

单个蚁巢红火蚁对不同距离蚂蚁类群的影响

吴碧球^{1,2}, 陆永跃¹, 曾玲¹, 黄焕光¹

(¹华南农业大学资源环境学院/红火蚁研究中心, 广州 510642; ²广西农业科学院植物保护研究所, 南宁 530007)

摘要: 【目的】研究新定殖单个蚁巢红火蚁入侵荒地后对距蚁巢不同距离蚂蚁类群的影响。【方法】采用陷阱法和诱饵诱集法调查距红火蚁蚁巢不同距离的蚂蚁类群种类及其数量变化, 并应用主成分分析法和群落多样性指数探讨新定殖红火蚁对距蚁巢不同距离蚂蚁类群数量动态变化及其多样性的影响。【结果】红火蚁入侵后与本地蚂蚁竞争激烈, 红火蚁对距小蚁巢 1 m、大蚁巢 1 和 3 m 处蚂蚁类群多样性的影响较大。在距红火蚁小蚁巢 1 m 处, 红火蚁工蚁数量随时间推移逐渐减少, 在红火蚁占较大比例的 6 月 (45.02%) 及占较小比例的 8 月 (16.01%), 蚂蚁个体数和优势度指数增加, 物种数、多样性指数和均匀度指数下降。在距红火蚁大蚁巢 1、3 m 处, 红火蚁工蚁数量随时间推移呈现先降而后逐渐上升趋势, 在红火蚁占较小比例的 6 月 (48.36%, 1 m)、7 月 (34.06%, 3 m) 和红火蚁占较大比例的 9 月 (89.94%, 1 m; 59.52%, 3 m), 蚂蚁优势度指数增加, 多样性指数和均匀度指数下降。主成分分析结果还揭示了引起荒地单个蚁巢不同距离蚂蚁类群数量变动的主要蚂蚁种类及其变化情况。【结论】两种入侵荒地的红火蚁种群对距其蚁巢较近距离蚂蚁类群多样性的影响较大。在小蚁巢和大蚁巢近距离处, 红火蚁工蚁占比例较大, 本地蚂蚁物种数、个体数、蚂蚁类群优势度指数增加, 多样性指数和均匀度指数下降。

关键词: 红火蚁; 单个蚁巢; 不同距离; 蚂蚁类群; 多样性

Influence of Red Imported Fire Ant (RIFA) on Ant Community in Different Distances Around Separate Mound

WU Bi-qi^{1,2}, LU Yong-yue¹, ZENG Ling¹, HUANG Huan-guang¹

(¹Red Imported Fire Ant Research Center, College of Natural Resources and Environment South China Agricultural University, Guangzhou 510642; ²Institute of Plant Protection, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007)

Abstract: 【Objective】The influence of red imported fire ant (RIFA) on ant community in different distances around separate mound in mowing wasteland was studied in this paper. 【Method】The dynamics of species and abundance of ants which in different distances around separate mound of RIFA were investigated by using pitfall and bait traps, and the principal component analysis method and diversity indexes were used to probe into the influence of RIFA on the diversity of ant community. 【Results】The results indicated that the competition was furious between RIFA and native ants, the influence of RIFA on the diversity of ant communities at short distance was more obvious than at long distance around mound in both small and big mounds. As the infested time went on, the number of RIFA foragers became less and less. The number of all ant foragers and predominant index of ant community in 1 m of small mound increased, species richness, diversity index and evenness index of ant community decreased in June with a high proportion (45.02%) and in August with a low proportion (16.01%) of RIFA foragers. While in 1 m and 3 m of big mound, as the infested time went on, the number of RIFA foragers decreased at first and became more and more later. With a low proportion (48.36%, 1 m, June; 34.06%, 3 m, July) and a high proportion (89.94%, September, 1 m; 59.52%, September, 3 m) of RIFA foragers in big mound, the predominant index of ant community increased, diversity index and evenness index of ant community decreased. Principal component analysis also indicated that the ant species of begetting amount fluctuation and their changing rule.

收稿日期: 2009-03-02; 接受日期: 2009-08-13

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目 (2009CB119206)、国家自然科学基金项目 (305712427)、广东省科技计划项目 (2007B020710014)

作者简介: 吴碧球 (1978—), 女, 广西贺州人, 助理研究员, 博士, 研究方向为害虫生态控制、害虫治理。E-mail: bqwu@gxaas.net。通信作者 曾玲 (1949—), 女, 广东湛江人, 教授, 硕士, 研究方向为昆虫生态学、害虫综合防治。Tel: 020-85283518; E-mail: zengling@scau.edu.cn

【Conclusion】The impact of invasion of RIFA in wasteland on the diversity of ant communities in short distance around mound was obviously. The high proportion of RIFA forgers in short distance around mounds in both small and big mounds, the species richness and the number of individuals of native ants, the predominant index of ant community increased, diversity index and evenness index of ant community decreased.

Key words: *Solenopsis invicta* Buren; separate mound; different distance; ant community; diversity

0 引言

【研究意义】红火蚁 (*Solenopsis invicta* Buren) 是一种隶属于膜翅目(Hymenoptera)蚁科(Formicidae)火蚁属(*Solenopsis*)的危险性检疫害虫, 对入侵地公共安全^[1]、人体健康^[2-6]、农牧业^[1,7-8]和生态环境^[9-13]等方面有重大影响。红火蚁对其生态位相似或相同的本地蚂蚁影响最大。与红火蚁未入侵地相比, 侵入地蚂蚁物种丰富度下降了 70%, 而本地蚂蚁总数量下降了 90%^[14]; 红火蚁通过竞争排挤本地蚂蚁, 从而降低本地蚂蚁群落的多样性^[15-16], 甚至使部分本地种类消失^[14]。入侵种与本地种的种间关系以及入侵种与入侵地生物群落总体关系方面是近年来生物入侵机制研究的热点之一。2004 年在广东省吴川市首次发现红火蚁入侵^[17]。单个蚁巢红火蚁成功入侵定殖后, 研究距蚁巢不同距离蚂蚁类群的丰富度及多样性随时间的动态变化情况, 对于探究红火蚁定殖、扩散过程中本地蚂蚁类群所起的作用及其应对红火蚁入侵影响的调节机制具有重要意义, 并为有效利用本地种控制红火蚁进一步的扩散提供依据。【前人研究进展】国内外关于红火蚁种群空间分布^[18-22]、局域扩散规律^[23]等方面进行了研究。【本研究切入点】把红火蚁入侵定殖、局域扩散规律与其定殖、扩散过程中对生态位相似或相同的本地蚂蚁的影响研究相结合, 可以阐明红火蚁如何影响新入侵区本地蚂蚁群落及本地蚂蚁在红火蚁入侵定殖、局域扩散过程中所起的作用。关于单个蚁巢红火蚁在其入侵定殖扩散过程中, 对距蚁巢不同距离蚂蚁类群的影响及本地蚂蚁应对红火蚁入侵的调节机制等方面的研究未见报道。【拟解决的关键问题】本研究采用陷阱法和诱饵诱集法相结合以调查新入侵区蚂蚁群落随单个蚁巢红火蚁定殖时间的种类和数量变化情况, 旨在探讨成功入侵定殖的单个蚁巢红火蚁对距蚁巢不同距离蚂蚁类群丰富度和多样性的影响。

1 材料与方法

1.1 试验方法

本试验于 2007 年 6 月至 9 月在华南农业大学增城

基地进行。在无红火蚁入侵的荒草地设置 6 小区 (每个小区的面积约为 300 m²), 每个小区相距 5 m。然后, 选择蚁巢较大且成熟及蚁巢较小 (刚刚形成小蚁丘) 的两类型种群各 3 个作为单个初始种群移植到小区中间, 每个小区移植 1 个红火蚁种群。当初始种群定殖成功后, 用直尺测量蚁丘的长、宽、高, 计算蚁巢体积, 以蚁巢体积 $\geq 40\ 000\ \text{cm}^3$ 和 $< 40\ 000\ \text{cm}^3$ 作为分界线, 界定大小两种类型的蚁巢, 因为蚁巢体积 $\geq 40\ 000\ \text{cm}^3$, 红火蚁种群就比较稳定^[24]。蚁巢体积计算公式如下:

$$\text{蚁巢体积 (V)} = 4/3\pi abc$$

式中 a 为蚁丘长度的一半, b 为蚁丘宽度的一半, c 为蚁丘的高度。

其中, 本研究所选的大蚁巢平均体积为 93 418.5 cm³, 小蚁巢平均体积为 2 224.5 cm³。以每个蚁巢为中心, 分别在距离蚁巢 1、3、5、7、9、11 和 13 m 的对角线上用陷阱法和诱饵诱集法^[16]采样, 每个采样点设置 1 个陷阱和 1 个诱饵, 每月调查一次。采集的蚂蚁标本带回室内鉴定种类并记录数量。蚂蚁的种类鉴定参考文献[25-28]进行。

