

多杀菌素对红火蚁的毒力及传导毒杀作用

曾鑫年, 熊忠华, 郭 景, 黄田福, 吴上新

(华南农业大学 农药与化学生物学教育部重点实验室, 红火蚁研究中心, 广东 广州 510642)

摘要: 室内测定了生物源杀虫剂多杀菌素对红火蚁的触杀及胃毒毒力, 并根据红火蚁的取食生理学, 设计出联杯法测定毒饵的传导毒杀活性。结果表明, 多杀菌素对红火蚁工蚁的触杀 LC_{50} 为 3.44 mg/L , 显著高于对照药剂氟虫腈的 LC_{50} 值 0.76 mg/L ; 而胃毒 LC_{50} 为 4.22 mg/kg 显著低于氟虫腈的 LC_{50} 值 6.19 mg/kg 。联杯法测定结果表明, 多杀菌素能通过工蚁的取食和交哺行为进行传导, 传导毒力随供药工蚁取食毒饵的活性成分含量上升而增高; 当毒饵活性成分为 53.64 mg/kg 时, 处理后 8 d 受药试蚁死亡率达 $(64.70 \pm 2.37)\%$ 。本研究结果显示, 多杀菌素对红火蚁具有高胃毒低触杀毒力, 适合用于制备红火蚁毒饵的杀虫活性成分, 其传导毒杀活性能用联杯法进行测定。

关键词: 红火蚁; 多杀菌素; 毒力; 传导毒杀作用

中图分类号: S482.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2006)03-0026-04

Toxicity and Transferring Activity of Spinosad Against *Solenopsis invicta* Buren

ZENG Xin-nian, XIONG Zhong-hua, GUO Jing, HUANG Tian-fu, WU Shang-xin

(Key Lab of Pesticide and Chemical Biology Ministry of Education Research Center for the Imported Fire Ant
South China Agric. Univ., Guangzhou 510642 China)

Abstract The contact and oral toxicities of bio-insecticide spinosad to worker ants of a laboratory reared colony of the red imported fire ant were measured in comparison with fipronil. The results showed that the LC_{50} value for contact toxicity of spinosad was 3.44 mg/L , significantly higher than that of fipronil which was 0.76 mg/L , while the LC_{50} value for oral toxicity of spinosad was 4.22 mg/kg , remarkably lower than the value 6.19 mg/kg of fipronil. For the purpose of measurement of transferring insecticidal activity, co-cup method was designed based on the feeding physiology of the red imported fire ant. It was showed that spinosad in bait indicated by Sudan Red dye was able to be transferred by feeding worker ants to worker and larval ants under the co-cup test condition. The mortality caused by transferring insecticide was increased as the increase of active content in bait. With treatment at 53.64 mg/kg spinosad content, the mortality of transferring insecticide was up to $(64.70 \pm 2.37)\%$ after 8 d treatment. It can be concluded that spinosad with good oral toxicity and low contact toxicity exhibits remarkable transferring insecticidal activity under co-cup measurement and is one of suitable insecticides for bait preparation.

Key words *Solenopsis invicta* Buren; spinosad; toxicity; transferring insecticidal activity

红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 能造成重大经济、社会危害和环境影响, 已经被国际上列为最具入侵性和破坏性的百种外来有害生物之一^[1-3]。目前红火蚁已入侵我国广东、湖南、香港、澳门和台湾等地。我

国已将其定为进境植物检疫性有害生物和全国植物检疫性有害生物^[4]。具有成功红火蚁防治经验的美、澳等国目前主张采取以药剂为主的两步法 (two-step control) 来控制 and 根治其危害。多杀菌素 (spi

