

越北腹露蝗若虫空间格局的地学统计学分析*

陈强 吴伟坚** 张振飞 梁广文

(华南农业大学昆虫生态研究室, 广州 510642)

摘要 应用地学统计学研究广东北部桑田中越北腹露蝗(*Fruhstorferiola tonkinensis* Will) 1~5龄若虫的空间格局动态. 结果表明:越北腹露蝗1~5龄若虫种群变异曲线函数均为球状模型, 表现为聚集分布, 但各龄若虫的空间依赖范围分别为 1.973、1.968、2.169、2.302 和 4.307 m. 利用 Kriging 插值法由地学统计学软件 Surfer 8.0 产生的各龄若虫等值线图清晰地反映了各龄若虫的空间位置, 表明越北腹露蝗有别于其它一些蝗虫, 其低龄若虫呈聚居型, 高龄若虫呈散居型分布.

关键词 越北腹露蝗 空间格局 地学统计学 半变异函数 等值线图

文章编号 1001-9332(2007)02-0467-04 **中图分类号** Q968.1 **文献标识码** A

Geostatistic analysis of spatial pattern of *Fruhstorferiola tonkinensis* Will (Orthoptera: Caantopidae) nymphs. CHEN Qiang, WU Wei-jian, ZHANG Zhen-fei, LIANG Guang-wen (Laboratory of Insect Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2007, 18(2): 467-470.

Abstract: By the methods of geostatistics, this paper studied the spatial pattern of *Fruhstorferiola tonkinensis* nymphs in mulberry fields of north Guangdong. The results showed that the semivariogram of *F. tonkinensis* nymphs at all development stages could be described by spherical model, implying an aggregative distribution, and the range of their spatial correlation was 1.973, 1.968, 2.169, 2.302 and 4.307 m from 1st to 5th instars. Based on the information obtained from investigation site, the isoclines maps of the instars were created by the geostatistical software Surfer 8.0 with Kriging interpolation, and the resulting maps gave a clear indication about the spatial patterns of the instars. Unlike other locusts, the younger instars of *F. tonkinensis* had an aggregative distribution, while the elder ones were dispersive in distribution.

Key words: *Fruhstorferiola tonkinensis* Will; spatial pattern; geostatistic analysis; semivariogram; isoclines map.

1 引言

由于生物种群内个体间的相互作用以及对环境的适应,种群在不同的环境条件下表现出不同的空间分布格局^[16,20]. 研究昆虫种群的空间分布,不仅可以揭示种群内和种群间的空间结构,而且还可以为抽样方法和制定害虫防治指标提供依据. 研究昆虫种群空间分布的方法有经典的生物统计方法^[4,18]和地学统计方法^[19]. 经典生物统计学的研究对象必须是纯随机变量,前提是假设不同位置的样本相互独立,各样本间不存在空间位置差异^[20]. 地学统计

学以半方差函数为主要工具,能最大限度地利用野外调查所提供的各种信息,并充分利用稀疏的或无规律的空间数据,揭示周期性和非周期性生态参数本质^[8,14,20-21],近十几年来,广泛地应用于昆虫种群空间结构的研究^[1,5,8-10,21].

越北腹露蝗(*Fruhstorferiola tonkinensis* Will)是近几年来粤北地区的一种重要农业害虫. 该蝗虫1年1代,卵块产于近水的疏松土壤,聚集分布^[3],可为害多种农作物. 目前桑田受害最严重,造成桑叶大量减产,给当地的蚕桑业带来巨大损失,且发生面积不断扩大,至2004年受害桑田面积达 1.5×10^4 hm^2 ,危害范围达到46个镇^[12]. 本文应用地学统计学原理研究越北腹露蝗若虫的空间格局,以揭示其聚集与扩散的动态过程.

* 国家自然科学基金项目(30671373)和广东省蝗虫防治经费资助项目(粤财农0350,05358).

** 通讯作者. E-mail: weijwu@scau.edu.cn

2006-01-26 收稿,2006-11-29 接受.

2 材料与方法

2.1 调查方法

2005年4月24日至6月4日,选取广东省英德市西牛镇西联村未喷施化学农药的桑田进行全面调查,面积为6 m × 18 m,样地内植株数为6 × 24 = 164株,南北行,行间距0.64 m,株间距1 m.调查期间桑树株高为1~1.5 m.为防止蝗蝻逃出样地以及附近桑田的蝗蝻进入样地,用纱网围绕调查地.以植株为单位,逐株调查每棵桑树上的蝗蝻数目,各龄若虫分别调查1次.

