



黄俊, 丁浩毅, 钱诚, 张娟, 李晓维, 刘又高, 章金明, 张治军, 吕要斌. 两种红火蚁监测方法应用效果的比较 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (6): 1389–1395.

## 两种红火蚁监测方法应用效果的比较

黄俊<sup>1,2</sup>, 丁浩毅<sup>2</sup>, 钱诚<sup>1</sup>, 张娟<sup>3</sup>, 李晓维<sup>1</sup>, 刘又高<sup>4</sup>,  
章金明<sup>1</sup>, 张治军<sup>1</sup>, 吕要斌<sup>1,2\*</sup>

(1. 浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所, 省部共建农产品质量安全危害因子与风险防控国家重点实验室, 杭州 310021;

2. 浙江农林大学现代农学院, 杭州 311300; 3. 浙江省园林植物与花卉研究所, 杭州 311122;

4. 浙江省亚热带作物研究所, 浙江温州 325005)

**摘要:** 红火蚁 *Solenopsis invicta* 是全国农业、林业和进境植物检疫性有害生物, 是世界自然保护联盟收录的最具有破坏力的入侵生物之一。高效精准监测红火蚁在其防控中尤为重要, 而诱饵诱集是监测红火蚁的有力措施, 相对诱饵的筛选和改进, 诱集器方面研究则较为滞后。本文对“透明塑料瓶+火腿肠”(PS)和“新型诱集器+火腿肠”(TS)这两类诱集器的红火蚁诱集效果进行比较分析。结果表明, 下午1:30至3:30时段, PS处理透明塑料瓶在放置5 min之后存在明显的升温效应, 伴随着诱集到的红火蚁数量明显减少, 诱集到红火蚁的诱饵比例也下降明显, 较TS处理下降了43.6%。而且, TS的投放时间和回收耗时均明显比PS的短; 在复杂的荒地生境中, 投放的诱集器数量越多, PS的诱集器回收率则越低; 当投放的诱集器达到90个时, PS处理回收率为92.34%, 而TS处理为98.67%。综合上述分析, 诱集方法TS由于诱饵开放、诱集和标示一体、稳定性好等特点在应用效果上较PS有优势, 适用面更广, 今后还需对其进一步完善和改进并应用于红火蚁的调查监测。

**关键词:** 红火蚁; 监测; 诱饵; 觅食; 入侵生物

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 06-1389-07

## Comparison of application effects of two methods to monitoring red fire ants, *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae)

HUANG Jun<sup>1,2</sup>, DING Hao-Yi<sup>2</sup>, QIAN Cheng<sup>1</sup>, ZHANG Juan<sup>3</sup>, LI Xiao-Wei<sup>1</sup>, LIU You-Gao<sup>4</sup>, ZHANG Jin-Ming<sup>1</sup>, ZHANG Zhi-Jun<sup>1</sup>, LÜ Yao-Bin<sup>1,2\*</sup> (1. State Key Laboratory for Managing Biotic and Chemical Threats to the Quality and Safety of Agro-products, Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; 2. College of Modern Agriculture, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China; 3. Institute of Garden Plants and Flowers, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 311122, China; 4. Zhejiang Institute of Subtropical Crops, Wenzhou 325005, Zhejiang Province, China)

**Abstract:** Red imported fire ant (RIFA, *Solenopsis invicta* Buren) is one of the most destructive invasive organisms listed by the International Union for Conservation of Nature (IUCN), and is the insect pest for agricultural, forestry and import plant quarantine in China. Effective and accurate monitoring of RIFAs is particularly important in the prevention and control of RIFAs, and bait-trapping is a powerful

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2021YFD1000500); 浙江省公益技术应用研究计划 (LGN21C140005); 浙江省“三农九方”科技协作项目 (2022SNJF075); 温州市重大科技创新攻关项目 (ZS2021002)

作者简介: 黄俊, 男, 1981年生, 浙江文成人, 博士, 副研究员, 研究方向为外来有害生物控制, E-mail: junhuang1981@126.com

\* 通讯作者 Author for correspondence: 吕要斌, 研究员, 研究方向为外来有害生物控制, E-mail: luybcn@163.com

