



庞杏燕, 陶秋红, 李绮婷, 张富春, 陆永跃, 王磊. 5种有机溶剂对红火蚁的毒力 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (4): 1040–1046.

## 5种有机溶剂对红火蚁的毒力

庞杏燕<sup>\*</sup>, 陶秋红<sup>\*</sup>, 李绮婷, 张富春, 陆永跃, 王磊<sup>\*\*</sup>

(华南农业大学红火蚁研究中心, 广州 510642)

**摘要:** 红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 是一种重要的入侵害虫, 可对农林生产、人体健康等造成严重威胁。毒饵诱杀是红火蚁防治的重要措施, 高效的红火蚁毒饵有效成分需要通过胃毒测试筛选获得, 而用于测试的胃毒药剂的配制则需借助对红火蚁微毒或无毒性的助溶剂。本文通过糖水饲喂法研究了不同剂量丙酮、吐温 20、吐温 80、二甲基亚砜和 Triton X100 对红火蚁存活、取食以及运动的影响。结果表明, 2% 和 10% 吐温 80、1% 和 5% 吐温 20、5% 二甲基亚砜、2% 和 10% 的 Triton X100 严重影响红火蚁的存活并影响其取食行为, 1% 二甲基亚砜溶液处理 10 d 后会降低工蚁存活率, 而 2% 丙酮溶液、10% 丙酮溶液处理不会对红火蚁的存活和行为产生负面影响。研究发现, 2% 和 10% 丙酮对红火蚁没有毒性, 可作为红火蚁胃毒药剂筛选的助溶剂。

**关键词:** 红火蚁; 溶剂; 胃毒; 食物消耗; 爬行速度

中图分类号: Q965; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2021) 04-1040-07

### Toxicity of five solvents against *Solenopsis invicta*

PANG Xing-Yan<sup>\*</sup>, TAO Qiu-Hong<sup>\*</sup>, LI Qi-Ting, ZHANG Fu-Chun, LU Yong-Yue, WANG Lei<sup>\*\*</sup>  
(Red Imported Fire Ant Research Centre, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** Red imported fire ant, *Solenopsis invicta*, is an important invasive species and is a threaten to human health, agriculture, public health, and ecology in its introduced regions. Application of toxic bait is one of key methods for fire ant management. It is important to screen effective pesticides with high gastric toxicity against fire ant. Since many pesticides are water-insoluble, it is necessary to choose solvents with little or no toxic effects on *S. invicta* for gastric toxicity test of pesticides. In the present study, laboratory tests were done to determine toxicity of five common solvents, i. e. acetone, Tween 20, Tween 80, dimethyl sulfoxide, and Triton X100 on *S. invicta*. The results revealed that 1% Tween 20, 5% Tween 20, 2% Tween 80, 10% Tween 80, 1% dimethyl sulfoxide, 5% dimethyl sulfoxide, 2% Triton X100, and 10% Triton X100 had negative effects on *S. invicta* survive and behavior. Acetone at 2% and 10% concentrations did not cause any negative impact on *S. invicta*. So, acetone at 2% and 10% could used in gastric toxicity test of pesticides against *S. invicta*.

**Key words:** *Solenopsis invicta*; solvent; gastric toxicity; food consumption; walking speed

项目基金: 广东省科技计划项目 (2017B020202009); 广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队建设项目 (2019KJ134); 广东省省级农业科技创新及推广项目 (2018LM2161)

<sup>\*</sup> 作者简介: 庞杏, 女, 广东佛山人, 本科生, E-mail: pangxingyan@126.com; 陶秋红, 女, 广西南宁人, 本科生, E-mail: 937818440@qq.com

<sup>\*\*</sup> 通讯作者 Author for correspondence: 王磊, 男, 博士, 讲师, 主要从事昆虫种群生态学、防控理论与技术研究工作, E-mail: leiwang@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2020-06-03; 接受日期 Accepted: 2020-07-01

红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 是一种对农林业生产、公共安全、生态系统和人体健康造成严重为害的重大入侵害虫, 目前已经入侵了美国、澳大利亚、中国等国家和地区 (Global Invasive Species Information System, 2019)。2003 年在台湾发现红火蚁为害后, 该害虫在我国迅速蔓延, 目前已经入侵了台湾、海南、香港、澳门、广东、广西、福建、云南、贵州、四川、重庆、江西、湖南、福建、浙江、湖北等 16 个省 (直辖市、自治区、特别行政区) 的 390 余个县区 (Wang *et al.*, 2020)。

