# 氨水对城市绿地重大入侵害虫红火蚁的熏蒸毒力测定

## The Fumigation Toxicity of Ammonia to *Solenopsis invicta*, A Major Invasive Pest in Urban Green Spaces

邓杰夫[1] 梁铭荣[1] 李平东[2] 苟 军[3] 王 磊[1*]
DENG Jiefu[1] LIANG Mingrong[1] LI Pingdong[2] GOU Jun[3] WANG Lei[1*]

（1.华南农业大学红火蚁研究中心，广州 510642；2.深圳市农业科技促进中心，深圳 518057；3.通江县植保植检站，巴中 636700）

（1. Red Imported Fire Ant Research Centre, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong, China, 510642; 2. Shenzhen Agricultural Science and Technology Promotion Center, Shenzhen Administration for Market Regulation, Shenzhen, Guangdong, China 518057; 3. Tongjiang County Plant Protection and Plant Quarantine Station, Bazhong, Sichuan, China, 636700）

文章编号：1000-0283(2024)10-0137-06
DOI: 10. 12193 / j. laing. 2024. 10. 0137. 017
中图分类号：TU986
文献标志码：A
收稿日期：2023-12-19
修回日期：2024-06-05

**摘 要**

红火蚁是一种全球性的入侵害虫。化学药剂是目前防控红火蚁的主要手段，但大部分化学药剂都不能用于防控城市绿地、有机农场等生态敏感区内的红火蚁。氨是自然界中最简单的氢化物，对城市绿化环境较为友好。为筛选可在城市绿地中使用的红火蚁绿色非化学防控药剂，结合室内和野外试验评估了氨水对红火蚁的防治效果。试验结果表明，氨水在中高浓度下对红火蚁有较高毒性。在室内条件熏蒸下，15.81 mg/L氨处理24 h后，工蚁校正死亡率为100%，雄性生殖蚁校正死亡率为87.07%，雌性生殖蚁校正死亡率为97.41%；17.56 mg/L氨处理24 h后，雄性生殖蚁与雌性生殖蚁校正死亡率均能达到99.14%。在相对中高浓度下，雄性生殖蚁与雌性生殖蚁对氨水熏蒸毒性的耐受度显著高于工蚁。野外试验表明，经24.59 g/L氨水处理灌巢后14 d，蚁巢防治效果达到60.83%，工蚁防治效果达到54.36%。研究结果为在城市绿地生境中利用氨水防控红火蚁提供了重要的理论依据。

**关键词**

红火蚁；氨水；熏蒸毒力测定；城市绿地；非化学防治

**Abstract**

The red imported fire ant, *Solenopsis invicta,* is a global invasive insect pest. Currently, chemical treatment is the primary method for fire ant control. However, most chemicals are unsuitable for environmentally sensitive areas, such as urban green spaces and organic farms. Ammonia is the simplest pnictogen hydride and is more ecologically friendly in urban green spaces. To screen green non-chemical control agents for *S. invicta* that can be used in urban green spaces, the efficacy of ammonia against red imported fire ants was evaluated in combination with indoor and field trials. In this paper, the toxicity of ammonia on workers and alates of *S. invicta* was tested under laboratory conditions. After 24 h treatment with 15.81 mg/L ammonia, the mortality of workers, males, and female alates were 100%, 87.07%, and 97.41%, respectively. After 24 h treatment with 17.56 mg/L ammonia, the mortality of both male and female alates is over 99.14%. In addition, the tolerance of alates to ammonia fumigation was much higher than workers. The field trials showed that the mortality of fire ant mounds and reduction rate of workers were 60.83% and 54.36% after 14 d mound drench of 24.59 g/L ammonia treatment, respectively. This study provides a critical, necessary, essential, vital, and theoretical basis for the use of ammonia for the control of crucial theoretical basis for the use of ammonia to control *S. invicta* in urban greenfield habitats.