收稿日期 Received: 2022-05-09; 接受日期 Accepted: 2022-06-15

measure to monitor RIFAs. Compared with the screening and improvement of bait, the research on trap detector lags behind. Here, the application effects of two monitoring methods (i.e., “plastic bottle + sausage” (PS) and “novel trap + sausage” (TS)) on RIFAs were compared and analyzed. The results showed that plastic bottle with PS treatment had an obvious warming effect after 5 min between 1:30 and 3:30 p.m., with a significant decrease in the number of RIFAs, and the proportion of bait that collected RIFAs decreased by 43.6% compared with TS treatment. Additionally, the time consumed by placed or retrieved traps with TS treatment was significantly shorter than that of PS treatment. In the complex wasteland habitat, the more traps were placed, the lower the trap recovery rate with PS treatment was; when the number of traps reached 90, the recovery rate with PS treatment was 92.34%, while that of TS treatment was 98.67%. Based on the above analysis, we suggested that monitoring method-TS had advantages over PS in application effects due to its characteristics of open bait, integration of trap and labeling, and good stability. Monitoring method-TS was suitable for a wider range of applications, and needed to be further improved and applied to the investigation and monitoring of RIFAs in the future.

**Key words:** *Solenopsis invicta*; monitoring; bait; foraging; invasive biology

红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 是全国农业、林业和进境植物检疫性有害生物,是世界自然保护联盟收录的最具有破坏力的入侵生物之一,对农林生产、人畜健康、公共安全、生物多样性等具有严重影响 (Allen *et al.*, 1994; Vinson, 2013; 陆永跃和曾玲, 2015; 陆永跃等, 2019)。2004 年 9 月,在我国大陆广东省吴川市首次发现红火蚁入侵为害,截至 2021 年 3 月,红火蚁则已传播至我国 12 个省 435 个县(市、区),近 5 年新增发生县级行政区较 2016 年增长了一倍(农业农村部, 2021),当前及今后一定时期正在快速扩散,防控形势非常严峻 (Wang *et al.*, 2020; 王磊等, 2022)。浙江省自 2016 年 12 月在金华婺城首次发现红火蚁疫情以来,已在 7 个地级市 20 多个区县发生,作为全国红火蚁阻截前沿区,根据浙江省委省政府“迅速坚定扑灭”指示要求严格实施根除处理,坚决遏制疫情外扩,截至 2021 年 4 月已累计扑灭疫情面积 306 hm<sup>2</sup>,成效显著 (应俊杰等, 2021)。

农业植物疫情的防控一贯强调早发现、早报告及早控制,红火蚁的防控也不例外。而红火蚁在地表建立成型的隆起蚁丘之前,其发生非常隐蔽,目测踏查难以发现,因此高效精准监测隐蔽的红火蚁显得尤为重要。诱饵诱集是发现红火蚁的有力措施 (黄俊等, 2007),例如常见的“透明塑料瓶+火腿肠切片”的诱集方法,由于其简便性得到了广泛使用 (黄俊等, 2009; 刘杰等, 2016; 黄俊等, 2018),也有将火腿肠切片直接插在烧烤签上或是放置在培养皿、滤纸或锡箔纸上

进行诱集 (Hashimoto *et al.*, 2019; Qin *et al.*, 2019; 陈利民等, 2019)。大量野外实践发现,红火蚁诱集器的结构对诱饵诱性、诱集率、装置投放和回收的难易程度、诱集器回收率等方面均有一定影响。鉴于此,为了综合评估透明塑料瓶诱集方法与本研究团队研制的红火蚁诱集器的监测效果,本文对这两类诱集器的红火蚁诱集效果和使用参数进行比较分析,旨在为改进红火蚁监测装置提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

两种红火蚁诱集装置,分别为 1) 带螺纹口的透明塑料瓶,材质为聚乙烯,容量为 50 mL; 2) 新型诱集器,由遮挡帽、标示旗及固定签等诱集配件组成的装置,详见张莉丽等 (2020) 描述。监测诱饵为市售火腿肠,切成 0.5 cm 薄片供试。温度测定采用 GSP-6 温湿度记录仪 (江苏省精创电气股份有限公司生产)。

### 1.2 试验设计及方法

设置两种监测方法: 1) 采用“新型诱集器+火腿肠薄片”进行诱集 (简称 TS),即火腿肠薄片自下而上插到固定签上,且在遮挡帽下方,然后将整个诱集装置通过固定签插在地面上; 2) 采用“透明塑料瓶+火腿肠薄片”进行诱集 (简称 PS),即切好的火腿肠薄片放置在透明塑料瓶内,而塑料瓶水平放置在地面且瓶口贴地。

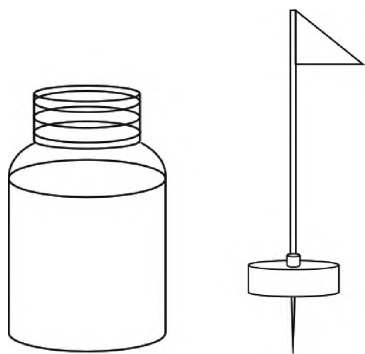


图1 两种红火蚁诱集装置的示意图

Fig. 1 Schematic diagram of two red imported fire ant traps  
注: 左, 透明塑料瓶; 右, 新型诱集器。Note: Left, Plastic bottle; Right, Novel trap.

