

红火蚁多蚁后型种群婚飞新形成蚁巢的 局域空间分布特征

陆永跃, 李宁东, 梁广文, 曾 玲

(华南农业大学 红火蚁研究中心, 广东 广州 510642)

摘要:采用野外定点调查的方法,研究了红火蚁 *Solenopsis invicta* 多蚁后型种群婚飞新形成蚁巢的局域空间分布规律。结果表明,短期内婚飞形成的活动蚁巢在局域平面空间上呈均匀分布,分布的基本成分为单个蚁巢,且蚁巢间相互排斥。在平面空间上不同间隔距离间该类型蚁巢半方差值呈明显规律性变化,具有空间相关性。建立了5个球状模型,其变程分别为12.6、14.1、9.7、13.3和14.5 m,平均为12.8 m。

关键词:红火蚁; 婚飞; 活动蚁巢; 空间分布

中图分类号:Q968.1

文献标识码:A

文章编号:1001-411X(2007)04-0001-05

Spatial Distribution of *Solenopsis invicta* New Founded Mounds by Nuptial Flight

LU Yong-yue, LI Ning-dong, LIANG Guang-wen, ZENG Ling

(Red Imported Fire Ant Research Centre, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China)

Abstract:Data of spatial distribution of new founded active mounds by nuptial flight of red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren, was collected by investigation in fields and analyzed by using the parameters of spatial pattern and geostatistics. Iwao m^*-m model and Taylor power model of spatial pattern revealed that the type of active mounds distributed in random at horizontal space. The basic unit at space was individual of active mound and the basic units interfered each other. It was showed that the semi-variance for the model fitted was correlative to the interval distance and showed a spatial correlation between the active mounds at different position of space. Based on the analysis, 5 spherical models were constructed to describe the relationship between the semi-variance and the interval distance. The ranges for above models fitted were 12.6, 14.1, 9.7, 13.3 and 14.5 m respectively.

Key words:*Solenopsis invicta*; nuptial flight; active mound; spatial pattern

红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 是国际著名入侵物种之一,已在美国南部地区发生危害,造成巨大的经济损失,且对生物多样性形成严重威胁^[1]。2004年底中国的广东吴川等地发现其发生为害后,该蚁在中国大陆发生危害规律、潜在分布区域及防控策略与技术成为目前研究的重点^[2-3]。在该虫的空间分布规律研究中,国内外较多报道了地理分布及预测、不同空间尺度上蚁群间互相作用等^[4-10],在局域空间

分布、扩散及空间相关性等方面也开展了研究^[11-13],揭示了红火蚁入侵中国南方后,在特定的生态区域其多蚁后型成熟种群的局域空间分布、局域扩散及变异规律。在小尺度空间内,红火蚁主要依靠婚飞而逐步扩散、蔓延,而有翅雌蚁婚飞落地、建立新巢的范围是有限的^[14]。开展红火蚁活动蚁巢空间分布规律研究,对了解该虫空间扩散动态、开展虫情调查等均具有重要意义。已有的研究结果显示该蚁多蚁后

收稿日期:2007-05-10

作者简介:陆永跃(1972—),男,副教授,博士,E-mail: luyongyue@scau.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金(305712427);国家“973”计划项目(2002CB111400);广东省科技计划项目(2005A20401001, 2006A20301005);农业部“2007年农作物病虫害疫情监测与防治项目”

型成熟种群活动蚁巢在局域空间上表现一定规律,为探讨婚飞新形成的蚁巢在局域空间上是否也表现为同样的规律,本文采用定点调查的方法获得相关数据,应用空间格局相关分析方法研究了红火蚁多蚁后型种群婚飞新形成蚁巢的局域空间分布特征。

