

红火蚁不同品级个体的药剂敏感性研究*

郭文举** 刘家莉 崔儒坤 曾鑫年***

(华南农业大学天然农药与化学生物学教育部重点实验室, 广州 510642)

摘要 【目的】红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 不同品级的个体在群体生存中担负不同的功能。然而, 红火蚁群体中不同品级个体的药剂敏感性还不清楚。【方法】本文采用点滴法测定了氟虫腈、高效氯氟菊酯和茚虫威三类不同药剂对红火蚁各品级个体的触杀毒力, 以了解其药剂敏感性。【结果】研究结果显示, 红火蚁对不同药剂的敏感性存在显著差异, 对氟虫腈最为敏感, 高效氯氟菊酯次之, 而对茚虫威的敏感性最低, 但不同品级个体的药剂敏感性规律却基本一致。有翅雌蚁、有翅雄蚁和蚁后的药剂敏感性最高, 3 个品级个体的药剂敏感性没有显著差异; 除高效氯氟菊酯外, 兵蚁的敏感性显著低于有翅蚁和蚁后, 而工蚁又显著低于兵蚁。4 龄幼蚁对供试的 3 种杀虫剂的敏感性非常低, 致死中量分别为 428.77 mg/kg、699.77 mg/kg 和 1 159.95 mg/kg, 比对有翅雌蚁的致死中量高数百至数千倍。对毒力线斜率值的分析发现, 同一品级内个体间对不同药剂的敏感性也存在显著差异, 对氟虫腈的敏感性表现出品级内个体较大差异, 特别是兵蚁和工蚁的敏感性差异最大, 其斜率值分别为 1.1 和 1.8, 而对茚虫威的个体敏感性差异极小, 其斜率值均 ≥ 4.7 , 且工蚁个体间表现出最高的同质性, 其斜率值达 7.8。【结论】同一品级的个体对不同药剂的敏感性差异没有一致规律, 但基本上表现出个体差异较小的特点, 特别是 4 龄幼蚁、有翅雄蚁和蚁后 3 个品级内个体的药剂敏感性差异较小, 其斜率值均 ≥ 4.0 。本研究的结果为田间防治红火蚁化学药剂的合理使用提供理论指导。

关键词 红火蚁, 氟虫腈, 高效氯氟菊酯, 茚虫威, 毒力

Susceptibility of different castes of the red imported fire ant (*Solenopsis invicta* Buren) to insecticides

GUO Wen-Ju** LIU Jia-Li CUI Ru-Kun ZENG Xin-Nian***

(Key Laboratory of Natural and Chemical Biology of the Ministry of Education, South China Agricultural University
Guangzhou 510642, China)

Abstract [Objectives] Different castes of the red imported fire ant (*Solenopsis invicta* Buren) play different roles in the colony. However, the susceptibility of different castes of this ant to insecticides is still not clear. [Methods] In this study, the contact toxicities of three insecticides, fipronil, beta-cypermethrin and indoxacarb, to different castes of the red imported fire ant were measured by topical application. [Results] There were significant differences in the susceptibility of ants to the different insecticides; ants were highly sensitive to fipronil, then to the beta-cypermethrin, and least sensitive to indoxacarb. The susceptibility of different castes to these insecticides also varied. Winged adults and queens were highly susceptible and, with the exception of beta-cypermethrin, soldiers were less susceptible than winged ants and queens. Workers were less sensitive than soldiers. Fourth-instar larvae were the least susceptible to the three insecticides tested; the LD_{50} values of which were 428.77 mg/kg, 699.77 mg/kg and 1 159.95 mg/kg, respectively. Regression analysis shows that susceptibility to different insecticides differed significantly among individuals in same caste. This was especially true for soldier and worker ants. For example, with respect to fipronil, the slope values for these castes were 1.1 and 1.8, respectively. [Conclusion] However,

* 资助项目 Supported projects: 广东省昆虫行为调控工程技术研究中心建设专项 (2015B090903076); 广东省高校国际科技合作创新平台项目 (GJHZ1140)

**第一作者 First author, E-mail: zqbxgwj110@yeah.net

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

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

individuals showed little variation in their susceptibility to indoxacarb, with slope values > 4.7 and reaching 7.8 in worker ants. Though we didn't observe a general pattern in susceptibility to different insecticides among individuals of the same caste, individual differences were basically low, especially in fourth-instar larvae, winged male ants and queens, all of which had slope values > 4.0 . These results provide theoretical guidance for the use of insecticides to control fire ants in the field.

