

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2014.02.006

荒草地和荔枝园生境短期入侵的红火蚁与黑头酸臭蚁种间的干扰竞争

吴碧球^{1,2}, 梁广文¹, 许益鏊¹, 陆永跃^{1*}, 曾 玲^{1*}

¹华南农业大学红火蚁研究中心, 广东 广州 510642; ²广西农业科学院植物保护研究所, 广西 南宁 530007

摘要:【背景】红火蚁入侵后对新发生地区生物多样性的影响及与土著物种的关系是入侵生物学研究的重点之一, 解释红火蚁与类似生态位的土著蚂蚁的关系对全面了解该蚁入侵的生态学效应具有重要意义。【方法】通过野外模拟设置蚁巢, 观察、记录距离红火蚁和黑头酸臭蚁蚁巢 30 cm 处诱集到的黑头酸臭蚁工蚁在红火蚁入侵前、入侵中及移除后的数量变化, 研究短期入侵红火蚁实验种群与荒草地和荔枝园黑头酸臭蚁间的干扰竞争。【结果】红火蚁实验种群短期入侵对荒草地生境黑头酸臭蚁的干扰较明显, 而对荔枝园生境黑头酸臭蚁的干扰较小; 红火蚁未入侵荒草地生境黑头酸臭蚁受干扰最明显, 移除红火蚁 20 min 后, 处理诱饵上召集的黑头酸臭蚁数量才与入侵前差异不显著; 红火蚁未入侵荔枝园生境黑头酸臭蚁受干扰最小, 移除红火蚁仅 5 min 后, 处理诱饵上黑头酸臭蚁数量就恢复到入侵前, 甚至超过入侵前数量。【结论与意义】红火蚁入侵对黑头酸臭蚁的觅食行为存在较大的干扰抑制作用, 其影响程度与生境的复杂性有着密切关系。研究结果可为了解红火蚁入侵的生态学效应提供证据。

关键词: 红火蚁; 黑头酸臭蚁; 短期入侵; 干扰竞争

Interference competition between newly invading red imported fire ants, *Solenopsis invicta* Buren and the resident ant *Tapinoma melanocephalum* F. in wasteland and lychee orchards

Bi-qiu WU^{1,2}, Guang-wen LIANG¹, Yi-juan XU¹, Yong-yue LU^{1*}, Ling ZENG^{1*}

¹Red Imported Fire Ant Research Center, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China;

²Institute of Plant Protection, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning, Guangxi 530007, China

Abstract: 【Background】One of important problems in invasion biology is the influence of an invader on the biodiversity and its relationship with the native species in the invaded area. To reveal the interaction between the invasive red fire ant (*Solenopsis invicta*) and the native ant species with similar niche is important for understanding the ecological effects of the fire ant invasion. 【Method】Interference competition between the short-term invasive *S. invicta* and native ant *Tapinoma melanocephalum* in wasteland and a lychee orchard were investigated by recording the change of *T. melanocephalum* worker numbers, which recruited on bait placed near the two ants' nests. 【Result】The number of *T. melanocephalum* workers recruited on bait was more influenced by *S. invicta* in wasteland than in a lychee orchard. In un-infested wasteland, *T. melanocephalum* workers did not return to the bait when we removed *S. invicta* workers from the bait, even after 20 min. Such interference was much lower in the lychee orchard; 5 minutes after the *S. invicta* workers were removed from the bait, the *T. melanocephalum* worker numbers surpassed the pre-invasive numbers. 【Conclusion and significance】Interference and inhibition on the foraging behavior of *T. melanocephalum* workers after the fire ant invasion were significant, and the negative impact was closely related to the complexity of the habitats. These results provided the scientific evidence for understanding the ecological effects of the fire ant invasion.