### 1.2.1 不同监测方法对诱饵周围温度的影响

红火蚁诱集器具有一定的密闭性, 在太阳照射下会导致诱饵周围温度升高, 从而产生高温效应 (诱饵加速失水或导致蚂蚁避开), 影响红火蚁的监测效果 (Lei *et al.*, 2021)。因此, 该试验测试了不同结构的诱集器在太阳照射下是否会对诱饵周围的温度造成影响。将 GSP-6 温湿度记录仪的探头分别靠近塑料瓶内或新型诱集器下方的诱饵, 探头与诱饵间距小于 0.5 cm; 诱集装置在地表放置 1 min 之后开始记录, 每 20 s 温湿度记录仪将会自动记录一次数据, 连续测定 15 min, 即获取 45 组温度数值。一天当中分 3 个时段进行试验, 分别是上午 9:30 至 11:30、下午 1:30 至 3:30 和 3:30 至 5:30; 除了两种监测方法之外, 同时还设置一组空白对照, 即将空的透明塑料瓶瓶口贴地水平放置, 每个处理 3 次重复。

### 1.2.2 两种监测方法对红火蚁诱集效果的影响

采用上述两种监测方法 TS 和 PS, 3 个诱集测试时段分别为上午 9:30 至 11:30、下午 1:30 至 3:30 和 3:30 至 5:30, 试验点位于杭州市萧山区郊区的荒地, 该处红火蚁蚁巢平均密度为 7.5 个/亩。监测方法如 1.2 所述, 诱集器投放间距为 7~10 m, 放置 15 min 之后收回, TS 处理需将同规格透明塑料瓶旋入具螺纹结构的遮挡帽, 而 PS 处理则是将盖子旋上即可。室内用 70% 酒精对诱集的红火蚁处理之后进行计数, 每个处理 5 次重复, 每次重复投置 10 个诱集器 (即诱饵), 诱集器和所带的诱饵在每次测试后需更换。

### 1.2.3 不同生境条件对投放与回收诱集器所消耗时间的影响

选择地面齐平的绿化草坪 (草坪高度 <

10 cm) 和荒地 (地表有杂草覆盖, 杂草高度 20~50 cm) 进行试验。每隔 5 m 投放 1 个诱集器 (诱饵), 按直线共投放 30 个, 测定投放 30 个诱集器所需时间, 以及将所有诱集器回收所需时间。投放前, TS 和 PS 处理的诱饵已分别插在固定签上和存放在塑料瓶内; 投放时, TS 处理不论角度将诱集器插在地面即可, 而 PS 处理只需将瓶口贴地水平放置, 诱饵抖落到瓶颈部位, 拧开的盖子则放置一侧作为标示; 回收方法按照 1.2.2 操作。每个处理 15 次重复。

### 1.2.4 两种监测方法对诱集器回收率的影响

选择地表齐平且视野开阔的荒地进行试验, 在两种监测方法下投放不同数量 (30、60 和 90 个) 的诱集器, 然后测定诱集器的回收率, 即在参照 1.2.3 诱集器回收耗时的基础上统计回收结束之后诱集器回收的数量, 每个处理 10 次重复。

## 1.3 数据分析

采用单因素方差分析分别比较不同监测时段下不同监测方法对诱饵周围温度的影响差异性; 采用 *t* 检验比较分析 TS 与 PS 两种监测方法对诱集红火蚁的效果差异性, 以及在绿化带或荒地情况下两种监测方法对诱集器投放时间或回收耗时的影响差异性; 采用两样本 Wilcoxon 检验比较分析 TS 与 PS 两种监测方法对诱到红火蚁诱饵比例的影响差异性; 采用二因素非参数分析比较不同监测方法和投放诱集器数量对诱集器回收率的影响。数值以平均值  $\pm$  标准误表示, 所有数据采用 DPS (Data Processing System) 软件进行统计分析, Duncan 新复极差法进行差异显著性分析, 采用 Excel 2003 软件进行作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同监测方法对诱饵周围温度的影响