化学防治是红火蚁防治的主要手段, 筛选对红火蚁高效且对环境更友好的药剂是国内外科研工作者的研究重点。例如, 科研工作者开展了包括蚁酸、微红新月蕨甲醇提取物、圆柚油、青蒿油等生物源物质和氟啶虫胺腈、增味剂等新型低毒化学药剂对红火蚁的毒力筛选工作 (Chen *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2014; Huang *et al.*, 2016; Adesso *et al.*, 2017; Pan *et al.*, 2017; Huang *et al.*, 2018; Zhu *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2019)。红火蚁的防治药剂根据作用方式可分为触杀型和胃毒型, 其中胃毒性毒饵具有应用范围广、使用方便、能杀死蚁群的大部分个体等优点, 是红火蚁药剂开发的重点方向 (刘杰等, 2006)。

化学药剂的原药大都不溶于水或者微溶于水, 一般需要借助于助溶剂才能开展相关药剂的胃毒毒力测试。有报道显示, 丙酮、吐温 20、二甲基亚砜、Triton X100 等实验室常用的助溶剂对部分微生物和节肢动物有一定的毒性 (Bowman *et al.*, 1981; Leblanc & Surprenant, 1983; Stratton, 1985; Ravindran *et al.*, 2011)。因此在测试药剂对红火蚁胃毒作用前, 首先要筛选出对红火蚁没有或者微毒的助溶剂, 以保证助溶剂的存在不会影响到药剂胃毒的测试结果。本文测试了实验室内常用的助溶剂丙酮、吐温 20、吐温 80、二甲基亚砜和 Triton X100 在不同剂量下对红火蚁的毒力, 随后评估了不同剂量下助溶剂对红火蚁存活、取食和活动能力的影响, 明确常用的助溶剂对红火蚁毒力和行为的影响, 以期筛选出适合的助溶剂用于药剂对红火蚁胃毒毒力的筛选工作。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试昆虫和化学药剂

红火蚁采集于广州市从化区。蚁巢从野外采回后, 使用水滴法分离并获得红火蚁蚁群 (Chen, 2007)。蚁群饲养于华南农业大学红火蚁研究中心实验室内, 实验室条件为  $26 \pm 2^\circ\text{C}$  和相对湿度  $60\% \pm 5\%$ 。使用冰冻蝗虫、纯水和 10% 糖水饲喂蚁群。

助溶剂丙酮 ( $>99.5\%$ , 天津市百世化工有限公司, 天津)、二甲基亚砜 ( $>99\%$ , 天津市大茂化学试剂厂, 天津)、吐温 80 ( $>99.5\%$ , 天津市百世化工有限公司, 天津)、吐温 20 ( $>99.5\%$ , 天津市大茂化学试剂厂, 天津)、Triton X100 (上海佰晔生物科技公司, 上海) 购自广州天河精科化玻仪器批发部。

### 1.2 五种助溶剂对红火蚁毒力及其对工蚁取食量的影响

根据预实验的结果, 选择测试的浓度为 2% 和 10% 的丙酮糖水溶液、浓度为 1% 和 5% 的二甲基亚砜糖水溶液、浓度为 2% 和 10% 的吐温 80 糖水溶液、浓度为 1% 和 5% 的吐温 20 糖水溶液和浓度为 2% 和 10% 的 Triton X100 糖水溶液。溶液配制方法为将助溶剂混入到 10% 糖水溶液配置成相应体积比的糖水溶液, 使用配制好的溶液饲喂红火蚁。使用 10% 糖水作为对照。试验前将红火蚁蚁群饥饿处理 24 h, 然后每个浓度处理饲喂 2 g 工蚁蚁群 (约 2 000 头工蚁), 记录每天糖水的消耗量, 连续观察记录 3 d, 每天更换当天配制的药剂, 同时称量蚁群的重量。在相同条件下没有红火蚁的盒子放置对应浓度的糖水, 计算溶液的蒸发消耗量。糖水消耗量减去糖水蒸发量计算蚁群每天的实际糖水消耗量。糖水消耗量记录处理后 3 d 的, 蚁群存活情况记录处理后前两天的。每个浓度 3 个重复, 整个试验重复 2 个蚁巢。