Key words: *Solenopsis invicta*; *Tapinoma melanocephalum*; short-term invasion; interference competition

收稿日期(Received): 2014-02-07 接受日期(Accepted): 2014-03-15
基金项目: 国家自然科学基金项目(305712427); 国家重点基础研究发展计划项目(2009CB119206)
作者简介: 吴碧球, 女, 副研究员, 博士。研究方向: 昆虫生态学和害虫防治

* 通讯作者(Author for correspondence), 陆永跃, E-mail: luyongyue@scau.edu.cn; 曾玲, E-mail: zengling@scau.edu.cn

红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 是一种原产于南美洲巴西、阿根廷、巴拉圭和巴拿马运河一带的危险性入侵蚂蚁 (Vinson, 1997), 于 2004 年 10 月入侵我国广东 (曾玲等, 2005)。红火蚁入侵我国大陆后, 严重影响了入侵地的作物和杂草种子的分布及萌芽 (黄俊等, 2010), 威胁公共安全 (罗忠东, 2005)、人体健康 (韩佳音等, 2007; 卢文成等, 2007; 容剑东, 2005; 吴能简等, 2005; Wang *et al.*, 2013) 和生物多样性 (黄俊等, 2012; 蒋才云等, 2010; 宋侦东等, 2010; 许益鏊等, 2009; 张波等, 2012)。红火蚁入侵对与其具有相似生态特征的蚂蚁种类影响最大 (Holway *et al.*, 2002; Lu *et al.*, 2012b), 干扰抑制了一些蚂蚁的觅食行为, 降低了多个入侵地区蚂蚁的多样性 (沈鹏等, 2007; 宋侦东等, 2010; 吴碧球等, 2008, 2009a, 2009b, 2010; 席银宝等, 2007; Lu *et al.*, 2012a), 该蚁和本地优势种——黑头酸臭蚁 *Tapinoma melanocephalum* F. 的竞争作用较强 (张波等, 2012; Lu *et al.*, 2012b)。黑头酸臭蚁主要通过化学防御, 即不断摇动腹部, 分泌对红火蚁有抑制作用的臀腺化合物, 达到防御红火蚁进一步进攻的效果 (高燕等, 2011; 李军等, 2008)。本文通过模拟设置蚁巢的方法研究红火蚁入侵对黑头酸臭蚁工蚁数量的影响, 以期为更好地了解红火蚁入侵生态学效应提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验生境

于 2007 年 8 月在广东省深圳市龙岗区黑头酸臭蚁均为优势种的红火蚁入侵及未入侵荔枝园和荒草地进行试验。据调查, 该区域内红火蚁为多蚁后型。根据单位面积活动蚁丘数量划分红火蚁发生级别 (曾玲等, 2005), 2 种红火蚁入侵生境均属于 2 级危害区, 即轻度危害区。

4 种生境概况: (1) 红火蚁入侵荔枝园: 多年无人管理, 园内荫蔽度 92%, 杂草覆盖度 60%, 地表覆盖厚 2~3 cm 掉落物。红火蚁活蚁巢密度 $0.0018 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$; (2) 红火蚁未入侵荔枝园: 无红火蚁发生。多年无人管理, 园内荫蔽度 75%, 杂草覆盖度 95%, 地表覆盖厚 2~3 cm 掉落物; (3) 红火蚁入侵荒草地: 杂草覆盖度 90%, 红火蚁活蚁巢密度 $0.0093 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ 。 (4) 红火蚁未入侵荒草地: 无红火蚁发生, 杂草覆盖度为 98%。

1.2 供试红火蚁种群

野外采集红火蚁, 带回室内后从泥土中分离, 放入四边涂有氟隆 (聚四氟乙烯, 以防蚂蚁逃逸) 的开口塑料盒 ($23.5 \text{ cm} \times 15.5 \text{ cm} \times 9.0 \text{ cm}$) 中饲养, 将内含潮湿石膏以维持湿度的小塑料盒 ($8.5 \text{ cm} \times 6.0 \text{ cm} \times 5.0 \text{ cm}$) 作为蚁巢。将各实验种群放在室内约 $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温条件下饲养, 每天喂以 20% 糖水 (用试管装, 并用棉花塞塞住试管口) 和新鲜冻死黄粉虫, 备用。

