusion] The results suggest that the red imported fire ant is sensitive to phoxim and banleptm. Banleptm, a chemically modified avermectin, is not only be transferred by between worker ants, but also shows a promising prospects as an orally ingested bait.

Key words red imported fire ant, contact toxicity, oral toxicity

红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 自 20 世纪 30 年代首次被报道入侵美国以来, 对红火蚁的研究与防治已经持续 80 多年。虽然也从原产地南美洲引进原产地的寄生性蚤蝇 (*Pseudacteon tricuspidis* 和 *P. curvatus*) 作为长期控制红火蚁的一种方法, 由于很低的寄生率 (田间寄生率少于

5%) (Morrison and Porter, 2005)) 及不确定的威吓作用 (Morrison, 2000), 仍未达到有效控制红火蚁的种群。化学防治特别是药剂和毒饵仍然是红火蚁防治的主要方法 (Williams and Porter, 1994; Buhs, 2002)。

自红火蚁入侵中国以后 (曾玲等, 2006),

* 资助项目 Supported projects: 广东省科技计划产学研项目 (2015B090903076)

**第一作者 First author, E-mail: 13794374497@139.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: hexf@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2015-11-02, 接受日期 Accepted: 2015-11-12

红火蚁的防治主要有触杀性药剂灌巢和饵剂诱杀两种方式(郑基焕等, 2010 ;李平东等, 2014)。单蚁丘灌巢被用于防治城市公共绿化地, 由于施用灌巢药量不够、施用时期和时间方法不正确, 防治效果不尽如人意, 有时会造成红火蚁巢人为分巢和扩散。我国用于防治红火蚁的饵剂配方多是照搬白蚁防治的, 虽然施用这些饵剂防治红火蚁取得了一些防效, 但其药剂配方向针对性差, 而且其颗粒较少, 只适用于单蚁丘处理, 不适合红火蚁的大面积撒播防治(王建国等, 2006)。而且这些饵剂的使用费工费时, 效果不稳定, 产品保存期短, 遇雨易变质。因此, 我国红火蚁防治技术急待完善和规范。同时, 由于杀虫剂的不规范使用, 近年来该虫抗药性问题越来越明显。

为了筛选出对红火蚁既可以作为触杀剂, 又可利用其交哺和清理体表的生物学习性(Sharma and Goel, 1994 ;台虹等, 2000), 即通过施药后毒剂可在红火蚁个体间相互交流传染, 且不会在土壤中形成高残留的高效、低度药剂, 本实验通过对有机磷杀虫剂辛硫磷、拟除虫菊酯类农药高效氯氰菊酯及甲维盐、阿维菌素两种生物型农药进行室内触杀和胃毒试验, 测定了其触杀和胃毒毒力, 用琼脂作为饵剂载体, 可抵抗下雨或潮湿天气。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

供试红火蚁采自广东省广州市华南农业大学校内。参照 Kuriachan 和 Vinson (2000) 的方法, 用大塑料桶从田间采回红火蚁蚁群, 放置 1~2 d, 待蚁群在桶内建立了新的蚁巢后, 将自来水缓慢滴入桶内, 令红火蚁从蚁巢中自动上移、浮出。将蚁群转入盆口涂有特氟龙的塑料盒中, 在室内(室温 25~30℃ 相对湿度 65%~80%) 进行人工饲养, 1 周后取个体大小一致、健康的大型工蚁(约 2.30 mg) 供试。

1.2 供试药剂

辛硫磷(92%原药)、高效氯氰菊酯(95%原药)、阿维菌素(92%原药) 和甲维盐(77%

原药) 由广州市大丰植保站提供, 食用级琼脂粉购于石狮市环球琼胶工业有限公司。

1.3 测定方法

1.3.1 药膜测定法 根据预备实验所确定的浓度区间, 将供试药剂用丙酮完全溶解、配制成母液, 取出母液与丙酮混合、稀释成 5 种浓度药剂。将 2 mL 药剂倒入 200 mL 烧杯, 轻轻转动烧杯使农药在杯壁、杯底均匀形成一层底面积 28.3 cm²、高 4 cm 的药膜, 静置约 2~3 h 使溶剂挥发至干。每杯接入 20 头健康、大小相近(约为 2.30 mg) 的红火蚁工蚁进行试验, 药膜上方均匀涂抹一层特氟龙防止试虫逃逸, 以规格约为 10%糖水供水及糖分。设丙酮处理作为对照。重复试验 5 次, 分别于 12、24、48、72 h 内记录阿维菌素、甲维盐死亡率, 以用毛笔将成虫翻身后 30 s 内不能翻转视为死亡。对照组死亡率在 10%以下为有效试验。