1.2 数据分析方法

采用 Simpson 优势度公式、Shannon-Wiener 多样性公式和 Pielou 均匀度公式分别计算每个小区蚂蚁类群的优势度指数 (C)、多样性指数 (H') 和均匀度指数 (E)。具体的计算公式见马克平等^[29]、赵志模等^[30]。上述数据均用 Excel 和 DPS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 距蚁巢不同距离蚂蚁类群数量变动的主成分分析

2.1.1 距蚁巢不同距离蚂蚁数量变动前 3 个主成分贡献率和累积贡献率 据 4 次调查及主成分分析步骤运算结果, 不同距离特征根及相应每轴所占信息量及累计贡献率列于表 2.1。主成分的特征根 (总方差) 和贡献率是选择主成分的依据, 根据分析后方差累计贡献率 $> 85\%$ 的原则提取主成分, 在 7 种距离上分别提取了 3 个主成分 (表 1), 这 3 个主成分累计贡献率

表 1 距蚁巢不同距离蚂蚁数量变动前 3 个主成分贡献率和累积贡献率

Table 1 Proportion and cumulative proportion of first three principal components analysis on fluctuation of ants' amount in different distances around mounds

距离 Distance	小蚁巢 Small mound			大蚁巢 Big mound			
	特征根 Eigenvalues	贡献率 Proportion	累积贡献率 Cumulative	特征根 Eigenvalues	贡献率 Proportion	累积贡献率 Cumulative	
1 m	PRIN1	7.1153	0.5929	0.5929	5.4289	0.4935	0.4935
	PRIN2	3.2850	0.2738	0.8667	3.2214	0.2929	0.7864
	PRIN3	1.5997	0.1333	1.0000	2.3497	0.2136	1.0000
3 m	PRIN1	6.0726	0.4338	0.4338	4.9314	0.4483	0.4483
	PRIN2	5.1491	0.3678	0.8016	3.9748	0.3613	0.8096
	PRIN3	2.7783	0.1984	1.0000	2.0939	0.1904	1.000
5 m	PRIN1	6.5919	0.4708	0.4708	9.9444	0.6215	0.6215
	PRIN2	4.8150	0.3439	0.8148	3.3316	0.2082	0.8298
	PRIN3	2.5931	0.1852	1.0000	2.7240	0.1702	1.0000
7 m	PRIN1	6.2410	0.4161	0.4161	6.1888	0.4761	0.4761
	PRIN2	5.2462	0.3497	0.7658	4.4617	0.3432	0.8193
	PRIN3	3.5128	0.2342	1.0000	2.3496	0.1807	1.0000
9 m	PRIN1	4.9513	0.4501	0.4501	4.9322	0.4932	0.4932
	PRIN2	3.6582	0.3326	0.7827	2.6653	0.2665	0.7597
	PRIN3	2.3905	0.2173	1.0000	2.4025	0.2403	1.0000
11 m	PRIN1	8.2024	0.6310	0.6310	5.5603	0.5560	0.5560
	PRIN2	2.6189	0.2015	0.8324	2.3090	0.2309	0.7869
	PRIN3	2.1787	0.1676	1.0000	2.1307	0.2131	1.0000
13 m	PRIN1	4.6417	0.3868	0.3868	4.0128	0.4459	0.4459
	PRIN2	3.7335	0.3111	0.6979	3.2175	0.3475	0.8034
	PRIN3	3.6248	0.3021	1.0000	1.7696	0.1966	1.0000

达 100%，它们反应了大、小蚁巢不同距离蚂蚁类群数量变动 100% 信息。

2.1.2 距小蚁巢不同距离蚂蚁类群的前 2 个主成分特征向量及负荷量 单个蚁巢红火蚁入侵后，引起距小蚁巢不同距离蚂蚁类群数量变动的主要种类见表 2。从中可知，距小蚁巢 1 m 处，第一主成分的贡献率为 59.29%，对第一主成分贡献较大（即负荷量 > 0.6）的蚂蚁种类是比罗举腹蚁（*Crematogaster biroi*）、横纹齿猛蚁（*Odontoponera transversa*）、二色盾胸切叶蚁（*Meranoplus bicolor*）、长角立毛蚁（*Paratrechina longicornis*）和哀弓背蚁（*Camponotus dolendus*），它们大小依次为：比罗举腹蚁（0.9966）= 横纹齿猛蚁 = 二色盾胸切叶蚁 > 哀弓背蚁（0.9124）> 长角立毛蚁（0.8318）。基于比罗举腹蚁、横纹齿猛蚁和二色盾胸切叶蚁的贡献率最大，由此表明它们在第一主成分中起着决定性作用，它们的数量变化是引起 1 m 处

蚂蚁类群变动第一主成分的主要因子。第二主成分的贡献率为 27.38%，负荷量较大的蚂蚁种类依次为：伊大头蚁（*Pheidole yeensis*）（0.9695）> 宽结巨首蚁（*Pheidologeton latinodus*）（-0.8550）> 粗纹举腹蚁（*Crematogaster artifex*）（-0.8163）> 皮氏大头蚁（*Pheidole pieli*）（-0.7929）> 布氏立毛蚁（*Paratrechina bourbonica*）（-0.6902），说明伊大头蚁在第二主成分中起决定性作用。

距小蚁巢 3 m 处，第一主成分的贡献率为 43.38%，对第一主成分贡献较大的蚂蚁种类依次为：黑头酸臭蚁（*Tapinoma melanocephalum*）（0.9989）> 布氏立毛蚁（0.9808）> 宽结巨首蚁（-0.7744）。基于黑头酸臭蚁对第一主成分的贡献最大，说明黑头酸臭蚁在第一主成分中起决定性作用，其数量变化是引起 3 m 处第一主成分蚂蚁变动的主要因子。第二主成分的贡献率为 36.78%，对第二主成分贡献较大的为红火蚁

(0.8846)、伊大头蚁(0.9385)、皮氏大头蚁(0.9004)、长角立毛蚁(0.8055), 其中负荷量大的为伊大头蚁, 说明伊大头蚁在第二主成分中起决定性作用。

距小蚁巢 5 m 处, 第一主成分的贡献率为 47.08%, 对第一主成分贡献较大的蚂蚁种类依次为: 红火蚁(-0.9897) > 横纹齿纹蚁(0.9839) = 罗思尼氏斜结蚁(*Plagiolepis rothneyi*)(-0.9839) > 黑头酸臭蚁(0.8152) > 伊大头蚁(0.7108) > 布氏立毛蚁(-0.6909), 其中红火蚁的负荷量最大, 其数量变化是引起小蚁巢 5 m 处蚂蚁类群变动的主要因子。第二主成分的贡献率为 34.39%, 对第二主成分贡献较大的有宽结巨首蚁(0.7304)、粗纹举腹蚁(-0.9826)、聚纹双刺猛蚁(-0.9823)和布氏立毛蚁(-0.7165)。其中粗纹举腹蚁的负荷量最大, 说明粗纹举腹蚁在第二主成分中起着决定性作用。

距小蚁巢 7 m 处, 第一主成分的贡献率为 41.61%, 对第一主成分贡献较大的蚂蚁种类依次为: 伊大头蚁(-0.9548) > 聚纹双刺猛蚁(0.9470) = 双隆骨铺道蚁(-0.9470) = 黄立毛蚁(*Paratrechina flavipes*) > 黑头酸臭蚁(-0.9164) > 哀弓背蚁(0.7195), 伊大头蚁的负荷量最大, 其数量变化是引起 7 m 处第一主成分蚂蚁类群变动的主要因子。第二主成分的贡献率为 34.97%, 对第二主成分贡献较大的为皮氏大头蚁(-0.9282)、宽结巨首蚁(-0.7085)、粗纹举腹蚁(0.8807)、横纹齿猛蚁(0.7673)、黄足厚结蚁(*Pachycondyla luteipes*)(0.9902)、同色小家蚁(*Monomorium*)(0.6331)和罗思尼氏斜结蚁(0.8675), 其中黄足厚结蚁的负荷量最大, 说明黄足厚结蚁在第二主成分中起着决定性作用。

