



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.

药剂灌巢剂量对红火蚁蚁巢迁移的影响

齐国君¹, 刘 杰^{1,2}, 陈 婷¹, 吕利华^{1*}, 何余容³

(1. 广东省农业科学院植物保护研究所/广东省植物保护新技术重点实验室, 广州 510640;

2. 广州市越秀区疾病预防控制中心, 广州 510055; 3. 华南农业大学农学院, 广州 510642)

摘 要: 为了明确药剂灌巢剂量对红火蚁蚁巢迁移的影响。本研究利用不同剂量的锐劲特药液对红火蚁进行灌巢处理, 在野外条件下观察了药剂灌巢后红火蚁蚁巢的迁移情况。结果表明: (1) 当药液量与蚁巢体积的比例低于 1.6 时, 会出现蚁巢迁移, 药液量较大时, 灌巢防治红火蚁可取得较好的防效; (2) 随着灌巢药液量的增加, 新蚁巢出现的个数明显减少, 出现比例明显降低, 新蚁巢的体积明显减小; (3) 随着灌巢药液量的增加, 新蚁巢出现的时间会延迟, 处理药液量为 2.5 L 时, 新蚁巢一般出现在 1–3 d 内, 而药液量增加后, 新蚁巢一般在 3–5 d 出现; (4) 药剂灌巢防治后, 红火蚁会在距处理蚁巢 1–7 m 范围内建立新蚁巢, 不同药液量处理之间没有明显差异, 新蚁巢出现的位置没有明显的方位取向。为避免灌巢不彻底导致蚁巢迁移, 应保证灌巢用药量充足, 推荐药液量为蚁巢体积的 2 倍以上。

关键词: 红火蚁; 蚁巢; 药剂灌巢; 剂量; 迁移

中图分类号: Q965.9; S482

文献标识码: A

文章编号: 1674–0858 (2017) 04–0848–06

Effect of drench insecticide dose on the nest movement of *Solenopsis invicta* Buren

QI Guo-Jun^{1*}, LIU Jie^{1,2}, CHEN Ting¹, LU Li-Hua^{1*}, HE Yu-Rong³ (1. Guangdong Provincial Key Laboratory of High Technology for Plant Protection/Plant Protection Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Center for Disease Control and Prevention of Yuexiu District, Guangzhou 510055, China; 3. College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: In order to clarify the effect of drench insecticide dose on the nest movement of *Solenopsis invicta* Buren. The nest movement of *S. invicta* was observed by drenching different doses of fipronil under the field condition. The result showed that: (1) The movement of treatment nest of *S. invicta* happened while the ratio of insecticide dose and nest size was lower than 1.6. The drench insecticide had excellent control effect on *S. invicta* when the drench insecticide dose was sufficient. (2) The number, occurrence probability and size of new nest of *S. invicta* significantly decreased during with the increase of insecticide dose. (3) The emergence time of new nest of *S. invicta* delayed with the increase of insecticide dose. The new nest of *S. invicta* appeared in 1–3 days under the treatment of 2.5 L dose, while in 3–5 days after the insecticide dose increasing. (4) The new nest of *S. invicta* would be established in the range of 1 to 7 miles away from the treatment nest, but there was no obvious difference among the treatment of different insecticide doses. The location of new nest of *S. invicta* did not show any obvious directionality. Therefore,

基金项目: 广东省科技计划项目 (2016A020212011); 广东省现代农业产业技术体系创新团队 (2016LM1079); “十二五”国家科技支撑计划 (2015BAD08B02); 广东省科技计划项目 (2013A080500013)

作者简介: 齐国君, 男, 1985 年生, 副研究员, 主要从事昆虫生态学研究, E-mail: super_qi@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: lhlu@gdppri.com

收稿日期 Received: 2017–03–31; 接受日期 Accepted: 2017–07–03

in order to avoid the nest movement causing by incomplete artificial control, the recommended drench insecticide dose should be more than 2 times as much as the nest size of *S. invicta*.