1.3.2 胃毒测定法 根据预实验所确定的浓度区间, 将供试药剂用丙酮完全溶解、配制成母液, 取出母液与丙酮混合、稀释成 5 个浓度药剂。将规格为 1 cm³ 10%糖水琼脂浸泡在稀释后的药剂中 10 s, 取出并静置约 2~3 h。每杯接入 20 头健康、大小相近(约为 2.30 mg) 的红火蚁工蚁进行试验, 杯口周围均匀涂抹一层特氟龙防止试虫逃逸。设丙酮处理作为对照。重复试验 5 次, 分别于 48 h 内记录辛硫磷、高效氯氰菊酯死亡率, 72 h 内记录阿维菌素、甲维盐死亡率, 以用毛笔将成虫翻身后 30 s 内不能翻转视为死亡。对照组死亡率在 10%以下为有效试验。

1.4 统计分析

1.4.1 室内毒力测定计算方法 实验数据用 SPSS 统计软件处理, 按照贾春生(2006) 的数据处理方法, 以使用药剂的浓度对数值(Log concentration) 为自变量, 以对应的校正死亡率为应变量, 计算出毒力回归方程(Log concentration-probit line, LC-P line)、LC₅₀ 及其 95%置信区间(95% confidence interval, 95%CI)、相关系数(Correlation index, R) 等参数。

死亡率(%) = (死亡蚁数 / 供试蚁数) × 100 ,

校正死亡率(%) = (处理死亡率 - 对照死亡率 / 100 - 对照死亡率) × 100。

1.4.2 毒力差异分析 4 种农药胃毒效果、触杀效果在不同作用时间之间的差异比较用 SPSS 软件中的 ANOVA 方法进行分析。以不同的小写字母(a、b、c 和 d) 表示同种农药在同一浓度处理下校正死亡率在不同时间段存在显著差异($P < 5\%$); 以不同的大写字母(A、B、C 或 D) 表示同种农药不同浓度处理下校正死亡率在同一时间段存在显著差异($P < 5\%$)。对 4 种药剂对红火蚁大型工蚁胃毒作用、触杀作用进行毒力回归分析。

2 结果与分析

2.1 药膜触杀测定法

室内杀虫剂的触杀活性试验表明(见表 1), 不同类型的供试药剂对红火蚁工蚁的触杀活性有差异, 但对大多数供试药剂敏感。用药后, 大型工蚁的校正死亡率随着处理浓度增加而增加, 逐日累计校正死亡率处理随着时间的延长而上升。高效氯氰菊酯作为一种拟除虫菊酯类杀虫剂, 生物活性较高, 是氯氰菊酯的高效异构体, 具有触杀和胃毒作用。低毒、击倒速度快, 对红火蚁工蚁的触杀效果最好, 其次是辛硫磷, 用 $0.08 \mu\text{g/mL}$ 辛硫磷与 $0.125 \mu\text{g/mL}$ 高效氯氰菊酯处理 72 h 后, 死亡率均能达到 85% 以上(表 1)。由表 2 可知, 辛硫磷触杀的 LC_{50} 为 $2.15 \times 10^{-2} \mu\text{g/mL}$, 在此浓度下 12 h 与 48 h 死亡率具有显著差异性, 且任意时间段下浓度为 $0.01 \mu\text{g/mL}$ 与 $0.04 \mu\text{g/mL}$ 校正死亡率差异显著(表 1)。上述两种农药都具有作用速度快, 效果明显的优点, 施药后 48 h 内表现出较高的死亡率, 适宜作为灌巢用杀虫剂。另外, 阿维菌素对红火蚁工蚁的触杀毒力极弱, 72 h LC_{50} 值仅为 $136.47 \mu\text{g/mL}$, 其余 3 种供试农药的 LC_{50} 值均低于 $0.1 \mu\text{g/mL}$, 其中甲维盐 72 h 触杀 LC_{50} 最低, 但不具备高效、快速触杀活性的特征(表 2)。生物型农药阿维菌素与甲维盐, 短时触杀效果相对较慢, 一般在施药后 2~3 h 内能表现出较高的触杀效果。