2.2 分析方法

2.2.1 半方差函数 半方差函数表示分隔距离为 h 的两点 x 和 $x+h$ 的区域化变量 $z(x)$ 和 $z(x+h)$ 之间的变异,可用其增量 $[z(x) - z(x+h)]$ 平方的数学期望表示:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2$$

式中, $\gamma(h)$ 为半方差函数, $N(h)$ 为间隔为 h 的样本点的对数.半方差函数中有3个最重要的参数:块金常数(nugget),基台值(sill)和变程(range)^[17,19].块金常数是指变异函数曲线被延伸到间隔距离为零时的截距,它反映了区域化变量内部随机性的可能程度.基台值是指达到平衡时的变异函数值,它反映了变量变化幅度的大小.变程是当变异函数的值达到平衡时的间隔距离,它反映了区域化变量影响范围的大小.

2.2.2 变异函数理论模型的拟合 地学统计学中用来拟合实际变异曲线图的理论模型有很多种,如球状模型、指数模型、高斯模型、线性有基台值模型和线性无基台值模型等^[17,19].在拟合过程中,需要根据判断最优拟合模型的方法,即先考虑决定系数 R^2 的大小,其次考虑残差 RSS 的大小,最后再考虑变程和块金值的大小来判断不同理论模型在拟合实际变异曲线图时的优劣程度^[17].一般情况下,球形半变异函数说明所研究的种群呈聚集分布,其空间结构为:当样点间隔距离达到变程之前时,样点的空间

依赖性随样点间距离增大而逐渐降低;指数型与球型模型类似,但其基台值是渐近线^[21];非水平状线型的半变异函数表示种群为中等程度的聚集分布,其空间依赖范围超过研究尺度,如果是随机分布,则 $\gamma(h)$ 不随距离变化而规律性变化;完全随机或均匀的数据,半变异函数曲线表现为纯块金变异图(pure nugget variogram), $\gamma(h)$ 呈水平直线或稍有斜率,表明在抽样尺度下没有空间相关性^[8,20].通过变异函数值与曲线形状,可以揭示种群的多种空间特征^[15].

2.2.3 地学统计学的插值方法 Kriging法是一种估计观测样点间内插值的地学统计学方法.它基于区域化变量理论,当获得了某个变量的半变异函数的模拟模型后,可利用样点观测值对研究区域上未取样点的区域化变量值进行最小误差估计^[7].Surfer 8地学统计学软件可以将原始调查数据,通过克里格法绘制成反映调查样点与样点之间,以及生物种群分布和环境因子之间关系的图形^[11].本文的密度等值线图由 Surfer 8.0 软件生成.

3 结果与分析

3.1 越北腹露蝗若虫的半变异函数和空间分布格局

通过越北腹露蝗若虫各龄期的调查结果计算出若虫种群半变异函数值 $\gamma(h)$ (表1),再对其种群空间结构进行分析.结果表明,1~5龄若虫的种群半变异函数最优拟合模型均为球形: $\gamma(h) = a_0 + a_1 h + a_2 h^2 + a_3 h^3$,表明不同龄期越北腹露蝗若虫的空间

表1 越北腹露蝗1~5龄若虫半变异函数 $\gamma(h)$
Tab.1 Semivariogram $\gamma(h)$ for *F. tonkinensis* nymphs

龄期 Stage	距离 Distance (m)				
	1	2	3	4	5
1龄 1st instar	8987.461	21341.540	13965.100	6.986	0.654
2龄 2nd instar	918.346	1377.414	909.875	18.239	10.229
3龄 3rd instar	83.300	229.632	236.993	50.343	31.504
4龄 4th instar	8.743	16.157	13.493	10.118	4.207
5龄 5th instar	4.454	4.0179	9.654	11.754	10.971

表2 越北腹露蝗1~5龄若虫的理论半变异函数模型参数
Tab.2 Models, parameters and spatial patterns of *F. tonkinensis* nymphs

