

大尺度下褐飞虱种群空间结构初步分析*

周强** 张润杰 古德祥 (中山大学昆虫学研究所·生物防治国家重点实验室, 广州 510275)
邹寿发 徐起峰 (广东省农业厅植保总站, 广州 510500)

【摘要】 褐飞虱是我国主要的水稻害虫, 有着复杂的空间结构. 地统计学可用来分析空间相关变量的结构和插值模拟空间相关变量的分布. 运用地统计学中的变差函数和克立格插值法对广东省褐飞虱种群 3 个主要世代在早稻田间的空间结构进行分析和模拟的结果表明, 大尺度的褐飞虱田间种群的空间分布为聚集型, 不同世代褐飞虱种群的局部空间结构有差异, 聚集的范围分别为 400、200 和 205km; 空间分布模拟地图能反映褐飞虱种群在田间的具体分布情况, 广东西部地区每一世代褐飞虱的发生密度均高于东部地区.

关键词 变差函数 克立格插值法 褐飞虱 空间结构

文章编号 1001- 9332(2001) 02- 0249- 04 中图分类号 S435. 112. +2 文献标识码 A

Spatial structure and pattern of *Nilaparvata lugens* population in large scale. ZHOU Qiang, ZHANG Runjie and GU Dexiang (Institute of Entomology & State Key Laboratory for Biocontrol, Zhongshan University, Guangzhou 510275). -Chin. J. Appl. Ecol., 2001, 12(2): 249~ 252.

Brown plant hopper (BPH), *Nilaparvata lugens*, is a major pest of rice. Its spatial distribution of different generations in Guangdong Province was studied by using variograms. The results showed that this population distributed in a clump pattern in rice fields during the 1st rice season. 3 generations of this population had different spatial structures, with the clump range of 400km, 200km and 205km respectively in the 1st rice season. The simulation distribution maps of BPH, which was interpolated by Ordinary Kriging, showed that the density of BPH populations in west Guangdong province were higher than that in the east. The effect of sampling size on the spatial structure of BPH was not significant.

Key words Variograms, Ordinary Kriging, *Nilaparvata lugens*, Spatial structure.

1 引言

褐飞虱(*Nilaparvata lugens* (BPH)) 是我国主要的水稻害虫. 褐飞虱种群有着非常复杂的空间结构, 它是一种大范围迁飞性昆虫, 季节发生明显, 分布密度有很强的环境异质性^[3], 因而对褐飞虱田间种群空间结构的研究、对大尺度下褐飞虱发生风险预测的研究有一定的难度, 加上褐飞虱具有同期突发的特点, 因此, 有必要进一步研究如何准确地反映褐飞虱的发生程度, 如何适时和快速地监控褐飞虱种群分布范围和发展趋势等问题, 这些工作也是当前在害虫综合治理中采取应急措施的基础. 过去, 经典统计学一直是昆虫种群空间结构的主要研究手段. 经典统计学以随机变量理论为基础, 认为研究区域内的任意变量的期望值都等于样本的平均值, 忽略了样本位置和地理差异, 因此在应用于昆虫种群空间分布研究时有很大的局限性^[4~ 6, 9]. 地统计学则以区域化变量理论为基础, 以变差函数为主要工具, 研究那些在空间分布上既有随机性又有结构性的自然现象. 它能最大限度地利用野外调查所提供的各种信息, 估计结果比传统方法更为精

确, 可避免系统误差^[10, 11]. 由于地统计学能够较准确地描述区域化变量的随机性和结构性变化, 能定量分析环境或生物变量的空间异质性, 因而越来越受到重视, 目前, 运用地统计学研究昆虫种群空间结构的工作多集中在森林昆虫方面, 而在农业系统昆虫种群中则运用较少^[5]. 本研究运用地统计学中的变差函数对大尺度下褐飞虱种群的空间结构进行了初步研究, 并在此基础上用普通克立格法(Ordinary Kriging)进行插值模拟, 以期在包含环境异质性的前提下深入了解不同世代褐飞虱种群在田间分布的结构特点, 为制定和完善害虫防治策略提供理论和实践基础.

2 材料与方法

2.1 数据来源

数据来源为广东省农业厅植保总站提供的 1997 年度全省各县褐飞虱发生情况数据. 取样点数据以县或县级市测报站观察区田间百丛总虫量为准, 调查在各次迁入峰出现后进行, 选

* 国家自然科学基金项目(30000114, 39970475)和国家 973 资助项目(G2000016210).