Key words: *Solenopsis invicta* Buren; ant nest; drench insecticide; dose; movement

蚁巢搬迁是蚂蚁种群对外界环境变化的适应, 对其种群繁衍、扩散具有重要意义 (Wheeler, 1910; Mcglynn, 2004)。一般情况下, 由于食物短缺、天敌影响、种间竞争、药剂防治、外界干扰及剧烈环境变化等原因 (Smallwood, 1982; Hays *et al.*, 1992; Lemke & Kissam, 1988; Banschbach *et al.*, 1999; Brown, 1999; Gibb & Hochuli, 2003; Mcglynn *et al.*, 2004), 迫使蚂蚁种群离开原来的筑巢位置, 寻找更适宜的地点建巢定居。

红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 是一种典型的社会性昆虫, 具有受惊转移的习性, 可通过分巢、迁巢等方式进行繁殖 (Lofgren *et al.*, 1975; Vargo & Porter, 1989)。不当的防治方法和人为干扰极易引起红火蚁蚁巢的搬迁或扩散 (Lemke & Kissam, 1988; Drees *et al.*, 1992; Hays *et al.*, 1992)。王磊等 (2010) 认为蚁巢地表部分被破坏可导致红火蚁蚁群发生分巢、搬巢等现象。莫让瑜等 (2009) 通过野外观察发现挖巢、水灌巢和杀虫剂灌巢均会导致红火蚁不同程度的迁巢。

药剂灌巢是一种快速、有效的红火蚁点处理措施 (刘杰等, 2006; 吕利华等, 2007)。在防治红火蚁的过程中, 药液量是影响防治效果的关键因子 (高希武和高洪荣, 2005), 而药液量不足极易导致红火蚁蚁巢搬迁或分巢 (黄田福等, 2006; 吕利华等, 2007)。本研究利用不同剂量的锐劲特药液对红火蚁进行野外灌巢处理, 研究药剂灌巢剂量对红火蚁蚁巢迁移的影响, 以期对红火蚁的药剂灌巢防控技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验在广州市南沙区进港大道绿化带进行, 红火蚁活动蚁巢密度约为 1 个蚁巢/450 m²。试验地土壤为赤红壤沙土, 地表植有台湾草 *Zoysia tenuifolia*, 地表温度范围为 32–38 °C。该试验地由南沙区市政管理局绿化分公司日常管理, 地下和地表不用农药, 试验期间未进行割草管理。

1.2 供试药剂

供试药剂为 5% 锐劲特悬浮液, 由拜耳作物科

学有限公司生产。

1.3 处理方法

灌巢处理: 将 5% 悬浮液锐劲特稀释成 2000 倍液, 设置 2.5 L、5 L、7.5 L 和 10 L 药液对红火蚁蚁巢进行灌巢处理, 重复 6–12 次, 以 10 L 清水灌巢作为对照处理, 重复 6 次。

灌巢方法: 先用药液淋湿整个蚁巢表面, 然后在约 1 m 高处用药液倾浇蚁巢, 使药液流入蚁巢深处。灌巢前勿惊扰蚁巢, 灌巢后可在蚁巢周围浇少量药液杀死逃逸的工蚁 (刘杰等, 2006)。

有效蚁巢及死亡蚁巢: 用竹签插入蚁巢内, 1 min 内有 3 头以上工蚁出现的蚁巢即判定为有效蚁巢, 少于 3 头工蚁出现的即判定为死亡蚁巢 (黄俊等, 2008)。

蚁巢标定: 试验前, 用红色小旗标记试验地的有效红火蚁蚁巢, 新蚁巢出现后用黄色小旗标记。

蚁巢体积测量: 测量红火蚁处理蚁巢及新蚁巢的长度、宽度和高度, 参照 Porter (1992) 的测量和计算方法估计蚁巢的体积。

1.4 评价指标

灌巢处理后, 每天观察并记录处理蚁巢中红火蚁的死亡情况及新蚁巢迁移情况, 持续观察 14 d。采用处理蚁巢体积、药液与蚁巢的体积比、处理蚁巢存活比例、新蚁巢的个数、新蚁巢的出现率、新蚁巢的体积、新蚁巢出现时间、新蚁巢的迁移距离和方位等指标来评价红火蚁蚁巢的迁移情况。