龄期 Stage	理论模型 Models	a_0	a_1	a_2	a_3	R^2	变程 Range (m)	空间格局 Spatial pattern
1龄 1st instar	球形 Spherical	-42154.0	75726.0	-27498.0	2806.9	0.9977	1.973	聚集 Aggregation
2龄 2nd instar	球形 Spherical	-2014.0	4353.3	-1526.1	150.9	0.8934	1.968	聚集 Aggregation
3龄 3rd instar	球形 Spherical	-480.5	799.8	-267.5	25.6	0.9372	2.169	聚集 Aggregation
4龄 4th instar	球形 Spherical	-9.2	25.0	-7.6	0.6	0.9786	2.302	聚集 Aggregation
5龄 5th instar	球形 Spherical	12.4	-13.7	6.4	-0.7	0.9721	4.307	聚集 Aggregation

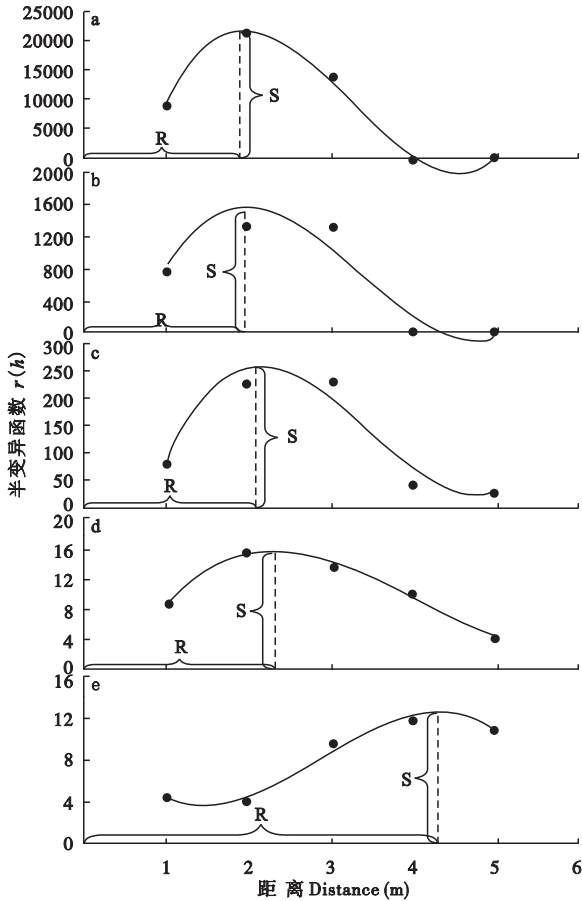


图 1 越北腹露蝗各龄若虫的半变异函数曲线

Fig. 1 Semivariograms of *F. tonkinensis* nymphs.

● 观测值 Measured value; — 拟合值 Simulated value. a) 1 龄若虫 1st instar, $r(h) = 2806.9h^3 - 27498h^2 + 75726h - 4215$; b) 2 龄若虫 2nd instar, $r(h) = 150.85h^3 - 1526.1h^2 + 4253.3h - 2014$; c) 3 龄若虫 3rd instar, $r(h) = 25.565h^3 - 267.54h^2 + 799.77h - 480.45$; d) 4 龄若虫 4th instar, $r(h) = 0.6286h^3 - 7.6115h^2 + 25.049h - 9.1636$; e) 5 龄若虫 5th instar, $r(h) = -0.7461h^3 + 6.4131h^2 - 13.719h + 12.359$. S: 基台值 Sill; R: 变程 Range.

分布均为聚集型(表 2),不同龄期的 5 个半变异函数拟合模型具有较高的决定系数(0.8934 ~ 0.9977),表明实际半变异函数值与理论曲线的拟合度极高(图 1).不同龄期越北腹露蝗若虫半变异函数的变程 range (m),即样点间的空间依赖性距离为 1.973 ~ 4.307 m(表 2),即在 1.973 ~ 4.307 m 时达到基台值,龄期越大,变程越大.

3.2 种群密度的等值线图

应用克里格方法^[7,18],以所建立的球形方程为基础,对间隔为 0.6 m 的越北腹露蝗各龄期若虫在样地空间上的密度进行插值分析,获得了相应的密度等值线图(图 2).等值线图显示,不同龄期的若虫呈现不同的聚集强度.1 ~ 3 龄存在明显的聚集团块,以 2 龄若虫为例,在东西方向上,存在 4 个比较大的聚团,密度在每株 300 头以上,但在南北方向上,密度相对较低,分布较零散,这与球形方程中的变程距离相符合;进入 3 龄后,在东西方向上的聚团强度急剧降低的同时,在南北方向上有较低密度的团块出现,但变程较小;4 ~ 5 龄蝗蛹较均匀地分布在样地中的多数桑树上,形成较明显的带状,这时的变程也达到最高值.