通过对不同监测方法下诱饵周围温度的波动情况进行分析发现, pm 1:30—3:30 时段不同诱集方法之间的温度变化差异显著 ( $F = 4.51$ ,  $P < 0.05$ ), 在诱集器放置 5 min 之后, 诱集方法 PS 出现明显的升温效应, 最高值将近 38℃, 而空瓶对照的最高值超过 42℃, 诱集方法 TS 虽有升温, 但是变化幅度在 3℃之内 (图 2)。am 9:30—11:30 和 pm 3:30—5:30 两个时段不同诱集方法之间的温度变化差异不显著 ( $F = 0.038$ ,  $P > 0.05$ ;  $F = 0.94$ ,  $P > 0.05$ )。

## 2.2 两种监测方法对红火蚁诱集效果的影响

只有在 pm 1:30—3:30 时段下,不同诱集方法对红火蚁的诱集数量有显著影响,即诱集方法 TS 诱集到的红火蚁数量要显著高于诱集方法 PS 的情况 ( $20.76 \pm 1.69$  头/诱饵 VS  $13.96 \pm 1.04$  头/诱饵,  $t=4.99$ ,  $df=9$ ,  $P<0.05$ ),而在另外两个时段两种诱集方法之间差异不显著 (am 9:30—11:30,  $t=1.09$ ,  $df=9$ ,  $P>0.05$ ; pm 3:30—

5:30,  $t=1.46$ ,  $df=9$ ,  $P>0.05$ ) (图 3)。在 pm 1:30—3:30 时段下,诱集方法 TS 的诱到红火蚁的诱饵比例要显著高于诱集方法 PS ( $78.00\% \pm 3.74\%$  VS  $44.00\% \pm 4.00\%$ ,  $U=2.52$ ,  $P<0.05$ ),而在另外两个时段两种诱集方法之间差异不显著 (am 9:30—11:30,  $U=0.22$ ,  $P>0.05$ ; pm 3:30—5:30,  $U=0.11$ ,  $P>0.05$ ) (图 4)。

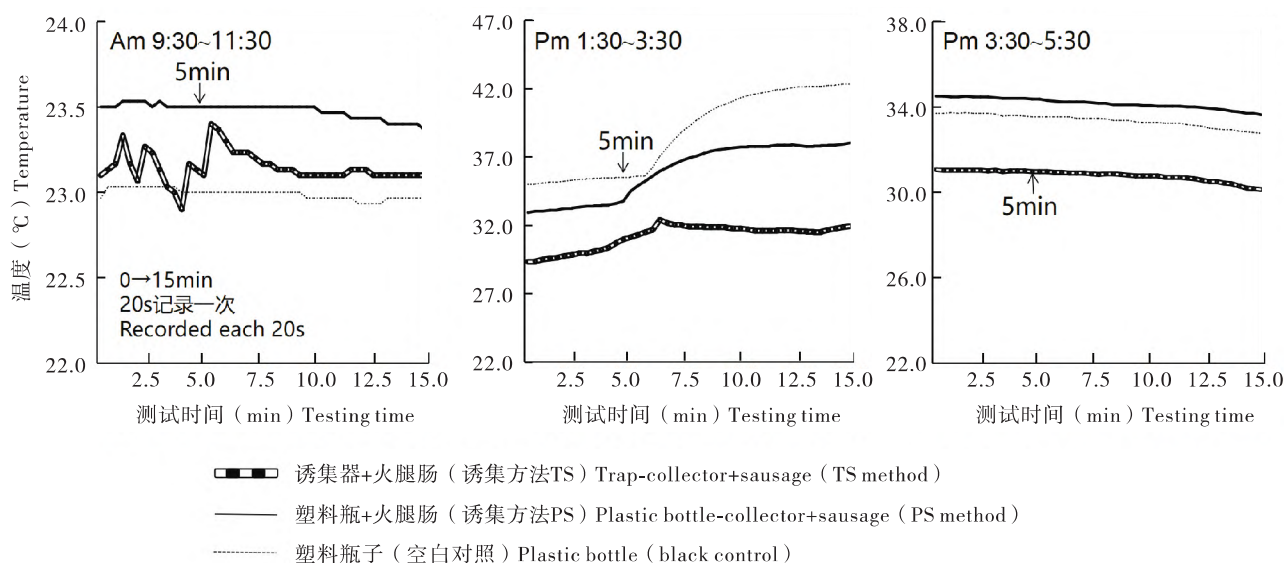


图 2 不同监测方法下诱饵周围温度在 15min 内的波动情况

Fig. 2 Fluctuation of temperature around bait in 15min under different monitoring methods