**Keywords**

*Solenopsis invicta*; ammonia; fumigation toxicity; urban green spaces; non-chemical control

**邓杰夫**
1997年生／男／湖南邵阳人／在读硕士研究生／研究方向为农业昆虫与害虫防治

**梁铭荣**
1995年生／男／广东阳江人／硕士／研究方向为农业昆虫与害虫防治

**王 磊**
1986年生／男／安徽界首人／博士／副教授／研究方向为农业昆虫与害虫防治

*通信作者（Author for correspondence）
E-mail: leiwang@scau.edu.cn

基金项目：
国家重点研发计划项目“红火蚁防控关键技术研究与集成示范”（编号：2021YFD1000500）

红火蚁（*Solenopsis invicta*）原产于南美洲，是一种全球性的入侵性有害生物，分布于美国、墨西哥、澳大利亚、新西兰、中国、马来西亚、新加坡以及西印度群岛，给人类健康、公共安全、生态系统和农业带来了严重的问题[1]。随着中国城市绿化工程需求的增加，在城市绿地区域内，红火蚁通常会在草坪中、电气箱内、排水渠和下水道旁以及城市绿化树木的根部筑巢[2-3]（图1），绿化所需的草皮苗木运输成为常态，这极大地增加了红火蚁入侵定殖的可能性[4]。在人类活动频繁地区常出现红火蚁伤人事件[5]。此外，红火蚁的入侵也会对城市绿地内的节肢动物多样性和植物生长发育造成危害[6]。

目前，使用化学杀虫剂仍然是城市绿地治理红火蚁的主要方法[7]，尤其是被新入侵的国家和地区。中华人民共和国农业和农村事务部于2013年公布的行业标准《红火蚁化学防控技术规程》（NY/T 2415-2013），建议红火蚁防控药剂有效成份包括联苯菊酯、氟氯氰菊酯、阿维菌素、多杀霉素、茚虫威、氟虫胺、氟虫腈、鱼藤酮等[8]。对红火蚁的化学防治方式主要包括诱饵诱杀、药剂灌巢、粉剂撒施等方式，其中药剂灌巢是防治紧急红火蚁疫情的常用方式。前人研究显示，使用液氮灌巢处理24 h后，可以杀死巢内大多数蚂蚁；处理14 d后，超过90%被处理过的蚁巢死亡，但液氮的运输、储存以及防治成本较高，不适宜在城市绿地中大规模使用[9]。绝大多数灌巢使用为触杀型药剂，使用量大，效果难以达到预期[10]。另一方面，这些化学合成农药的不合理使用会对非靶标生物产生一定的负面影响[11]。此外，化学杀虫剂也不适用于水源保护地、城市绿地等对环境友好性较为敏感地区的红火蚁防控[12]。氨水在自然界中一种非常重要的化合物，是部分生物的食物，并可以作为肥料或肥料前体[13]，具有挥发性强、污染小、无残留、容易获取以及价格低廉等特点。红火蚁是社会性昆虫，其蚁巢多为土质，质地紧密，有助于维持内部相对稳定的环境以有利于种群繁殖和发展。在紧密的巢穴里，其内部结构充满了孔洞和蚁道[14]。蚁巢内部结构可能有利于熏蒸类灌巢剂的使用[15]。

图1 城市绿地中的红火蚁巢
Fig. 1 The nest of *Solenopsis invicta* in urban green spaces

研究显示氨水可通过破坏昆虫的呼吸系统，从而导致昆虫窒息死亡[16]。因为氨水具有对环境较为友好、无残留、作为红火蚁防治药剂的同时兼顾环境用肥等优点，可作为在环境保护苛刻的地区如生态敏感区灭杀害虫的有效备选成分。因此，本研究在室内条件下评估了氨水对红火蚁工蚁、雄性生殖蚁、雌性生殖蚁的熏蒸毒杀活性，同时在野外评估了氨水对红火蚁的灌巢防效，以期筛选出可用于生态敏感区防治红火蚁的绿色非化学药剂。

## 1 材料与方法

### 1.1 试虫的采集

试验用红火蚁蚁群多为蚁后型，采集自广东省广州市增城区。采集时将整个红火蚁蚁巢挖出，收集于18 ~ 20 L的塑料箱内带回试验室保存。静置1 ~ 2 d，待蚁群稳定安静后，采用“水滴法”将蚁群逼至水面并将其移至塑料饲养盒（长40 cm×宽30 cm×高15 cm）内[17]。塑料饲养盒事先在内壁均匀涂抹一层聚四氟乙烯以防红火蚁群发生逃逸。在盒内放入用棉花团封口以润湿内环境的装水的试管供水，并向蚁群提供黄粉虫。饲养条件为湿度为60%±5%，温度为（26±1）℃。