距离小蚁巢 9 m 处, 第一主成分的贡献率为 45.01%, 对第一主成分贡献较大的蚂蚁种类依次为: 黑头酸臭蚁(0.9915) > 哀弓背蚁(0.9568) = 双齿多刺蚁(*Polyrhachis dives*) > 聚纹双刺猛蚁(-0.7089) > 伊大头蚁(0.6323), 黑头酸臭蚁的负荷量最大, 其数量变化是引起 9 m 处蚂蚁类群变动的主要因子。第二主成分的贡献率为 33.26%, 对第二主成分贡献较大的为宽结巨首蚁(0.9734)、粗纹举腹蚁(0.9555)、聚纹双刺猛蚁(-0.6152)和黄足厚结蚁(0.9590), 宽结巨首蚁的负荷量最大, 说明宽结巨首蚁在第二主成分中起决定性作用。

距离小蚁巢 11 m 处, 第一主成分的贡献率为 63.10%, 对第一主成分贡献较大的蚂蚁种类依次为: 罗思尼氏斜结蚁(0.9921) > 黑头酸臭蚁(0.9747) >

布氏立毛蚁(0.9737) > 聚纹双刺猛蚁(0.9621) = 黄足厚结蚁 > 伊大头蚁(0.9110) > 皮氏大头蚁(0.8455) > 横纹齿猛蚁(0.8107), 其中罗思尼氏斜结蚁的负荷量最大, 其数量变化是引起 11 m 处蚂蚁类群变动的主要因子。第二主成分的贡献率为 20.15%, 对第二主成分贡献较大的蚂蚁种类依次为: 粗纹举腹蚁(0.9639) > 比罗举腹蚁(-0.9009) > 宽结巨首蚁(0.7470), 基于粗纹举腹蚁的负荷量最大, 故其在第二主成分中起着决定性作用。

距小蚁巢 13 m 处, 第一主成分的贡献率为 38.68%, 对第一主成分贡献较大的蚂蚁种类依次为: 黑头酸臭蚁(0.9714) > 聚纹双刺猛蚁(0.9643) = 罗思尼氏斜结蚁 > 粗纹举腹蚁(0.9440)。黑头酸臭蚁的贡献率最大, 故黑头酸臭蚁在第一主成分中起决定性作用。第二主成分的贡献率为 31.11%, 对第二主成分贡献较大的为伊大头蚁(-0.9840)、宽结巨首蚁(0.6773)、黄足厚结蚁(-0.9389)、夏普氏厚结蚁(*Pachycondyla sharpie*)(0.7896)和黄立毛蚁(-0.8371), 其中伊大头蚁的负荷量最大, 说明伊大头蚁在第二主成分中起决定性作用。

在距小蚁巢 7 种距离处, 主成分中各种蚂蚁的负荷量分布的不一致可能是由于不同距离蚂蚁类群物种组成及其受红火蚁入侵的影响程度不同所造成的。

2.1.3 距大蚁巢不同距离蚂蚁类群的前 2 个主成分特征向量及负荷量 单个蚁巢红火蚁入侵后, 引起距大蚁巢不同距离蚂蚁类群数量变动的主要种类见表 3。从中看出, 距蚁巢 1 m 处, 第一主成分的贡献率为 49.35%, 对第一主成分贡献较大(即负荷量 > 0.6)的蚂蚁种类依次为: 布氏立毛蚁(0.9931) > 皮氏大头蚁(0.9843) > 黑头酸臭蚁(0.9488) > 伊大头蚁(0.8195)。布氏立毛蚁的负荷量最大, 其数量变化是引起大蚁巢 1 m 处第一主成分蚂蚁类群变动的主要因子。第二主成分的贡献率为 29.29%, 对第二主成分贡献较大的为红火蚁、宽结巨首蚁、比罗举腹蚁和横纹齿猛蚁, 其中宽结巨首蚁和横纹齿猛蚁的负荷量最大, 均为 0.9166, 说明它们在第二主成分中起决定性作用。

距离大蚁巢 3 m 处, 第一主成分的贡献率为 44.83%, 对第一成分贡献较大的蚂蚁种类依次为: 皮氏大头蚁(0.9657) > 长角立毛蚁(-0.9142) > 比罗举腹蚁(-0.8666) > 二色盾胸切叶蚁(0.8610) > 横纹齿猛蚁(0.8593), 皮氏大头蚁的负荷量最大, 说明其数量变化是引起大蚁巢 3 m 处第一主成分蚂蚁类

表 2 小蚁巢不同距离蚂蚁类群的前 2 个主成分特征向量及负荷量

Table 2 Eigenvector and burden of first two principal components analysis of ant communities in different distances around small mound

距离		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21		
Distance																							
1 m	PRIN1	E	-0.1660	-0.2420	-0.2815	0.3494	0.3232	0.2899	0.1224	0.2899				0.2899	0.3029		0.3554		0.3507				
		B	0.0201	-0.2222	-0.3000	0.5778	0.2944	0.9966	-0.4093	0.9966					0.9966	0.1816		0.8318		0.9124			
	PRIN2	E	0.2917	0.1712	0.2079	-0.0632	-0.2526	0.3497	-0.5053	0.3497					0.3497	-0.3209		0.1116		0.1923			
		B	0.0542	0.9695	0.2596	-0.7929	-0.8550	-0.0715	-0.8163	-0.0715					-0.0715	-0.6902		-0.2516		-0.3645			
3 m	PRIN1	E	-0.2685	-0.0142	0.3880	-0.0386	-0.3678		0.0197	0.2081	0.3610	-0.0997	-0.1676	0.3610		0.3873		-0.3232		0.2090			
		B	-0.3727	0.2699	0.9989	0.1776	-0.7744		-0.0123	0.4247	0.9452	-0.5149	-0.2910	0.9452		0.9808		-0.5777		0.5863			
	PRIN2	E	0.1741	0.3896	0.0808	0.4209	0.1861		-0.3930	-0.3429	0.1996	-0.0549	-0.2275	0.1996		0.0032		0.2478		0.3629			
		B	0.8846	0.9385	-0.0412	0.9004	0.5944		-0.4054	-0.5247	0.0794	-0.5818	0.1998	0.0794		-0.1288		0.8055		0.2969			
5 m	PRIN1	E	-0.3274	-0.0475	0.4026	-0.3014	0.2326		-0.0641	0.3196	-0.0616	0.1172			0.3525	-0.3302			-0.3196	0.3525			
		B	-0.9897	0.7108	0.8152	-0.5102	-0.0446		0.1833	0.9839	0.1861	-0.2525			0.3200	-0.6909			-0.9839	0.3200			
	PRIN2	E	0.2765	-0.4343	0.0052	0.1109	0.3823		-0.3775	-0.2903	-0.3769	0.1783			0.2072	-0.0750			0.2903	0.2072			
		B	0.1098	-0.4379	0.4450	0.3789	0.7304		-0.9826	-0.1550	-0.9823	-0.2045			0.3800	-0.7165			0.3150	0.3800			
7 m	PRIN1	E	-0.0257	-0.3393	-0.3693	-0.0365	0.0928		0.3056	-0.0403	0.3447	0.1384		-0.3447	0.2360	-0.0257	-0.3447		0.2982	0.3492			
		B	0.0140	-0.9548	-0.9164	0.2872	0.5267		0.4623	-0.4351	0.9470	-0.0269			-0.9470	0.3971	0.0140	-0.9470		0.4446	0.7195		
	PRIN2	E	-0.2004	0.1542	0.0267	-0.4323	-0.2826		0.2755	0.4295	-0.2049	0.3592		0.2049	0.0785	-0.2004	0.2049		0.2911	0.1497			
		B	-0.1364	0.1140	-0.1727	-0.9282	-0.7085		0.8807	0.7673	-0.0186	0.9902		0.0186	0.6331	-0.1364	0.0186		0.8675	0.5146			
9 m	PRIN1	E		0.4189	0.3904	-0.1080	-0.2718		-0.3259		-0.1715	-0.2283				-0.1881			-0.0100	0.4263	0.4263		
		B		0.6323	0.9915	-0.0415	-0.1984		-0.2647		-0.7089	-0.1382					-0.2309			-0.5877	0.9568	0.9568	
	PRIN2	E		0.0513	0.1200	-0.3079	0.4158		0.3418		-0.4739	0.4497				-0.3126			-0.2345	0.0974	0.0974		
		B		-0.4589	-0.1296	-0.1909	0.9734		0.9555		-0.6152	0.9590					-0.1320			-0.5784	-0.2486	-0.2486	
11 m	PRIN1	E		0.2968	0.3453	0.2804	0.1885	-0.1938	0.0307	0.3227	0.3397	0.3397		-0.0914	0.2707	0.3404			0.3280				
		B		0.9110	0.9747	0.8455	0.1975	-0.3689	-0.2352	0.8107	0.9621	0.9621			-0.0803	0.5276	0.9737			0.9921			
	PRIN2	E		-0.2986	-0.0756	0.0080	0.4420	-0.4324	0.6155	0.1786	-0.1339	-0.1339		0.0028	0.1942	-0.1360			-0.1411				
		B		-0.2459	0.1873	0.3547	0.7470	-0.9009	0.9639	0.5855	0.0639	0.0639		0.1057	0.4193	0.0406			0.1052				
13 m	PRIN1	E		0.1481	0.4467	0.0925	-0.2608		0.4054	-0.0845	0.4545	-0.1345	-0.2355			-0.0985	-0.1846		0.4545				
		B		0.1725	0.9714	0.2263	-0.4070		0.9440	-0.0718	0.9643	-0.4511	-0.4414			-0.0966	-0.5087		0.9643				
	PRIN2	E		-0.4437	0.0532	0.0171	0.4104		0.2350	0.2520	0.0171	-0.4931	0.2240			0.2682	-0.3834		0.0171				
		B		-0.9840	-0.1632	-0.4377	0.6773		0.1937	0.0748	-0.0255	-0.9389	0.7896			0.1183	-0.8371		-0.0255				