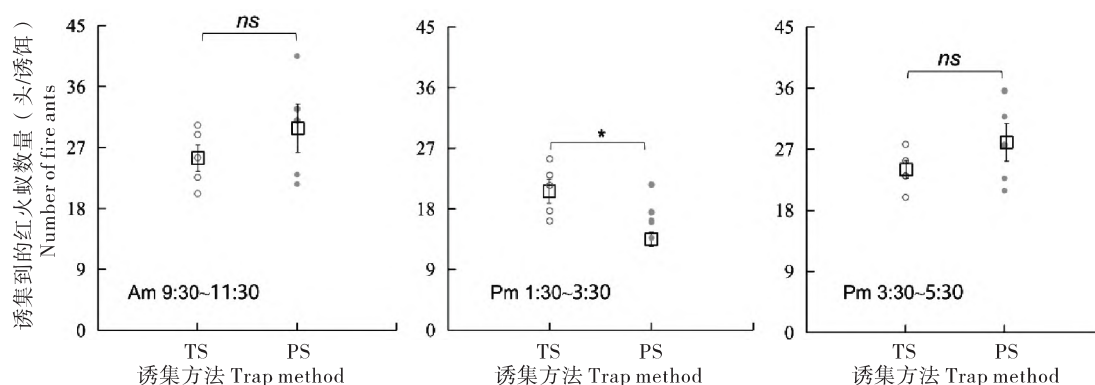


图 3 两种监测方法诱集红火蚁数量差异比较

Fig. 3 Comparison of the number of red imported fire ants collected by two monitoring methods

注: 柱形图中\*表示处理组间差异显著, ns表示差异不显著。下图同。Note: \* and ns showed significantly difference and no significantly difference between treatments at 0.05 level, respectively. Same below.

## 2.3 不同生境条件对投放与回收诱集器所消耗时间的影响

无论是在绿化带还是荒地,诱集方法 TS 的投放时间均明显比诱集方法 PS 的短 (绿化带:  $t=$

$4.20$ ,  $df=14$ ,  $P<0.01$ ; 荒地:  $t=6.83$ ,  $df=14$ ,  $P<0.01$ ),而且回收耗时也是诱集方法 TS 的要短 (绿化带:  $t=15.49$ ,  $df=14$ ,  $P<0.01$ ; 荒地:  $t=5.82$ ,  $df=14$ ,  $P<0.01$ ) (表 1)。

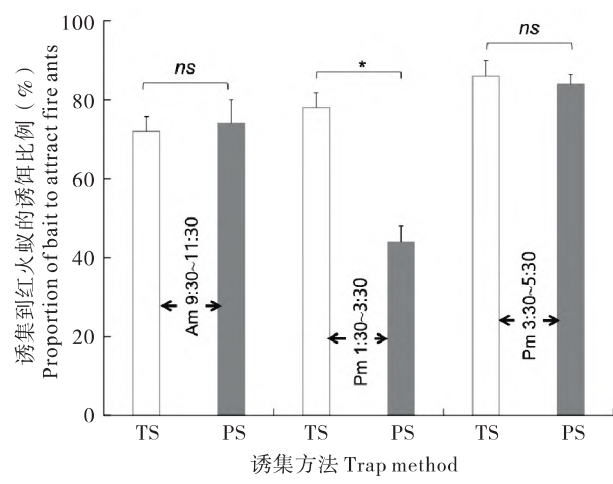


图4 两种监测方法下诱到红火蚁的诱饵比例差异比较  
Fig.4 Comparison of bait proportion of red imported fire ant trapped under two monitoring methods

### 2.4 监测方法与诱集器投放数量对诱集器回收率的影响

经数据分析表明,诱集方法和投放诱集器的数量的交互作用对诱集器回收率有显著影响 ( $F_{2,54} = 4.54, P < 0.05$ )。采用诱集方法 TS 情况下,投放的诱集器数量对其回收率无显著影响 ( $P > 0.05$ ),而在诱集方法 PS 情况下,投放的诱集器数量对其回收率有显著影响 ( $P < 0.05$ ),即随着投放诱集器数量的增加其回收率显著下降。回收率在不同诱集方法之间的差异性主要体现在投放 60 个和 90 个诱集器的处理上,且以诱集方法 TS 的回收率要显著高于诱集方法 PS 处理 ( $P < 0.05$ ) (表 2)。

表 1 两种监测方法进行投放和回收时所需时间  
Table 1 Time to place traps and retrieve traps for two monitoring methods

| 处理<br>Treatment        | 投放时间 (s) Time to place traps | 回收耗时 (s) Time to retrieve traps |
|------------------------|------------------------------|---------------------------------|
|                        | 绿化带 Green belt               | 荒地 Waste ground                 |
| 诱集方法 TS Trap method-TS | 234.07 ± 2.05                | 279.20 ± 2.55                   |
| 诱集方法 PS Trap method-PS | 248.07 ± 2.25 **             | 307.40 ± 2.00 **                |

注:表中同列数据后标注“\*\*”表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )。Note: Values within a column followed by \*\* indicated significant difference at  $P = 0.01$ .