1 材料与方法

1.1 调查地点与取样方法

调查于2005年4—11月在广东省吴川市海滨街道办事处路好村荒地进行。调查地点发生的红火蚁为多蚁后型种群。2005年5—6月份对已发现红火蚁发生区域内的蚁巢应用毒饵进行全面防治,2—3周处理1次,连续处理2—3次,并标定处理区域边界。在距离已知红火蚁发生区域边界外30—120 m范围内选择未受干扰破坏的较平整地块标定出5个20 m×20 m的调查区域,调查由2005年春季红火蚁婚飞形成的新蚁巢。7—8月份调查药剂处理区域及边界以外标定区域均未见蚁丘,至9月底发现标定区域出现少量小的蚁巢,11—12月调查到的蚁巢地面蚁丘基部直径一般为20 cm左右。从外形特征判断调查区域内蚁巢是由春季同一时期内婚飞雌蚁落地建立的。将各个选定区域以2 m×2 m为单位划分成100个方格,连续调查、记录活动蚁巢位置和数量。

1.2 空间分布规律分析方法

在进行空间分布规律研究时,以连续的20方格为1样本。每个调查区域为5个样本,共计25个样本。采用David和Moor(1954)提出的扩散系数(C)、Iwao $m^* - m$ 回归模型、Taylor 幂模型等参数^[15]判定红火蚁活动蚁巢空间格局的特性。上述指标的意义和判别标准如下:

(1)平均拥挤度(m)^{*}。表示生物个体在一个样方中的平均邻居数,它反映了样方内生物个体的拥挤程度。

(2)扩散系数(C)。以样本方差与样本均值的比值是否大于1作为是否聚集的一个指标。该指数的判定标准是: $C = 1$ 时,种群随机分布; $C < 1$ 时,种群均匀分布; $C > 1$ 时,种群聚集分布。

(3)Iwao的 $m^* - m$ 回归模型。该模型的具体形式是 $m^* = \alpha + \beta m$,其中, m^* 为平均拥挤度, m 为平均密度,模型截距 α 为聚集指标,显示种群分布的基本成分。当 $\alpha = 0$ 时,分布的基本成分为单个个体; $\alpha < 0$ 时,分布的基本成分为个体; $\alpha > 0$ 时,个体间相互吸引,分布的基本成分为个体群。 β 为密度聚集系数,显示基本成分的空间格局。 $\beta = 1$,基本成分为随机分布; $\beta < 0$ 时,基本成分为均匀分布; $\beta > 0$ 时,基本成分为聚集分布。

(4)Taylor 幂法则。形式是 $\lg s^2 = \lg a + b \lg m$,通过对参数取值的判断,可以对生物种群个体分布状况作出判断。当 $b \rightarrow 0$ 时,为均匀分布;当 $a = 1, b = 1$ 时,则为随机分布;当 $a > 1, b = 1$ 时,种群在一切密度下都是聚集的,但其聚集强度不因种群密度的改变而变化;当 $a > 1, b > 1$ 时,表示种群在一切密度下都是聚集的,其聚集强度随着种群密度的升高而增大。

1.3 空间相关性分析方法

参照半方差公式计算出不同间隔距离的半方差值,并作出半方差值随间隔距离变化而变化的变异曲线图^[16]。应用球状模型^[16]拟合半方差值和间隔距离间关系,并进行拟合程度检验。根据模型各参数分析红火蚁婚飞新形成活动蚁巢在局域空间上的变化规律。

2 结果与分析

2.1 空间格局主要参数

红火蚁婚飞新形成蚁巢的数量见表1。红火蚁婚飞新形成蚁巢平面空间分布的主要参数计算结果见表2。由表1和表2可见,当以2 m×2 m为单位将调查区域划分成多个样方时,不同区域各样方中活动蚁巢出现概率均符合二项分布,样方中蚁巢数量仅为1或0。从获得的空间格局2个指标(平均拥挤度、扩散系数)可以看出红火蚁多蚁后种群婚飞新形成蚁巢在平面空间上近似均匀分布。调查了25个样本,所有蚁丘密度下平均拥挤度均明显小于1,表明在设定的调查样方内每个红火蚁活动蚁巢平均拥有的邻居数量显著少于1个(配对 t 检验结果: $t = 1165.6$,