### 1.3 丙酮和二甲基亚砜对红火蚁存活及行动能力的影响

根据试验 1.2 中的结果, 选择处理 3 d 后不会引起红火蚁工蚁明显死亡和明显拒食的助溶剂, 进一步测试其处理 10 d 对蚁群存活及红火蚁攀附

能力和爬行速度的影响。试验前将红火蚁蚁群饥饿处理 24 h。选择测试的药剂及其浓度分别为: 2% 丙酮糖水溶液、10% 丙酮糖水溶液和 1% 二甲基亚砷糖水溶液。使用 10% 糖水作为对照。因为攀附能力和爬行速度测试将用去一部分工蚁, 因此此试验分成两部分开展。第一部分蚁群重量变化试验, 选取从蚁巢内称取 5 g 工蚁蚁群 (约 5 000 头工蚁), 使用 2% 丙酮饲喂, 每天更换当天配制的药剂, 重复 3 次。从相同蚁巢取出 5 g 工蚁使用 10% 糖水饲喂作为对照。10% 丙酮溶液和 1% 二甲基亚砷溶液的测试方法与之相同。整个试验重复 2 个蚁巢。第二部分攀附能力和爬行速度测试试验, 2% 丙酮糖水溶液、10% 丙酮糖水溶液、1% 二甲基亚砷糖水溶液、10% 糖水每个浓度处理饲喂 3 g 工蚁蚁群 (约 3 000 头工蚁), 每天更换当天配制的药剂。分别在饲喂 4 d、7 d、10 d 后测定工蚁的攀附能力和爬行速度。红火蚁工蚁在正常情况下可以攀附于物体上, 即使在倒置情况下也很少掉落, 因此可使用攀附能力测定药剂对红火蚁的毒力。攀附能力和爬行速度观察计算方法参考肖春霞等 (2018)。将 30 头工蚁均匀分布于塑料杯底 (杯底 7.0 cm, 杯口 9.0 cm, 高度 5.3 cm), 静置 10 s 后, 将塑料杯轻轻倒扣于桌面, 计算 3 s 内掉落的工蚁数, 计算工蚁的攀附率, 每个处理 3 次重复。攀附率计算公式为工蚁攀附率 (%) = [(测试工蚁数 - 掉落工蚁数) / 测试工蚁数] × 100。从蚁巢内随机选取工蚁, 然后将其放置于坐标纸中间, 拍摄红火蚁爬行视频, 工蚁连续爬行 3 s 以上的确定其具有爬行能力, 测量具有爬行能力的工蚁 3 s 所走过的路程, 测算爬行速度, 每个重复 30 头工蚁。爬行速度 = 爬行路程 / 爬行时间。每个浓度重复 3 次, 整个试验重复 2 个蚁巢。

#### 1.4 数据分析

使用 One-Sample Kolmogorov-Smirnov test 对数据进行正态分布检验。符合正态分布的使用 Levene's test 进行方差齐性检验。对于方差齐性的, 使用单因素方差分析, 并使用 LSD test 进行多重比较。对于不符合正态分布和方差不齐的, 先使用 Kruskal-Wallis test 进行检验, 如果总体  $P$  值小于 0.05, 使用 Mann-Whitney  $U$  test 进行两两比较。10 d 内的蚁群死亡率比较使用了独立样本  $t$  检验。所有数据分析程序运行于 SPSS 18.0 软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 5 种助溶剂对红火蚁蚁群毒力测定

不同浓度的丙酮、二甲基亚砷、吐温 20、吐温 80 和 Triton X100 处理对红火蚁的存活情况的影响如图 1 所示。研究显示在处理 1 d 后, 5% 二甲基亚砷处理的蚁群的存活率显著低于对照 (图 1-A, Mann-Whitney test,  $U = 2$ ,  $P = 0.01$ ), 处理 2 d 后, 5% 二甲基亚砷处理的蚁群的存活率显著低于对照 (图 1-A, Mann-Whitney test,  $U = 0$ ,  $P = 0.004$ ), 而 10% 丙酮处理的存活率显著高于对照 (图 1-A, Mann-Whitney test,  $U = 0$ ,  $P = 0.004$ )。

处理 1 d 后, 1% 吐温 20 的存活率显著高于对照 (图 1-B, Mann-Whitney test,  $U = 2$ ,  $P = 0.01$ ), 处理 2 d 后, 1% 吐温 20、5% 吐温 20、2% 吐温 80、10% 吐温 80 的存活率与对照差异不显著 (图 1-B, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2 = 9.819$ ,  $df = 4$ ,  $P = 0.044$ )。

处理 1 d 后和 2 d 后, 2% Triton X100 和 10% Triton X100 的存活率均显著低于对照 (图 1-C, 第 1 天, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2 = 11.656$ ,  $df = 2$ ,  $P = 0.003$ ; 第 2 天, LSD test,  $F = 21.404$ ,  $df = 2$ ,  $P < 0.0001$ )。

