



梁钰铃, 高亿波, 梁铭荣, 王磊, 陆永跃. 蚁巢受到干扰后红火蚁工蚁的连续性活动变化 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (6): 1426 - 1431.

蚁巢受到干扰后红火蚁工蚁的连续性活动变化

梁钰铃^{1*}, 高亿波^{2*}, 梁铭荣¹, 王磊¹, 陆永跃^{1**}

(1. 华南农业大学红火蚁研究中心, 广州 510642; 2. 广东省森林资源保育中心, 广州 510173)

摘要: 红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 工蚁活动能力与蚁群健康、环境条件等密切相关, 对蚁群进行干扰会引起工蚁防卫和攻击行为。本文采用标尺插入法对蚁巢进行干扰破坏, 测定了工蚁活动性指数, 结果显示在相同干扰程度下活动性指数随蚁巢体积增大而增大, 相同蚁巢时随着干扰程度增加而活动性指数先迅速增大后基本保持不变。间隔 5 min 对蚁巢实施连续干扰后工蚁活动性呈明显连续下降趋势, 第 5 次干扰后工蚁的响应活动变得很弱, 工蚁活动性指数与干扰时间之间关系符合二次曲线方程。

关键词: 红火蚁; 工蚁; 蚁巢; 活动性; 干扰

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 06-1426-06

Continuous activity changes of red imported fire ant workers after nest disturbed

LIANG Yu-Ling^{1*}, GAO Yi-Bo^{2*}, LIANG Ming-Rong¹, WANG Lei¹, LU Yong-Yue^{1**} (1. Red Imported Fire Ant Research Center, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Guangdong Forest Resources Conservation Center, Guangzhou 510173, China)

Abstract: The activity ability of red imported fire ant *Solenopsis invicta* workers is closely related to the health of the ant colony, environmental conditions, etc. Interference with the ant colony will cause workers to defend and attack. In this paper, the inserting ruler method was used to disturb and destroy the fire ant nest, and the activity index of the workers was measured. The results showed that the activity index increased with the increase of ant nest volume under the same interference degree, and the activity index increased rapidly at first and then remained relatively stable with the increase of interference degree under the same ant nest. The activity of the workers decreased significantly after continuous interference with the nest every 5 min, and the response activity of the workers became very weak after the fifth interference. The relationship between the activity index of the workers and the interference time was in accordance with the quadratic curve equation.

Key words: *Solenopsis invicta* Buren; worker; nest; activity; disturbance

红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 已经入侵超过了 20 个国家和地区, 对农林业生产、人畜健康、公共安全和生物多样性等均有危害, 成为了国际重大外来入侵害虫 (Williams *et al.*, 2003; Ascunce

基金项目: 国家重点研发计划 (2021YFD1000500); 广东省农业产业技术体系创新团队项目 (2022KJ134); 广东省乡村振兴战略专项资金省级项目 (粤财农 [2022] 92 号)

* 共同第一作者: 梁钰铃, 女, 硕士研究生, 主要从事昆虫生态学和害虫防治研究, E-mail: 2977234378@qq.com; 高亿波, 男, 硕士, 主要从事森林病虫害研究。

** 通讯作者 Author for correspondence: 陆永跃, 教授, 主要从事昆虫生态学、害虫治理与入侵生物学研究, E-mail: luyongyue@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2022-10-06; 接受日期 Accepted: 2022-10-30

et al., 2011; 陆永跃等, 2019; 王磊等, 2022)。2003 年 9 - 10 月中国台湾、2004 年 9 月中国大陆分别发现了红火蚁发生危害, 2022 年 7 月该蚁已入侵了 12 个省 (区) 近 580 个县区 (农业农村部办公厅, 2022; 王磊等, 2022)。