收稿日期: 2006-04-26

作者简介: 曾鑫年 (1960), 男, 教授, 博士, Email: Zengxn@scau.edu.cn

基金项目: 广东省科技计划项目 (2005A20401001); 农业部项目 (农财发[2005]16号); 广东省红火蚁防控技术项目 (粤农保[2005]26号)

nosad)是土壤放线菌刺糖多孢菌 *Saccharopolyspora spinosa* 的代谢产物, 因其高效、低毒、低残留、对昆虫天敌安全、自然分解快而获得美国总统绿色化学品挑战奖^[3]。多杀菌素主要具胃毒作用, 兼具触杀活性, 施用后当天即见效, 可有效防治各种鳞翅目害虫^[4]。多杀菌素是美国采用的防治效果良好且符合环境安全的 3 种红火蚁灭治专用饵剂之一^[7]。由于我国红火蚁发生区多是靠近水源和生活区, 对控制药剂的安全和环保要求较高, 所以多杀菌素将是用于研制红火蚁防治药剂所重点关注的活性成分之一。本研究测定了多杀菌素对红火蚁工蚁的胃毒和触杀毒力, 并研究其作为毒饵时的传导杀蚁活性, 为该药剂在红火蚁控制上的应用提供科学依据, 所建立的毒力线也为该药剂的抗药性研究打下基础。

1 材料与方法

1.1 供试药剂和饵料

多杀菌素, 由市售 2.5% 菜喜 SC (美国陶氏益农公司生产) 以二氯甲烷为溶剂超声波振荡提取 3 次, 合并提取液, 并以 1:1 (V/V) 的量加入 2.0 mol/L 的氯化钙溶液萃取 3 次, 收集二氯甲烷层并在旋转蒸发仪上浓缩至干后称质量, 保存于棕色瓶中备用。用果等^[8]报道方法测定其质量分数为 56.3%。

氟虫腈, 95% 原粉, 安徽华星化工股份有限公司产品。

供试饵料为新鲜火腿肠, 双汇牌普通级, 产品标准号 SB 10251, 批号 487-2-2 广东温氏食品有限公司生产。

1.2 供试红火蚁

供试红火蚁采自广东省惠州市博罗镇。参照 Ku riachan 等^[9]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。用油捞将蚁群转入盆口涂以爽身粉的塑料盆 (7.0 L) 中, 在室内 (10 h 光:14 h 暗, 室温 25~30℃, RH 65%~80%) 用人工饲料饲养一周后供试验用。

1.3 试验方法

1.3.1 触杀毒力测定 以药膜法进行试验。移取 1.00 mL 经预试后的系列浓度多杀菌素丙酮药液至一次性塑料水杯 (口径、底径、高分别为 6.6、4.4、6.8 cm) 中, 水杯的涂药面积为 72.85 cm², 摇动水杯使药液涂附均匀, 待丙酮挥发干后, 在杯口涂抹适量爽身粉, 每杯中随机挑入至少 30 头试蚁, 任试蚁爬

行 1.0 h 后将其转移到无药的杯中, 喂以火腿肠片, 并用吸水小棉球喂水。每浓度设 3 次重复。丙酮为空白对照。观测记录 24 和 48 h 死蚁数, 计算死亡率和毒力回归方程。

1.3.2 胃毒毒力测定 将杀虫剂原药溶于适量丙酮中, 均匀拌入火腿肠饵料中, 在通风橱内使丙酮溶剂挥发, 即成供试毒饵。供试毒饵配制成经预试后的 5 个浓度 (活性成分质量比)。准确称取所配毒饵 0.500 g 置于一次性塑料杯中 (杯口涂抹适量爽身粉), 使毒饵尽量堆在一起以减少触杀带来的误差。每处理浓度设 3 个重复, 每重复随机挑选至少 30 头工蚁 (虫体平均质量为 1.60 mg), 任试蚁取食 12 h 后将其转入到无毒杯中, 喂以火腿肠片及以吸水小棉球喂水。另设未加药剂的饵料为对照组。观测记录 24 和 48 h 死蚁数, 计算死亡率和毒力回归方程。