表 2 监测方法与诱集器投放数量在回收率上的差异比较  
Table 2 Comparison of the difference between the monitoring method and the number of traps in recovery rate

| 处理 Treatment           | 回收率 (%) Recovery rate |                  |                  |
|------------------------|-----------------------|------------------|------------------|
|                        | 30 个诱集器 30 traps      | 60 个诱集器 60 traps | 90 个诱集器 90 traps |
| 诱集方法 TS Trap method-TS | 100.00 ± 0.00 aA      | 100.00 ± 0.00 aA | 98.67 ± 0.74 aA  |
| 诱集方法 PS Trap method-PS | 100.00 ± 0.00 aA      | 96.34 ± 1.53 bB  | 92.34 ± 1.93 cB  |

注:表中同行数据后标注不同小写字母或同列数据后标注不同大写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。Note: Different lowercase letters on the same rows or different capital letters on same columns indicated significant difference at  $P = 0.05$ .

## 3 结论与讨论

红火蚁是一种真社会性昆虫,其庞大蚁群中的个体之间保持着高度有序的劳动或合作分工,通过蚁后、工蚁及幼虫信息素等通讯媒介完成集聚、识别、生殖、报警与防御等丰富的生理及行为交流活动 (Rocca *et al.*, 1983; Vander *et al.*, 1988; Vander *et al.*, 2010)。工蚁是红火蚁群体中

不具生殖能力的一类雌蚁,能利用其跟踪信息素进行高效的觅食和招募 (Vander *et al.*, 1988),是工蚁外出中重要的一项日常工作。因此,可以利用红火蚁的觅食行为特性,开展其调查监测工作,从而早发现红火蚁或是能对其防控效果进行有效评估 (黄俊等, 2008; 赵琳等, 2018)。

自 2004 年我国大陆首次发现红火蚁以来,“透明塑料瓶+火腿肠切片”的监测方法一直被广为采用,许多学者利用该方法对比分析了不同饵

料或不同肉质种类火腿肠对红火蚁的引诱效果 (宋侦东等, 2007; 许益鏊等, 2007; 陈利民等, 2019), 然而对于诱集器的选择或改进上却鲜见报道。除了诱饵因素之外, 环境温度是影响红火蚁觅食的一个重要因素 (许益鏊等, 2014; Lei *et al.*, 2021), 研究发现温和的地表温度 (26.65℃至 29.24℃) 非常适宜红火蚁外出觅食 (许益鏊等, 2014)。那么, 在近乎密闭或是半开闭结构的诱集器携带火腿肠切片的情形下, 地表温度虽然适宜红火蚁活动, 而诱集器在太阳直晒下形成的高温效应是否会影响红火蚁觅食? 通过本研究发现, 一天当中下午 1:30 至 3:30 时段, 半开闭状态的透明塑料瓶在放置 5 min 之后存在明显的升温效应, 而其他时段诱饵周围的温度波动不明显, 而全开放状态的诱集方法 TS 其诱饵周围的温度波动均不明显。进一步研究发现, 透明塑料瓶内发生的升温效应伴随着诱集到的红火蚁数量较诱集方法 TS 有明显减少, 尤其是诱集到红火蚁的诱饵比例下降明显, PS 较 TS 处理下降了 43.6%。从而说明诱集方法 PS 的监测结果未能真实反映红火蚁发生情况, 其原因很可能是由于透明塑料瓶内的高温效应驱使红火蚁未进入觅食, 而诱集方法 TS 的诱集器存在遮阳帽的设计 (张莉丽等, 2020), 从而避免了诱饵被直晒而保持长时间的引诱性, 说明开放性装置有利于红火蚁快速发现诱饵。因此, 在本试验设定的条件下, 下午 1:30 至 3:30 时段不适宜使用诱集方法 PS。