关于红火蚁入侵生态学及行为学等已有较深入的研究 (Tschinkel, 1993; Tschinkel, 1995; Vinson, 1997; 陆永跃等, 2008; Tschinkel, 2011; 陆永跃和曾玲, 2015; 陆永跃等, 2019, Wang *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2020)。其中, 该蚁工蚁的行为学研究主要包括攻击行为、防卫行为、觅食行为、育幼行为、筑巢行为、清理行为、交哺行为等多个方面 (Tschinkel *et al.*, 1995; Cassill and Tschinkel, 1999; 高亿波等, 2007a; 高亿波等, 2007c; 许益鏊等, 2007; Tschinkel, 2011; Siddiqui *et al.*, 2021)。红火蚁防卫区域大小与蚁群大小成正比, 但也取决于相邻红火蚁种群的大小和密度 (Tschinkel *et al.*, 1995; Adams, 2003)。红火蚁攻击性强, 受侵扰后工蚁就会成群涌出, 快速寻找侵扰者并进行攻击 (Vinson, 1997; Siddiqui *et al.*, 2021)。干扰方式及程度对红火蚁工蚁活动有着重要的影响, 可能促进红火蚁分巢、迁移等, 加速传播和扩散 (高亿波, 2007a; 王磊等, 2010)。蚁巢干扰深度和干扰次数与工蚁活动性可能存在相关性。关于该蚁受到连续性干扰后, 工蚁的活动持续性变化情况研究尚未见报道。本文应用高亿波等 (2007b) 所建立的标示工蚁活动程度的刻度图示法研究了蚁巢受到外界干扰的程度及连续干扰次数后红火蚁工蚁的活动变化, 为评价该蚁工蚁活动、攻击、防卫能力等提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验地及蚁巢

试验在深圳市龙岗区绿化带草坪和荒草地进行。根据调查, 该区域红火蚁为多蚁后型, 活蚁巢密度较高, 平均为 5.2 个/100 m²。选取大小不同的典型、健康蚁巢供试。

1.1.2 试验材料与仪器

柯达数码相机 Z7590、土壤温湿度测定仪 SLOAN TR-400A、数位温湿度表 CENTER 310、钢尺 (长×宽×厚 = 150 cm×3 cm×0.2 cm)、秒表、白纸、记号笔等。

1.2 工蚁活动性研究方法

1.2.1 干扰程度试验

试验在夏季晴天 9:00 - 12:00 和 15:00 - 18:00 开展。选择 4 个不同体积的活蚁巢 (528、1 125、2 334、4 856 cm³) 作为试验对象。先测量蚁巢大小, 按照 $V = 2/3\pi abc$ 计算蚁巢体积, 式中 a 为蚁丘长度的一半, b 为蚁丘宽度的一半, c 为蚁丘高度 (Porter, 1992)。开展扰动实验时, 将标尺“0”刻度一端垂直向下分别插入蚁巢中心 3、6、9 cm 深度, 每个处理重复 3 次, 在 180 s 内记录标尺上工蚁爬升的最高高度、平均爬升高度、恢复平静时间以及工蚁累计数量 (高亿波等, 2007b)。

1.2.2 连续干扰试验

另外选择 4 个不同体积活蚁巢 (478、984、2 036、5 127 cm³) 作为试验对象。同一蚁巢连续实施 5 次干扰, 每次干扰间隔 5 min。每个蚁巢重复 3 次, 每次间隔 2 h。记录工蚁活动参数同 1.2.1。

1.2.3 工蚁活动性程度评价指标

根据高亿波 (2007a)、高亿波等 (2007b) 受到干扰后红火蚁活的动性指数, 用于标示工蚁活动能力。

1.3 数据处理与分析

所有数据分析使用 SPSS 20.0 软件进行方差齐性检验。若方差齐性, 则采用单因素方差分析, 并使用 Tukey 法检验进行多重比较。当方差不齐时, 使用 Kruskal-Wallis test 进行检验; 若总体 $P < 0.05$, 使用 Mann-Whitney test 进行两两比较 (Pan *et al.*, 2017)。