E、B 分别表示特征向量和负荷量。A1~A22 按顺序分别表示：红火蚁、伊大头蚁、黑头酸臭蚁、皮氏大头蚁、宽结巨首蚁、比罗举腹蚁、粗纹举腹蚁、横纹齿纹蚁、聚纹双刺猛蚁、黄足厚结蚁、夏普氏厚结蚁、光亮大齿猛蚁、双隆骨铺道蚁、二色盾胸切叶蚁、同色小家蚁、布氏立毛蚁、黄立毛蚁、长角立毛蚁、罗思尼氏斜结蚁、哀弓背蚁、双齿多刺蚁和尼巴科弓背蚁。下同

E and B indicated eigenvector and burden, respectively. A1-Solenopsis invicta, A2-Pheidole yeensis, A3-Tapinoma melanocephalum, A4-Pheidole pieli, A5-Pheidologeton latinodus, A6-Crematogaster biroi, A7-Crematogaster artifex, A8-Odontoponera transversa, A9-Diacamma rugosum, A10-Pachycondyla luteipes, A11-Pachycondyla sharpie, A12-Odontomachus fulgidus, A13-Tetramorium bicarinatum, A14-Meranoplus bicolor, A15-Monomorium, A16-Paratrechina bourbonica, A17-Paratrechina flavipes, A18-Paratrechina longicornis, A19-Plagiolepis rothneyi, A20-Camponotus dolendus, A21-Polyrhachis dives, A22-Camponotus nicobarensis. The same as below

表 3 大蚁巢不同距离蚂蚁类群的前 2 个主成分的特征向量和负荷量

Table 3 Eigenvector and burden of first two principal components analysis of ant communities in different distances around big mound

距离		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A8	A9	A10	A12	A13	A14	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22		
Distance																						
1 m	PRIN1	E	-0.2290	0.4213	0.3985	0.3472	-0.2969	0.0643	-0.2969	0.3690		-0.1291		0.3145	-0.2419							
		B	0.1011	0.8195	0.9488	0.9843	-0.3888	0.4811	-0.3888	0.3512		-0.0148		0.9931	-0.1553							
	PRIN2	E	0.3304	0.1052	0.0654	0.2083	0.3997	0.5408	0.3997	-0.0189		-0.3778		0.0985	-0.2595							
		B	0.8990	-0.2980	-0.2569	0.0415	0.9166	0.7967	0.9166	-0.5574		-0.2729		-0.0412	0.0346							
3 m	PRIN1	E	0.3817	-0.0352	-0.1001	0.3542	-0.1809	-0.3213	0.4249	0.0169			0.4341	0.1812		-0.4239						
		B	0.5762	-0.3978	0.0808	0.9657	-0.0301	-0.8666	0.8593	-0.0883			0.8610	0.3590		-0.9142						
	PRIN2	E	0.2245	0.0898	-0.4879	-0.2280	-0.4124	0.3497	0.1263	0.4507			0.1154	-0.3198		0.1564						
		B	0.8012	0.4969	-0.9314	-0.2538	-0.9990	0.3536	0.4798	0.6084			0.5002	-0.1409		-0.1333						
5 m	PRIN1	E	0.2770	0.2616	-0.0706	0.3169	-0.1739	0.3168	0.3124	0.3124	0.2540		-0.1383	0.3121	0.3167	-0.1205	-0.1656	0.3124	-0.0535			
		B	0.7371	0.8366	-0.1211	0.9646	-0.3563	0.9584	0.9779	0.9779	0.9404		-0.1550	0.9755	0.9695	-0.4966	-0.2797	0.9779	-0.3263			
	PRIN2	E	0.0855	0.3037	-0.3662	-0.0034	0.4422	0.0241	-0.0265	-0.0265	0.1217		0.2860	-0.0334	0.0067	-0.5066	0.3907	-0.0265	0.2471			
		B	-0.3720	0.1507	-0.0600	-0.2481	0.8993	-0.2372	-0.2059	-0.2059	0.2750		0.9384	-0.2153	-0.2274	-0.6328	0.9601	-0.2059	-0.0997			
7 m	PRIN1	E	-0.3789	0.3697	0.1852	0.0365	0.0281		0.3839		-0.0495	0.3362		0.3292		0.3362	0.0281		-0.3149	-0.3149		
		B	-0.5449	0.8764	0.1329	-0.0261	-0.1821		0.4996		-0.6129	0.9491		0.9784		0.9491	-0.1821		-0.1541	-0.1541		
	PRIN2	E	0.0682	-0.1690	0.4187	0.4515	0.4708		0.0418		-0.1190	-0.1995		-0.0482		-0.1995	0.4708		-0.1524	-0.1524		
		B	0.0969	-0.1726	0.9226	0.9991	0.9769		0.1308		-0.5232	-0.1928		0.1688		-0.1928	0.9769		-0.2610	-0.2610		
9 m	PRIN1	E	0.3062	-0.2734	-0.3924	0.4314	0.4342	0.1257						-0.3066		-0.0347	0.4342	-0.0583				
		B	0.4441	-0.6475	-0.6715	0.9960	0.9975	-0.2977						-0.5826		0.2074	0.9975	-0.3996				
	PRIN2	E	-0.3861	0.3466	0.1861	0.1212	0.0965	-0.5460						-0.3250		0.5089	0.0965	0.0105				
		B	-0.8919	0.2369	0.7224	-0.0164	-0.0433	-0.3296						0.1428		0.9653	-0.0433	-0.5730				
11 m	PRIN1	E	-0.3605	0.3914	-0.3615	0.3366	-0.1341		0.2366					0.4044	0.4231		0.0644	-0.2286				
		B	-0.9429	0.5996	-0.9850	0.9579	0.2128		0.3026					0.8443	0.8202		-0.0634	-0.1825				
	PRIN2	E	0.1982	0.2162	0.2766	-0.3939	-0.5674		0.3626					-0.0904	0.0426		0.4151	-0.2160				
		B	0.0684	0.7563	0.0612	0.0741	-0.9257		0.1925					0.5309	0.5165		-0.0376	-0.9496				
13 m	PRIN1	E	-0.3705	-0.2177	-0.1329	0.4409	0.4782		0.4584					-0.1339		-0.0902	0.3721					
		B	-0.9909	-0.2530	-0.7341	0.7616	0.6592		0.9633					0.2339		0.2662	0.2540					
	PRIN2	E	-0.3607	0.2468	-0.5370	0.1092	-0.1516		0.4682					0.3386		0.4993	-0.3055					
		B	-0.0914	0.9610	-0.5845	0.1643	-0.5248		-0.2460					-0.0335		0.9268	-0.3207					