表1 红火蚁婚飞新形成蚁巢取样方式及调查数据
Tab. 1 Sampling method and data collected of *Solenopsis invicta* new-constructed active mounds 个

interval distance at direction of north-south/m	interval distance at direction of west-east/m									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
8	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
10	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
16	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0
18	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
20	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0

表2 红火蚁婚飞新形成蚁巢平面空间分布的主要参数

Tab. 2 Parameters of spatial pattern of red imported fire ant new-constructed mounds

样本号 no. of sample	蚁丘密度 density of active mound/(个·样方 ⁻¹)	方差 variance	平均拥挤度 m^*	扩散系数 C
1	0	0		
2	0.05	0.050	0.050 0	1.000 0
3	0.05	0.050	0.050 0	1.000 0
4	0.10	0.095	0.050 0	0.950 0
5	0.15	0.134	0.043 3	0.893 3
6	0.15	0.134	0.043 3	0.893 3
7	0.15	0.134	0.043 3	0.893 3
8	0.15	0.134	0.043 3	0.893 3
9	0.15	0.134	0.043 3	0.893 3
10	0.15	0.134	0.043 3	0.893 3
11	0.15	0.134	0.043 3	0.893 3
12	0.20	0.168	0.040 0	0.840 0
13	0.20	0.168	0.040 0	0.840 0
14	0.20	0.168	0.040 0	0.840 0
15	0.20	0.168	0.040 0	0.840 0
16	0.20	0.168	0.040 0	0.840 0
17	0.20	0.168	0.040 0	0.840 0
18	0.20	0.168	0.040 0	0.840 0
19	0.25	0.197	0.038 0	0.788 0
20	0.25	0.197	0.038 0	0.788 0
21	0.25	0.197	0.038 0	0.788 0
22	0.25	0.197	0.038 0	0.788 0
23	0.30	0.221	0.036 7	0.736 7
24	0.30	0.221	0.036 7	0.736 7
25	0.30	0.221	0.036 7	0.736 7

$\nu = 23, P < 0.01$). 对扩散系数与1差异的检验可得出相似的结论,即活动蚁巢呈现均匀分布(配对 t 检验结果: $t = 9.94, \nu = 23, P < 0.01$).

2.2 Iwao $m^* - m$ 回归模型

对红火蚁婚飞新形成活动蚁巢密度(m)和平均拥挤度(m^*)的相关性进行检验,相关系数(R)为 $-0.965 5$,达到极显著相关水平,因此可以用来建立模型.建立的 Iwao $m^* - m$ 回归模型为:

$$m^* = 0.052 - 0.056 m.$$

根据该模型中参数 $\alpha = 0.052$,近似等于0,说明活动蚁巢分布的基本成分为单个蚁巢;由于 $\beta = -0.056 < 1$,所以可以认为基本成分——单个蚁巢在空间上表现为均匀分布.

2.3 Taylor 幂模型

经计算 $\lg s^2$ 和 $\lg m$ 之间相关系数达 $0.997 3$,两者相关性极显著.经分析,建立的 Taylor 幂模型为 $\lg s^2 = -0.201 + 0.830 \lg m$,对实测值和该模型的拟合值进行 F 检验, $F = 32.3 > F_{0.05}$,表明所建模型能很好地拟合实测值.该模型2个参数 a, b 分别为 $-0.201, 0.830$,由该模型参数意义判定标准可知,

在平面空间上红火蚁婚飞新形成活动蚁巢在所有密度下均近似于均匀分布,蚁巢间相互排斥.

2.4 空间变异规律

根据调查获得的不同区域上不同样方中红火蚁活动蚁巢数量,计算出半方差值,绘出变异曲线图,并运用球面模型对其进行拟合(图1).不同区域不同方向上火蚁活动蚁巢空间变异曲线的参数及检验结果见表3.