### 1.2 氨水对红火蚁毒力测定

为测定氨水对红火蚁的熏蒸效果，参考罗茜等[18]试验方法，自制熏蒸装置用于测试（图2）。装置整体由两个容积约35 mL的带盖玻璃瓶顶对顶连接组成，盖子中央开有直径约5 cm的洞并在洞口覆有60目铁丝网以将熏蒸器分隔为上下两层，蚂蚁被放在瓶子的上层，氨水被放在瓶子的下层。改造后瓶子容积约70 mL。

选用同一蚁群中的大型工蚁20头，放入熏蒸器上层，然后用微量注射器注射处理剂量的氨水入熏蒸器下层，并迅速闭合设备，用封口膜包裹瓶体密封处理。处理后的熏蒸器均放入黑暗条件静置，分别在24 h后观察和记录各个处理组的死亡虫数并计算死亡率。本试验中虫体死亡的界定为：试虫无法站立，轻触时少于三足活动的可视为死亡。处理浓度为2.5%氨水20μL、25μL、30μL、35μL、40μL、45μL、50μL（熏蒸装置内氨浓度分别为7.03 mg/L、8.78 mg/L、10.54 mg/L、

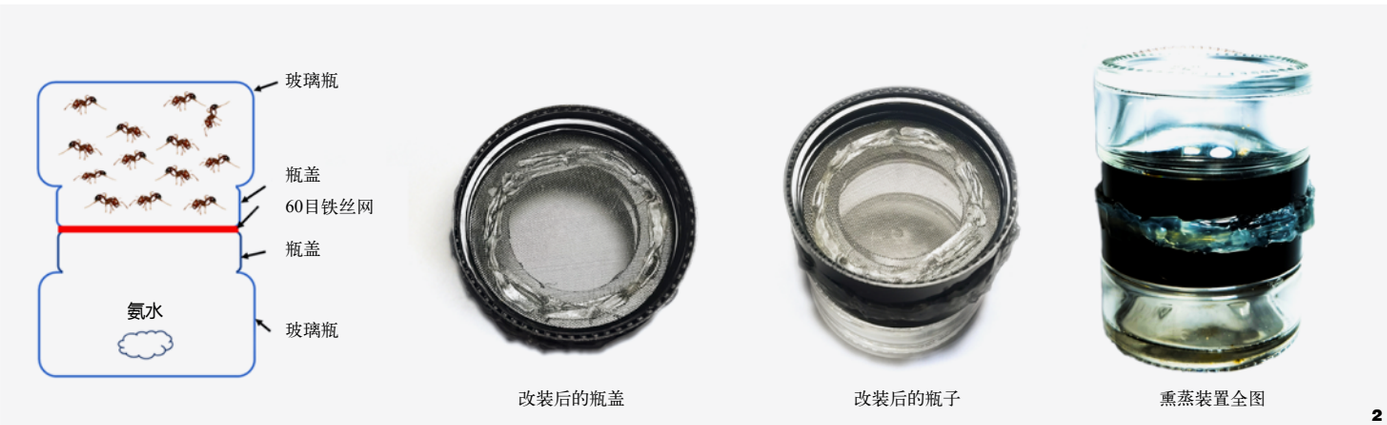


图2 测定氨气对红火蚁熏蒸毒力试验设备
Fig. 2 Determination of ammonia fumigation toxicity test equipment for *Solenopsis invicta*

12.30 mg/L、14.05 mg/L、15.81 mg/L、17.56 mg/L），设置注射水的熏蒸组做空白对照。每个浓度处理三个重复，整个试验重复两个蚁巢。以同样操作方式取健康的雄蚁和雌性生殖蚁各20头分别进行上述处理。

选择熏蒸毒力测定的氨水浓度作为浸液浓度测定氨对红火蚁触杀毒力测定。选用同一蚁群健康的30头大型工蚁，分别放入对应浓度的氨水中浸渍1 s后立即取出并放在吸水纸上吸去过多氨水，然后放入瓶状熏蒸器。处理后的熏蒸器放入黑暗条件静置，分别在24 h后观察和记录各个处理组的死亡虫数并计算死亡率。每个测试浓度有三个重复，以浸泡水的处理组做空白对照，试验重复两个蚁巢。以同样操作方式取健康的雄蚁和雌性生殖蚁各20头分别进行上述处理，每个浓度处理三个重复，试验重复两个蚁巢。校正死亡率采用公式（1）计算。

$$\text{校正死亡率\%} = \frac{\text{试验组死亡率} - \text{对照组死亡率}}{1 - \text{空白对照组死亡率 } 2a} \times 100 \qquad (1)$$