2 结果与分析

2.1 干扰程度对红火蚁工蚁活动影响

对蚁巢实施不同的干扰深度后不同体积蚁巢红火蚁工蚁活动性指标情况见表 1。相同蚁巢工蚁的活动性指数随着受干扰深度的增加而表现为先迅速增大后基本保持不变的趋势。

干扰深度为 6 cm 时, 除 1 125 cm³ 体积蚁巢外其余蚁巢工蚁活动性指数均显著高于 3 cm 深度 (蚁巢体积 528 cm³: $F_{3,8} = 11.722$, $P = 0.012$; 2 334 cm³: $F_{3,8} = 25.474$, $P = 0.002$; 4 856 cm³: $F_{3,8} = 12.058$, $P = 0.011$), 但 6 cm 与 9 cm 深度间差异不显著 (蚁巢体积 528 cm³: $F_{3,8} = 11.722$,

$P = 0.955$; $1\ 125\ \text{cm}^3$: $F_{3,8} = 10.010$, $P = 0.429$;
 $2\ 334\ \text{cm}^3$: $F_{3,8} = 25.474$, $P = 0.910$; $4\ 856\ \text{cm}^3$:
 $F_{3,8} = 12.058$, $P = 0.973$ 。

在相同干扰深度下各蚁巢工蚁活动性指数表现为随蚁巢体积增大而增大。深度为 3 cm 时工蚁活动性指数较小, 分别为 0.09、0.12、0.13、0.17, 蚁巢间差异不显著 ($F_{3,8} = 3.417$, $P =$

0.073); 当深度为 6 cm 时 $4\ 856\ \text{cm}^3$ 体积蚁巢工蚁活动性指数显著高于 $1\ 125\ \text{cm}^3$ 和 $528\ \text{cm}^3$ ($F_{3,8} = 7.988$, $P = 0.009$), 但与 $2\ 334\ \text{cm}^3$ 蚁巢无显著差异 ($F_{3,8} = 7.988$, $P = 0.929$); 当深度为 9 cm 时蚁巢体积 $528\ \text{cm}^3$ 工蚁活动性指数显著低于 $2\ 334\ \text{cm}^3$ 和 $4\ 856\ \text{cm}^3$ ($F_{3,8} = 7.059$, $P = 0.012$)。

表 1 不同干扰深度下不同体积蚁巢中红火蚁工蚁活动性指数

Table 1 Activity index of red imported fire ant workers in variable disturbing depth in different mound size

蚁巢体积 (cm^3) Mound size	干扰深度 (cm) Disturbing depth		
	3	6	9
528	0.09 ± 0.01 Ba	0.19 ± 0.02 Ac	0.19 ± 0.01 Ab
1 125	0.12 ± 0.02 Ba	0.21 ± 0.02 ABbc	0.24 ± 0.01 Aab
2 334	0.13 ± 0.02 Ba	0.29 ± 0.01 Aab	0.28 ± 0.02 Aa
4 856	0.17 ± 0.02 Ba	0.30 ± 0.01 Aa	0.30 ± 0.02 Aa

注: 表中数值为平均值 ± 标准误。经单因素方差分析 (Tukey 法), 表中同行相同大写字母表示差异不显著, 同列相同小写字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。Note: Values in the table were the mean ± standard deviation. By one-way ANOVA (Tukey's test), the same capital letters in the same row in the table indicated that there were no significant differences, and lowercase letters in the same column indicated that there were no significant differences ($P > 0.05$).

2.2 连续干扰对红火蚁工蚁活动性影响

经计算获得了连续干扰下不同体积蚁巢中红火蚁工蚁活动性指数 (表 2)。第 1 次干扰后工蚁活动性较强, 其指数随着蚁巢体积增大而增加, 分别为 0.16、0.24、0.30、0.35, 其中 $478\ \text{cm}^3$ 体积蚁巢工蚁活动性指数显著低于 $2\ 036$ 和 $5\ 127\ \text{cm}^3$ 蚁巢 ($\chi^2 = 8.844$, $df = 3$, $P = 0.031$)。第 2 次干扰后工蚁活动性明显降低, 指数分别为