将红火蚁分离成小种群, 每个小种群含 1500~2000 头工蚁、0.25 g 幼体及 2 头蚁后。然后把红火蚁小种群放入一个干净、四边涂有氟隆的塑料盒 ($23.5 \text{ cm} \times 15.5 \text{ cm} \times 9.0 \text{ cm}$) 中饲养, 并事先在每个塑料盒靠近底部处开一个 0.5 cm 大小的孔作出口, 用胶塞塞住至试验时才打开。将红火蚁小种群置于 $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温及 65% 相对湿度条件下饲养 1 个月 (使其种群稳定), 每天喂以水、蜂蜜水 (放入试管中, 并用脱脂棉塞住试管口) 和黄粉虫幼虫。试验前 2 周在上述条件下改为每隔 1 d 喂以糖水和黄粉虫幼虫, 试验前 1 周停止喂食。

1.3 试验方法

在每个生境选择 5 个黑头酸臭蚁种群, 在其附近放置 5 个红火蚁实验小种群, 进行短时间入侵干扰竞争试验。由于 8 月深圳市天气较炎热, 选择每天气温相对较低的 8:00~10:00 和 15:00~18:00 进行试验。试验时, 荒草地地表温度为 $32.4 \sim 41.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 大气相对湿度为 49%~74%; 荔枝园地表温度为 $31.8 \sim 38.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 大气相对湿度为 64%~81%。

以红火蚁未入侵区为对照区, 每个试验放置 1 对诱饵 [将直径为 9 cm 的塑料培养皿沿底部除去 3 个相同面积的扇形边壁, 再把等大滤纸用水湿润铺于培养皿底部, 然后把约 2 g 的火腿肠片加 3 滴蜂蜜 (满足 2 种蚂蚁所需的营养成分) 放于培养皿中央]。把诱饵放于距黑头酸臭蚁蚁巢 30 cm 处, 但 2 个诱饵放在相反的一边, 使其间隔 60 cm 左右 (图 1)。

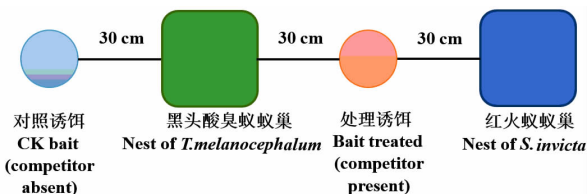


图 1 短期入侵红火蚁与黑头酸臭蚁种间竞争诱饵放置图

Fig. 1 Design of the bait interference competition experiment between *T. melanocephalum* and the invasive *S. invicta*

让黑头酸臭蚁工蚁在2个诱饵上持续取食30 min,期间每隔5 min用相机(柯达数码相机Z7590)拍摄2个诱饵上的工蚁数量。然后将装有红火蚁小种群的塑料盒底部胶塞打开,并插入一根长约30 cm的塑料透明吸管,直通诱饵,以让红火蚁在诱饵(处理)上取食。当红火蚁第1头工蚁首次发现处理诱饵时,每隔5 min用相机拍摄、记录红火蚁持续取食30 min期间出现在处理诱饵和对照诱饵上的黑头酸臭蚁工蚁数量。本试验中,大部分红火蚁种群持续1 h均未达足够数量完全驱逐诱饵上的黑头酸臭蚁,故1 h后将蚁巢中的红火蚁工蚁统一放入诱饵中,让其驱赶黑头酸臭蚁,完全占领诱饵,然后再移除诱饵上的红火蚁,最后每隔5 min用相机拍摄、记录移除红火蚁后30 min内重新回到处理诱饵及对照诱饵上取食的黑头酸臭蚁工蚁数量。

1.4 数据处理

所有数据统计均通过Microsoft Office Excel 软件完成。

2 结果与分析

2.1 荒草地短期入侵红火蚁与黑头酸臭蚁的种间干扰竞争

由表1可知,在红火蚁入侵荒草地生境中,红火蚁实验小种群入侵前和移除后5、10和15 min,处理诱饵召集到的黑头酸臭蚁工蚁数量均显著低于入侵时;随着诱集时间的延长,其工蚁数量逐渐增多,红火蚁实验小种群入侵前、入侵时及移除后20 min,处理诱饵上的黑头酸臭蚁工蚁数量差异均不显著;但受红火蚁短期入侵干扰后,黑头酸臭蚁工蚁数量仍未能在30 min恢复到入侵前的数量。在红火蚁未入侵荒草地生境中,红火蚁实验小种群入侵前和移除后5、10、15和20 min处理诱饵召集到的黑头酸臭蚁工蚁数量均显著低于入侵时;随着诱集时间的延长,其工蚁数量也逐渐增多,红火蚁实验小种群入侵前、入侵时及移除25 min后,处理诱饵上的黑头酸臭蚁工蚁数量差异不显著;同样,因红火蚁短期入侵的干扰,黑头酸臭蚁工蚁数仍未能在30 min恢复到入侵前的数量。上述结果说明在红火蚁未入侵荒草地,黑头酸臭蚁受红火蚁实验小种群的影响较大,受影响的时间长于红火蚁入侵荒草地生境。