### 1.3 野外防治试验

采用灌巢法测定氨水对红火蚁野外防治效果。试验于2022年5–7月在广州花都区美林油茶育苗基地进行。灌巢装置为本实验室自行设计，由背负式农用喷雾器（沛县蓝天植保器械厂）、追肥枪（兴农农机器械厂）和智能计流器（辽宁省海城市悯农金刚机械制造有限公司）组合改良而成。储存药液的箱体上设置输液管，输液管一端与箱体内腔相连通，另一端设置插管插入蚁巢中；插管上设置用于监测实验药液用量的流量计。该灭蚁装置操作方便，还能够监测药液用量。

根据预实验结果，选择使用含量为0.125%、0.25%、0.313%、0.625%、1.25%和2.5%的氨水作为灌巢药剂，氨浓度分别为1.39 g/L、2.32 g/L、3.25 g/L、6.48 g/L、12.34 g/L、24.59 g/L。为避免迁巢，灌液量参考齐国君等[19]研究，灌巢时用灌巢枪插入蚁巢内，防治直径20 cm以上的蚁巢用液量10 L，直径20 cm及以下的蚁巢用液量5 ~ 10 L，对照区使用清水灌巢，灌巢时以用液量溢满巢面为准。在试验区域内将每30个蚁巢划分为一个试验小区，每个药剂浓度共重复4个小区。

于试验后的1 d、3 d、7 d和14 d观察蚁巢存活情况并调查工蚁的活动情况以判断对红火蚁工蚁的防治效果。活蚁巢判定标准是用铁条或木棍插入蚁巢后，在1 min内有三头及以上红火蚁工蚁爬出即为活蚁巢，反之为死蚁巢。采用诱饵诱集法调查工蚁的活动情况[20]：在每个试验小区内随机放置10个诱集瓶，每个诱集瓶相隔约5 m，将内置诱饵的诱集瓶放置于地表诱集30 min后回收，记录诱集瓶内红火蚁数量，观察灌巢处理后周边植物是否出现肥害。

对蚁巢防治效果和对工蚁防治效果计算见公式（2）（3），参考农药田间药效试验准则（二）第149部分：杀虫剂防治红火蚁（GBT 17980.149-2009）[21]。

$$\text{蚁巢防治效果} = \frac{1 - (NO \times NTi)}{NOi \times NTO} \times 100 \qquad (2)$$

$$\text{工蚁防治效果} = \frac{1 - (WO \times WTi)}{WOi \times WTO} \times 100 \qquad (3)$$

式中，$NO$为药前对照区活蚁巢；$NTi$为药后处理区活蚁巢数；$NOi$为药后对照区活蚁巢数；$NTO$为药前处理区活蚁巢数。$WO$为药前对照区监测瓶中平均工蚁数；$WTi$为药后处理区监测瓶中平均工蚁数；

图3 灌巢处理7天后的红火蚁巢
Fig. 3 The nest of *Solenopsis invicta* after 7 days of mound drench

*WOi* 为药后对照区监测瓶中平均工蚁数；*WTO* 为药前处理区监测瓶中平均工蚁数。

### 1.4 数据分析

运用EXCEL 2013记录并初步分析试验数据，并使用SPSS 21.0进行方差齐性检验，若方差为齐性，使用ANOVA分析并使用Turkey法以95%置信度进行差异显著性分析；若方差不为齐性，使用Kruskal-Wallis检验进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 氨水对红火蚁的熏蒸毒力

氨水对红火蚁的熏蒸毒力如表1所示。结果表明，不同浓度的氨水熏蒸处理后红火蚁的工蚁（$F_{6,35}$=1852.081，$p$<0.001）、雄性生殖蚁（$F_{6,35}$=453.81，$p$<0.001）和雌性生殖蚁（$F_{6,35}$=662.30，$p$<0.001）的校正死亡率均显著高于对照组，中高浓度氨水对其有较好的杀灭效果。与低浓度相比，被高浓度氨水处理过的红火蚁死亡率显著提高。在氨浓度达到15.81 mg/L时，红火蚁工蚁在熏蒸24 h后死亡率达到100%。同浓度氨水对红火蚁的工蚁、雄性生殖蚁和雌性生殖蚁均有杀灭作用，但在相对中高浓度（14.05 mg/L、15.81 mg/L）处理下，雌性生殖蚁和雄性生殖蚁对氨水毒性的耐受度对比工蚁显著更高（14.05 mg/L时，$F_{2,15}$=21.147，$p$<0.001；15.81 mg/L时，$F_{2,15}$=112.965，$p$<0.001）。在提高氨水处理浓度后，生殖蚁的校正死亡率接近100%。