### 2.2 5 种助溶剂对红火蚁取食行为的影响

不同浓度的丙酮、二甲基亚砷、吐温 20、吐温 80 和 Triton X100 处理对红火蚁的取食情况的影响如图 2 所示。处理 1 d 后, 5% 二甲基亚砷处理的蚁群的取食量显著低于对照, 2% 和 10% 丙酮处理的蚁群取食量显著高于对照 (图 2-A, LSD test,  $F = 15.722$ ,  $df = 4$ ,  $P < 0.0001$ ); 处理 2 d 后, 2% 丙酮、10% 丙酮、1% 二甲基亚砷和 5% 二甲基亚砷处理的蚁群取食量与对照差异不显著 (图 2-A, LSD test,  $F = 1.098$ ,  $df = 4$ ,  $P = 0.379$ )。

处理 1 d 后, 10% 吐温 80 处理的蚁群的取食量显著低于对照 (图 2-B, Mann-Whitney test,  $U = 3$ ,  $P = 0.016$ ); 处理 2 d 后, 1% 吐温 20、5% 吐温 20、2% 吐温 80 和 10% 吐温 80 处理的蚁群取食量均与对照差异显著 (图 2-B, Mann-Whitney test, 1% 吐温 20:  $U = 0.5$ ,  $P = 0.005$ ; 5% 吐温 20:  $U = 0$ ,  $P = 0.004$ ; 2% 吐温 80:  $U = 4$ ,  $P = 0.025$ ; 10% 吐温 80:  $U = 5$ ,  $P = 0.037$ )。处理 3 d 后, 5% 吐温 20 和 2% 吐温 80 处理的蚁群的取食量显著低于对照 (图 2-B, Mann-Whitney test, 5% 吐温

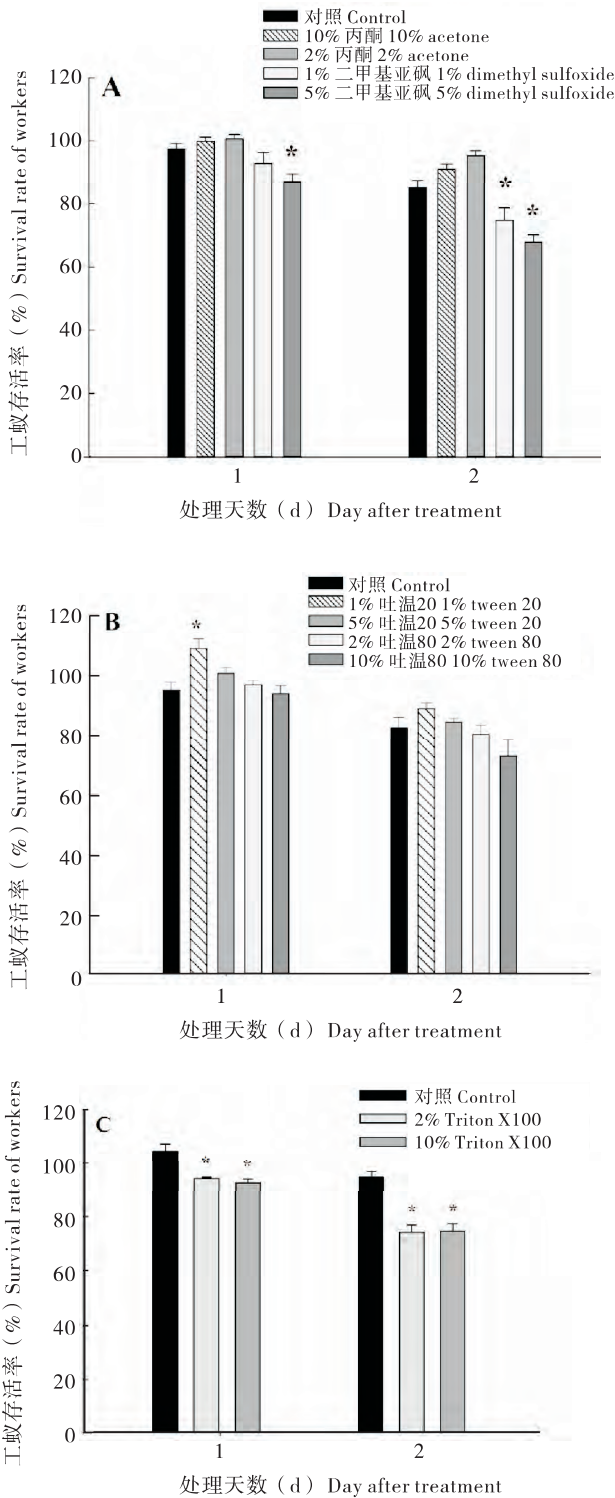


图 1 5 种助溶剂不同浓度下红火蚁的存活率

Fig. 1 Survival rate of *Solenopsis invicta* fed with different concentrations of 5 diluents

注 “\*” 表示处理与对照差异显著,  $P < 0.05$ 。下图同。Note “\*” indicated significant differences between the treatment and the control,  $P < 0.05$ . The same below.