0.13、0.16、0.16、0.19, 除 $478\ \text{cm}^3$ 体积蚁巢外其余蚁巢工蚁活动性均显著低于第 1 次干扰 ($984\ \text{cm}^3$: $F_{3,8} = 42.300$, $P = 0.032$; $2\ 036\ \text{cm}^3$: $F_{3,8} = 27.602$, $P = 0.009$; $5\ 127\ \text{cm}^3$: $F_{3,8} = 23.739$, $P = 0.015$); 不同蚁巢之间差异不显著 ($\chi^2 = 1.873$, $df = 3$, $P = 0.599$)。随着干扰次数增加, 各蚁巢工蚁活动性指数逐渐减小, 且处理间差异不显著 (第 3 次干扰: $\chi^2 = 2.861$, $df = 3$, $P = 0.414$;

表 2 连续干扰下不同体积蚁巢中红火蚁工蚁活动性指数

Table 2 Activity index of red imported fire ant workers in different mounds size after instantaneous disturbance

蚁巢体积 (cm^3) Mound size	干扰次数 Disturbed numbers				
	第 1 次 (0 min) First time	第 2 次 (5 min) Second time	第 3 次 (10 min) Third time	第 4 次 (15 min) Fourth time	第 5 次 (20 min) Fifth time
478	0.16 ± 0.02 Ab	0.13 ± 0.02 Aa	0.08 ± 0.02 ABa	0.03 ± 0.01 Ba	0.01 ± 0.00 Ba
984	0.24 ± 0.02 Aab	0.16 ± 0.02 Ba	0.07 ± 0.02 Ca	0.03 ± 0.01 Ca	0.01 ± 0.00 Ca
2 036	0.30 ± 0.02 Aa	0.16 ± 0.03 Ba	0.10 ± 0.02 BCa	0.04 ± 0.01 Ca	0.01 ± 0.00 Ca
5 127	0.35 ± 0.04 Aa	0.19 ± 0.04 Ba	0.11 ± 0.02 BCa	0.03 ± 0.00 Ca	0.00 ± 0.00 Ca

注: 表中数值为平均值 ± 标准误。经单因素方差分析 (Tukey 法) 或非参数检验 (Kruskal Wallis 法), 表中同行相同大写字母表示差异不显著, 同列相同小写字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。Note: Values in the table were the mean ± standard deviation. By one-way ANOVA (Tukey's test) or non-parametric test (Kruskal Wallis's test), the same capital letters in the same row in the table indicated that there were no significant differences, and lowercase letters in the same column indicated that there were no significant differences ($P > 0.05$).

第 4 次干扰: $\chi^2 = 1.30$, $df = 3$, $P = 0.710$)。第 5 次干扰时工蚁活动性指数最小, 分别为 0.01、0.01、0.01、0 ($\chi^2 = 7.333$, $df = 3$, $P = 0.062$), 表明经过连续 5 次干扰, 工蚁基本上已经不外出活动。

2.3 连续干扰后工蚁活动性指数动态规律

通过分析建立了红火蚁工蚁活动性指数与干扰时间之间关系模型 (图 1)。各个蚁巢工蚁活动

性指数随干扰次数/时间的变化而呈现有规律的变化, 均为逐步降低。工蚁活动性指数与干扰时间之间符合二次曲线模型, 因此分析、建立了 4 个相关模型。对模型的拟合性检验结果表明 P 值均小于 0.05, 均成立。由该图可知随着干扰次数增加, 无论蚁巢大小工蚁活动能力均会显著减小, 间隔 5 min 连续实施 5 次干扰后工蚁几乎不会再对干扰有所响应。