由图1可知所调查多个区域不同方向上火蚁婚飞新形成活动蚁巢在不同间隔距离上的半方差值呈明显规律性变化.建立的6个球面模型中,1号区域南—北方向、2号区域西—东方向、3号区域南—北方向、4号区域西—东方向、5号区域南—北方向等5个模型通过检验,成立.由此可知在这几个区域(方向上)红火蚁婚飞新形成活动蚁巢空间变程分别为 $12.6, 14.1, 9.7, 13.3$ 和 14.5 m,平均为 12.8 m.这表明在 12.8 m 的距离范围内平面空间任何两点上火蚁婚飞新形成的活动蚁巢数量间存在相关关系.红火蚁婚飞新形成活动蚁巢数量在空间相关范围内样点的空间分布具有连续性,而且连续性强度

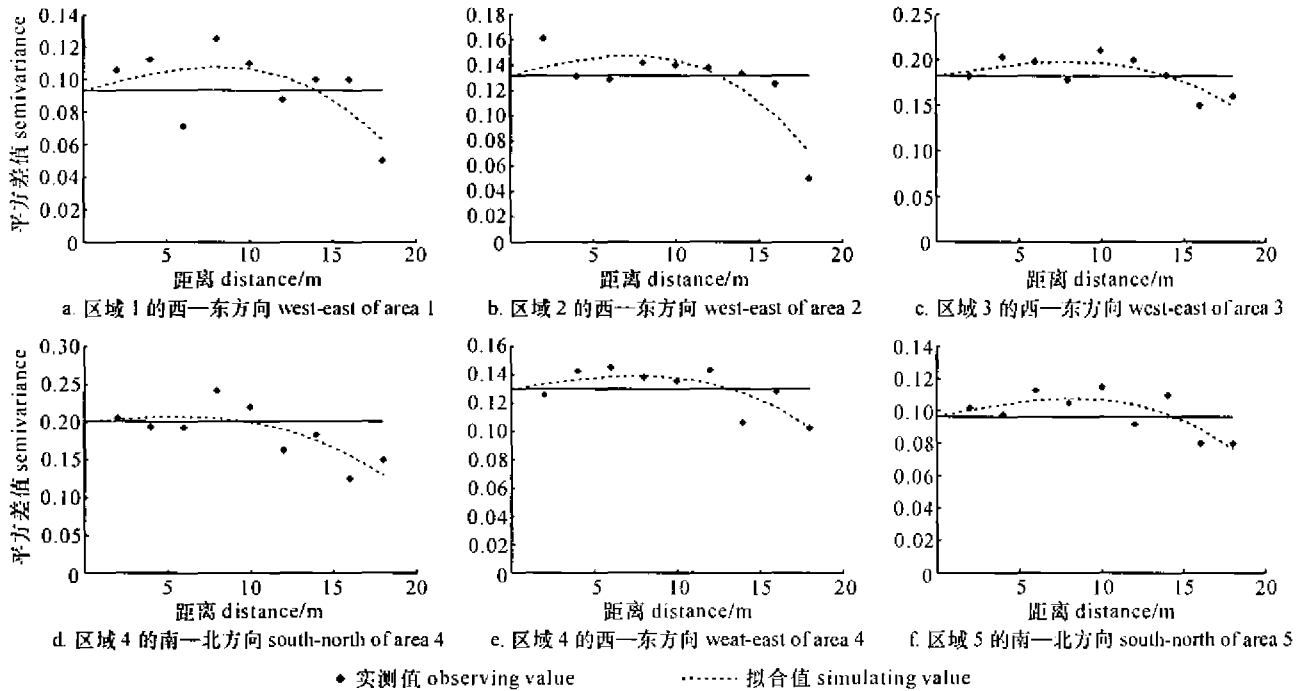


图1 红火蚁婚飞新形成活动蚁巢不同方向上变异曲线图(球面模型)

Fig. 1 Variograms for *Solenopsis invicta* new constructed active mounds at different areas and directions (spherical model)