表1 红火蚁短期入侵荒草地处理诱饵召集的黑头酸臭蚁工蚁数量(头)
Table 1 The number of *T. melanocephalum* workers recruited on the treated bait at wasteland newly invaded by *S. invicta*

时间 Time (min)	红火蚁入侵荒草地 Infested wasteland			红火蚁未入侵荒草地 Un-infested wasteland		
	入侵前 Before <i>S. invicta</i> presence	入侵中 During <i>S. invicta</i> presence	移除后 After <i>S. invicta</i> presence	入侵前 Before <i>S. invicta</i> presence	入侵中 During <i>S. invicta</i> presence	移除后 After <i>S. invicta</i> presence
5	6 ± 5b	181 ± 55a	25 ± 12b	13 ± 9b	322 ± 88a	27 ± 8b
10	55 ± 29b	195 ± 58a	55 ± 16b	78 ± 37b	356 ± 78a	72 ± 18b
15	104 ± 54b	213 ± 62a	90 ± 22b	126 ± 49b	344 ± 64a	120 ± 29b
20	113 ± 65a	198 ± 69a	130 ± 18a	173 ± 58b	351 ± 59a	144 ± 33b
25	170 ± 65a	189 ± 70a	159 ± 28a	252 ± 81a	346 ± 56a	179 ± 46a
30	230 ± 85a	174 ± 72a	189 ± 33a	286 ± 79a	326 ± 64a	239 ± 66a

数据为平均值 ± 标准误。同一类型生境中同行不同字母表示经 Duncan's 新复极差法分析差异显著 ($P < 0.05$)。
Numbers are means ± SE. The different letter in the same row means significant difference ($P < 0.05$) using the Duncan's method of multiple comparisons.

2.2 荔枝园短期入侵红火蚁与黑头酸臭蚁的种间干扰竞争

在红火蚁入侵荔枝园生境中,红火蚁实验小种群入侵前和移除后5 min处理诱饵上的黑头酸臭蚁工蚁数量均显著低于入侵时;随着诱集时间的延长,其工蚁数量逐渐增多,红火蚁实验小种群入侵前、入侵时及移除10 min后,处理诱饵上的黑头酸

臭蚁工蚁数量差异均不显著;但红火蚁短期入侵移除10~30 min,处理诱饵上的黑头酸臭蚁工蚁数量均多于入侵前。在红火蚁未入侵荔枝园生境中,红火蚁实验小种群入侵前和移除5、10 min处理诱饵上的黑头酸臭蚁工蚁数量均显著低于入侵时;随着召集时间的延长,其工蚁数量也逐渐增多,红火蚁实验小种群入侵前、入侵时及移除后15 min,处理

诱饵上的黑头酸臭蚁工蚁数量差异不显著;与红火蚁入侵荔枝园生境相似,红火蚁短期入侵移除 15 ~ 30 min,处理诱饵上的黑头酸臭蚁工蚁数量均多于入侵前(表 2)。上述结果说明在红火蚁入侵及未入侵荔枝园,黑头酸臭蚁受红火蚁实验小种群的影响均较小,受影响的时间均短于荒草地生境。

表 2 红火蚁短期入侵荔枝园处理诱饵召集的黑头酸臭蚁工蚁数量(头)