各指标含义定义如下: 处理蚁巢体积: 根据测量的蚁巢长度、宽度和高度, 计算处理蚁巢的体积 (Porter, 1992); 药液与蚁巢的体积比: 灌巢药液量 (L) 与处理蚁巢的体积 (m³) 之间的比例; 处理蚁巢存活比例: 灌巢处理后, 有效蚁巢占处理总蚁巢数的百分率; 新蚁巢的个数: 灌巢处理后, 处理蚁巢周围形成的新蚁巢个数; 新蚁巢的出现率: 新蚁巢的个数占处理总蚁巢数的百分率; 新蚁巢的体积: 根据测量的蚁巢长度、宽度和高度, 计算新蚁巢的体积 (Porter, 1992); 新蚁巢出现时间: 灌巢后 1–7 d 观察并记录处理蚁巢附近出现新蚁巢的时间; 新蚁巢的迁移距离:

新蚁巢与原处理蚁巢之间的直线距离; 新蚁巢的迁移方位: 新蚁巢在原处理蚁巢的哪个方向上 (分为东、西、南、北, 东北、西北、东南、西南)。

2 结果与分析

2.1 灌巢药量对红火蚁蚁巢防治效果的影响

利用 2.5 L 药液灌巢处理蚁巢时, 蚁巢的存活比例为 16.67%, 5 L、7.5 L、10 L 药液灌巢处理

的蚁巢存活率为 0.00%, 低浓度药液灌巢后, 原处理蚁巢尚有一定的存活率 (表 1)。而从药液量与蚁巢的体积比来看, 当药液量与蚁巢体积比低于 1 时, 蚁巢中大多数红火蚁没有被杀死, 容易出现蚁巢迁移, 当该比例低于 1.6 时, 会出现少量新蚁巢, 而当药液量为蚁巢体积的 2.07 倍时, 灌巢效果良好, 处理蚁巢中未见存活的红火蚁个体, 附近也不会出现新蚁巢 (表 1、表 2)。可见, 药液量较大时, 灌巢防治红火蚁可取得较好的防效。

表 1 灌巢药量对红火蚁处理蚁巢的影响

Table 1 Effect of insecticide drenching on the treatment nest of *Solenopsis invicta*

评价指标 Evaluation index	药液量 (L) Insecticide dose				
	2.5	5	7.5	10	CK*
处理蚁巢数 (个) No. of treatment nest	12	6	6	6	6
处理蚁巢体积 (m^3) Size of treatment nest	4.42 ± 0.25	4.84 ± 0.37	4.75 ± 0.31	4.84 ± 0.36	4.73 ± 0.27
药液与蚁巢的体积比 Ratio of insecticide dose and nest size	0.57	1.03	1.58	2.07	2.17
处理蚁巢存活比例 (%) Survival ratio of treatment nest	16.67	0	0	0	100

注: * 对照是采用 10 L 清水灌巢。Note: * CK: 10 L water drenching.

2.2 灌巢药量对红火蚁蚁巢迁移的影响

2.2.1 灌巢药量对红火蚁新蚁巢出现率和体积的影响

灌巢药液量较少时, 蚁巢中红火蚁种群没有被全部杀死, 会出现迁巢现象。2.5 L 药液处理蚁巢时, 新蚁巢出现个数为 10 个, 出现比例为 83.33%, 新蚁巢的平均体积为 $0.62 \pm 0.25 \text{ m}^3$, 5 L 处理时出现 4 个新蚁巢, 出现比例

为 66.67%, 新蚁巢的平均体积为 $0.47 \pm 0.20 \text{ m}^3$, 而 7.5 L 处理时仅出现 1 个新蚁巢, 出现比例仅为 16.67%, 新蚁巢的体积仅为 0.15 m^3 (表 2), 可见, 随着灌巢药液量的增加, 处理蚁巢中迁出的红火蚁减少, 新蚁巢的出现个数明显减少, 新蚁巢的出现比例明显降低, 新蚁巢的体积也明显减小。