表3 红火蚁婚飞新形成蚁巢不同方向上理论半变异函数模型参数(球面模型)

Tab. 3 Parameters of spherical models for *Solenopsis invicta* new constructed active mounds at different areas and directions

取样区域 sampling area	方向 direction	变程 range /m	块金常数 C_0	基台值 $C + C_0$	随机程度 $C_0 / (C + C_0)$	显著水平 ¹⁾ P
1	西—东 west-east	14.054 7	0.093 4	0.167 7	0.556 9	0.196 0*
2	西—东 west-east	12.640 6	0.131 7	0.214 0	0.615 4	0.050 0
3	西—东 west-east	14.096 8	0.182 3	0.262 5	0.694 5	0.050 0
4	南—北 south-north	9.690 9	0.201 0	0.232 6	0.864 1	0.050 0
4	西—东 west-east	13.304 9	0.130 0	0.178 2	0.729 5	0.050 0
5	南—北 south-north	14.451 0	0.096 6	0.155 1	0.622 8	0.050 0

1) 通过 χ^2 检验, 达到显著水平 ($P < 0.05$), 带 * 除外

随样点间距离增大而减小。

所建模型的随机程度参数(即空间不连续性程度)较大, 分别为0.615 4、0.694 5、0.864 1、0.729 5、0.622 8(表3)。这表明在同一区域中红火蚁婚飞新形成活动蚁巢在空间分布上存在一定的随机性和结构性, 所产生的变异占总体方差的比例较大, 分别为31.0%、34.5%、43.0%、36.5%和31.0%, 平均为35.3%。因此, 认为空间上主要的变异是由于婚飞新形成活动蚁巢空间连续性变化所产生的。

3 讨论与结论

在远距离传播侵入后, 局部空间内红火蚁主要依靠婚飞、短距离分巢、迁移等方式进行自然扩散、迁移, 而通过大量形成有性生殖蚁婚飞、落地建巢进行逐步扩张是该蚁快速占领临近空间区域的主要方式。研究单次或短期内婚飞形成的新蚁巢空间分布

规律, 对了解交配后雌蚁落地规律、建巢过程中环境因子及蚁群间的相互作用等均具有一定意义。研究结果表明红火蚁多蚁后种群婚飞新形成蚁巢在平面空间上近似均匀分布, 活动蚁巢分布的基本成分为单个蚁巢, 蚁巢间相互排斥, 密度越高, 分布越均匀; 多个区域不同方向上红火蚁婚飞新形成活动蚁巢在不同间隔距离上的半方差值呈明显规律性变化, 即活动蚁巢数量在空间相关范围内样点的空间分布具有连续性。这表明交配后的雌蚁落地的随机性很大, 通过均匀散布、建巢达到充分占有临域资源的目的。绝大部分雌蚁在落地、建巢过程中因为各种原因死亡了, 能成功建巢的比例仅为1%左右^[1,8]。与较为成熟的蚁巢区域活动蚁巢空间分布规律相比, 婚飞新形成蚁巢在平面空间上随机性更强, 更趋向于均匀分布^[11]。单次或短期内婚飞落地形成的蚁巢在空间上即表现出明显的相关性, 这与陆永跃等^[13]对较

成熟多蚁后型种群活动蚁巢的空间变异规律研究结果是相近的。本研究中红火蚁婚飞新建蚁巢在局域空间上的半变异函数符合球状模型,其空间分布应为聚集分布。这与均匀分布的结论是不同的。出现这种差异的可能原因是红火蚁活动蚁巢在空间上存在尺度效应。

参考文献:

- [1] VINSON S B. Invasion of the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae): Spread, biology, and impact [J]. *American Entomologist*, 1997, 43 (1): 23-39.
- [2] 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为害调查[J]. *昆虫知识*, 2005, 42(2): 144-148.
- [3] 曾玲,陆永跃,陈忠南,等. 红火蚁监测与防治[M]. 广州:广东科学技术出版社, 2005: 5.
- [4] 薛大勇,李红梅,韩红香,等. 红火蚁在中国的分布区预测[J]. *昆虫知识*, 2005, 42(1): 57-59.
- [5] CALLCOTT A M A, COLLINS H L. Invasion and range expansion of imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae) in North America from 1918 - 1995[J]. *Florida Entomologist*, 1996, 79(2): 240-251.
- [6] PIMM S L, BARTELL D P. Statistical model for predicting range expansion of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta*, in Texas [J]. *Environmental Entomology*, 1980, 9(5): 653-658.
- [7] MORRISON L W, KORZUKHIN M D, PORTER S D. Predicted range expansion of the invasive fire ant, *Solenopsis invicta*, in the eastern United States based on the VEMAP global warming scenario[J]. *Diversity and Distributions*, 2005, 11(3): 199-204.
- [8] ADAMS E S, TSCHINKEL W R. Spatial dynamics of colony interactions in young populations of the fire ant *Solenopsis invicta*[J]. *Oecologia*, 1995, 102(2): 156-163.
- [9] KORZUKHIN M D, PORTER S D. Spatial model of territorial competition and population dynamics in the fire ant *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *Environmental-Entomology*, 1994, 23(4): 912-922.
- [10] ZAKHAROV A A, PORTER S D. Spatial structure and patterns of foraging trails in polygyny fire ants (Formicidae: *Solenopsis*) [J]. *Russian-Entomological-Journal*, 1995, 4(1-4): 3-8.
- [11] 李宁东,陆永跃,曾玲,等. 广东省红火蚁生境类型、空间分布和抽样技术研究[J]. *华中农业大学学报*, 2006, 25(1): 31-35.
- [12] 许益鏖,陆永跃,曾玲,等. 红火蚁局域扩散规律研究[J]. *华南农业大学学报*, 2006, 26(1): 40-42.
- [13] 陆永跃,李宁东,梁广文,等. 红火蚁多蚁后型种群有效蚁巢局域分布的空间相关性研究[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(1): 140-144.
- [14] JAMES T V, ARTHUR G A, MARK S W. Flight energetics and dispersal capability of the fire ant, *Solenopsis invicta* Buren[J]. *Journal of Insect Physiology*, 2000, 46: 697-707.
- [15] 徐汝梅. 昆虫种群生态学[M]. 北京:科学出版社, 1987.
- [16] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京:科学出版社, 1998: 35-142.

【责任编辑 周志红】

欢迎订阅 2008 年《华南农业大学学报》

《华南农业大学学报》是华南农业大学主办的综合性农业科学学术刊物。本刊主要报道农业各学科的科研学术论文、研究简报、综述等,设有农学·园艺·土壤肥料、植物保护、生物学、林业科学、动物科学与兽医学、农业工程与食品科学、信息科学、基础科学、综述、简报等栏目。本刊附英文目录和英文摘要。读者对象主要是农业院校师生、农业科研人员和有关部门的专业干部。

本刊为《中国科学引文数据库》、《中国科技论文统计源(中国科技核心期刊)》及《中国学术期刊综合评价数据库》固定刊源,并排列在中国科学引文数据库被引频次最高的中国科技期刊 500 名以内。被《中文核心期刊要目总览》遴选为综合性农业科学核心期刊、植物保护类核心期刊。为美国《化学文摘》、美国《剑桥科学文摘:生物技术与生物工程》、俄罗斯《文摘杂志》、英国《CABI》、英国《动物学记录》、《中国生物学文摘》及国内所有农业文摘期刊等国内外多家著名文摘固定刊源。

国内外公开发行、季刊、A4 幅面。每期 124 页,定价 5.00 元,全年 20.00 元、自办发行,参加全国非邮发报刊联合征订发行,非邮发代号:6573。

订阅办法:订阅款邮汇至:300385 天津市大寺泉集北里别墅 17 号,全国非邮发报刊联合征订服务部。

《华南农业大学学报》编辑部