Key words *Solenopsis invicta* Buren, fipronil, beta-cypermethrin, indoxacarb, toxicity

化学防治是控制入侵生物扩散蔓延的主要措施。自 2004 年(曾玲等, 2005)发现红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 入侵我国南方地区以来, 对杀虫剂的毒杀活性、传毒活性、毒饵剂的研制及化学防治效果评价等方面已有较多研究(黄田福等, 2007; 曾鑫年等, 2006; 黄俊等, 2008)。国外对毒死蜱、噻虫嗪、灭多威、溴虫腈、联苯菊酯、氯氰菊酯、乙酰甲胺磷、茚虫威、氟虫腈等药剂(Seagraves and Mcpherson, 2003; Oi and Oi, 2006; Wiltz *et al.*, 2010)的活性有较多的研究报道, 而国内则对氟蚁腈、高效氯氰菊酯、阿维菌素、吡虫啉、氟虫腈、辛硫磷、多杀菌素等药剂(陈兢和侯有明, 2007; 黄田福等, 2007; 韦昌华, 2008)的活性有较多的研究。

目前有关杀虫剂对红火蚁的毒力或红火蚁对药剂的敏感性测定研究主要存在三方面的不足。一是多集中于对某一品级(曾鑫年等, 2006; 黄田福等, 2007; 韦昌华, 2008; 高亿波等, 2011; 鄢勤等, 2011; 谭德龙等, 2014)的毒力, 特别是对工蚁的毒力测定, 而对其它蚁级个体(苗建忠等, 2009)的毒力情况了解甚少。二是对所测个体接受的药剂剂量不清楚, 多采用的是浓度处理, 不能建立标准的可比毒力参数(黄田福等, 2007)。三是许多研究采用的供试药剂的制剂, 而不是标准品或高含量原药, 所得毒力结果不能保证是在正确的剂量或浓度处理下获得, 也不能排除药剂杂质和加工助剂的影响(黄胜先等, 2011; 吴华俊等, 2014)。为了解红火蚁不同品级个体对杀虫剂的敏感性, 本研究采用标准的触杀毒力测定方法, 建立了氟虫腈、高效氯氰菊酯和茚虫威 3 种不同类型药剂的剂量-致死效应毒力方程, 获得具有可比性的毒力参数。本研究结果不仅能为红火蚁的田间化学防治提供科学依据, 还能作为红火蚁抗药性研究的相对敏感毒力

参考基线。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 试虫 红火蚁供试蚁群为多蚁后型, 采自广东省增城市新塘华南农业大学教学实习基地的未曾用药区。根据 Kuriachan 和 Vinson (2000)的方法采集红火蚁蚁巢。将整个蚁巢挖出, 收集于塑料桶(18~20 L)内带回实验室内保存。待 1~2 d 蚁巢建立后, 采用“水滴法”将红火蚁成群逼至水面, 然后捞至塑料饲养箱(40 cm $\times$ 30 cm $\times$ 30 cm)内。饲养箱事先在内壁均匀地涂抹一层聚四氟乙烯, 以防红火蚁逃逸(吕利华等, 2006)。放入“水试管”供水, 黄粉虫供食。将养虫箱放在湿度为(60 $\pm$ 5)%, (26 $\pm$ 1) 恒温室内黑暗条件下保育。