红火蚁的监测效率除了要考量是否能精准诱集红火蚁之外, 还需进一步考虑投放和回收诱集器所消耗的时间, 即操作是否便利的问题。本研究发现, 诱集方法 TS 的投放时间和回收耗时均要比诱集方法 PS 的短, 这一优势在复杂的荒地生境中体现更为明显。这主要是由于两种诱集器结构不同而导致的, 透明塑料瓶水平放置在地表时须进一步确保瓶口贴地, 并将瓶盖放置一边进行标示, 而诱集和标示一体的诱集方法 TS 则仅须要插至地表即可, 操作上更加简便。目前, 诱集器均是塑料材质, 那么如果将诱集器遗失在野外则会造成对环境的污染, 因此诱集器标示显眼、放置稳当从而保证高回收率显得尤为重要。研究发现, 在复杂的荒地生境中, 投放的诱集器数量越多, 诱集方法 PS 的诱集器回收率则越低, 在投放 90 个诱集器的情况下, 诱集方法 TS 也出现了遗漏诱集器的现象。因此, 实际调查中在考虑生境类型

的基础上, 还应综合考虑诱集方法的选择和投放诱集器的数量。今后也可研发可降解材质的诱集器, 从而保护生态环境。在实际操作过程中还发现诱集方法 TS 可以适用于更多环境, 例如斜坡 (TS 诱集器斜插固定可避免水平放置不稳的问题)、苗木交易市场涉及的带土盆或袋装植物 (人为干扰环境下 TS 诱集器的固定性更好)、家禽和啮齿动物出没场所 (TS 诱集器有遮阳帽保护诱饵, 一定程度上可增加被偷食的难度)。通过上述对两种诱集方法的应用效果差异分析, 有利于今后对诱集装置进行改良和升级, 为红火蚁的早发现、早报告和早控制提供装备和技术上的支撑。

### 参考文献 (References)

- Allen CR, Demaris S, Lutz RS. Red imported fire ant impact on wildlife: An overview [J]. *Texas Journal of Science*, 1994, 46: 51–59.
- Hashimoto Y, Yoshimura M, Huang RN. Wasabi versus red imported fire ants: Preliminary test of repellency of microencapsulated allyl isothiocyanate against *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) using bait traps in Taiwan [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 2019, 54: 193–196.
- Huang J, Lu YY, Liang GW, *et al.* Field control effect evaluation of four kinds of poison baits on red imported fire ant [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2008, 2: 135–140. [黄俊, 陆永跃, 梁广文, 等. 四种毒饵对红火蚁的田间防治效果评价 [J]. 环境昆虫学报, 2008, 2: 135–140]
- Huang J, Lu YY, Xu YJ, *et al.* Relationship between mound size of red imported fire ant and number of trap workers [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2009, 8: 1992–1997. [黄俊, 陆永跃, 许益鏊, 等. 红火蚁蚁丘大小与诱集工蚁数量的关系 [J]. 应用生态学报, 2009, 8: 1992–1997]
- Huang J, Lu YY, Zeng L, *et al.* Attraction effect comparison of different setting forms of bait for *Solenopsis invicta* [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2007, 28 (4): 23–25. [黄俊, 陆永跃, 曾玲, 等. 不同放置方式的诱饵对红火蚁的诱集作用比较 [J]. 华南农业大学学报, 2007, 28 (4): 23–25]
- Huang J, Wang LK, Zhi FY, *et al.* Rapid field identification of red imported fire ants based on external morphological characteristics [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2018, 40 (3): 715–720. [黄俊, 王丽坤, 智伏英, 等. 基于外部形态特征的红火蚁野外快速识别方法研究 [J]. 环境昆虫学报, 2018, 40 (3): 715–720]
- Lei YY, Jaleel W, Shahzad MF, *et al.* Effect of constant and fluctuating temperature on the circadian foraging rhythm of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2021, 28: 64–72.
- Liu J, Qi GJ, He YR. Study on the relationship between decoy time and quantity of red imported fire ant [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2016, 38 (5): 1023–1027. [刘杰, 齐国君, 何余