时间 Time (min)	红火蚁入侵荔枝园 Infested lychee orchard			红火蚁未入侵荔枝园 Un-infested lychee orchard		
	入侵前 Before <i>S. invicta</i> presence	入侵中 During <i>S. invicta</i> presence	移除后 After <i>S. invicta</i> presence	入侵前 Before <i>S. invicta</i> presence	入侵中 During <i>S. invicta</i> presence	移除后 After <i>S. invicta</i> presence
5	1 ± 1b	198 ± 75a	28 ± 16b	8 ± 7b	183 ± 71a	14 ± 4b
10	48 ± 32a	177 ± 80a	78 ± 37a	48 ± 43b	157 ± 58a	37 ± 11b
15	87 ± 39a	140 ± 63a	143 ± 55a	64 ± 51a	171 ± 55a	73 ± 23a
20	128 ± 64a	106 ± 45a	188 ± 81a	83 ± 57a	213 ± 64a	108 ± 27a
25	172 ± 60a	125 ± 67a	246 ± 103a	133 ± 19a	189 ± 43a	150 ± 41a
30	196 ± 65a	112 ± 63a	298 ± 122a	179 ± 58a	178 ± 49a	205 ± 55a

数据为平均值 ± 标准误。同一类型生境中同行不同字母表示经 Duncan's 新复极差法分析差异显著 ($P < 0.05$)。
Numbers are means ± SE. The different letter in the same row means significant difference ($P < 0.05$) using the Duncan's method of multiple comparisons.

2.3 各生境中处理诱饵与对照诱饵黑头酸臭蚁数量比较

红火蚁实验小种群入侵前 30 min,仅红火蚁未入侵荒草地对照诱饵上的黑头酸臭蚁数量显著多于处理诱饵,其余生境差异均不显著。红火蚁实验小种群入侵 30 min 时,在红火蚁入侵荒草地和入侵

荔枝园生境,对照诱饵上的黑头酸臭蚁数量均显著多于处理诱饵;而红火蚁未入侵荒草地和未入侵荔枝园生境,对照诱饵上的黑头酸臭蚁数量与处理诱饵差异不显著。红火蚁实验小种群移除后 30 min,所有供试生境中对照诱饵上的黑头酸臭蚁数量均与处理诱饵差异不显著(表 3)。

表 3 红火蚁短期入侵中处理诱饵与对照诱饵上的黑头酸臭蚁工蚁数量(头)

生境 Habitat	处理 Treatment	入侵前 30 min 30 min before "invasion"	入侵 30 min During invader presence, 30 min	移除后 30 min 30 min after invader removal
红火蚁未入侵荒草地 Un-infested wasteland	T	326 ± 64	286 ± 79	239 ± 66
	CK	482 ± 79 *	354 ± 57	316 ± 72
红火蚁入侵荒草地 Infested wasteland	T	230 ± 85	174 ± 72	189 ± 33
	CK	160 ± 56	380 ± 48 *	184 ± 25
红火蚁未入侵荔枝园 Un-infested lychee orchard	T	179 ± 58	178 ± 49	205 ± 55
	CK	98 ± 37	250 ± 47	345 ± 68
红火蚁入侵荔枝园 Infested lychee orchard	T	196 ± 65	112 ± 63	298 ± 122
	CK	215 ± 62	323 ± 132 *	311 ± 113

数据为平均值 ± 标准误。* 表示采用 *t*-检验得 2 个平均数间差异显著 ($P < 0.05$)。
Datas are means ± SE. * represent significant differences at $P < 0.05$ between means using the unpaired *t*-test.

3 结论与讨论

外来红火蚁的入侵对本地蚂蚁总会有或多或少的影响(Holway *et al.*, 2002),但入侵的数量和入侵的生境不同,其影响程度也不同(吴碧球等, 2008)。简单的生境如荒草地、草坪等,生物种类较单一,可供蚂蚁取食的食物相对比较贫乏,外来蚂蚁入侵后竞争会比较激烈,其入侵对本地蚂蚁的影

响就大;相反,在较复杂的生境如荔枝园、森林等,生物种类较多,食物资源丰富,外来入侵蚂蚁与本地蚂蚁对食物的竞争程度相对比较弱,入侵对本地蚂蚁的影响就比较小(吴碧球等, 2008; Porter & Savignano, 1990)。本研究发现,红火蚁短期入侵对荒草地黑头酸臭蚁的影响较大,在移除诱饵上的红火蚁 20 min 后,召集到的黑头酸臭蚁数量才与入侵