群变动的主要因子。第二主成分的贡献率为 36.13%，对第二主成分贡献较大的为红火蚁（0.8012）、黑头酸臭蚁（-0.9314）、宽结巨首蚁（-0.9990）和聚纹双刺猛蚁（0.6084），其中宽结巨首蚁的负荷量最大，说明其在第二主成分中起决定性作用。

距离大蚁巢 5 m 处，第一主成分的贡献率为 62.15%，对第一主成分贡献较大的蚂蚁种类依次为：聚纹双刺猛蚁（0.9779）=哀弓背蚁=横纹齿猛蚁>布氏立毛蚁（0.9755）>黄立毛蚁（0.9695）>皮氏大头蚁（0.9646）>比罗举腹蚁（0.9584）>黄足厚结蚁（0.9404）>伊大头蚁（0.8366）>红火蚁（0.7371），哀弓背蚁、聚纹双刺猛蚁和的负荷量最大，说明它们的数量变化是引起大蚁巢 5 m 处第一主成分蚂蚁类群变动的主要因子。第二主成分的贡献率为 20.82%，对第二主成分贡献较大的为宽结巨首蚁（0.8993）、二色盾胸切叶蚁（0.9384）、长角立毛蚁（-0.6328）和罗思尼氏斜结蚁（0.9601），其中罗思尼氏斜结蚁的负荷量最大，说明其在第二主成分中起决定性作用。距离大蚁巢 7 m 处，第一主成分的贡献率为 47.61%，对第一主成分贡献较大的蚂蚁种类依次为：布氏立毛蚁（0.9784）>长角立毛蚁（0.9491）=光亮大齿猛蚁（*Odontomachus fulgidus*）>伊大头蚁（0.8764）>黄足厚结蚁（-0.6129），布氏立毛蚁的负荷量最大，其数量变化是引起大蚁巢 7 m 处第一主成分蚂蚁类群变动的主要因子。第二主成分的贡献率为 34.32%，对第二主成分贡献较大的为黑头酸臭蚁（0.9226）、皮氏大头蚁（0.9991）、宽结巨首蚁（0.9769）和罗思尼氏斜结蚁（0.9769），其中皮氏大头蚁的负荷量最大，说明皮氏大头蚁在第二主成分中起决定性作用。

距离大蚁巢 9 m 处，第一主成分的贡献率为 49.32%，对第一主成分贡献较大的蚂蚁种类依次为：宽结巨首蚁（0.9975）=罗思尼氏斜结蚁>皮氏大头蚁（0.9960）>黑头酸臭蚁（-0.6715）>伊大头蚁（-0.6475），宽结巨首蚁和罗思尼氏斜结蚁的负荷量最大，说明它们的数量变动是引起大蚁巢 9 m 处第一主成分蚂蚁类群变动的主要因子。第二主成分的贡献率为 26.25%，对第二主成分贡献最大的为长角立毛蚁，其次为红火蚁，最小的是黑头酸臭蚁，负荷量分别为 0.9653、-0.8919、0.7224。基于长角立毛蚁的负荷量最大，它在第二主成分中起决定性作用。

距离大蚁巢 11 m 处，第一主成分的贡献率为 55.60%，对第一主成分贡献较大的蚂蚁种类依次为：黑头酸臭蚁（-0.9850）>皮氏大头蚁（0.9579）>红

火蚁（-0.9429）>布氏立毛蚁（0.8443）>黄立毛蚁（0.8202），黑头酸臭蚁的负荷量最大，其数量的变化是引起 11 m 处第一主成分蚂蚁类群变动的主要因子。第二主成分的贡献率为 23.09%，对第二主成分贡献较大的为哀弓背蚁（-0.9496）、宽结巨首蚁（-0.9257）和伊大头蚁（0.7563），哀弓背蚁的负荷量最大，其在第二主成分中起决定性作用。

距离大蚁巢 13 m 处，第一主成分贡献率为 44.59%，对第一主成分贡献较大的蚂蚁种类依次为：红火蚁（-0.9909）>横纹齿猛蚁（0.9633）>皮氏大头蚁（0.7616）>黑头酸臭蚁（-0.7341）>宽结巨首蚁（0.6592），红火蚁的负荷量最大，其数量变化是引起大蚁巢 13 m 处第一主成分蚂蚁类群变动的主要因子。第二主成分的贡献率为 34.75%，对第二主成分贡献最多的为伊大头蚁（0.9610），其次为罗思尼氏斜结蚁（0.9268），基于伊大头蚁的负荷量最大，其在第二主成分中起决定性作用。

在距大蚁巢 7 种距离处，主成分中各种蚂蚁的负荷量分布的不一致可能是由于不同距离蚂蚁类群物种组成及其受红火蚁入侵的影响程度不同所造成的。

2.2 新定殖蚁巢红火蚁对不同距离蚂蚁类群多样性影响分析

2.2.1 新定殖小蚁巢红火蚁对不同距离蚂蚁类群多样性影响分析

距小蚁巢不同距离蚂蚁类群的丰富度、多样性、均匀度和优势度见表 4。从中可知，4 次调查红火蚁的数量均随距蚁巢距离逐渐增大而减少至完全消失。红火蚁入侵的第一个月（6 月），1 m 处蚂蚁物种丰富度较低，而远离蚁巢至 11、13 m 的物种数较高，1 m 与 11 m、13 m 差异显著；蚂蚁个体数在 1 m 处最高（1 078 头），离蚁巢最远处个体数最低（364.33 头），为 1 m 的 0.34 倍，两者差异显著；多样性随距离增大而呈增大—减少—增大的趋势，其中离蚁巢最远处（13 m）多样性最高，而 9 m 的多样性最低，13 m 的多样性与 9、1、5、7 m 的差异显著；红火蚁入侵后不同距离优势度和均匀度变化不大，差异不显著。7 月份，蚂蚁物种数、多样性和均匀度有随距离增大而呈减少的趋势，其中 1 m 处物种数和多样性最高；而优势度则随距离增大呈增加的趋势；蚂蚁个体数不断波动，其中 5 m 处最高，7 m 处最低。8 月份，随距离逐渐增大，蚂蚁物种数和个体数呈现下降趋势；多样性和均匀度则呈增加—减少—增加的趋势，其中 3 m 和 5 m 的多样性和均匀度均比较高，9 m 处的最低；而优势度则呈下降—上升—下降的趋势，