- 容. 诱饵诱集时间与红火蚁工蚁诱集量的关系研究 [J]. 环境昆虫学报, 2016, 38 (5): 1023–1027]
- Lu YY, Zeng L, Xu YJ, *et al.* Advances in invasive biology and control of red imported fire ant [J]. *Journal of South China Agricultural University* (Natural Science Edition), 2019, 40 (5): 149–160. [陆永跃, 曾玲, 许益鏊, 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 (自然科学版), 2019, 40 (5): 149–160]
- Lu YY, Zeng L. 10 years after red imported fire ant found to invade China: History, current situation and trend of its infestation [J]. *Plant Quarantine*, 2015, 29 (2): 1–6. [陆永跃, 曾玲. 发现红火蚁入侵中国 10 年: 发生历史、现状与趋势 [J]. 植物检疫, 2015, 29 (2): 1–6]
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs. List of national agricultural plant quarantine pests distribution administrative areas [EB/OL]. (2021–04–20) [2022–05–09]. [http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202104/t20210422\\_6366376.htm](http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202104/t20210422_6366376.htm). [农业农村部. 全国农业植物检疫性有害生物分布行政区名录 [EB/OL]. (2021–04–20) [2022–05–09]. [http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202104/t20210422\\_6366376.htm](http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202104/t20210422_6366376.htm)]
- Qin W, Chen X, Hooper-Bùi LM, *et al.* Food-burying behavior in red imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *PeerJ*, 2019, 7: e6349.
- Rocca J, Tumlinson J, Glancey BM, *et al.* The queen recognition pheromone of *Solenopsis invicta*, preparation of (E-6-(1-pentenyl)-2H-pyran-2-one [J]. *Tetrahedron Letters*, 1983, 24 (18): 1889–1892.
- Song ZD, Lu YY, Wu BQ, *et al.* Comparison of lure effect on red imported fire ant (*Solenopsis invicta*) in different habitats in Guangdong Province [J]. *Journal of South China Agricultural University* (Natural Science Edition), 2007, 28 (4): 19–22. [宋侦东, 陆永跃, 吴碧球, 等. 广东红火蚁多个生境中诱饵对蚂蚁诱集作用比较 [J]. 华南农业大学学报 (自然科学版), 2007, 28 (4): 19–22]
- Vander Meer RK, Alvarez F, Lofgren CS. Isolation of the trail recruitment pheromone of *Solenopsis invicta* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1988, 14: 825–838.
- Vander Meer RK, Preston CA, Choi M. Isolation of apyrazine alarm pheromone component from the fire ant, *Solenopsis invicta* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2010, 36 (2): 163–170.
- Vinson SB. Impact of the invasion of the imported fire ant [J]. *Insect Science*, 2013, 20: 439–455.
- Wang L, Chen KW, Feng XD, *et al.* Long-term forecast of red imported fire ant invasion and expansion in Chinese mainland [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2022, 44 (2): 339–344. [王磊, 陈科伟, 冯晓东, 等. 我国大陆红火蚁入侵扩张趋势长期预测 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (2): 339–344]
- Wang L, Zeng L, Xu Y, *et al.* Prevalence and management of *Solenopsis invicta* in China [J]. *NeoBiota*, 2020, 54: 89–124.
- Xu YJ, Lu YY, Liang GW, *et al.* Correlation and classification of meteorological factors of red imported fire ant foraging activities [J]. *Journal of Biosafety*, 2014, 23 (2): 75–80. [许益鏊, 陆永跃, 梁广文, 等. 红火蚁觅食活动的气象因子相关性及其等级划分 [J]. 生物安全学报, 2014, 23 (2): 75–80]
- Xu YJ, Lu YY, Zeng L, *et al.* Foraging behavior and recruitment of red imported fire ants in typical habitats in South China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 3: 855–861. [许益鏊, 陆永跃, 曾玲, 等. 华南地区典型生境中红火蚁觅食行为及工蚁召集规律 [J]. 生态学报, 2007, 3: 855–861]
- Ying JJ, Li YM, Yang YJ, *et al.* Analysis and suggestions on prevention and control of basic red imported fire ant under new situation – a case study of Xianju County, Zhejiang Province [J]. *Journal of Plant Quarantine*, 2021, 35 (6): 70–74. [应俊杰, 李艳敏, 杨俞娟, 等. 新形势下基层阻截防控红火蚁工作的分析及建议 [J]. 植物检疫, 2021, 35 (6): 70–74]
- Zhang LL, Wang LK, Qian C, *et al.* A new trap for the monitoring of red imported fire ant and its application effects [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2020, 61 (11): 2310–2312. [张莉丽, 王丽坤, 钱诚, 等. 一种红火蚁新型诱集器及其使用效果 [J]. 浙江农业科学, 2020, 61 (11): 2310–2312]
- Zhao L, Huang J, Wang RZ, *et al.* Discussion on supervision technology of red imported fire ant epidemic eradication and prevention [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2018, 59 (12): 2235–2237. [赵琳, 黄俊, 王荣洲, 等. 红火蚁疫情根除防控监理技术探讨 [J]. 浙江农业科学, 2018, 59 (12): 2235–2237]