1.1.2 供试药剂 分析纯丙酮, 由上海安谱实验科技股份有限公司提供; 高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin (95.6%原药), 由深圳诺普信农化股份有限公司提供; 氟虫腈 Fipronil (95%原药) 由广州瑞丰生物科技有限公司提供; 茚虫威 Indoxacarb (95%原药), 由美国杜邦公司提供。

1.2 触杀毒力测定方法

采用微量点滴法(刘芳洁, 2009): 在预实验确定处理剂量后, 将各供试试剂用分析纯丙酮稀释成 5 个浓度梯度, 然后用手动微量点滴仪将药剂滴在虫体前胸背板上, 剂量为 1 μ L。试虫均称重(挑选 4 龄幼蚁、工蚁、兵蚁、有翅雄蚁和有翅雌蚁各 200 头, 蚁后 50 头进行称重, 然后求出平均体重), 选用大小相近, 健康状况相同的试虫, 处理蚁后 5 头, 幼蚁、有翅雄蚁和有翅雌蚁各 10 头, 工蚁和兵蚁各 20 头, 药剂处理后的红火蚁置于一次性塑料杯(300 mL)中, 杯口

涂抹少量的滑石粉,并用小棉球供应 30%的蜂蜜水。每个浓度设 3 个重复,以丙酮为空白对照。观察记录 24 h 的死亡数,计算死亡率和毒力回归方程,求得致死中量 LD_{50} 。

死亡判断标准:幼蚁以身体脱水萎缩或变黑为死亡,其它品级个体用细毛笔轻轻触动虫体,完全不动者为死亡。

1.3 数据分析

用 Excel 计算试虫的校正死亡率;用 DPS 数据处理系统软件计算毒力回归方程(符合度经 χ^2 卡方检验),计算致死中量 LD_{50} 和 95%置信限。

2 结果与分析

2.1 红火蚁各品级个体的药剂敏感性比较

红火蚁不同品级个体的大小有很大差异,平均体重相差达 11.7 倍(表 1)。工蚁的个体最小,平均每头的体重为 0.85 mg;4 龄幼蚁的体重稍高于工蚁;兵蚁的个体中等偏小,而有翅雄蚁的个体中等偏大。有翅雌蚁个体最大,平均体重接近 10 mg;蚁后的个体较大,平均体重仅稍次于有翅雌蚁。由于不同个体的基因型差异,其代谢酶活性或其他生理生化特征存在差异,并非个体大就一定对药剂的敏感性低。

从氟虫腈、高效氯氰菊酯和茚虫威 3 种杀虫剂的触杀毒力结果来看,红火蚁对不同药剂的敏感性存在显著差异,对氟虫腈最为敏感,高效氯

氰菊酯次之,而对茚虫威的敏感性最低,但不同品级个体的药剂敏感性规律却基本一致(表 1)。有翅雌蚁、有翅雄蚁和蚁后的药剂敏感性最高,3 个品级个体的药剂敏感性没有显著差异;除高效氯氰菊酯外,兵蚁的敏感性显著低于有翅蚁和蚁后,而工蚁又显著低于兵蚁。4 龄幼蚁对供试的 3 种杀虫剂的敏感性非常低,致死中量分别为 428.77、699.77 和 1 159.95 mg/kg,比对有翅雌蚁的致死中量高数百至数千倍。这一结果说明红火蚁不同品级个体间的药剂敏感性差异极大,在化学防治实践中需给予重视。

2.2 同一品级个体间药剂敏感性的差异

杀虫剂毒力回归方程的斜率值由被测个体间的异质性所决定,反映了昆虫个体间对药剂的敏感性差异。从各药剂对同一品级红火蚁的毒力线的斜率值来看,同一品级的个体对不同药剂的敏感性差异没有一致规律,但基本上表现出个体差异较小的特点,特别是 4 龄幼蚁、有翅雄蚁和蚁后 3 个品级内个体的药剂敏感性差异较小,其斜率值均 ≥ 4.0 (表 2)。同一品级内个体间的敏感性差异也因处理药剂的种类不同而异。各品级红火蚁对茚虫威的个体敏感性差异极小,其斜率值均 ≥ 4.7 ,且工蚁个体间表现出最高的同质性,其斜率值达 7.8。各品级红火蚁对氟虫腈的敏感性表现出品级内个体较大差异,特别是兵蚁和工蚁的敏感性差异最大,其斜率值分别为 1.1 和 1.8。