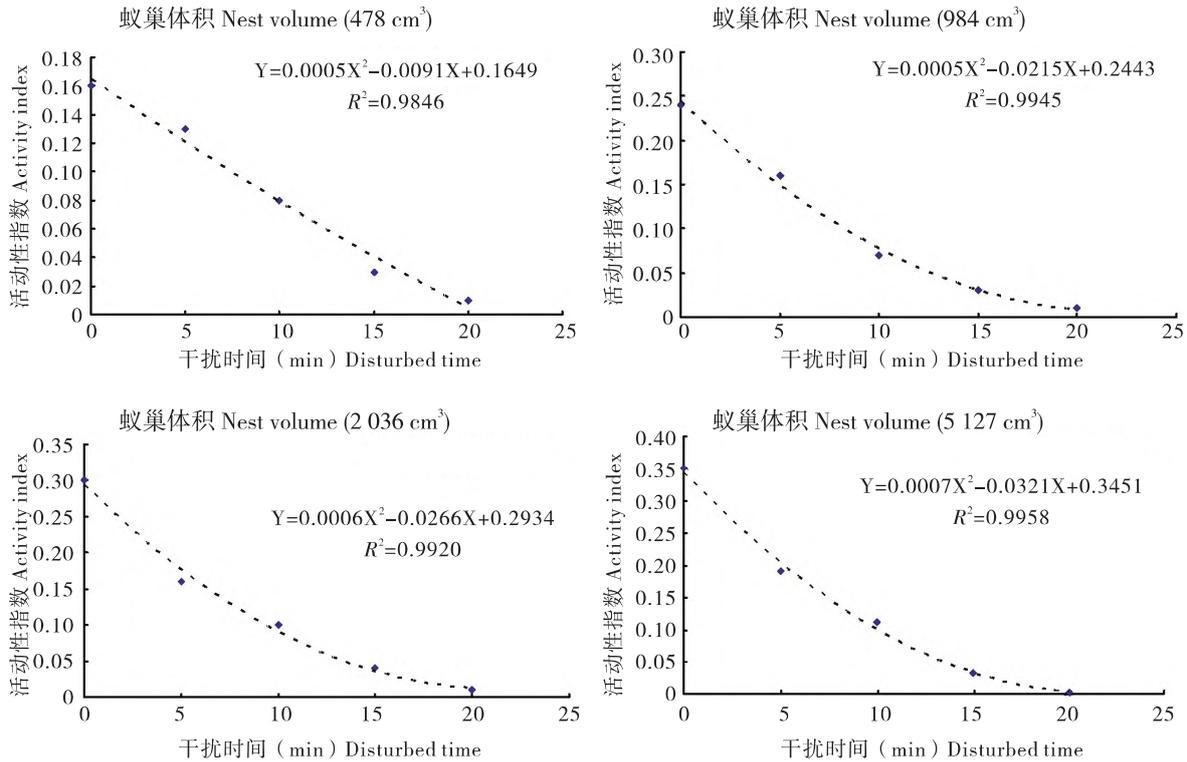


图 1 红火蚁工蚁活动性与干扰时间之间关系

Fig. 1 Relationship between activity of red imported fire ant workers and disturbing time

3 结论与讨论

红火蚁入侵为害性大小与工蚁活动能力强弱有着密切关系, 而工蚁活动则与健康状况、环境条件、外来干扰程度等因素密切相关 (许益鏊等, 2007; 李宁东等, 2008; 席银宝等, 2010; Lu *et al.*, 2012; 许益鏊等, 2014; 李军等, 2014; 陆永跃等, 2019)。陈浩涛等 (2010) 调查了广州地区红火蚁工蚁巢外活动日节律和季节性变化, 结果表明, 工蚁巢外活动日节律随季节或月份的不同而存在着明显差异: 其中 12 - 2 月份的日活动节律为单峰型, 即在中午温度较高时数量较大, 而在 5 - 10 月份的日活动节律为双峰型, 即在上

午或下午工蚁数量较大。工蚁巢外活动数量和时间随季节的不同而有显著差异。其中以 6 月和 10 月的日活动数量最多, 而在 1 月和 2 月的活动数量最少。考虑到夏季中午时段的地面温度高, 红火蚁工蚁的巢外活动较低, 本研究的蚁巢干扰试验仅选择在夏季的上午和下午开展, 未来将进一步开展冬季正午时段蚁巢的干扰试验, 以探讨不同季节、不同干扰时段干扰对工蚁活动指数的影响。蚁巢遭到干扰或者破坏是导致红火蚁蚁巢迁移、分巢的重要因素之一, 会加速该蚁短距离扩散 (王磊等, 2010; 王磊等, 2012)。本研究通过对蚁巢干扰程度、连续干扰次数的试验, 发现不同大小蚁巢工蚁虽然活动能力不同, 但是对干扰程度、连续干扰的反应规律一致, 从而阐明了