2.2 胃毒测定法

胃毒活性试验表明(表 3), 4 种药剂逐日累计校正死亡率呈上升趋势。辛硫磷的 48 h LC_{50} 值最低, 为 $3.42 \times 10^{-4} \mu\text{g/mL}$, 其次为甲维盐, 阿维菌素所用浓度最高, 72 h LC_{50} 值为 $8162.38 \mu\text{g/mL}$ 。施用 $6250 \mu\text{g/mL}$ 阿维菌素饵剂处理, 12 h 与 24 h 校正死亡率差异不显著(表 4)。由于红火蚁是一种社会性昆虫, 个体接触频率非常高, 而且红火蚁移动能力强, 可以从药剂处理区迅速逃离, 通过利用其“交哺习性”进行传毒, 需选用高效、表现毒性较慢的农药, 甲维盐作为以阿维菌素为原料经过化学修饰而得到的一种高效抗生素类杀虫剂, 作为胃毒饵剂具有较好的前景, 实验表明, 在施用甲维盐、阿维菌素 24 h 内利于红火蚁个体间传毒。

3 讨论与结论

黄田福等(2007)触杀实验仅在杯口涂抹适量爽身粉, 本实验将药膜与特氟龙交界, 确保供试蚁时刻与药膜接触, 对触杀效果的测定更为准确。在本实验对胃毒毒力测定中, 以琼脂作为毒剂载体, 相较于火腿肠片、面包屑能较长时间保持湿润、不易变质, 但在对红火蚁的诱集方面不如后者, 导致工蚁对琼脂的取食量较少, 相较于韦昌华等(2008)的实验结果, 本实验 LC_{50} 普遍较高。

通过对 4 种药剂的室内毒力测定, 辛硫磷、高效氯氰菊酯具有见效速度快、致死率高的特性, 作为灌巢用杀虫剂具有一定的前景。而生物类农药阿维菌素、甲维盐致死时间较长, 该结果与前人研究结果一致(黄田福等, 2007; 王磊等, 2011)。并且, 符合 Lofgen 等(1964)对于毒饵杀虫剂的特性要求, 且甲维盐作为以阿维菌素为原料经过化学修饰而得到的一种高效抗生素类杀虫剂, 作为胃毒饵剂具有较好的前景, 由于较高胃毒和较低触杀活性, 这样就不致于快速杀死觅食工蚁, 利用红火蚁个体接触频率非常高, 且移动能力较强, 可以从药剂处理区迅速逃离并携带一定量药剂, 将其加工成毒饵后药剂在蚁群中有良好的传导毒杀作用。

表 1 4 种农药触杀效果: 5 种浓度和 4 个作用时间的逐日累计校正死亡率 (%)
Table 1 Corrected mortalities of four insecticides against major worker ants of the red imported fire ant by contact toxicity (%)