4 讨 论

越北腹露蝗若虫的半变异函数和等值线图均表明,1 ~ 5 龄的空间格局都呈现聚集型分布,但随着龄期的增长,空间依赖范围逐渐变大,由低龄聚居型转为高龄散居型.越北腹露蝗卵为专性滞育,孵化期较一致^[2],低龄若虫可能由聚集信息素^[13]的作用聚

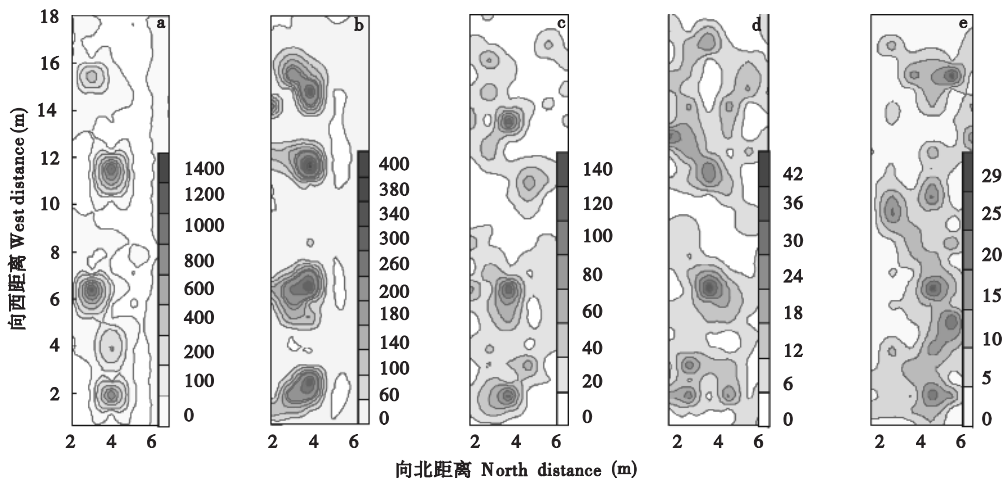


图 2 越北腹露蝗各龄期若虫种群数量的等值趋势图

Fig. 2 Contour maps of *F. tonkinensis* nymphs number.

a) 1 龄若虫 1st instar; b) 2 龄若虫 2nd instar; c) 3 龄若虫 3rd instar; d) 4 龄若虫 4th instar; e) 5 龄若虫 5th instar. 标尺为每株个体数量 Scales were the number of individual per plant.

集成团,且低龄若虫取食量少,空间资源充足,故空间依赖性弱,相关距离近.进入4龄后,随着取食量增大,蝗蝻的空间依赖性增强,聚团瓦解.

采用地学统计学的方法分析昆虫的种群空间格局,是近年来昆虫生态学较为关注的问题.本文利用地学统计学的方法,可以较好地反映不同龄期越北腹露蝗若虫种群的空间结构.但地学统计学只能形象地描述生物种群在空间的相互依赖性及其具体的分布情况,不能针对各种生物空间分布给出具体指数^[6].所以还必须借助经典生物统计方法,尤其是在未知研究对象空间特性的情况下,可借助经典概率拟合为地学统计学提供指导^[6,20].采用经典的空间格局研究表明:1~5龄蝗蝻的扩散系数 C 分别为879.578、152.742、22.972、6.053和6.150,1龄蝗蝻聚集度最高;1~3龄蝗蝻的空间格局可用Neyman A型分布拟合,4~5龄可用负二项分布拟合,即1~3龄呈核心分布,4~5龄演变为嵌纹分布格局(另文报道).两种研究方法对其空间格局动态趋势的研究结果是一致的.

将地学统计学方法与经典的生物统计方法相结合,可为越北腹露蝗的综合防治与预报预测提供重要信息.