表1 不同浓度氨水熏蒸对红火蚁工蚁、雄性生殖蚁、雌性生殖蚁的熏蒸毒杀活性
Tab.1 Fumigation toxicity of ammonia on worker, male, and female alates of *Solenopsis invicta*

| 氨水浓度/(mg/L) Ammonia concentration | 校正死亡率 ± 标准误差/% Corrected mortality rate ± SE | | |
|---|---|---|---|
| | 工蚁 | 雄性生殖蚁 | 雌性生殖蚁 |
| 7.03 | 11.21±0.34aA | 0.87±0aB | 1.73±1.05aB |
| 8.78 | 33.62±0.97bA | 18.97±1.80bB | 18.97±1.14bB |
| 10.54 | 32.76±0.75bA | 36.24±2.72cA | 43.11±1.67cA |
| 12.30 | 62.93±1.44cA | 50.00±1.64dA | 56.90±2.09dA |
| 14.05 | 89.66±1.18dB | 74.14±2.47eA | 73.28±2.14eA |
| 15.81 | 100±0eB | 87.07±0.87fA | 97.41±0.70fA |
| 17.56 | 100±0eA | 99.14±0.34fA | 99.14±0.34fA |

注：数据为平均值±标准误差。同列小写字母表示同一品级下不同氨浓度的校正死亡率经Tukey检验无显著性差异（$p$>0.05）。同行大写字母表示同一氨浓度下不同品级的校正死亡率经Tukey检验无显著性差异（$p$>0.05）。

### 2.2 氨水对红火蚁的触杀毒力

氨水对红火蚁的触杀毒力较差，17.56 mg/L氨水处理下，红火蚁工蚁、生殖雌蚁和雄蚁的校正死亡率分别为1.11%±0.70%、1.11%±1.11%和1.11%±0.70%（Tukey test，$F_{2,15}$=0.999，$p$=1.000）。

### 2.3 氨水灌巢对红火蚁的防治效果

氨水灌巢对红火蚁蚁巢死亡情况如表2所示。处理1 d后除在经24.59 g/L的氨水灌巢处理的小区发现死亡的红火蚁蚁巢外，减退率没有明显差异（$x^2$=10.435，df=5，$p$=0.176）。处理7 d后的蚁巢有明显蚁巢死亡情况（图3）。14 d后蚁巢减退率出现明显差异，防治效果随氨水浓度逐渐上升，在灌巢氨水浓度为24.59 g/L时防治效果最好，减退率为60.83%（$x^2$=20.144，df=5，$p$<0.001）。

氨水灌巢对红火蚁工蚁减退率的影响如表3所示。24.59 g/L氨水灌巢后，在第7 d（$F_{5,18}$=93.737，$p$<0.001）和第14 d（$F_{5,18}$=112.384，$p$<0.001）工蚁防治效果分别为57.50%和54.36%，显著高于其他浓度处理。

观察氨水灌巢对蚁巢周边植物肥害的影响，结果表明所有试验浓度在14 d内均不会对蚁巢处理周边的植物产生肥害。

## 3 结论与讨论

氨水化学结构简单、挥发性强、污染小、无残留。试验结果表明：（1）氨水对包括工蚁、雌性生殖蚁、雄性生殖蚁在内的多品级红火蚁有较好的熏蒸毒性，在氨浓度达15.81 mg/L时，红火蚁工蚁