药剂 Insecticides	浓度 Concentrations	12 h	24 h	48 h	72 h
辛硫磷 Phoxim	0.08	42.45 ± 4.55 aA	72.36 ± 4.65 bA	78.82 ± 4.26 bcA	86.08 ± 1.20 cA
	0.04	35.14 ± 2.19 aA	49.94 ± 3.60 bB	60.45 ± 3.07 cB	64.88 ± 2.27 cB
	0.02	22.12 ± 2.64 aB	35.89 ± 6.03 abBC	45.03 ± 5.22 bC	50.35 ± 4.17 bC
	0.01	11.11 ± 1.91 aC	24.48 ± 5.54 bC	39.16 ± 4.02 cC	40.39 ± 3.85 cC
	0.005	5.61 ± 1.06 aC	7.47 ± 3.35 aD	19.87 ± 1.09 bD	21.21 ± 5.18 bD
高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	0.5	62.72 ± 7.75 aA	73.81 ± 3.16 aA	93.89 ± 2.31 bA	100.00 ± 0.00 bA
	0.25	50.03 ± 5.04 aAB	60.61 ± 6.13 aB	84.48 ± 8.30 bAB	91.19 ± 4.68 bAB
	0.125	41.81 ± 3.08 aBC	45.68 ± 1.43 aC	81.39 ± 4.73 bABC	86.17 ± 2.44 bBC
	0.0625	36.63 ± 2.73 aC	40.31 ± 3.07 aCD	75.89 ± 3.81 bBC	84.09 ± 5.25 bBC
	0.03125	27.76 ± 4.71 aC	30.81 ± 3.09 aD	67.13 ± 6.13 bC	77.19 ± 1.62 bC
甲维盐	5×10 ⁻³	41.61 ± 2.95 aA	55.46 ± 7.26 aA	75.78 ± 3.74 bA	94.91 ± 2.94 cA
Emamectin benzoate	10 ⁻³	34.90 ± 2.83 aA	42.45 ± 2.68 aAB	66.34 ± 4.77 bAB	76.69 ± 6.76 bB
	2×10 ⁻⁴	22.08 ± 1.20 aB	32.70 ± 3.87 aBC	53.06 ± 7.54 bBC	64.46 ± 3.73 bBC
	4×10 ⁻⁵	14.44 ± 3.72 aBC	20.20 ± 4.16 aCD	39.23 ± 2.44 bCD	51.50 ± 2.44 bCD
	8×10 ⁻⁶	7.38 ± 4.26 aC	11.54 ± 2.04 aD	29.98 ± 2.63 bD	45.36 ± 3.81 cD
阿维菌素	50 000	47.63 ± 3.25 aA	58.85 ± 3.10 bA	72.62 ± 2.48 cA	93.39 ± 3.82 dA
Abamectin	10 000	35.57 ± 1.29 aB	47.11 ± 5.35 abA	58.25 ± 4.52 bB	77.67 ± 4.36 cB
	2 000	22.21 ± 3.60 aC	30.26 ± 1.24 aB	44.93 ± 3.56 bC	68.41 ± 3.84 cB
	400	10.68 ± 1.32 aD	15.94 ± 4.78 aC	33.16 ± 4.13 bD	56.50 ± 3.62 cC
	80	4.02 ± 2.01 aD	6.98 ± 3.59 aC	26.07 ± 3.50 bD	50.05 ± 1.13 cC

表中确定浓度下不同小写字母 a、b 表示相同药剂在同一浓度处理下校正死亡率在不同时间段内经 Duncan's 新复极差检验在 $P < 0.05$ 水平下差异显著; 表中确定时间内不同大写字母 A、B 表示同种药剂的校正死亡率在不同浓度下经 Duncan's 新复极差检验在 $P < 0.05$ 水平下差异显著。表 3 同。

Data followed by different lowercase letters indicate that significant difference ($P < 0.05$) of corrected mortalities among different periods with the same concentration and same insecticide by Duncan's multiple comparison, while followed by different capital letters indicate that significant difference ($P < 0.05$) of corrected mortalities among different concentrations with same periods and same insecticide by Duncan's multiple comparison. The same as Table 3.

表 2 4 种药剂对红火蚁大型工蚁触杀作用毒力
Table 2 Toxicities of four insecticides against major worker ants of the red imported fire ant by contact toxicity

药剂 Insecticide	毒力回归方程 Regression equation	相关系数 Coefficient(R)	LC ₅₀ (μg/mL)	95%置信区间 95% fiducial (μg/mL)
辛硫磷 Phoxim	$Y = 1.260X + 2.100$	0.98895	2.15×10^{-2}	$1.73 \times 10^{-2} - 2.67 \times 10^{-2}$
高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	$Y = 0.791X + 1.625$	0.98709	8.82×10^{-3}	$1.59 \times 10^{-3} - 1.90 \times 10^{-2}$
甲维盐 Emamectin benzoate	$Y = 0.546X + 2.506$	0.98662	2.56×10^{-5}	$1.10 \times 10^{-6} - 9.13 \times 10^{-5}$
阿维菌素 Abamectin	$Y = 0.481X - 1.027$	0.99052	136.47	46.86-279.10

表 3 4 种农药胃毒效果: 5 种浓度和 4 个作用时间的逐日累计校正死亡率 (%)
Table 3 Corrected mortalities of four insecticides against major worker ants of the red imported fire ant by oral toxicity (%)