1.3.3 传导毒杀作用测定 根据红火蚁的取食生理学, 采用联杯法测定传导毒杀作用。具体方法: 将 2 只一次性塑料水杯 (口径、底径、高分别为 6.6、4.4、6.8 cm) 在距杯底 0.5 cm 处剪一长、宽分别为 2.0、1.0 cm 的矩形孔眼, 用万能胶将 2 杯粘联, 并在孔眼处罩以 60 目的纱网分隔 2 杯, 使 2 杯中的试蚁可以哺喂, 但不能通过。在杯口涂以适量爽身粉, 以防试蚁逃逸。分别标记 2 杯为 A 杯 (供药杯) 和 B 杯 (受药杯)。另选取 1.3.2 中测得的 LC₅₀ 与 LC₉₅ 2 个浓度配制多杀菌素毒饵, 并在毒饵中添加 20 μg/g 的染色剂苏丹红 3 号 (桔红色) 为取食传导指示剂。分别称取 LC₅₀ 与 LC₉₅ 2 个浓度多杀菌素毒饵 0.500 g 加入到 A 杯中, B 杯中不放毒饵和食料, 每浓度设 3 个重复, 每重复的 A、B 杯中分别随机挑选至少 30 头工蚁, 并在 B 杯中挑入 10 头幼蚁。另设空白对照。连续观察 A、B 2 杯中试蚁的死亡情况, 计算死亡率与校正死亡率, 并观察 B 杯中幼蚁的体色变化情况。

2 结果与分析

2.1 多杀菌素对红火蚁的触杀毒力

由多杀菌素对红火蚁工蚁的 24 h 触杀毒力试验结果 (表 1) 可见, 多杀菌素对红火蚁的触杀毒力 (LC₅₀ 为 3.44 mg/L, LC₅₀ 的 95% 置信区间为 3.06~3.87 mg/L) 显著低于对照药剂氟虫腈 (LC₅₀ 为 0.76 mg/L, LC₅₀ 的 95% 置信区间为 0.67~0.86 mg/L)。目前国外已有商品化的以氟虫腈为活性成分的红火蚁毒饵, 但从触杀毒力的角度来看, 多杀菌素有比氟虫腈触杀毒力低的优势。

表 1 多杀菌素对红火蚁触杀作用毒力

Tab. 1 Contact toxicity of spinosad to worker ants

药剂 insecticide	24 h 毒力回归方程 regression equation	相关系数 coefficient (<i>r</i>)	LC ₅₀ / (mg·L ⁻¹)	LC ₉₅ / (mg·L ⁻¹)	LC ₅₀
					95% 置信区间 95% fiducial / (mg·L ⁻¹)
多杀菌素 spinosad	$Y=3.6371+2.5371X$	0.9923	3.44	15.33	3.06~3.87
氟虫腈 fipronil	$Y=5.2653+2.1922X$	0.9849	0.76	4.26	0.67~0.86

2.2 多杀菌素对红火蚁的胃毒作用

采用毒饵法测定多杀菌素对红火蚁的胃毒作用。试验结果表明,多杀菌素对红火蚁工蚁的胃毒作用的 LC₅₀ 为 4.22 mg/kg,显著低于对照药剂氟虫腈的 LC₅₀ 值 6.19 mg/kg(表 2)。由于红火蚁在取食过

程中会接触到毒饵,触杀作用带来的误差可能使对照药剂氟虫腈的胃毒 LC₅₀ 比实测值还要高。上述试验已经证明,多杀菌素的触杀毒力显著低于氟虫腈,因此,根据表 2 结果可以判定多杀菌素的胃毒毒力显著高于对照药剂氟虫腈。

表 2 多杀菌素对红火蚁胃毒作用毒力

Tab. 2 Oral toxicity of spinosad to worker ants

药剂 insecticide	48 h 毒力回归方程 regression equation	相关系数 coefficient (<i>r</i>)	LC ₅₀ / (mg·kg ⁻¹)	LC ₉₅ / (mg·kg ⁻¹)	LC ₅₀
					95% 置信区间 95% fiducial / (mg·kg ⁻¹)
多杀菌素 spinosad	$Y=4.0682+1.4899X$	0.9675	4.22	53.64	3.66~4.87
氟虫腈 fipronil	$Y=3.3090+2.1359X$	0.9861	6.19	36.46	5.41~7.08