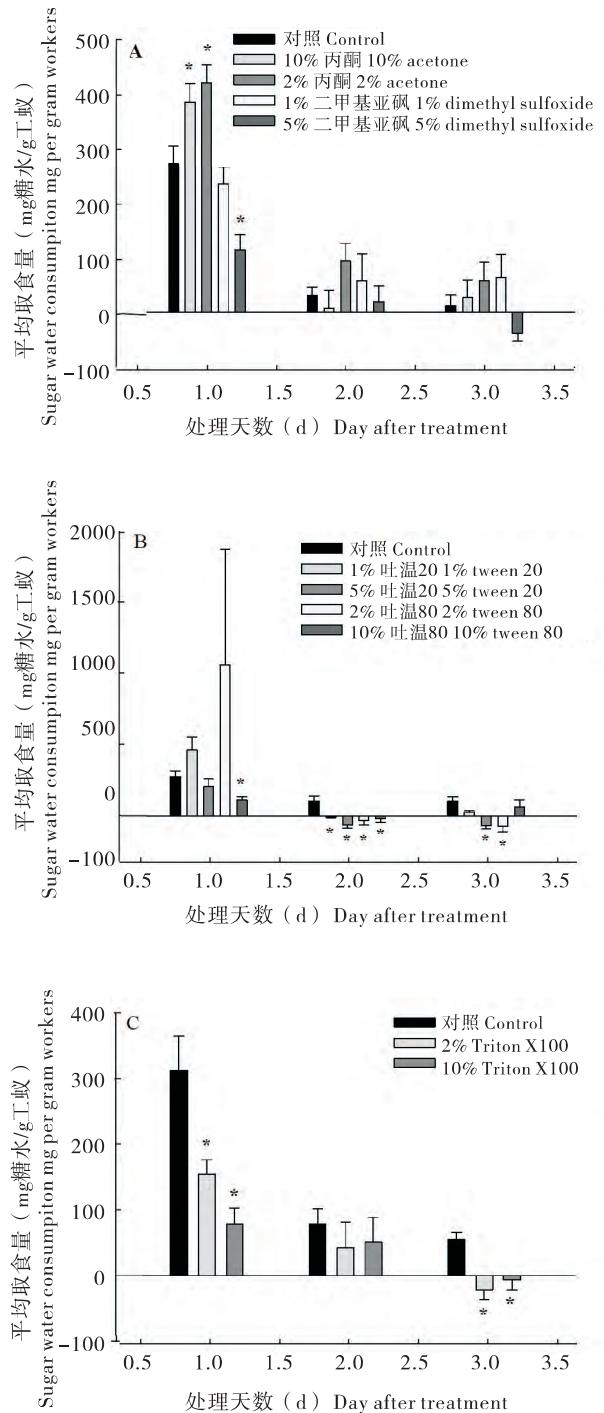


图 2 5 种助溶剂不同浓度下红火蚁的取食量

Fig. 2 Sugar water consumption of *Solenopsis invicta* fed with different concentrations of 5 diluents

20:  $U = 1$ ,  $P = 0.006$ ; 2% 吐温 80:  $U = 1$ ,  $P = 0.006$ 。

处理 1 d 后和 3 d 后, 2% Triton X100 和 10% Triton X100 处理的蚁群取食量均显著低于对照 (图 2-C, 第 1 天, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2 = 12.012$ ,  $df = 2$ ,  $P = 0.002$ ; 第 3 天, LSD test,  $F = 7.844$ ,  $df = 4$ ,  $P = 0.005$ )。