表 1 3 种杀虫剂对红火蚁不同品级个体的毒力
Table 1 The toxicity of three insecticides to different castes of the red imported fire ant

虫态 Stage	体重 (mg) Weight	致死中量 LD_{50} (mg/kg) Median lethal dose		
		氟虫腈 Fipronil	高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	茚虫威 Indoxacarb
4 龄幼蚁 Fourth-instar larvae	1.08±0.07	428.77 (360.16-502.88)	699.77 (643.12-774.02)	1 159.95 (1 018.01-1 302.33)
工蚁 Worker ants	0.85±0.03	0.58 (0.46-0.74)	0.50 (0.43-0.62)	11.06 (9.73-12.16)
兵蚁 Soldier ants	3.40±0.07	0.25 (0.22-0.32)	0.38 (0.31-0.45)	3.78 (3.52-4.05)
有翅雄蚁 Wing male ants	6.21±0.06	0.14 (0.11-0.17)	0.34 (0.26-0.44)	2.13 (1.72-2.48)
有翅雌蚁 Wing female ants	9.92±0.10	0.08 (0.07-0.10)	0.30 (0.23-0.39)	1.91 (1.64-2.19)
蚁后 Queens	8.04±0.24	0.11 (0.08-0.15)	0.31 (0.23-0.53)	2.52 (2.05-3.06)

表 2 3 种杀虫剂对红火蚁不同品级个体毒力线的斜率
Table 2 The slope of virulence line of three insecticides to different castes of the red imported fire ant

虫态 Stage	毒力线斜率值 (b) Virulence line slope		
	氟虫腈 Fipronil	高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	茚虫威 Indoxacarb
4 龄幼蚁 Fourth-instar larvae	6.5435	9.7560	4.7146
工蚁 Worker ants	1.8058	2.2489	7.7909
兵蚁 Soldier ants	1.1223	3.7001	5.3702
有翅雄蚁 Wing male ants	4.3903	4.0487	6.3966
有翅雌蚁 Wing female ants	4.1388	2.1286	7.3619
蚁后 Queens	3.9519	5.8625	6.7904

3 结论与讨论

红火蚁对药剂敏感性的了解是化学防治上的重要毒理学基础。然而,对红火蚁的药剂敏感性研究非常少,且存在实验上一些不足。黄田福等(2007)利用药膜法测定了 15 种杀虫剂对红火蚁工蚁的触杀活性进行了室内研究。黄胜先等(2011)测定了氟虫胺、多杀菌素、茚虫威和噻虫嗪 4 种不同含量的毒饵对红火蚁工蚁的毒力,并对 4 种药剂的毒力效果进行了比较。鄢勤等(2011)利用点滴法测定了 17 种不同类型杀虫剂对红火蚁 4 龄幼蚁的毒力,同时对红火蚁幼虫的杀虫剂敏感性 & 代谢酶活性进行了研究。吴华俊(2014)等使用药膜法和毒饵法测定了微生物杀虫剂绿僵菌、白僵菌和苏云金芽孢杆菌对红火蚁工蚁的毒力水平。本文选用应用范围较广的氟虫腈、高效氯氰菊酯和茚虫威 3 种杀虫剂,分析测定了 3 种药剂对红火蚁不同品级的毒力。