前差异不显著;而对红火蚁未入侵荒草地黑头酸臭蚁的影响最大,在移除诱饵上的红火蚁 25 min 后,召集到的黑头酸臭蚁数量才与入侵前差异不显著。相对来说,红火蚁短期入侵对荔枝园黑头酸臭蚁的影响较小,在移除红火蚁 10 min 后,诱饵上的黑头酸臭蚁数量与入侵前差异不显著;而尤以对红火蚁入侵荔枝园黑头酸臭蚁的影响最小,在移除诱饵上的红火蚁仅 5 min,黑头酸臭蚁就能迅速回到诱饵上取食,其数量甚至超过入侵前。此外,作者发现,红火蚁入侵荒草地和荔枝园生境下黑头酸臭蚁对红火蚁的短期入侵比较敏感,这 2 种生境的黑头酸臭蚁在移除红火蚁后,比未入侵荒草地和荔枝园需要更长的时间召集才能恢复到红火蚁短期入侵前的数量。外来生物成功入侵必须经过 4 个阶段 (Kennedy *et al.*, 2002): 入侵 (introduction)、定居 (colonization)、适应 (naturalization) 和扩散 (spread)。在红火蚁入侵荒草地和荔枝园,黑头酸臭蚁可能已适应这种外来入侵蚂蚁的存在,并找到与之相处的方式,故在这 2 种生境下黑头酸臭蚁表现得比较畏惧红火蚁;而在红火蚁未入侵荒草地和荔枝园生境中,召集到的黑头酸臭蚁工蚁数量甚至超过了红火蚁短期入侵前。

黑头酸臭蚁有开发式的筑巢习性,其食性广泛,尤其喜食糖类食物 (Smith, 1965)。黑头酸臭蚁对于喜食食物的觅食效率并不亚于红火蚁 (郑基焕和张润杰, 2010)。本研究所用的诱饵由含高蛋白、高油量的火腿肠和含糖分的蜂蜜组成,含有红火蚁和黑头酸臭蚁所喜食的成分,增加了这 2 种蚂蚁对食物掠夺竞争的激烈程度。作者在试验中发现,黑头酸臭蚁通过发动多对一的进攻形式来竞争诱饵。黑头酸臭蚁并非消极应对红火蚁的竞争,而是主要采用化学防御手段,即喷射对红火蚁具有威胁作用的化学物质 (高燕等, 2011),其行动比红火蚁更迅速 (李军等, 2008)。这些特点均可以解释广东省野外红火蚁入侵区, 2 种蚂蚁和睦共处的现象及黑头酸臭蚁仍是当前入侵区优势种类的原因。

参考文献

高燕, 吕利华, 何余容, 齐国君, 张金强. 2011. 红火蚁与两种本地蚂蚁间的干扰竞争. 昆虫学报, 54(5): 602–608.
韩佳音, 林立丰, 卢文成, 易建荣, 张巧利, 卢秀萍, 陈建东. 2007. 广东省某村入侵红火蚁伤害及控制调查. 中国媒介生物学及控制杂志, 18(1): 20–23.