### 2.3 不同浓度丙酮和二甲基亚砷处理对红火蚁存活的影响

2% 丙酮、10% 丙酮和 1% 二甲基亚砷处理 10 d 内对红火蚁的死亡率影响情况如图 3 所示。研究显示, 2% 丙酮处理的工蚁死亡率与对照差异不显著 (图 3-A, 独立样本  $t$  检验, 第 4 天,  $t = 2.119$ ,  $df = 10$ ,  $P = 0.063$ ; 第 7 天,  $t = 1.623$ ,  $df = 10$ ,  $P = 0.136$ ; 第 10 天,  $t = 1.933$ ,  $df = 10$ ,  $P = 0.08$ )。10% 丙酮处理的工蚁死亡率与对照也差异不显著 (图 3-B, 独立样本  $t$  检验, 第 4 天,  $t = -0.262$ ,  $df = 10$ ,  $P = 0.799$ ; 第 7 天,  $t = 0.045$ ,  $df = 10$ ,  $P = 0.965$ ; 第 10 天,  $t = 0.165$ ,  $df = 10$ ,  $P = 0.872$ )。1% 二甲基亚砷处理的工蚁死亡率显著高于对照处理 (图 3-C, 独立样本  $t$  检验, 第 4 天,  $t = 10.477$ ,  $df = 10$ ,  $P < 0.001$ ; 第 7 天,  $t = 6.5$ ,  $df = 10$ ,  $P < 0.001$ ; 第 10 天,  $t = 5.444$ ,  $df = 5$ ,  $P = 0.003$ )。

### 2.4 不同浓度丙酮和二甲基亚砷对红火蚁行动能力的影响

丙酮和二甲基亚砷处理对红火蚁攀附能力和爬行速度影响的结果如图 4 所示。2% 丙酮和 10% 丙酮处理的红火蚁工蚁攀附率在第 4 天、第 7 天和第 10 天与对照差异不显著 (图 4-A, 第 4 天, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2 = 5.713$ ,  $df = 3$ ,  $P = 0.126$ ; 第 7 天, LSD test,  $F_{3,1} = 3.194$ ,  $P = 0.046$ ; 第 10 天, LSD test,  $F_{2,1} = 1.306$ ,  $P = 0.300$ )。1% 二甲基亚砷处理的红火蚁工蚁攀附率在第 4 天和第 7 天与对照差异不显著 (图 4-A, 第 4 天, Kruskal-Wallis test,  $\chi^2 = 5.713$ ,  $df = 3$ ,  $P = 0.126$ ; 第 7 天, LSD test,  $F_{3,1} = 3.194$ ,  $P = 0.046$ )。处理后第 10 天, 二甲基亚砷处理的工蚁死亡较多, 无足够多的工蚁供测试。

2% 丙酮和 10% 丙酮处理的红火蚁工蚁爬行速度在第 4 天、第 7 天和第 10 天与对照差异不显著。在处理第 4 天, 1% 二甲基亚砷处理的红火蚁工

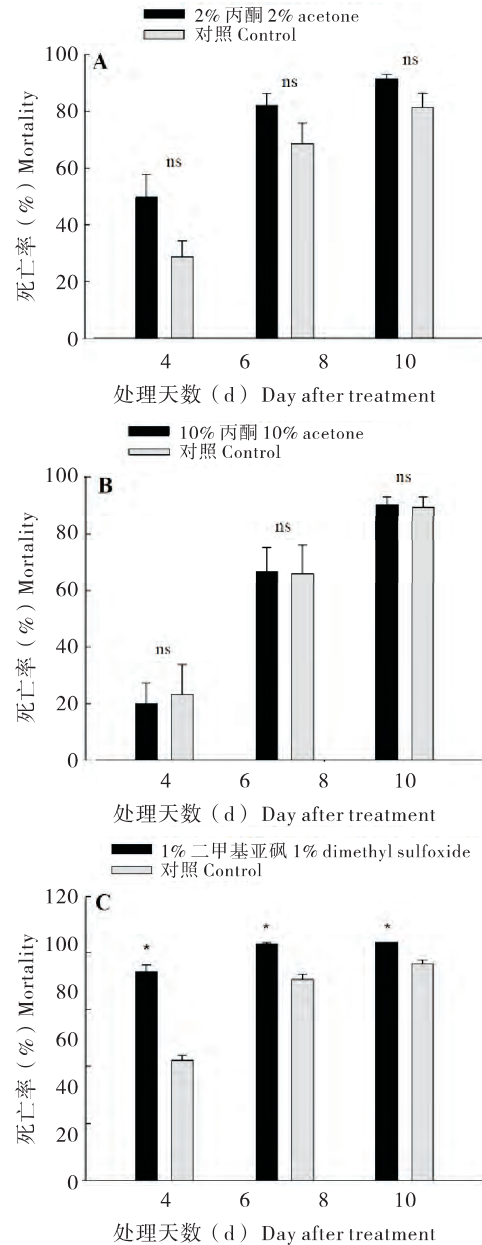


图 3 丙酮和二甲基亚砷处理对红火蚁蚁群死亡率的影响

Fig. 3 Mortality rate of *Solenopsis invicta* fed with acetone and DMSO

蚁爬行速度显著高于对照 (图 4-B, Mann-Whitney test,  $U = 1371$ ,  $P = 0.024$ )。处理后第 10 天, 二甲基亚砷处理的工蚁死亡较多, 无足够多的工蚁供测试。