表 4 距小蚁巢不同距离蚂蚁类群指标

Table 4 Indices of ant community in different distances around small mound

距离 Distance	<i>S</i>	<i>NI</i>	<i>N2</i>	<i>C</i>	<i>H'</i>	<i>E</i>
6 月 Jun						
1 m	3.33±0.33bd	1078.00±156.03a	485.33±147.91a	0.5908±0.03a	0.6648±0.08b	0.5204±0.11a
3 m	5.67±1.20abcd	1004.67±402.81a	299.33±142.48a	0.4215±0.14a	0.9387±0.14ab	0.5728±0.13a
5 m	6.00±0.58ab	534.67±222.32ab	3.00±2.52b	0.5597±0.02a	0.7195±0.04b	0.4610±0.05a
7 m	6.00±0.58abc	393.00±86.75b	1.33±0.88b	0.6576±0.13a	0.6627±0.22b	0.3723±0.15a
9 m	5.33±1.20abcd	719.67±332.68ab	0.00±0.00b	0.6216±0.03a	0.6618±0.05b	0.4707±0.04a
11 m	7.67±0.33a	565.33±154.54ab	0.00±0.00b	0.6014±0.03a	0.8331±0.03ab	0.3979±0.00a
13 m	6.33±0.67a	364.33±177.38b	0.00±0.00b	0.4361±0.06a	1.1514±0.09a	0.4072±0.06a
7 月 Jul						
1 m	7.00±0.58a	577.67±103.70bc	219.00±59.28a	0.3713±0.02bc	1.1544±0.04a	0.5935±0.02ab
3 m	6.33±0.33ab	487.00±177.37bc	125.00±62.86b	0.4362±0.11abc	1.0327±0.20a	0.5375±0.12ab
5 m	6.33±1.45ab	1082.33±82.21a	1.00±1.00c	0.3184±0.02c	1.1458±0.06a	0.6508±0.06a
7 m	5.67±0.67abc	344.00±63.89c	0.00±0.00c	0.6030±0.16a	0.7631±0.28a	0.3944±0.14b
9 m	4.00±0.58c	429.33±102.62bc	0.00±0.00c	0.5550±0.05ab	0.7803±0.11a	0.5767±0.02ab
11 m	4.67±0.33bc	347.67±110.89c	0.00±0.00c	0.5698±0.03ab	0.7814±0.04a	0.5143±0.04ab
13 m	5.00±0.58abc	607.33±188.75b	0.00±0.00c	0.5091±0.04abc	0.8339±0.09a	0.5177±0.02ab
8 月 Aug						
1 m	5.00±0.58ab	637.33±173.67b	102.00±73.64a	0.6102±0.20ab	0.6276±0.30ab	0.3379±0.16a
3 m	6.67±0.33a	636.67±243.61b	74.00±45.21a	0.3859±0.08b	0.9908±0.10a	0.5397±0.08a
5 m	5.33±0.67ab	951.00±96.86a	0.00±0.00a	0.4516±0.05b	0.9273±0.10a	0.5949±0.03a
7 m	4.33±1.45ab	464.00±81.50bc	0.00±0.00a	0.6710±0.14ab	0.5593±0.21ab	0.5477±0.26a
9 m	4.00±1.53ab	284.67±138.98c	0.00±0.00a	0.8825±0.07a	0.3298±0.20b	0.1958±0.13a
11 m	3.33±0.33b	381.33±199.48bc	0.00±0.00a	0.6847±0.11ab	0.5559±0.16ab	0.4668±0.12a
13 m	4.00±0.00ab	212.00±129.11c	0.00±0.00a	0.6012±0.03ab	0.7157±0.03ab	0.5347±0.04a
9 月 Sep						
1 m	7.33±0.33a	423.67±195.15a	88.33±55.77a	0.3600±0.13c	0.9747±0.07ab	0.5167±0.02a
3 m	6.67±0.67a	375.00±123.16ab	57.67±48.42ab	0.6905±0.11ab	0.6762±0.14ab	0.3723±0.09a
5 m	7.00±0.58a	451.67±28.72a	19.00±10.44ab	0.5323±0.07abc	1.0932±0.30a	0.5689±0.16a
7 m	4.67±0.33b	459.33±53.36a	0.00±0.00b	0.8109±0.05a	0.4275±0.13b	0.2735±0.07a
9 m	4.67±0.33b	165.33±29.92bc	0.00±0.00b	0.5768±0.06abc	0.8809±0.09ab	0.4042±0.14a
11 m	6.00±0.58ab	175.67±30.68bc	0.00±0.00b	0.4949±0.03bc	0.8858±0.08ab	0.4822±0.08a
13 m	4.67±0.88b	136.67±34.33c	0.00±0.00b	0.4657±0.10bc	0.9107±0.19ab	0.6136±0.05a

表中 *S*、*NI* 和 *N2* 分别表示调查方法中蚂蚁的物种数、所有蚂蚁的个体总数和红火蚁的数量, 而 *C*、*H'*、*E* 则分别表示采用 Simpon 优势度公式、Shannon-Wiener 多样性公式和 Pielow 均匀度公式计算所得到的蚂蚁类群优势度指数、多样性指数和均匀度指数; 同列数字后小写字母相同者表示经方差分析 (DMRT) 在 5% 水平上差异不显著。下同

S, *NI* and *N2* indicate the number of species, individual number of all ants and the number of red imported fire ant, simpon index $C = \sum_{i=1}^s (P_i)^2 = \sum_{i=1}^s (N_i/N)^2$, Shannon-Wiener $H' = -\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$, Pielow $E = H'/\ln S$, and P_i is the proportion of each of species. And means in the same column followed by the same small letter were not significantly different (DMRT) at the level of 0.05. The same as below

其中 3 m 的优势度最大, 9 m 的最小。9 月份, 蚂蚁物种数随距离增大呈下降趋势, 而蚂蚁个体数、优势度、多样性和均匀度不断波动, 其中个体数 5 m 的最

高, 13 m 的最低; 优势度 1 m 的最小, 7 m 的最大; 多样性 5 m 的最高, 7 m 的最低; 均匀度 13 m 的最高, 7 m 的最低。

上述 4 次调查的结果说明, 小蚁巢红火蚁入侵定殖后, 红火蚁均对较近距离蚂蚁类群多样性指标影响较大, 但不同的入侵时间对近距离蚂蚁类群多样性指标的影响程度不同, 在入侵后第一个月, 1 m 处物种数和优势度下降, 蚂蚁个体数、多样性和均匀度增加; 红火蚁入侵后第二个月 (7 月), 红火蚁数量少于 6 月, 近距离蚂蚁类群的物种数、多样性和均匀度增加, 而优势度和本地蚂蚁个体数下降; 在以后的两次调查中, 红火蚁对离蚁巢近距离蚂蚁类群上述几个多样性指标的影响较小。

此外, 在 1 m 和 3 m 处, 红火蚁的数量随调查时间的推移逐渐减少, 5 m 处红火蚁的数量逐渐减少甚至 8 月完全消失, 9 月再次采集到红火蚁, 7 m 处仅在 6 月采集到红火蚁, 而 4 次调查均未在 9、11、13 m 处采集到红火蚁。说明红火蚁小蚁巢入侵初期, 可能由于红火蚁种群数量较少或本地蚂蚁与之种间竞争激烈, 从而抑制其在入侵区的进一步扩散。

2.2.2 新定殖大蚁巢红火蚁对不同距离蚂蚁类群多样性影响分析 距大蚁巢不同距离蚂蚁类群的丰富度、多样性、均匀度和优势度见表 5。从中可知, 4

表 5 距大蚁巢不同距离蚂蚁类群指标

Table 5 Indices of ant community in different distances around big mound

距离 Distance	<i>S</i>	<i>NI</i>	<i>N2</i>	<i>C</i>	<i>H'</i>	<i>E</i>
6 月 Jun						
1 m	5.00±0.58a	1065.67±691.40a	515.33±222.48a	0.7124±0.12a	0.5168±0.17a	0.3112±0.08a
3 m	5.00±0.58a	566.00±162.07a	270.67±159.35ab	0.4326±0.06a	0.8582±0.10a	0.5386±0.05a
5 m	5.67±1.33a	581.00±127.08a	176.33±146.89b	0.5413±0.13a	0.8830±0.26a	0.5039±0.09a
7 m	5.00±1.00a	487.33±264.14a	1.33±0.33b	0.7930±0.13a	0.3676±0.16a	0.2501±0.12a
9 m	4.33±0.33a	625.00±142.94a	0.67±1.33b	0.6926±0.14a	0.4739±0.20a	0.3390±0.14a
11 m	4.67±1.20a	271.66±107.70a	0.33±0.33b	0.6352±0.09a	0.6380±0.13a	0.4369±0.08a
13 m	3.67±0.33a	450.00±272.92a	0.33±0.33b	0.8039±0.15a	0.3428±0.23a	0.2562±0.16a
7 月 Jul						
1 m	3.33±0.67a	656.67±117.25a	420.00±59.34a	0.6855±0.17a	0.5187±0.27a	0.3828±0.19a
3 m	5.00±0.00a	568.67±200.73ab	193.67±32.58b	0.4859±0.02a	0.8740±0.08a	0.5430±0.05a
5 m	4.33±1.20a	308.33±47.68bc	75.00±64.78cd	0.5037±0.04a	0.8243±0.10a	0.6637±0.12a
7 m	3.67±0.33a	169.33±28.54c	115.00±63.96bc	0.7454±0.12a	0.4816±0.20a	0.3550±0.14a
9 m	4.33±0.67a	262.33±43.37c	73.00±48.95cd	0.4758±0.11a	0.8969±0.24a	0.6255±0.14a
11 m	4.00±0.58a	276.67±120.70c	9.00±9.00cd	0.5288±0.04a	0.7959±0.05a	0.5986±0.08a
13 m	4.00±1.53a	217.33±72.81c	0.00±0.00d	0.6482±0.19a	0.6253±0.33a	0.3727±0.20a
8 月 Aug						
1 m	4.00±1.00a	806.00±181.43a	539.00±134.13a	0.6269±0.18ab	0.5797±0.28ab	0.3671±0.17a
3 m	4.33±0.33a	531.00±295.56ab	227.67±93.07b	0.4167±0.10b	1.0390±0.16a	0.7117±0.11a
5 m	4.67±0.33a	346.67±80.13b	63.00±63.00bc	0.5871±0.09ab	0.7568±0.13ab	0.4952±0.08a
7 m	4.33±0.67a	203.33±103.57b	61.00±53.59bc	0.4820±0.05ab	0.8851±0.10ab	0.6232±0.06a
9 m	3.33±0.33a	560.67±391.22ab	38.67±22.28bc	0.8032±0.05a	0.3769±0.07b	0.3250±0.07a
11 m	3.67±0.33a	399.00±324.86b	12.33±12.33c	0.6234±0.02ab	0.6267±0.05ab	0.4904±0.05a
13 m	3.33±0.33a	292.67±179.17b	1.00±1.00c	0.6617±0.12ab	0.5463±0.16ab	0.4816±0.16a
9 月 Sep						
1 m	4.67±1.45a	675.67±117.60a	606.33±159.66a	0.8032±0.15a	0.3882±0.27a	0.2162±0.13b
3 m	5.33±0.33a	469.33±70.27a	279.33±98.27b	0.5483±0.13a	0.8035±0.21a	0.4744±0.11ab
5 m	5.67±0.88a	354.33±110.05a	139.67±98.98bc	0.6493±0.12a	0.6901±0.20a	0.3962±0.10ab
7 m	5.33±0.33a	406.33±222.42a	61.33±58.52c	0.5728±0.07a	0.8967±0.15a	0.5342±0.08ab
9 m	3.33±0.33a	298.33±100.63a	61.00±61.33c	0.5420±0.04a	0.7192±0.01a	0.6107±0.05a
11 m	4.00±0.00a	503.67±384.08a	20.00±20.00c	0.6987±0.03a	0.6167±0.14a	0.4449±0.10ab
13 m	5.00±1.15a	320.33±92.38a	0.00±0.00c	0.5545±0.07a	0.7124±0.09a	0.4670±0.03ab