2.3 多杀菌素对红火蚁的传导毒杀作用

红火蚁属社会性昆虫,其部分工蚁、全部的幼蚁和蚁后并不直接取食,而是通过工蚁的交哺作用来获得能源和营养。用于控制社会性害虫的毒饵的一个重要特性,就是活性成分必须能在蚁群中通过交哺作用传导,最后对整个蚁群起控制作用。

对联杯法中试蚁进行观察发现,受药幼蚁(B 杯)在处理 6 d 苏丹红 3 号添加组幼蚁胸、腹部消化道开始呈明显的桔红色,而对照组幼蚁体壁乳白色,胸、腹部消化道呈淡褐色。这表明联杯法试验可以令供药工蚁(A 杯)通过取食和交哺活动将药物传导至受药工蚁(B 杯),并通过受药工蚁进一步传导给幼蚁。

选择对工蚁 48 h 的胃毒 LC₅₀ (4.22 mg/kg) 与 LC₉₅ (53.64 mg/kg) 2 个浓度进行联杯法传导毒杀作用测定,结果表明,受药试蚁的死亡率均随时间推移而增加,但 53.64 mg/kg 浓度毒饵处理组中受药试蚁的死亡率增长较快,处理后 5 d 试蚁死亡率达 57%,而 4.22 mg/kg 浓度毒饵处理和对照的试蚁死亡率低于 10%(图 1)。传导毒力随供药工蚁取食毒饵的活性成分含量上升而增高。处理后 8 d 当毒饵活性成分为 4.22 mg/kg 受药试蚁的平均死亡率为 (20.62±1.67)%,而当毒饵活性成分为 53.64 mg/kg 时,受药试蚁死亡率达 (64.70±2.37)%,二者差异显著。

这一结果表明多杀菌素对红火蚁具有良好的传导毒杀作用。

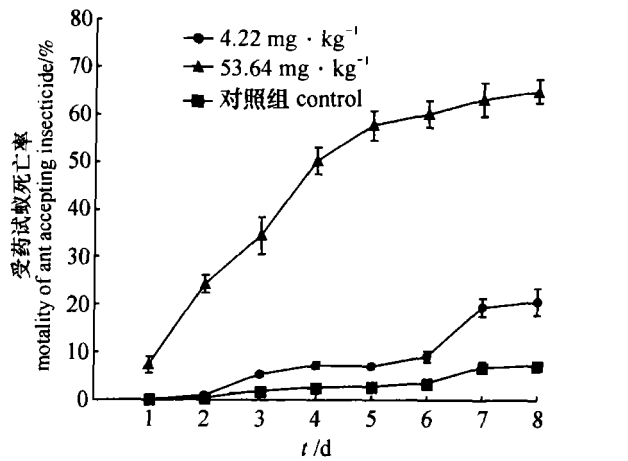


图 1 多杀菌素对红火蚁的传导毒杀作用

Fig. 1 Transferring insecticidal effect of spinosad on the red imported fire ant

3 讨论与结论

红火蚁属社会性昆虫,在它的一个家群中由不同类型的蚁担任不同的社会分工。虽然幼蚁在蚁群的食物消化方面起必不可少的作用,但蚁后和工蚁是蚁群中最关键的成员。蚁后是唯一具有生殖功能、保障蚁群繁衍发展的个体,而工蚁是操纵整个蚁群

活动、维持蚁群存活的个体^[1]。由于蚁后具有较长的寿命和强大的生殖力,在红火蚁的化学控制中要达到整巢的防治效果,最主要就是杀灭蚁后。毒饵杀虫剂被认为是红火蚁控制上较理想的药物,它被工蚁主动觅食,带回蚁巢,通过交哺作用将杀虫剂传递给蚁后,致使整个蚁巢消亡。

因为有着非常苛刻的要求,大多数杀虫剂不适合用作防治红火蚁的毒饵。Stringer等^[10]指出,一种有效的毒饵杀虫剂必须具备:(1)在 10~100 倍以上剂量范围有迟缓的毒杀活性;(2)能通过交哺作用快速在蚁群中传导,并能杀死受药蚁;(3)对觅食蚁没有拒食活性。至少已有超过 7 100 种化合物被测试用来作为红火蚁的毒饵杀虫剂^[11],但目前只有伏蚊胺、苯氧威、蚊蝇醚、烯虫酯、阿维菌素、氟虫胺、氟虫腈、硼酸等可数的几种杀虫剂被开发成红火蚁毒饵。