## 3 结论与讨论

本研究测试了丙酮、吐温 20、吐温 80、二甲基亚砷和 Triton X100 等室内常用的助溶剂在不同剂量下对红火蚁存活、取食和运动的影响, 发现

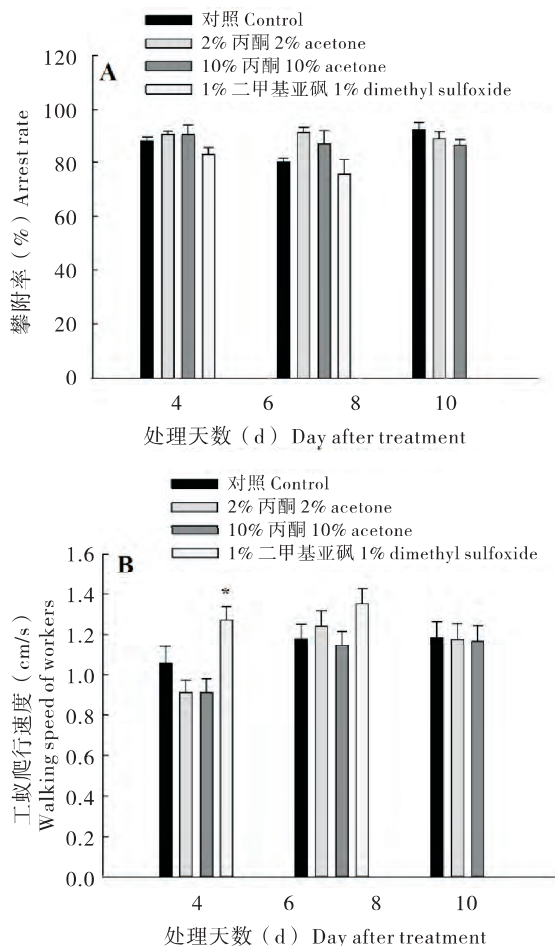


图4 丙酮和二甲基亚砜处理对红火蚁的攀附率和爬行速度的影响

Fig. 4 Arrest rate and walking speed of *Solenopsis invicta* fed with acetone and DMSO

2% 丙酮和 10% 丙酮不会显著影响红火蚁的存活、取食和运动, 可以作为红火蚁胃毒药剂筛选试验的助溶剂。

丙酮、吐温 20、二甲基亚砜、Triton X100 等实验室常用的助溶剂对部分微生物和节肢动物有一定的毒性 (Bowman *et al.*, 1981; Leblanc & Surprenant, 1983; Stratton, 1985; Ravindran *et al.*, 2011)。本研究发现, 吐温 20、吐温 80、二甲基亚砜、Triton X100 在较低浓度下 (1% 或 2%) 对红火蚁也具有一定的胃毒毒性或抑制取食能力, 这与前人对其他节肢动物的报道一致。Leblanc & Surprenant (1983) 发现丙酮对大型蚤 48 h 的  $LC_{50}$  是 3.9%, 本研究发现 10% 丙酮对红火蚁的死亡率没有显著影响, 说明不同的节肢动物对丙酮的耐受能力是不同的。吐温 20 和 Triton X100 对蜱虫 *Rhipicephalus (Boophilus) annulatus* 的成虫影响较

小, 但是对卵的孵化有较强的抑制作用 (Ravindran *et al.*, 2011)。吐温 20、吐温 80、二甲基亚砜、Triton X100 对红火蚁的触杀情况如何还需要进一步研究。

2% 丙酮、10% 丙酮和 1% 二甲基亚砜处理 10 d 后, 无论是对照还是 3 种不同浓度溶剂处理, 蚁群的死亡率均超过了 80%。其可能原因是因为蚂蚁没有获得充足的营养造成的。糖分、蛋白质等营养物质是红火蚁的必须营养成分 (Porter *et al.*, 2015)。本试验为测试溶剂的作用, 仅提供了含有助溶剂的糖水, 导致蚁群的无法获取足够的营养成分, 而红火蚁的平均寿命约为 62 d (Wang *et al.*, 2016)。因此, 在处理 10 d 后, 即使是对照也出现较高死亡率。