室内杀虫剂的毒力实验表明,红火蚁对药剂的敏感性受品级及药剂种类的影响:不同品级的红火蚁对药剂的敏感性存在很大差异,主要表现为幼蚁对药剂的敏感性最低,有翅雌蚁对药剂最敏感;同一品级的红火蚁对不同药剂的敏感性也存在很大差异,即药剂毒力大小依次为高效氯氰菊酯>氟虫腈>茚虫威。工蚁和兵蚁是蚁巢中的重要成员,研究发现工蚁和兵蚁之间的敏感性差异也很大,由于其在蚁巢中所占的比例最大,所以在化学防治中作为重点防治对象。红火蚁的防治难点在于蚁后,蚁后是蚁群中唯一具有繁殖功能

的个体(Vinson, 1997; Stephanie, 2014),所以化学防治中无论是粉剂防治还是毒饵诱杀,杀灭或去除蚁后以及有可能发育成蚁后的其它品级,作为衡量防治效果的关键因素之一(熊忠华等, 2008)。因此要科学合理使用农药,避免加速害虫抗药性产生。此研究结果对指导红火蚁化学防控实践有重要的参考意义。

茚虫威的处理浓度明显高于氟虫腈和高效氯氰菊酯,24 h 后效果并不明显,说明在 3 种农药推荐使用浓度范围内,茚虫威的速效性明显弱于氟虫腈和高效氯氰菊酯。究其原因,可能与不同药剂的作用机理有关,还有待于研究。所以在生产中氟虫腈和高效氯氰菊酯通常可被加工为粉剂或是灌巢药剂,而茚虫威则可用于饵剂诱杀。目前国内外采用的二阶段处理法(刘政军等, 2005)主要是大面积红火蚁发生区撒布饵剂诱杀和小面积区域触杀性药剂灌巢结合处理,所以该实验结果可以为化学防治中药剂筛选和配合施用提供科学依据和参考。

参考文献 (References)

Chen J, Hou YM, 2007. The laboratory efficacy test of several tag type agent against *Solenopsis invicta* Buren. The first national conference on biological invasion. Fuzhou. 247. [陈兢, 侯有明, 2007. 几种触杀型药剂对红火蚁室内药效试验. 第一届全国生物入侵学术研讨会. 福州. 247.]

Gao YB, Zeng L, Lu YY, 2011. Study on the activity of red imported fire ant (*Solenopsis invicta* Buren) workers after treated by 5 insecticides. *Guangdong Agricultural Sciences*, (23): 82-85. [高亿波, 曾玲, 陆永跃, 2011. 5 种杀虫剂处理红火蚁工蚁活动性研究. 广东农业科学, (23): 82-85.]