表2 不同浓度氨水灌巢对红火蚁蚁巢的防治效果

Tab. 2 Mortality of *Solenopsis invicta* mounds after mound drench with different concentrations of ammonia

| 氨水浓度 /（g/L）Ammonia concentration | 蚁巢防治效果 /% Mortality of fire ant mounds | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 d | 3 d | 7 d | 14 d |
| 1.39 | 0 ± 0a | 0 ± 0b | 0 ± 0c | 1.67 ± 0.96c |
| 2.32 | 0 ± 0a | 2.50 ± 0.16b | 1.67 ± 0.96bc | 0 ± 0bc |
| 3.25 | 0 ± 0a | 18.33 ± 2.15ab | 15.00 ± 2.15bc | 23.33 ± 4.90bc |
| 6.48 | 0 ± 0a | 17.50 ± 0.16ab | 18.33 ± 1.67abc | 26.67 ± 3.60ab |
| 12.34 | 0.83 ± 0.83a | 19.17 ± 0.83ab | 22.50 ± 2.50ab | 35.83 ± 2.85ab |
| 24.59 | 1.67 ± 0.96a | 23.33 ± 2.36a | 40.00 ± 5.93a | 60.83 ± 0.64a |

注：数据为平均值 ± 标准误差。同列字母表示不同氨浓度的蚁巢防治效果经Kruskal-Wallis检验无显著性差异（$p$>0.05）。

表3 不同浓度氨水灌巢下红火蚁工蚁减退率

Tab. 3 Reduction rate of *Solenopsis invicta* workers after mound drench with different concentrations of ammonia

| 氨水浓度 /（g/L）Ammonia concentration | 工蚁减退率 /% The reduction rate of fire ant workers | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 d | 3 d | 7 d | 14 d |
| 1.39 | 3.50 ± 1.48b | -2.25 ± 2.15d | -1.50 ± 1.08d | 0.62 ± 1.29c |
| 2.32 | 1.95 ± 0.39b | -1.50 ± 1.55d | 0.62 ± 1.45cd | 1.09 ± 1.33c |
| 3.25 | 9.60 ± 1.89ab | 12.35 ± 2.98bc | 13.51 ± 2.78c | 1.89 ± 1.35c |
| 6.48 | 24.25 ± 1.25a | 6.53 ± 1.28c | 9.35 ± 1.82c | 4.99 ± 1.38c |
| 12.34 | 21.25 ± 2.75a | 20.25 ± 2.85ab | 35.50 ± 2.15b | 34.50 ± 3.06b |
| 24.59 | 15.65 ± 4.55a | 27.50 ± 1.72a | 57.50 ± 3.23a | 54.36 ± 3.52a |

注：数据为平均值 ± 标准误差。同列小写字母表示不同氨浓度的工蚁防治效果经Kruskal-Wallis检验或Tukey检验无显著性差异（$p$>0.05）。其中1 d防治效果经 Kruskal-Wallis检验，3 d、7 d和14 d的防治效果经Tukey检验。

在熏蒸24 h后死亡率达100%；在氨浓度达17.56 mg/L时，红火蚁雌性生殖蚁和雄性生殖蚁在熏蒸24h后死亡率达99.14%。（2）高浓度氨水处理对红火蚁的毒杀效果要显著高于较低浓度氨水处理。郭文举等[22]研究表明，不同品级或不同体型红火蚁对同一药剂的耐受性有区别，体型较大的红火蚁对同一浓度药剂耐受能力较高。类似的，红火蚁对同浓度氨水毒性的耐受度也有差别，雄性生殖蚁对同浓度氨水毒性的耐受能力比雌性生殖蚁高；雌性生殖蚁和雄性生殖蚁对同浓度氨水毒性的耐受能力均高于工蚁，究其原因可能是因为工蚁体型较有翅生殖蚁较小，耐受力较低。（3）红火蚁氨水触杀试验结果表明，氨水对红火蚁的毒性主要为熏蒸毒性，触杀毒性并不明显。根据Welling等[23]的研究，物质的挥发性越强，留在昆虫角质层上的化合物越少，能到达作用部位的有效物质也越少，氨水的强挥发性可能是氨水触杀毒性较差的原因。