### 参考文献 (References)

- Addesso KM, Oliver JB, O'Neal PA, *et al.* Efficacy of nootka oil as a biopesticide for management of imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2017, 110 (4): 1547 - 1555.
- Bowman MC, Oiler WL, Cairns T, *et al.* Stressed bioassay systems for rapid screening of pesticide residues. part I: Evaluation of bioassay systems [J]. *Archives of Environmental Contamination & Toxicology*, 1981, 10 (1): 9 - 24.
- Chen J. Advancement on techniques for the separation and maintenance of the red imported fire ant colonies [J]. *Insect Science*, 2007, 14: 1 - 4.
- Chen J, Rashid T, Feng GL, *et al.* Insecticidal activity of methyl benzoate analogs against red imported fire ants, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2019, 112 (2): 691 - 698.
- Chen J, Rashid T, Feng GL. Toxicity of formic acid to red imported fire ants, *Solenopsis invicta* Buren [J]. *Pest Management Science*, 2012, 68 (10): 1393 - 1399.
- Global Invasive Species Information System [OL]. (2010 - 10 - 04) [2020 - 06 - 03]. <http://www.iucngisd.org/gisd/speciesname/Solenopsis+invicta>.
- Huang SQ, Fu JT, Wang K, *et al.* Insecticidal activity of the methanol extract of *Pronephrium megacuspis* (Thelypteridaceae) and its active component on *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *Florida Entomologist*, 2016, 99 (4): 634 - 638.
- Huang YT, Chen SQ, Li ZQ, *et al.* Effects of flavor enhancers on the survival and behavior of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *Environmental Science Pollution Research*, 2018, 25 (22): 21879 - 21886.
- Leblanc GA, Surprenant DC. The acute and chronic toxicity of acetone, dimethyl formamide, and triethylene glycol to *Daphnia magna*

- (Straus) [J]. *Archives of Environmental Contamination & Toxicology*, 1983, 12 (3): 305–310.
- Liu J, Lu LH, Feng X, et al. Development of chemical baits for red imported fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) in the United States [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2006, 5: 12–17. [刘杰, 吕利华, 冯夏, 等. 美国红火蚁防治饵剂的研制应用与启示 [J]. 广东农业科学, 2006, 5: 12–17]
- Pan FX, Lu YY, Wang L. Toxicity and sublethal effects of sulfoxaflor on the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* [J]. *Ecotoxicity Environmental Safety*, 2017, 139: 377–383.
- Porter SD, Valles SM, Gavilanez-Slone JM. Long-term efficacy of two cricket and two liver diets for rearing laboratory fire ant colonies (Hymenoptera: Formicidae: *Solenopsis invicta*) [J]. *Florida Entomologist*, 2015, 98 (3): 991–993.
- Ravindran R, Juliet S, Gopalan AKK, et al. Toxicity of DMSO, Triton X100 and Tween 20 against *Rhipicephalus (Boophilus) annulatus* [J]. *Journal of Parasitic Diseases*, 2011, 35 (2): 237–239.
- Stratton GW. The influence of solvent type on solvent-pesticide interactions in bioassays [J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 1985, 14: 651–658.
- Wang L, Xu YJ, Di Z, et al. Effect of isolation on life expectancy of red imported fire ant *Solenopsis invicta* and tephritid fruit fly *Bactrocera dorsalis* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36: 252–255.
- Wang L, Zeng L, Xu YJ, et al. Prevalence and management of *Solenopsis invicta* in China [J]. *Neobiota*, 2020, 54: 89–124.
- Xiao CX, Zhang PW, Tan YT, et al. Effects of sulfoxaflor on death and activity of *Solenopsis invicta* [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2018, 46 (4): 48–51. [肖春霞, 张佩文, 谭煜婷, 等. 氟啶虫腈对红火蚁毒杀活性及活动能力的影响 [J]. 贵州农业科学, 2018, 46 (4): 48–51]
- Zhang N, Tang L, Hu W, et al. Insecticidal, fumigant, and repellent activities of sweet wormwood oil and its individual components against red imported fire ant workers (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *Journal of Insect Science*, 2014, 14: 6.
- Zhu JW, Dhammi A, van Kretschmar JB, et al. Novel use of aliphatic n-methyl ketones as a fumigant and alternative to methyl bromide for insect control [J]. *Pest Management Science*, 2018, 74 (3): 648–657.