红火蚁工蚁对干扰的响应过程、响应程度的规律。这与陈浩涛等 (2010) 报道契合, 其研究表明蚁巢受干扰后出巢工蚁数量在 30 s 内最大, 巢外的工蚁数量会随干扰强度的加大而增加, 并根据 3 种干扰强度建立了 3 个非线性方程, 其相关系数 (R_2) 均 >0.97 , 均达到极显著水平。干扰深度与干扰次数除单独作用于工蚁活动以外, 之间可能还存在交互作用, 未来将设置试验进一步证实。本研究仅是对较适宜的环境条件人为干扰下工蚁活动能力及过程进行了研究, 不同环境条件下不同类型的干扰方式、多类自然干扰因素等对工蚁活动的影响等还有待进一步深入研究。

参考文献 (References)

- Adams ES. Experimental analysis of territory size in a population of the fire ant *Solenopsis invicta* [J]. *Behavioral Ecology*, 2003, 14: 48–53.
- Ascunce MS, Yang CC, Oakey J, et al. Global invasion history of the fire ant *Solenopsis invicta* [J]. *Science*, 2011, 331 (6020): 1066–1068.
- Cassill DL, Tschinkel WR. Regulation of diet in the fire ant, *Solenopsis invicta* [J]. *Journal of Insect Behavior*, 1999, 12: 307–328.
- Chen HT, Luo LZ, Xiong HL. The outing activity of worker ants and nuptial flight of alates in the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) in Guangzhou area, Southern China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2010, 53 (4): 449–456. [陈浩涛, 罗礼智, 熊红利. 广州地区红火蚁工蚁的巢外活动及有翅蚁的婚飞规律 [J]. *昆虫学报*, 2010, 53 (4): 449–456]
- Gao YB, Lu YY, Zeng L, et al. Using the ruler–mark method to evaluate the activity of red imported fire ant, *Solenopsis invicta* workers [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2007b, 44 (5): 758–762. [高亿波, 陆永跃, 曾玲, 等. 研究红火蚁工蚁活动性的新方法–刻度图示法 [J]. *昆虫知识*, 2007b, 44 (5): 758–762]
- Gao YB, Zeng L, Lu YY, et al. Study on the worker activity of *Solenopsis invicta* in wasteland [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2007c, 28 (4): 11–15. [高亿波, 曾玲, 陆永跃, 等. 荒地红火蚁工蚁活动性程度研究 [J]. *华南农业大学学报*, 2007c, 28 (4): 11–15]
- Gao YB. Studies on the Activity of Red Imported Fire Ant *Solenopsis invicta* Buren Workers [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2007a. [高亿波. 红火蚁入侵种群工蚁活动性规律研究 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2007a]
- General Office of the Ministry of Agriculture and Rural Areas. Notice on printing and distributing the list of national administrative regions for the distribution of agricultural plant quarantine pests (NongBanNong [2022] No. 13) [Z]. [农业农村部办公厅. 关于印发《全国农业植物检疫性有害生物分布行政区名录》的通知 [农办农] [2022] 13 号 [Z]].
- Li J, Yang ZQ, Lin MF, et al. The effect of ground temperature and relative humidity on the dynamic changes of the quantity of worker ants from the ground surface of ant nest [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2014, 36 (3): 465–468. [李军, 杨召琼, 林妙凤, 等. 地面温湿度对红火蚁巢表层内工蚁数量的影响 [J]. *环境昆虫学报*, 2014, 36 (3): 465–468]
- Li ND, Zeng L, Liang GW, et al. Dynamics of red imported fire ant *Solenopsis invicta* in Wuchuan, Guangdong [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2008, 45 (1): 54–57. [李宁东, 曾玲, 梁广文, 等. 广东吴川红火蚁消长规律 [J]. *昆虫知识*, 2008, 45 (1): 54–57]
- Lu YY, Liang GW, Zeng L. Study on expansion pattern of red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren, in South China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 4: 1053–1063. [陆永跃, 梁广文, 曾玲. 华南地区红火蚁局域和长距离扩散规律研究 [J]. *中国农业科学*, 2008, 4: 1053–1063]
- Lu YY, Wang L, Zeng L, et al. The effects of temperature on the foraging activity of red imported fire ant workers (Hymenoptera: Formicidae) in South China [J]. *Sociobiology*, 2012, 59 (2): 585–588.
- Lu YY, Zeng L, Xu YJ, et al. Research progress of invasion biology and management of red imported fire ant [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 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*, 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]
- Lu YY. Long–distance spreading speed and trend prediction of red imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren in mainland China [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41 (10): 70–72, 3. [陆永跃. 中国大陆红火蚁远距离传播速度探讨和趋势预测 [J]. *广东农业科学*, 2014, 41 (10): 70–72, 3]
- Pan FX, Lu YY, Wang L. Toxicity and sublethal effects of sulfoxaflo on the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017, 139 (3): 377–383.
- Porter SD. Frequency and distribution of polygyne fire ant (Hymenoptera: Formicidae) in Florida [J]. *Florida Entomologist*, 1992, 75: 248–257.
- Siddiqui JA, Bamisile BS, Khan MM, et al. Impact of invasive ant species on native fauna across similar habitats under global environmental changes [J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2021, 28 (39): 54362–54382.
- Tschinkel WR, Adams ES, Macon T. Territory area and colony size in the fire ant, *Solenopsis invicta* [J]. *Journal of Animal Ecology*, 1995, 64: 473–480.
- Tschinkel WR. The organization of foraging in the fire ant, *Solenopsis invicta* [J]. *Journal of Insect Science*, 2011, 11 (26): 1–30.
- Tschinkel WR. Sociometry and sociogenesis of colonies of the fire ant *Solenopsis invicta* during one annual cycle [J]. *Ecological Monographs*, 1993, 63 (4): 425–457.