次调查红火蚁的数量均随距蚁巢距离逐渐增大而逐渐减少。红火蚁入侵后, 离大蚁巢不同距离蚂蚁类群物种数 4 次调查的结果均变化不大, 差异不显著, 即红火蚁入侵对不同距离蚂蚁物种数没有影响。红火蚁入侵后第一个月 (6 月), 距大蚁巢不同距离间蚂蚁个体数、优势度、多样性和均匀度均差异不显著。7 月份, 蚂蚁个体数随距离增大呈现下降趋势, 且 1 m 与其它距离的差异显著; 距大蚁巢不同距离间蚂蚁优势度、多样性和均匀度差异均不显著。8 月份, 随距离逐渐增大, 蚂蚁个体数呈现逐渐下降趋势, 除 3 m 和 9 m 外, 1 m 与其余距离的个体数差异显著; 红火蚁占比最大(66.87%)的 1 m 处和红火蚁占比少的 9 m (6.91%)、11 m (3.09%) 和 13 m (0.3%) 的优势度均比较大, 而 3、5 和 7 m 红火蚁占比较少, 其优势度较小, 3 m 和 9 m 的优势度差异达显著水平; 多样性和均匀度则在红火蚁占比最大 (1 m) 和小 (9、11 和 13 m) 的距离较低, 而比例较小的距离 (3、5 和 7 m) 较高, 其中 3 m 和 9 m 的多样性差异显著。均匀度在距大蚁巢不同距离间差异不显著。9 月份, 仅 1 m 的均匀度与 9 m 的差异显著, 而距大蚁巢不同距离间蚂蚁个体数、优势度、多样性和均匀度均差异不显著。

上述结果说明, 大巢红火蚁入侵定殖后, 对较近距离蚂蚁类群多样性指标 (物种数除外) 影响很大, 但不同的入侵时间对近距离蚂蚁类群多样性指标的影响程度不同, 随着入侵时间的推移, 1、3、5、7 m 的蚂蚁个体数呈现逐渐下降的趋势, 但红火蚁在 1 m 处所占的比例则由 48.36% (6 月) 逐渐增加到 89.74% (9 月), 而红火蚁在 3 m 和 5 m 的比例则呈现 7 月低, 8 月后又呈逐渐增加的趋势; 7 m 处的比例由 0.27% (6 月) 突增到 68.05% (7 月) 后逐渐减少。同样, 离蚁巢较近距离蚂蚁类群优势度在同一距离中, 红火蚁占比比较大的 6 月和 9 月优势度较大, 比例较小的 7 月和 8 月优势度较小; 而同一距离多样性和均匀度的变化则和优势度的相反, 6 月和 9 月的多样性和均匀度较低, 8 月和 9 月的较高。

此外, 7 月和 9 月均未在 13 m 处采集到红火蚁, 4 次调查的结果表明红火蚁大种群与本地蚂蚁竞争的过程是距蚁巢由近到远随时间逐步推进其领地的过程, 种群数量多是红火蚁在入侵区进一步扩散的优势。

3 讨论

红火蚁以小种群规模入侵初期, 由于本地蚂蚁与

之竞争相当激烈, 从而抑制了红火蚁在入侵区的活动范围, 甚至有可能被本地蚂蚁压制。而红火蚁在大蚁巢入侵区活动的情况则不同, 大种群红火蚁在初入侵区一旦定殖就驱赶本地蚂蚁而迅速成为优势种类。因此, 红火蚁种群数量多是其在割草荒地成功入侵定殖及扩散的有利条件。红火蚁普遍影响入侵区本地蚂蚁种群, 不但降低本地蚂蚁的密度和分布区域, 还改变与之共存蚂蚁种类的生物地理模式和规模^[1]。红火蚁领地获取的过程是其以蚁巢为中心, 向四周逐渐竞争替代本地蚂蚁而扩大区域的过程。

本研究的对象—红火蚁是多蚁后型, 其入侵定殖成功后 (入侵初始种群较大), 能很快适应入侵区的环境, 如婚飞等情况在定殖后不久, 适合的气候条件下就开始出现。所以, 要进行距单个蚁巢不同距离蚂蚁类群多样性的长期调查不太现实, 但可开展对红火蚁单个蚁巢逐步扩散规律及扩散对不同范围蚂蚁类群多样性的影响研究。

4 结论

红火蚁入侵短期内 (本研究持续 4 个月) 对距其蚁巢不同距离蚂蚁类群的多样性有影响, 对距蚁巢 5 m 范围内的蚂蚁类群多样性影响较大, 对距蚁巢更远范围的蚂蚁类群多样性几乎没有影响。随红火蚁入侵的时间可把近距离蚂蚁类群数量的变动情况划分为 2 个阶段, 即从不稳定—稳定。大小红火蚁蚁巢近距离蚂蚁类群数量变动的不稳定阶段是时而红火蚁数量多于本地蚂蚁数量, 时而本地蚂蚁数量多于红火蚁数量的阶段。红火蚁小蚁巢近距离蚂蚁类群变动的稳定阶段是其数量变少, 本地蚂蚁恢复优势地位的稳定阶段, 而红火蚁大蚁巢近距离蚂蚁类群变动的稳定阶段则是红火蚁竞争代替本地蚂蚁成为绝对优势种的稳定阶段。

距红火蚁蚁巢不同距离蚂蚁类群丰富度和多样性分析结果也显示, 红火蚁不同大小蚁巢入侵割草荒地, 对距蚁巢近距离蚂蚁类群多样性的影响比较大。在距小蚁巢 1 m, 大蚁巢 1、3 m 处, 由于红火蚁活动工蚁数量较多, 占比较大, 所以本地蚂蚁物种数、个体数、蚂蚁类群多样性和均匀度下降, 优势度增加。而在红火蚁活动工蚁数占比例较少的距离, 蚂蚁类群的物种数、多样性和均匀度增加, 优势度下降。