表 2 灌巢药量对红火蚁蚁巢迁移的影响

Table 2 Effect of insecticide drenching on nest movement of *Solenopsis invicta*

评价指标 Evaluation index	药液量 (L) Insecticide dose				
	2.5	5	7.5	10	CK*
新蚁巢的个数 (个) No. of new nest	10	4	1	0	0
新蚁巢的出现率 (%) Probability of new nest	83.33	66.67	16.67	0	0
新蚁巢的体积 (m^3) Size of new nest	0.62 ± 0.25	0.47 ± 0.20	0.15	0	0
新蚁巢与处理蚁巢的距离 (m) Distance between new nest and treatment nest	3.07 ± 0.73	3.68 ± 0.57	3.6	—	—

注: * 对照是采用 10 L 清水灌巢。Note: * CK: 10 L water drenching.

2.2.2 灌巢药量对红火蚁新蚁巢出现时间的影响

灌巢处理后, 新蚁巢出现的时间存在一定差异。处理药液量为 2.5 L 时, 新蚁巢一般出现在处理后 1–3 d 内, 其中第 2 d 新出现蚁巢较多, 为 6 巢; 药液量为 5 L 时, 新蚁巢一般在 3–5 d 出现, 其中第 4 d 新出现 2 巢; 药液量为 7.5 L 时, 新蚁巢出现在第 5 d (图 1), 可见, 随着灌巢药液量的增加, 新蚁巢出现的时间会延迟, 当药液量少时, 处理蚁巢中残存红火蚁数量较多, 重新建立新蚁巢的速度较快, 反之较慢。

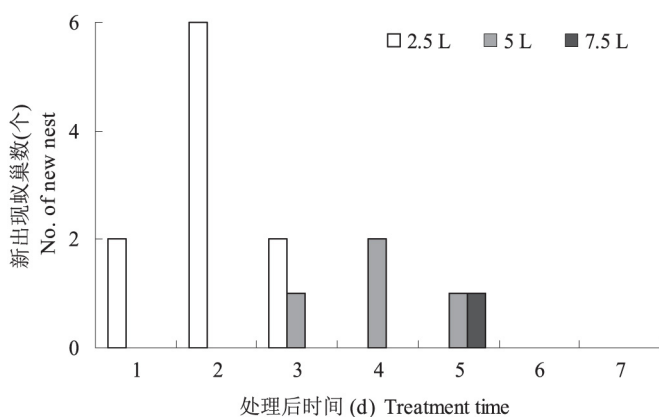


图 1 红火蚁新蚁巢的出现时间

Fig. 1 Emergence time of new nest of *Solenopsis invicta*

2.2.3 灌巢药量对红火蚁新蚁巢距离和方向的影响

不同药液量灌巢处理后, 新蚁巢与处理蚁巢间的距离远近不一。处理药液量为 2.5 L 时, 新蚁巢与处理蚁巢之间的距离在 1.02–6.58 m, 平均距离为 3.07 ± 0.73 m, 药液量为 5 L 时, 新蚁巢与处理蚁巢之间的距离在 1.68–4.23 m, 平均距离为 3.68 ± 0.57 m, 药液量为 7.5 L 时, 新蚁巢与处理蚁巢之间的距离为 3.6 m (表 2), 可见, 药剂灌巢防治后, 红火蚁会在距处理蚁巢 1–7 m 范围内建立新蚁巢, 但不同药液量灌巢处理下的新蚁巢位置与处理蚁巢之间的距离没有明显差异。

根据新蚁巢出现在原处理蚁巢的方位图可知, 新蚁巢在东、西、南、北, 东北、西北、东南、西南 8 个不同方向上均有出现, 在不同方向上出现的概率之间没有明显差异 (图 2), 可见, 灌巢防治后, 红火蚁新蚁巢出现的位置没有明显的方位取向, 一般情况下可认为是随机的。