- Vinson SB. Invasion of the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae) spread, biology, and impact [J]. *American Entomologist*, 1997, 43 (1): 23 - 39.
- Wang L, Cheng KW, Feng XD, *et al.* Long - term predication of red imported fire ant (*Solenopsis invicta* Buren) expansion in China's 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, Lu YY, Zeng L, *et al.* Nest distribution and dynamics of colony movement of red imported fire ant in lawn [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2012, 33 (2): 149 - 153. [王磊, 陆永跃, 曾玲, 何晓芳. 草坪生境中红火蚁蚁巢空间关系和蚁群迁移动态规律研究 [J]. 华南农业大学学报, 2012, 33 (2): 149 - 153]
- Wang L, Xu YJ, Zeng L, *et al.* Impact of the red imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren on biodiversity in South China: A review [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, 18: 788 - 796.
- Wang L, Zeng L, Lu YY, *et al.* Effect of destructing mounds on the colony migration of red imported fire ant *Solenopsis invicta* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2010, 47 (5): 941 - 944. [王磊, 曾玲, 陆永跃, 许益鏊. 蚁丘被破坏程度对红火蚁蚁群迁移的影响 [J]. 昆虫知识, 2010, 47 (5): 941 - 944]
- Wang L, Zeng L, Xu Y, *et al.* Prevalence and management of *Solenopsis invicta* in China [J]. *NeoBiota*, 2020, 54: 89 - 124.
- Williams D, Oi D, Porter S, *et al.* Biological control of imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *American Entomologist*, 2003, 49: 150 - 163.
- Xi YB, Jiang JQ, Xu YJ, *et al.* Temporal food searching dynamics of red imported fire ant (RIFA) in litchi orchard and their influential factors [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2010, 37 (1): 67 - 70. [席银宝, 江俊起, 许益鏊, 等. 荔枝园红火蚁觅食活动的时序动态及影响因子 [J]. 安徽农业大学学报, 2010, 37 (1): 67 - 70]
- Xu YJ, Lu YY, Liang GW, *et al.* Climate correlation analysis and grade partition of foraging activity of *Solenopsis invicta* Buren [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 ant *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae) in typical habitats of South China [J]. *Acta Ecological Sinica*, 2007, 27 (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, 27 (3): 855 - 861]