药剂 Insecticides	浓度 Concentrations	12 h	24 h	48 h	72 h
辛硫磷	6.25	70.46 ± 4.06 aA	82.85 ± 3.92 bA	87.49 ± 4.82 bA	100 ± 0.00 cA
Phoxim	1.25	59.93 ± 4.90 aB	75.41 ± 5.54 abAB	82.52 ± 1.26 bAB	87.41 ± 8.74 bAB
	0.25	47.95 ± 1.32 aC	67.07 ± 2.05 bBC	77.47 ± 1.73 cBC	84.19 ± 1.01 dB
	0.05	35.28 ± 2.58 aD	60.60 ± 3.56 bC	72.27 ± 2.52 cCD	79.15 ± 2.07 cBC
	0.01	19.09 ± 1.90 aE	54.49 ± 5.01 bC	65.10 ± 2.67 cD	67.74 ± 1.66 cC
高效氯氰菊酯	1 000	71.01 ± 2.65 aA	77.56 ± 1.59 aA	96.22 ± 2.94 bA	100.00 ± 0.00 bA
	500	58.43 ± 5.03 aAB	68.33 ± 4.00 aA	92.00 ± 4.04 bA	100.00 ± 0.00 bA
Beta-cypermethrin	250	49.55 ± 1.15 aBC	52.57 ± 3.60 aB	84.72 ± 5.21 bA	90.46 ± 5.23 bAB
	125	43.84 ± 6.82 aBC	48.00 ± 5.00 aBC	82.14 ± 11.09 bA	86.90 ± 2.07 bBC
	62.5	35.96 ± 5.16 aC	38.66 ± 2.00 aC	74.50 ± 7.42 bA	77.26 ± 5.71 bC
甲维盐	0.4	33.93 ± 2.48 aA	46.27 ± 1.73 bA	65.40 ± 2.50 cA	91.58 ± 3.19 dA
Emamectin benzoate	0.2	26.43 ± 5.07 aAB	37.16 ± 1.86 aB	54.82 ± 6.42 bB	81.74 ± 0.52 cAB
	0.1	17.11 ± 1.50 aBC	26.41 ± 4.62 bC	43.01 ± 1.53 cC	73.54 ± 1.73 dB
	0.05	10.33 ± 2.08 aCD	17.39 ± 0.58 aD	34.34 ± 2.40 bC	61.85 ± 5.09 cC
	0.025	4.93 ± 2.85 aD	6.96 ± 3.49 aE	19.92 ± 0.00 bD	50.57 ± 3.67 cD
阿维菌素	100 000	30.10 ± 1.00 aA	55.89 ± 2.04 bA	66.01 ± 2.00 bA	87.88 ± 7.94 cA
Abamectin	50 000	26.61 ± 4.32 aAB	45.35 ± 4.69 bB	50.88 ± 5.45 bB	73.28 ± 3.50 cAB
	25 000	18.18 ± 4.22 aBC	35.74 ± 3.66 abB	46.95 ± 5.26 bcB	66.39 ± 9.46 cABC
	12 500	14.15 ± 0.82 aC	19.98 ± 2.64 abC	32.98 ± 3.04 bC	58.79 ± 9.14 cC
	6 250	9.80 ± 2.53 aC	9.92 ± 1.11 aD	22.27 ± 2.01 bC	45.96 ± 1.42 cC

表 4 4 种药剂对红火蚁大型工蚁胃毒作用毒力
Table 4 Toxicities of four insecticides against major worker ants of the red imported fire ant by oral toxicity

药剂 Insecticides	毒力回归方程 Regression equation	相关系数 Coefficient (R)	LC ₅₀ (μg/mL)	95%置信区间 95% fiducial (μg/mL)
辛硫磷 Phoxim	$Y = 0.267X + 0.924$	0.99691	3.42×10^{-4}	$1.54 \times 10^{-6} - 2.88 \times 10^{-3}$
高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	$Y = 0.860X - 0.912$	0.99112	11.50	1.73-26.90
甲维盐 Emamectin benzoate	$Y = 0.927X + 1.797$	0.99790	1.15×10^{-2}	$6.17 \times 10^{-3} - 1.71 \times 10^{-2}$
阿维菌素 Abamectin	$Y = 0.946X - 3.702$	0.99105	8 162.38	4 679.39-11 593.37

当然,这两类农药能否达到优良红火蚁毒饵的要求,且在红火蚁个体间交哺传毒率的大小未有研究,且对于辛硫磷灌巢效果未有田间试验,最终还需要通过进一步实验加以验证。

参考文献 (References)

Buhs JB, 2002. The fire ant wars. Nature and science in the pesticide

controversies of the late twentieth century. *Isis*, 93(3): 377-400.
Huang TF, Xiong ZH, Zeng XN, 2007. Studies on the contact toxicity of insecticides against the worker ants of *Solenopsis invicta*. *Journal of South China Agricultural Univrsity*, 28(4): 26-29. [黄田福, 熊忠华, 曾鑫年, 2007. 15 种杀虫剂对红火蚁工蚁的触杀活性研究. 华南农业大学学报, 28(4): 26-29.]
Jia CS, 2006. Calculatiang the LC50 of insecticides with software SPSS. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(3): 414-417. [贾春生,