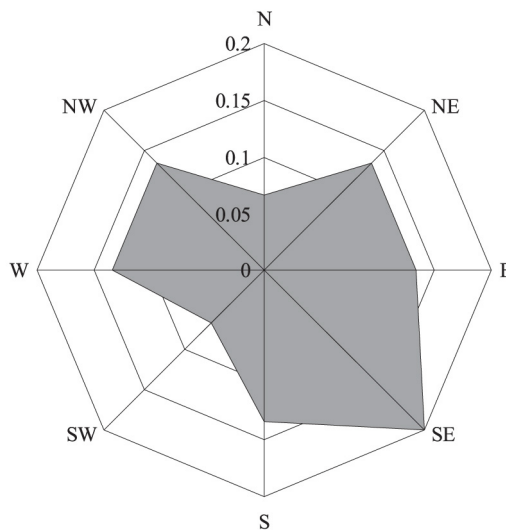


图 2 新蚁巢出现的方位及概率

Fig. 2 Emergence orientation and probability of new nest of *Solenopsis invicta*

3 结论与讨论

自 2004 年被首次发现入侵中国大陆后 (曾玲等, 2005), 在过去的十多年红火蚁已在我国南方多省快速蔓延 (Wang *et al.*, 2013), 并进入快速扩散传播期 (陆永跃, 2014)。化学防治是目前红火蚁防治的主要方法, 并在控制红火蚁疫情扩散、降低危害、减缓传播速度等方面取得了较为显著的效果 (刘杰等, 2006), 但由于红火蚁具有强大的繁殖力、竞争能力和扩散能力, 其传播扩散难以控制, 防除工作异常艰巨。

红火蚁的传播扩散包括自然扩散和人为传播, 自然扩散主要是生殖蚁婚飞或随洪水流动, 也可随蚁巢搬迁而作近距离扩散, 人为传播是红火蚁长距离扩散的主要途径 (Vinson, 1997; 吕利华等, 2006)。本研究认为防治不彻底会导致红火蚁会在 1–7 m 范围内建立新蚁巢, 扩散距离十分有限, 之前研究表明红火蚁蚁巢被破坏后的迁移距离为 4.30 m (王磊等, 2010), 而自然状态下的迁移距离为 5.57 m (王磊等, 2012), 黑火蚁蚁巢的平均迁移距离为 3.8 m (Briano *et al.*, 1995), 均与本研究结果接近; 王磊等 (2010) 研究表明红火蚁蚁巢被破坏后, 红火蚁蚁群迁往东、南、西、北 4 个方向是随机的, 本研究也发现新蚁巢出现的位置没有明显的方位取向, 新蚁巢出现在东、西、南、北, 东北、西北、东南、西南 8 个不同方向

上概率之间没有明显差异,即迁移方向是随机的。

红火蚁种群发生、扩散、觅食等行为与气象因素关系密切 (Vinson, 1997), 一般情况下,大水浸泡或降雨等因素,会诱导红火蚁迁巢、分巢等行为的发生 (莫让瑜等, 2009; 赵瑾等, 2009)。本研究通过 10 L 清水灌巢处理作为对照,未发现新蚁巢出现,处理蚁巢 100% 存活,可见清水灌巢处理不会导致红火蚁蚁巢迁移,但莫让瑜等 (2009) 研究表明 20 L 清水灌巢虽不会导致红火蚁死亡,但会引起蚁群不同程度的迁巢,出现差异的原因可能与灌巢水量不同有关,也可能与开展试验时的天气状况有关。灌巢水量的不同与降雨量的大小对红火蚁蚁巢和蚁群的影响较为相似,赵瑾等 (2009) 研究认为红火蚁具有应对降雨的适应行为,小雨和长时间大雨对红火蚁工蚁的觅食等行为无明显的影响,而持续性强降雨可促进蚁群的迁巢、分巢,这一定程度上也解释了本研究结果与莫让瑜等 (2009) 研究结果的差异。