- Huang J, Lu YY, Liang GW, Zeng XN, Zeng L, 2008. Control effect of four poisonous baits on red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren. *Journal of Environmental Entomology*, 30(2): 135–140. [黄俊, 陆永跃, 梁广文, 曾鑫年, 曾玲, 2008. 四种毒饵对红火蚁的田间防治效果评价. 环境昆虫学报, 30(2): 135–140.]
- Huang SX, Jiang SH, Chen XQ, Yang MF, Yue DF, 2011. Toxicological test of four baits against *Solenopsis invicta* Buren. *Guangdong Agricultural Sciences*, (7): 102–104. [黄胜先, 江世宏, 陈晓琴, 杨茂发, 岳东方, 2011. 4种毒饵药剂对红火蚁的室内毒力测定. 广东农业科学, (7): 102–104.]
- 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 University*, 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.]
- 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.
- Liu FJ, 2009. Toxicity Determination of several pesticides to vegetable aphid *myzus persicae* sulzer in the laboratory. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 37(12): 50–52. [刘芳洁, 2009. 几种常用杀虫剂对桃蚜的毒力测定. 山西农业科学, 37(12): 50–52.]
- Lu LH, Feng X, Chen HY, Liu J, Liu XY, He YR, 2006. A technique for field collecting and laboratory rearing red imported fire ant, *Solenopsis invicta*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(02): 265–267. [吕利华, 冯夏, 陈焕瑜, 刘杰, 刘晓燕, 何余容, 2006. 介绍红火蚁的野外采集和实验室饲养的方法. 昆虫知识, 43(2): 265–267.]
- Liu ZJ, Liu ZB, Liu ZJ, 2005. The damage of red imported fire ants and effective prevention and treatment abroad. *Pesticide Science and Administration*, 26(7): 29–30. [刘政军, 刘治波, 刘志俊, 2005. 红火蚁的危害及国外有效防治方法. 农药科学与管理, 26(7): 29–30.]
- Miao JZ, Ma FN, Zeng XN, 2009. Susceptibility to phoxim and acetyl cholinesterase activity of the red imported fire ant (*Solenopsis invicta* Buren). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 25(19): 200–202. [苗建忠, 马伏宁, 曾鑫年, 2009. 红火蚁对辛硫磷敏感性及其乙酰胆碱酯酶活性的研究. 中国农学通报, 25(19): 200–202.]
- Oi DH, Oi FM, 2006. Speed of efficacy and delayed toxicity characteristics of fast-acting fire ant (Hymenoptera: Formicidae) baits. *Journal Of Economic Entomology*, 99(5): 1739–1748.
- Wei CH, Lu YQ, Chen XL, 2008. Toxicological test of several pesticides against *Solenopsis invicta* Buren. *Plant Quarantine*, 22(4): 1–4. [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): 1–4.]
- Wu HJ, Luo LL, Ma D, Lin T, 2014. Toxicological test of three kinds of microbial pesticide against *Solenopsis invicta* Buren. *China Plant Protection*, 34(11): 65–67. [吴华俊, 罗淋淋, 马嶙, 林同, 2014. 3种微生物杀虫剂对红火蚁的毒力测定. 中国植保导刊, 34(11): 65–67.]
- Wiltz BA, Suiter DR, Gardner WA, 2010. Activity of bifenthrin, chlorfenapyr, fipronil, and thiamethoxam against red imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae). *Journal of Economic Entomology*, 103(3): 754–761.
- Stephanie A, 2014. Queen red imported fire ants (*Solenopsis invicta* Buren) induce colony sororicide to reduce competition. *Southwestern Entomologist*, 39(2): 215–219.
- Seagraves MP, Mcpherson RM, 2003. Residual susceptibility of the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae) to four agricultural insecticides. *Journal of Economic Entomology*, 96(3): 645–648.
- Tan DL, Lu YY, Ling X, 2014. Control efficiency of lambda-cyhalothrin and thiamethoxam against the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae). *Journal of Biosafety*, 23(2): 121–125. [谭德龙, 陆永跃, 李鑫, 2014. 高效氯氟氰菊酯和噻虫嗪对红火蚁的室内毒力. 生物安全学报, 23(2): 121–125.]
- Vinson SB, 1997. Invasion of the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae): spread, biology, and impact. *Journal of American Entomologist*, 43(1): 23–39.
- Xiong ZH, Zeng XN, Ma FN, 2008. Observation of female reproductive development of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren. *Journal of Environmental Entomology*, 30(4): 305–309. [熊忠华, 曾鑫年, 马伏宁, 2008. 红火蚁雌性生殖发育的研究. 环境昆虫学报, 30(4): 305–309.]
- Yan Q, Zeng XN, Miao JZ, 2011. Insecticide sensitivity and metabolic enzyme activity of the larvae of the red imported fire ant (*Solenopsis invicta* Buren). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 27(18): 293–296. [鄢勤, 曾鑫年, 苗建忠, 2011. 红火蚁幼虫的杀虫剂敏感性及代谢酶活性研究. 中国农学通报, 27(18): 293–296.]
- Zeng L, Lu YY, Heng XX, 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.]
- Zeng XN, Xiong ZH, Guo J, Huang TF, Wu SX, 2006. Toxicity and transferring activity of spinosad against *Solenopsis invicta* Buren. *Journal of South China Agricultural University*, 27(3): 26–29. [曾鑫年, 熊忠华, 郭景, 黄田福, 吴上新, 2006. 多杀菌素对红火蚁的毒力及传导毒杀作用. 华南农业大学学报, 27(3): 26–29.]