红火蚁为社会性昆虫，不同品级的蚁种有不同的分工，具有极强的生殖能力，蚁后最多一日可产卵上千粒，但红火蚁蚁后通常在巢穴的较深位置，因此如何灭杀蚁后是对红火蚁蚁巢处理的关键[24]。红火蚁适生性极强，入侵一个地方后会迅速筑巢发展，而其多孔而致密的蚁巢有利于通过熏蒸法处理。氨水具有较强的挥发性，在野外使用氨水灌巢时，可有效抑制红火蚁种群数量。实际灌巢试验结果表明，在城市绿地生境中使用氨水灌巢时，可以有效抑制红火蚁种群数量。在灌巢氨水浓度为24.59 g/L时蚁巢减退率为60.83%，工蚁防治效果达54.36%。其原因可能是，氨水挥发后会迅速沿巢内多孔的蚁道传播至整个巢穴，可达到对隐藏在巢穴较深位置的生殖蚁和蚁后的灭杀效果。Mortland等[25]研究证明，土壤对氨水有较强的吸附能力且土壤的吸附能力会受土壤化合物等元素的含量影响。因此氨水在野外试验中对红火蚁的有效浓度较室内试验毒力有效浓度有较大差异，可能和城市绿地生境中土壤对氨水的吸附作用有关。与氨水类似的甲酸也是自然界中常见的化合物，具有结构简单、挥发性强的特点，也可用于害虫防治[26-27]。Chen等[28]试验结果表明，甲酸浓度达1.57 μg/mL时处理24 h后，工蚁死亡率为100%，而氨水浓度需要达到15.81 μg/mL时，工蚁的死亡率才能达到100%。与氨水相比，甲酸具有较强的熏蒸毒性，但是人类可以在100 ppm氨水环境下活动数小时而不会引起太大伤害，对甲酸的忍受能力要远远低于对氨水的[29]；另一方面，氨水在生产使用中对环境的友好度较甲酸高，甲酸在特定环境下使用会造成危险[30]。因此氨水比甲酸更适合作为熏蒸剂进行灌巢处理。

目前，化学防治仍然是城市绿地中最主要的红火蚁防治手段。但在城市绿地生境中使用化学药剂时，仍有许多问题亟待解决。在城市绿地等人员流动较大、游客较密集的区域中使用化学药剂时，需避免行人误触；

同时城市绿地的环境简单，物种丰富度较单一，需要化学药剂拥有更好的环境友好度。氨水在拥有较高环境友好度的同时，对红火蚁有较高的熏蒸毒性，可以较快灭杀巢内的红火蚁，进而降低红火蚁数量，从而达到最终控制红火蚁种群。本研究在室内条件和城市绿地生境中评估了氨水对红火蚁的熏蒸毒性，在实际操作时往往因受土壤质量、天气状况等影响而进行调整；灌巢试验时土壤会对氨水有一定的稀释和吸收作用，导致使用浓度需要进一步提高；为确保对红火蚁蚁巢的整体灭杀，应考虑在天气晴朗时适当提高氨水的浓度进行野外灌巢。氨水是一个对红火蚁具有较好防控潜力的药剂，开展野外测试以研发相应的环境友好型灌巢剂。

注：文中图表均由作者自绘/摄。

## 参考文献


[1] VINSON S B. Impact of the Invasion of the Imported Fire Ant[J]. Insect Science, 2013, 20(4): 439-455.

[2] LIU Y, HUANG S, LIN I, et al. Establishment and Social Impacts of the Red Imported Fire Ant, *Solenopsis invicta*, (Hymenoptera: Formicidae) in Taiwan[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(10): 5055.

[3] QIN W, XIONG H, WEN Y, et al. Laboratory and Field Evaluation of the Repellency of Six Preservatives to Red Imported Fire Ants (Hymenoptera: Formicidae)[J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2017, 20(2): 535-540.

[4] 杜澄举, 王磊, 陆永跃, 等. 林草湿地与城市绿地红火蚁发生特点与监测防控研究进展[J]. 昆虫学报, 2023, 66(8): 1128-1138.

[5] HADDAD JUNIOR V, LARSSON C E. Anaphylaxis Caused by Stings from the *Solenopsis invicta*, lava-pés Ant or Red Imported Fire Ant[J]. Anais Brasileiros de Dermatologia, 2015, 90: 22-25.

[6] 覃立微. 红火蚁对绿地中昆虫多样性的影响调查[J]. 中华卫生杀虫药械, 2021, 27(4): 358-361.

[7] 中国人民共和国农业部. NY/T 2415-2013 红火蚁化学防控技术规程[S]. 2013.

[8] 陆永跃, 曾玲, 许益镌, 等. 外来物种红火蚁入侵生物学与防控研究进展[J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(5): 149-160.