药剂灌巢是将触杀性杀虫剂制成药液,通过浇灌蚁巢使药剂接触虫体,从而造成红火蚁在较短时间内中毒并死亡 (高希武和高洪荣, 2005; 黄田福等, 2006)。本研究利用不同剂量的锐劲特药液对红火蚁进行灌巢处理,研究了药剂灌巢对红火蚁蚁巢迁移的影响。当处理药液量为 2.5 L 时,新蚁巢会出现在处理后 1–3 d 内,出现率为 83.33%,蚁巢平均体积为 0.62 m³,随着药液量增加,新蚁巢出现的个数明显减少,出现比例明显降低,新蚁巢的体积也明显减小,而处理药液量为 10 L 时,挖巢后发现处理蚁巢中红火蚁个体均死亡,未发现活动红火蚁,附近也未出现新的蚁巢。因此,如果药液量不足,不但不能达到预期的防治效果,且有可能导致蚁巢搬迁或分巢 (吕利华等, 2007)。

灌巢药剂的选择和药液量是影响灌巢防治效果的最关键两个因子,而药液量不足极易导致红火蚁蚁巢搬迁或分巢 (黄田福等, 2006; 吕利华等, 2007)。本研究表明当药液量为 2.5 L、5 L 时,往往不能将整巢红火蚁杀死,残存的红火蚁会发生转移,处理蚁巢附近会出现较多新蚁巢,当药液量为 10 L 时,灌巢效果良好,几乎能杀死蚁巢中的全部蚂蚁,且不会有新蚁巢出现,因此,灌巢防治中充足的药液量是保证防效的关键因素,为避免灌巢不彻底导致蚁巢人为迁移,推荐药液量为蚁巢体积的 2 倍以上 (吕利华等, 2007)。药

剂灌巢不彻底导致蚁巢人为搬迁,形成的新蚁巢中仍有大量的红火蚁个体死亡或中毒,药剂残留量对红火蚁种群发生、发展及行为特征等方面的影响还需进一步研究。

参考文献 (References)

- Banschbach VS, Herbers JM. Nest movements and population spatial structure of the forest ant *Myrmica punctiventris* (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 1999, 92 (3): 414–423.
- Briano JA, Patterson RS, Cordo HA. Colony movement of the black imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae) in Argentina [J]. *Environmental Entomology*, 1995, 24 (5): 1131–1134.
- Brown MJF. Nest relocation and encounters between colonies of the seed-harvesting ant *Messor Andrei* [J]. *Insectes Sociaux*, 1999, 46 (1): 66–70.
- Drees BM, Miller RW, Vinson SB, et al. Susceptibility and behavioral response of red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae) to selected entomogenous nematodes (Rhabditida: Steinernematidae & Heterorhabditidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1992, 85 (2): 365–370.
- Gao XW, Gao HR. Chemical control of the red imported fire ant (RIFA), *Solenopsis invicta* Buren [J]. *Plant Protection*, 2005, 31 (2): 14–17. [高希武, 高洪荣. 外来物种红火蚁的化学防治技术 [J]. 植物保护, 2005, 31 (2): 14–17]
- Gibb H, Hochuli DF. Nest relocation in the golden spiny ant, *Polyrhachis ammon*: Environmental cues and temporal castes [J]. *Insectes Sociaux*, 2003, 50 (4): 323–329.
- Hays SB, Horton PM, Bass JA, et al. Colony movement of imported fire ants [J]. *Journal of the Georgia Entomological Society*, 1982, 17 (2): 266–274.
- Huang J, Lu YY, Liang GW, et al. Control effect of four poisonous baits on red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2008, 30 (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, 30 (2): 135–140]
- Huang TF, Zeng XN, Xiong ZH. The problem of drench insecticide and dose to control of the red imported fire ant [C]. 2006 Annual Meeting of Chinese Society of Plant Protection, 2006. [黄田福, 曾鑫年, 熊忠华. 灌巢防治红火蚁的药剂及药量问题 [C]. 中国植物保护学会 2006 年学术年会, 2006]
- Lemke LA, Kissam JB. Effect of colony disturbance on red imported fire ant control [J]. *Journal of Agricultural Entomology*, 1988, 5 (1): 75–77.
- Liu J, Feng X, Lu LH, et al. Effects of drench insecticide on the nest movement behavior of red imported fire ant and local ant community [C]. National Symposium on Biological Invasions, 2007. [吕利华, 冯夏, 刘杰, 等. 灌巢对红火蚁迁巢行为及本地蚂蚁群落的影响 [C]. 全国生物入侵学术研讨会, 2007]
- Liu J, Lu LH, Chen HY, et al. Red imported fire ant control with