红火蚁毒饵的活性测定一直以来主要是依靠田间药效试验,所得结果的可比性较差,试验也费时费工,不适合在毒饵研究开发初期进行室内测定。根据红火蚁的取食生理学,本研究设计出联杯法用于室内药剂传导毒力的测定,对促进红火蚁毒饵的研究开发具有重要价值。通过试验发现,在供药处理杯的红火蚁工蚁能将苏丹红 3 号指示剂传递到受药杯的红火蚁工蚁,并进一步传递到幼蚁,表明此方法能够提供食物传递的试验条件。本研究证实,多杀菌素具有良好的传导毒杀活性。关于药剂的传导速度及联杯法的 2 杯中工蚁数的比例等则有待进一步研究。

多杀菌素属于昆虫神经毒剂,作用于烟碱型乙酰胆碱受体 (nAChR) 和 γ 氨基丁酸受体 (GABA),导致昆虫神经系统兴奋,引起肌肉痉挛,最后麻痹或虚脱而死,药后 1~5 周有效^[6]。多杀菌素对红火蚁的室内毒力及传导毒杀作用结果表明,多杀菌素对红火蚁具有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,而是通过交哺作用杀死受药蚁,将其加工成毒饵后药剂在蚁群中有良好的传导毒杀作用,从而控制整个蚁群。当然,多杀菌素毒饵能否达到优良红火蚁毒饵的要求,最终还需要通过

田间试验和实际应用来检验。

参考文献:

- [1] VINSON S B. Invasion of the red imported fire ant (*Hymenoptera Formicidae*) spread biology and impact [J]. *American Entomologist* 1997 43(1): 23-39.
- [2] JEMAL A, HUGH-JONES M E. A review of the red imported fire ant (*Solenopsis invicta* Buren) and its impacts on plant, animal and human health [J]. *Preventive Veterinary Medicine* 1993 17: 19-32.
- [3] PMENDEL D, LACH L, ZUNIGA R, et al. Environmental and economic costs associated with non-indigenous species in the United States [J]. *Bioscience* 2000 50(1): 53-65.
- [4] 陈岩, 陈乃中, 朱水芳, 等. 红火蚁实时荧光分子检测方法 [J]. *植物检疫*, 2005 19(4): 204-206.
- [5] THOMPSON C D, DUTTON R, SPARK T C. Spinosad a case study: an example from a natural products discovery programme [J]. *Pest Management Science* 2000 56: 696-702.
- [6] 徐志红, 蒋志胜. 生物杀虫剂多杀菌素的中毒症状和作用机理 [J]. *农药科学与管理*, 2004 25(2): 25-28.
- [7] 刘政军, 刘治波, 刘志俊. 红火蚁的危害及国外有效防治方法 [J]. *农药科学与管理*, 2005 26(7): 29-31.
- [8] 聂果, 王广成, 张忠明. 多杀菌素高效液相色谱分析 [J]. *农药科学与管理*, 2003 24(8): 6-8.
- [9] KURIACHAN I, VINSON S B. A queen's worker attractiveness influences her movement in polygynous colonies of the red imported fire ant (*Hymenoptera Formicidae*) in response to adverse temperatures [J]. *Population Ecology* 2000 29(5): 943-949.
- [10] STRINGER C E, LOFGREN C S, BARTLETT F J. Imported fire ant toxic bait studies: evaluation of toxicants [J]. *J Econ Entomol* 1964 57: 941-945.
- [11] BANKS W A, LASA S, ADAMS C T, et al. Comparison of several sulfluramid bait formulations for control of the red imported fire ant (*Hymenoptera Formicidae*) [J]. *J Entomol Science* 1992 27: 50-55.

【责任编辑 李晓卉】