References

- [1] Lofgren C S, Banks W A, Glancey B M. Biology and control of

- imported fire ants. *Annual Review of Entomology*, 1975, 20: 1-30.
- [2] Bahna S L, Strimas J H, Reed M A, Butcher B T. Imported fire ant allergy in young children: skin reactivity and serum IgE antibodies to venom and whole body extract. *Journal Allergy Clinic Immunology*, 1988, 82: 418-424.
- [3] 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. 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, 2005, 16(5): 342-344.
- Wu N J, Lu W C, Luo H M, He Z D, He J F, Liang K B, Yang C, Ke J Y, Xiao K S. A Survey on human bitten by red imported fire ants in mainland for the first time. *Chinese Journal Vector of Biology & Control*, 2005, 16(5): 342-344. (in Chinese)
- [4] 韩佳音, 林立丰, 卢文成, 易建荣, 张巧利, 卢秀萍, 陈建东. 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, 2007, 18(1): 20-23.
- Han J Y, Lin L F, Lu W C, Yi J R, Zhang Q L, Lu X P, Chen J D. A survey on red imported fire ants bites in villagers and disease control in a village of Guangdong. *Chinese Journal Vector of Biology & Control*, 2007, 18(1): 20-23. (in Chinese)
- [5] 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. 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, 2007, 18 (2): 105-106.
- Lu W C, Han J Y, Zhang Q L, Chen H T, Liu W H, Lin L F, Yi J R, Chen J D, Lu X P. An irritability shock case caused by red imported fire ant stinging. *Chinese Journal Vector of Biology & Control*, 2007, 18(2): 105-106. (in Chinese)
- [6] 毛润乾, 杨玉珍, 黄建勋, 刘建华. 红火蚁蛰伤的 2 例报告. 中国职业医学, 2007, 34 (5): 408-409.
- Mao R Q, Yang Y Z, Huang J X, Liu J H. 2 case reports on sting injury caused by red imported fire ant- *Solenopsis invicta*. *Chinese Occupation Medicine*, 2007, 34(5): 408-409. (in Chinese)
- [7] Oi D H, Watson C A, Williams D F. Monitoring and management of red imported fire ants in a tropical fish farm. *Florida Entomologist*. 2004, 87(4): 522-527.
- [8] Jetter K M, Klotz J H. Eradication costs calculated: red imported fire ants threaten agriculture, wildlife and homes. *California Agriculture*, 2002, 56(1): 26-34.
- [9] Morrison L W. Long-term impacts of an arthropod-community invasion by the imported fire ant, *Solenopsis invicta*. *Ecology*, 2002, 83(8): 2337-2345.
- [10] Allen C R, Epperson D M, Garmestani A S. Red imported fire ant impacts on wildlife: A decade of research. *American Midland Nature*, 2004, 152: 88-103.
- [11] Wojcik D P, Allen C R, Brenner R J, Forsy E A, Jouvenaz D P, Lutz R S. Red imported fire ants: impact on biodiversity. *American Entomologist*, 2001, 47(1): 16-23.
- [12] Moloney S, Vanderwoude C. Red imported fire ants: a threat to eastern Australia's wildlidge? *Ecological Management & Restoration*, 2002, 3(3): 167-175.
- [13] Ness J H. Forest edges and fire ants alter the seed shadow of an ant-dispersed plant. *Oecologia*, 2004, 138: 448-454.
- [14] Porter S D, Savignano D A. Invasion of polygyne fire ants decimates native ants and disrupts arthropod community. *Ecology*, 1990, 71(6): 2095-2106.
- [15] 沈 鹏, 赵秀兰, 程登发, 郑永权, 林芙蓉. 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), 2007, 32 (4): 93-97.
- Shen P, Zhao X L, Cheng D F, Zheng Y Q, Lin F R. Impacts of the imported fire ant, *Solenopsis invicta* invasion on the diversity of native ants. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science)*, 2007, 32(2): 93-97. (in Chinese)
- [16] 吴碧球, 陆永跃, 曾 玲, 梁广文. 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, 2008, 19 (1): 151-156.
- Wu B Q, Lu Y Y, Zeng L, Liang G W. Influences of *Solenopsis invicta* Buren invasion on the native ant communities in different habitats in Guangdong. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(1): 151-156. (in Chinese)
- [17] 曾 玲, 陆永跃, 何晓芳, 张维球, 梁广文. 入侵中国大陆的红火蚁的鉴定及发生为害调查. 昆虫知识, 2005, 42 (2): 144-148.
- Zeng L, Lu Y Y, He X F, Zhang W Q, Liang G W. Identification of red imported fire ant *Solenopsis invicta* to invade mainland China and infestation in Wuchuan, Guangdong. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2005, 42 (2): 144-148. (in Chinese)
- [18] Mescher M C, Ross K G, Shoemaker D D, Keller L, Krieger M J B. Distribution of the two social forms of the fire ant *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) in the Native South American range. *Annals of the Entomological Society of America*, 2003, 96(6): 810-817.
- [19] Vogt J T, Appel A G, West M S. Flight energetics and dispersal capability of the fire ant, *Solenopsis invicta* Buren. *Journal of Insect Physiology*, 2000, 46: 697-707.
- [20] 李宁东, 陆永跃, 曾 玲, 梁广文, 许益绣. 广东省吴川红火蚁生境类型、空间分布和抽样技术的研究. 华中农业大学学报, 2006, 25(1): 31-36.
- Li N D, Lu Y Y, Zeng L, Liang G W, Xu Y J. Study on types of environment, spatial distribution and sample of red imported fire ant

- Solenopsis invicta* Buren active mounds in Wuchuan, Guangdong Province. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2006, 25(1): 31-36. (in Chinese)
- [21] 陆永跃, 李宁东, 梁广文, 曾 玲. 红火蚁多蚁后型种群有效蚁巢局域分布的空间相关性. *应用生态学报*, 2007, 18(1): 140-144.
- Lu Y Y, Li N D, Liang G W, Zeng L. Spatial correlation of active mounds locative distribution of *Solenopsis invicta* Buren polygyne populations. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(1): 140-144. (in Chinese)
- [22] Stiles J H, Jones R H. Distribution of the red imported fire ant, *Solepsnois invicta*, in road and powerline habitats. *Landscape Ecology*, 1998, 335: 335-346.
- [23] 许益鏖, 陆永跃, 曾 玲, 席银宝, 黄 俊. 红火蚁局域扩散规律研究. *华南农业大学学报*, 2006, 27(1): 34-36.
- Xu Y J, Lu Y Y, Zeng L, Xi Y B, Huang J. Study on location expansion of *Solenopsis invicta*. *Journal of South China Agricultural University*, 2006, 27(1): 34-36. (in Chinese)
- [24] Adams E S, Tschinkel W R. Mechanisms of population regulation in the fire ant *Solenopsis invicta*: an experimental study. *Journal of Animal Ecology*, 2001, 70: 355-369.
- [25] Porter S D. Frequency and distribution of polygyne fire ant (Hymenoptera: Formicidae) in Florida. *Florida Entomologist*, 1992, 75(2): 248-257.
- [26] 唐 觉, 李 参, 黄恩友, 张本悦, 陈 益. 中国经济昆虫志: 膜翅目: 蚁科(一). 北京: 科学出版社, 1995: 1-133.
- Tang J, Li C, Huang E Y, Zhang B Y, Chen Y. *Economic Insect Fauna of China: Hymenoptera: Formicidae* (1). Beijing: Science Press, 1995: 1-133. (in Chinese)
- [27] 吴 坚, 王常禄. 中国蚂蚁. 北京: 中国林业出版社, 1995: 1-124.
- Wu J, Wang C L. *The Ants of China*. Beijing: China Forestry Press, 1995: 1-124. (in Chinese)
- [28] 周善义. 广西蚂蚁. 桂林: 广西师范大学出版社, 2001: 1-255.
- Zhou S Y. *Ants of Guangxi*. Guilin: Guangxi Normal University Press, 2001: 1-255. (in Chinese)
- [29] 马克平, 钱迎倩. 生物多样性研究的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 1-237.
- Ma K P, Qian Y Q. *Theory and Method of Research of Biodiversity*. Beijing: China Science and Technology Press, 1994: 1-237. (in Chinese)
- [30] 赵志模, 郭依泉. 群落生态学原理与方法. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1990: 147-154.
- Zhao Z M, Guo Y Q. *Principles and Methods of Community Ecology*. Chongqing: Science, Technology and Literature Press, 1990: 147-154. (in Chinese)
- [31] Gotelli N J, Arnett A E. Biogeographic effects of red fire ant invasion. *Ecology Letters*, 2000, 3: 257-261.

(责任编辑 毕京翠, 李 莉)