参考文献

- [1] Bi S-D (毕守东), Zou Y-D (邹运鼎), Geng J-G (耿继光). 2000. Geostatistical analysis on spatial patterns of *Aphis gossypii* and *Propylaca japonica*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **11**(3): 421-424 (in Chinese)
- [2] Chen W (陈伟), Chen W-Z (陈伟洲), Wu W-J (吴伟坚), et al. 2005. Embryonic development of *Fruhstorferioli tonkinensis*. *Journal of South China Agricultural University* (华南农业大学学报), **26**(4): 30-33 (in Chinese)
- [3] Chen W (陈伟), Wu W-J (吴伟坚), Chen W-Z (陈伟洲), et al. 2004. Spatial distribution pattern of egg mass of *Fruhstorferioli tonkinensis* Will. *Journal of South China Agricultural University* (华南农业大学学报), **25**(4): 47-49 (in Chinese)
- [4] Ding Y-Q (丁岩钦). 1994. *Entomological Mathematics Ecology*. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- [5] Huang B-H (黄保宏), Zou Y-D (邹运鼎), Bi S-D (毕守东), et al. 2003. Geostatistical analysis on spatial patterns of *Didesmococcus koreanus* Borchs and *Chilocorus rubidus* Hope. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **14**(3): 413-417 (in Chinese)
- [6] Huang S-S (黄寿山), Hu H-J (胡慧建), Liang G-W (梁广文). 1999. The spatial pattern of dipausing larva of triped rice bore, *Chilo suppressalis* Walker, with geostatistics. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **19**(2): 250-253 (in Chinese)
- [7] Lecoustre L, Fargette D, Fauquet C, et al. 1989. Analysis and mapping of the spatial spread of African cassava mosaic virus using geostatistics and kriging technique. *Phytopathology*, **79**: 913-920
- [8] Li H-B (李海滨), Wang Z-Q (王政权), Wang Q-C (王庆成). 1998. Theory and methodology of spatial heterogeneity quantification. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **9**(6): 651-657 (in Chinese)
- [9] Li Y-C (李友常), Xia N-B (夏乃斌), Tu Q-H (屠泉洪), et al. 1997. A geostatistical analysis on spatial pattern of *Anolonoplophora glabripennis* in poplars. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **17**(4): 393-401 (in Chinese)
- [10] Lu Y-Y (陆永跃), Liang G-W (梁广文). 2002. The spatial pattern of the cotton bollworm eggs with the geostatistics. *Journal of Huazhong Agricultural University* (华中农业大学学报), **21**(1): 13-17 (in Chinese)
- [11] Lü Z-Z (吕昭智), Bao A-M (包安明), Chen X (陈曦), et al. 2003. Application of geostatistic soft ware in pest management. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **22**(6): 132-136 (in Chinese)
- [12] Qiu S-J (丘思娟), Chen W-Z (陈伟洲), Wu W-J (吴伟坚). 2004. The incidences of a new pest—*Fruhstorferioli tonkinensis* in mulberry field and its control measures. *China Plant Protection* (中国植保导刊), **24**(9): 23 (in Chinese)
- [13] Ross DW, Niwa CG. 1997. Using aggregation and anti-aggregation pheromones of the Douglas-fir beetle to produce snags for wildlife habitat. *Western Journal of Applied Forestry*, **12**: 52-54
- [14] Rossi RE, Mulla DJ, Journel AG, et al. 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs*, **62**: 277-314
- [15] Shi G-S (石根生), Li D-M (李典谟). 1997. Geostatistical analysis of spatial pattern of *Dendrolimus punctatus*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **8**(6): 612-616 (in Chinese)
- [16] Taylor LR. 1984. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. *Annual Review of Entomology*, **29**: 321-357
- [17] Wang Z-J (王政军), Li D-M (李典谟), Shang H-W (商晗武), et al. 2002. Theories and methods of geostatistics and its their application in insect ecology. *Entomological Knowledge* (昆虫知识), **39**(6): 405-411 (in Chinese)
- [18] Wang Z-Q (王政权). 1999. *Application of Geostatistics in Ecology*. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- [19] Zhou G-F (周国法), Xu R-M (徐汝梅). 1997. *Biogeostatistics*. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- [20] Zhou Q (周强), Zhang R-J (张润杰), Gu D-X (古德祥). 1998. Review of geostatistics applied insect population spatial structure. *Zoological Research* (动物学研究), **19**(6): 482-488 (in Chinese)
- [21] Zhou Q (周强), Zhang R-J (张润杰), Gu D-X (古德祥). 2001. Spatial structure and pattern of *Nilaparvata lugens* population in large scale. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **12**(2): 249-252 (in Chinese)

作者简介 陈强,男,1981年生,硕士研究生.主要从事昆虫生态学研究. E-mail: cq20@21cn.com

责任编辑 肖红