黄俊, 许益鏊, 陆永跃, 曾玲. 2012. 红火蚁入侵对玉米地蜘蛛类群多样性的影响. 应用生态学报, 23(4): 1111–1116.
黄俊, 许益鏊, 曾玲, 梁广文, 陆永跃. 2010. 红火蚁对 8 种植物种子的选择性取食及其对种子萌芽的影响. 环境昆虫学报, 32(1): 6–10.
蒋才云, 王凯学, 张寒, 周善义. 2010. 红火蚁发生区的昆虫多样性研究. 安徽农业科学, 38(24): 13225–13228.
李军, 韩诗畴, 李志刚, 张碧胜. 2008. 红火蚁本地竞争种——黑头酸臭蚁行为观察. 植物检疫, 22(1): 19–21.
卢文成, 韩佳音, 张巧利, 陈浩田, 刘文华, 林立丰, 易建荣, 陈建东, 卢秀萍. 2007. 东莞市入侵红火蚁伤人导致 1 例过敏性休克. 中国媒介生物学及控制杂志, 18(2): 105–106.
罗忠东. 2005. 红火蚁对电力设施的危害及其防治. 广东电力, 18(12): 1–3.
容剑东. 2005. 吴川市红火蚁伤人事件流行病学调查分析. 医学动物防制, 21(4): 265–266.
沈鹏, 赵秀兰, 程登发, 张碧胜. 2007. 红火蚁入侵对本地蚂蚁多样性的影响. 西南师范大学学报: 自然科学版, 32(2): 93–96.
宋侦东, 陆永跃, 许益鏊, 黄俊, 梁广文, 曾玲. 2010. 红火蚁入侵草坪过程中蚂蚁类群变动趋势. 生态学报, 30(5): 1287–1295.
吴碧球, 陆永跃, 曾玲, 梁广文. 2008. 红火蚁入侵对广东多种生境中蚂蚁类群的影响. 应用生态学报, 19(1): 151–156.
吴碧球, 陆永跃, 曾玲, 黄焕光. 2009a. 单个蚁巢红火蚁对不同距离蚂蚁类群的影响. 中国农业科学, 42(12): 4248–4259.
吴碧球, 陆永跃, 曾玲, 宋侦东, 梁广文. 2009b. 红火蚁入侵和未入侵生境中蚂蚁的觅食强度. 应用生态学报, 20(10): 2513–2518.
吴碧球, 陆永跃, 梁广文, 曾玲. 2010. 红火蚁对新入侵龙眼园和荒草地蚂蚁类群多样性的影响. 生态学报, 30(7): 2075–2083.
吴能简, 卢文成, 罗会明, 何紫电, 何剑峰, 梁康斌, 杨春, 柯建义, 肖康寿. 2005. 中国大陆首次发现红火蚁伤人事件调查报告. 中国媒介生物学及控制杂志, 16(5): 342–344.
席银宝, 曾玲, 陆永跃, 许益鏊, 梁广文, 张维球. 2007. 荔枝园红火蚁和哀弓背蚁种间关系研究. 华南农业大学学报, 28(4): 6–10.
许益鏊, 曾玲, 陆永跃, 梁广文. 2009. 红火蚁弃尸堆的食物结构. 生态学报, 29(11): 5791–5798.
曾玲, 陆永跃, 何晓芳, 张维球, 梁广文. 2005. 入侵中国大陆的红火蚁的鉴定及发生为害调查. 昆虫知识, 42(2): 144–148.

- 张波, 吕利华, 陈健, 高燕, 钟锋, 齐国君, 何余容. 2012. 华南地区桑园和荒地生境内红火蚁食物组成研究. *广东农业科学*, (9): 83 – 86.
- 郑基焕, 张润杰. 2010. 红火蚁与黑头酸臭蚁对不同食物资源的竞争. *环境昆虫学报*, 32(3): 312 – 317.
- Holway D A, Lach L, Suarez A V, Tsutsui N D and Case T J. 2002. The causes and consequences of ant invasions. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 33: 181 – 233.
- Kennedy T A, Naeem S, Howe K M, Knops J M H, Tilman D and Reich P B. 2002. Biodiversity as a barrier to ecological invasion. *Nature*, 417: 636 – 638.
- Lu Y Y, Wu B Q, Xu Y J and Zeng L. 2012a. Effects of red imported fire ants (*Solenopsis invicta*) on the species structure of several ant communities in South China. *Sociobiology*, 59: 275 – 286.
- Lu Y Y, Wu B Q, Zeng L and Xu Y J. 2012b. Comparison of foraging ability between *Solenopsis invicta* and *Tapinoma melanocephalum* (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*, 59: 1015 – 1024.
- Porter S D and Savignano D A. 1990. Invasion of polygyne fire ants decimates native ants and disrupts arthropod community. *Ecology*, 71: 2095 – 2106.
- Smith M R. 1965. *House-infesting Ants of the Eastern United States: Their Recognition Biology and Economic Importance*. USDA Technical Bulletin, No. 1326.
- Vinson S B. 1997. Invasion of the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae): spread, biology and impact. *American Entomologist*, 43(1): 23 – 29.
- Wang L, Lu Y Y, Xu Y J and Zeng L. 2103. The current status of research on *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae) in Mainland China. *Asian Myrmecology*, 5: 125 – 138.

(责任编辑:杨郁霞)