2006. 利用 SPSS 软件计算杀虫剂的 LC50. *昆虫知识*, 43(3): 414–417.]
- Kuriachan I, Vinson SB, 2000. A queen is worker attractiveness influences her movement in polygynous colonies of the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae) in response to adverse temperatures. *Population Ecology*, 29(5): 943–949.
- Li PD, Li ZQ, Zhang SQ, Wang WR, Wen K, Zeng L, Xu YJ, Lu YY, 2014. Dosage of the indoxacarb bait used to control *Solenopsis invicta* Buren. *Guangdong Agricultural Science*, (17): 88–92, 118. [李东平, 李志强, 张森泉, 王文荣, 温凯, 曾玲, 许益鏊, 陆永跃, 2014. 红火蚁防治中茚虫威饵剂使用剂量的确定. *广东农业科学*, (17): 88–92, 118.]
- Morrison LW, 2000. Mechanisms of *Pseudacteon* parasitoid (Diptera: Phoridae) effects on exploitative and interference competition in host *Solenopsis* ants (Hymenoptera: Formicidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 93(4): 841–849.
- Morrison LW, Porter SD, 2005. Testing for population-level impacts of introduced *Pseudacteon tricuspidis* flies, phorid parasitoids of *Solenopsis invicta* fire ants. *Biological control*, 33(1): 9–19.
- Sharma A, Goel HC, 1994. Some naturally occurring photoxins for mosquito control. *Indian Journal of Experimental Biology*, 32(10): 745–751.
- Lofgren CS, Stringer CE, Bartlett FJ, 1964. Imported fire ant toxic bait studies: Evaluation of toxicants. *Journal of Economic Entomology*, 57(6): 941–945.
- Tai H, Li C, Ma L, Liu XH, Wan HQ, 2000. Inquiry of photo sensitiveness of Hypocrellin B. *Chemical Research*, 1(1): 26–40. [台虹, 李聪, 马岚, 刘绣华, 汪汉卿, 2000. 竹红菌乙素的光敏活性探讨. *化学研究*, 1(1): 26–40.]
- Wang JG, Hu XN, Liang F, Wu JJ, Mo RH, 2006. Valuation and chemical control of red imported fire ant. *Chinese Journal of Hygienic Insecticides & Equipments*, 12(3): 194–196. [王建国, 胡学难, 梁帆, 吴佳教, 莫仁浩, 2006. 入侵红火蚁防制效果的评价及用药情况. *中华卫生杀虫药械*, 12(3): 194–196.]
- Wang L, Li SL, Wang L, Zeng, Lu YY, 2011. Quarantine treatment of eleven insecticides against the red imported fire ant in turf. *Plant Quarantine*, (6): 13–16. [王磊, 李慎磊, 王琳, 曾玲, 陆永跃, 2011. 11 种杀虫剂对草皮中红火蚁的检疫除害效果. *植物检疫*, (6): 13–16.]
- Wei CH, Lv YQ, Chen XL, 2008. Valuation of four insecticides against red imported fire ant in laboratory. *Plant Quarantine*, 22(4): 222–224. [韦昌华, 吕燕青, 陈晓路, 2008. 几种药剂对红火蚁的室内毒力测定. *植物检疫*, 22(4): 222–224.]
- Williams DF, Porter SD, 1994. Fire ant control. *Science*, 264(5166): 1653.
- Zeng L, Lu YY, He XF, Zhang WQ, Liang GW, 2005. Identification of red imported fire ant *Solenopsis invicta* to invade mainland China and infestation in Wuchuan, Guangdong. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(2): 144–148. [曾玲, 陆永跃, 何晓芳, 张维球, 梁广文, 2005. 入侵中国大陆的红火蚁的鉴定及发生为害调查. *昆虫知识*, 42(2): 144–148.]
- Zhang JH, Liang Q, Cao YH, Zhang RJ, 2010. Control the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae) with β -Cypemethrin 4. 5% EC. *Agriochemicals*, (5): 373–374, 377. [郑基焕, 梁齐, 曹源浩, 张润杰, 2010. 4.5%高效氯氰菊酯 EC 对红火蚁的防治. *农药*, (5): 373–374, 377.]