- fipronil mound drenches and its impact in ant community [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2006, 33 (5): 24–27. [刘杰, 吕利华, 陈焕瑜, 等. 灌巢对红火蚁的防效评价及对蚂蚁群落的影响 [J]. 广东农业科学, 2006, 33 (5): 24–27.]
- Lofgren CS, And WAB, Glancey BM. Biology and control of imported fire ants [J]. *Annual Review of Entomology*, 1975, 20 (20): 1–30.
- Lu LH, He YR, Liu J, et al. Red imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren: Invasion, spread, biology and damage [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2006, 33 (5): 3–11. [吕利华, 何余容, 刘杰, 等. 红火蚁的入侵、扩散、生物学及其危害 [J]. 广东农业科学, 2006, 33 (5): 3–11]
- 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. [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]
- Mcglynn TP, Carr RA, Carson JH, et al. Frequent nest relocation in the ant *Aphaenogaster araneoides*: resources, competition, and natural enemies [J]. *Oikos*, 2004, 106 (3): 611–621.
- Mcglynn TP. The ecology of nest movement in social insects [J]. *Annual Review of Entomology*, 2012, 57 (1): 291–308.
- Mo RY, Huang QY, Lei CL. Effect of artificial destroying nests, water drenching and insecticide drenching on colony movement of *Solenopsis invicta* Buren [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2009, 28 (1): 20–22. [莫让瑜, 黄求应, 雷朝亮. 挖巢、水灌巢和杀虫剂灌巢对红火蚁迁巢的影响 [J]. 华中农业大学学报, 2009, 28 (1): 20–22]
- Porter SD. Frequency and distribution of polygyne fire ants (Hymenoptera: Formicidae) in Florida [J]. *Florida Entomologist*, 1992, 75 (2): 248–257.
- Smallwood J. Nest relocation in ants [J]. *Insectes Sociaux*, 1982, 29 (2): 138–147.
- Vargo EL, Porter SD. Colony Reproduction by budding in the polygyne form of *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 1989, 82 (3): 307–313.
- Vinson SB. Invasion of red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae): spread, biology, and impact [J]. *American Entomologist*, 1997, 43 (1): 23–39.
- Wang L, Lu YY, Xu YJ, et al. The current status of research on *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae) in mainland China [J]. *Asian Myrmecology*, 2013, (5): 125–138.
- 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, 等. 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, 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, 等. 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]
- Wheeler WM. Ants: their structure, development and behavior [M]. New York: The Columbia University Press, 1910, 1–663.
- Zeng L, Lu YY, He XF, et al. Identification of red imported fire ant *Solenopsis invicta* to invade mainland China and infestation in Wuchuan, Guangdong [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2005, 42 (2): 144–148. [曾玲, 陆永跃, 何晓芳, 等. 入侵中国大陆的红火蚁的鉴定及发生危害调查 [J]. 昆虫知识, 2005, 42 (2): 144–148]
- Zhao J, Zhong PS, Huang T, et al. Impact of precipitation on behavior of *Solenopsis invicta* Buren colony [J]. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 2009, 20 (6): 542–545. [赵瑾, 钟平生, 黄檀, 等. 降雨对红火蚁群行为的影响 [J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2009, 20 (6): 542–545]