[9] LIN H, TSENG Y, CHEN C, et al. Use of Liquid Nitrogen to Treat *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) Nests[J]. Florida Entomologist, 2013, 96(3): 871-876.

[10] DREES B M, CALIXTO A A, NESTER P R. Integrated Pest Management Concepts for Red Imported Fire Ants *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae)[J]. Texas FARMER Collection, Insect Science, 2013, 20(4): 429-438.

[11] MCNAUGHT M K, WYLIE F R, HARRIS E J, et al. Effect of Broadcast Baiting on Abundance Patterns of Red Imported Fire Ants (Hymenoptera: Formicidae) and Key Local Ant Genera at Long-Term Monitoring Sites in Brisbane, Australia[J]. Journal of Economic Entomology, 2014, 107(4): 1307-1315.

[12] LIANG M, SHUANG Y, DENG J, et al. Toxicity and Horizontal Transfer of Bifenthrin and Dimefluthrin Against the Red Imported Fire Ant, *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae), and the Efficacy of Their Dust Applications in the Field[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2023, 22(5): 1465-1476.

[13] 王箴. 化工词典[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.

[14] MARKIN G P, COLLINS H L, DILLIER J H. Colony Founding by Queens of the Red Imported Fire Ant, *Solenopsis invicta*[J]. Annals of the Entomological Society of America, 1972, 65(5): 1053-1058.

[15] 周爱明, 陆永跃, 许益镌, 等. 溴甲烷对红火蚁的熏蒸效果研究[J]. 环境昆虫学报, 2011, 33(1): 70-73.

[16] IRFAN A M, HARAHAP I S. The Toxicity of Ammonia as a Fumigant to Dry Wood Termite (Cryptotermes cynocephalus L.) on Sengon Wood[J]. Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika, 2023, 23(2): 42-48.

[17] 吕利华, 冯夏, 陈焕瑜, 等. 介绍红火蚁的野外采集和实验室饲养的方法[J]. 昆虫知识, 2006(2): 265-267.

[18] 罗茵, 钟雨佳, 马千里, 等. 皇帝柑与脐橙果皮挥发性物质对红火蚁的熏蒸活性[J]. 贵州农业科学, 2019, 47(10): 47-51.

[19] 齐国君, 刘杰, 陈婷, 等. 药剂灌巢剂量对红火蚁蚁巢迁移的影响[J]. 环境昆虫学报, 2017, 39(4): 848-853.

[20] 宋侦东, 许益镌, 陆永跃, 等. 化学防治对绿化带中红火蚁及本地蚂蚁的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(11): 6148-6155.

[21] 中华人民共和国国家质量监督监督检验检疫总局. GB/T 17980.149-2009 农药田间药效试验准则(二)第149部分：杀虫剂防治红火蚁[S]. 2009.

[22] 郭文举, 刘家莉, 崔儒坤, 等. 红火蚁不同品级个体的药剂敏感性研究[J]. 应用昆虫学报, 2015, 52(6): 1392-1396.

[23] WELLING W, PATERSON G D. Toxicodynamics of Insecticides[J]. Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology, 1985, 12: 603-646.

[24] 张波, 赖韦文, 王美兰, 等. 广东农林外来有害生物红火蚁入侵历史考察[J]. 福建林业科技, 2015, 42(03): 147-152.

[25] MORTLAND M M. Adsorption of Ammonia by Clays and Muck[J]. Soil Science, 1955, 80(1): 11-18.

[26] SONG C, SCHARF M E. Formic Acid: A Neurologically Active, Hydrolyzed Metabolite of Insecticidal Formate Esters[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2008, 92(2): 77-82.

[27] SONG C, SCHARF M E. Neurological Disruption by Low-molecular-weight Compounds from the Heterobicyclic and Formate Ester Classes[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2008, 92(2): 92-100.

[28] CHEN J, RASHID T, FENG G. Toxicity of Formic Acid to Red Imported Fire Ants, *Solenopsis invicta* Buren[J]. Pest Management Science, 2012, 68(10): 1393-1399.

[29] HELMERS S, TOP S R F H, KNAPP J R L W. Ammonia Injuries in Agriculture.[J]. Journal of the Iowa Medical Society, 1971, 61(5): 271-280.

[30] YANG C, GER J, LI C. Formic Acid: A Rare but Deadly Source of Carbon Monoxide Poisoning[J]. Clinical Toxicology, 2008, 46(4): 287-289.