** 通讯联系人.

1999- 04- 15 收稿, 1999- 05- 31 接受.

主要水稻类型田每类5块以上。分蘖期采用拖网法,以圆锥形的尼龙纱网在田块两边顺行来回扫网各1次,以网口直径以内的稻丛数乘以每行稻丛数,即得拖网范围内得稻丛数,计算百丛成虫口密度。圆秆拔节以后用盘拍法,随机取样每块田查25~50点,每点2丛,共查50~100丛。本研究以4月中旬(以4月20日调查数据为主)为第一次调查,其数据代表褐飞虱迁入田间后的第一繁殖代种群密度;5月中旬(以5月20日调查数据为主)为第二次调查,其数据代表褐飞虱在早稻田中的第一主害代的高峰期密度;6月上旬(以6月10日调查数据为主)为第三次调查,其数据代表褐飞虱在早稻田中的第二主害代的高峰期密度。

2.2 数据分析

基础统计分析用STATISTICA4.5(StatSoft, Inc, 1993)完成^[8]。地统计学用于空间结构分析的主要工具是变差函数,变差函数既是距离 h 的函数,又是方向 α 的函数。其计算公式见(1),式中 $\gamma(h)$ 是相隔距离为 h 的变差图的估计值, $N(h)$ 是相隔距离为 h 的所有点的配对数, $Z(x_i)$ 是样点 x_i 的平均密度, $Z(x+h)$ 是样点 x_{i+h} 的平均密度。变差图(variograms)是 $\gamma(h)$ 作为距离 h 的函数的图形。其值可作为各个方向的平均值,也可作为某一特定方向的值^[2,5]。变差函数的计算程序由北京大学分校数学系周国法博士提供。

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

使用普通克立格法模拟褐飞虱若虫种群在田间的分布。克立格插值法是一种对空间分布数据求最优、线性、无偏内插估计量的方法^[7,10]。克立格法的基本思想就是邻近样本比远的样本有更加接近的值。任一点或区域的估计值 Z_V^* 可以通过该区域的影响范围内 n 个有效样品值 $Z(x_i)$ 的线性组合得到:

$$Z_V^* = \sum \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

式中, λ_i 是与样品值 $Z(x_i)$ 有关的加权系数,用来表示样品值对估计值 Z_V^* 的贡献。对于任一给定的数据信息 $Z(x_i), i=1, \dots, n$ 存在一组加全系数 λ_i 。如果使估计方差范围最小,其区域真值就能在最小的可置信区内产生。克立格法插值结果由地理信息系统软件IDRISI生成分布图^[11]。

3 结果与分析

3.1 大尺度田间褐飞虱田间数据的基本统计

3次调查数据的基本统计结果见表1。1997年早稻,褐飞虱的平均密度随着水稻的生长发育呈上升趋势。每次调查数据的分布范围非常广,4月中旬调查数据

表1 大尺度田间褐飞虱不同时间基本统计数据(1997早稻,广东)
Table 1 Univariate statistics for BPH population counts collected at different times in Guangdong, 1997

取样时间 Date	样本数目 n	平均密度* Mean (per 100 hills)	最大值 Max.	最小值 Min.	标准误差 SE
4.20	36	167	700	0	34.5
5.20	59	449	1750	0	51.2
6.20	31	740	3500	82	187.3

* 单位:头·100丛⁻¹。

据的分布范围最窄,为[0, 700]。由于数据频率分布极不均匀,方差大,所以从经典统计学的平均拥挤度或聚集度指标的角度来分析原始数据,可以得出这样的结论:1997年早稻生长全期,广东省褐飞虱的空间分布类型为聚集分布。但要了解褐飞虱聚集的范围和程度则需要进一步的地统计学分析。

3.2 大尺度田间褐飞虱田间数据的空间结构分析

3.2.1 早稻褐飞虱第一繁殖代高峰期空间结构

褐飞虱成虫借助于西南气流的运载,从中南半岛迁入广东稻区后,繁殖产生的新一代褐飞虱种群,即为褐飞虱第一繁殖代。广东全省各取样点褐飞虱第一繁殖代的发生平均密度以70头·百丛⁻¹和350头·百丛⁻¹两个密度数据出现的频率最高。此阶段褐飞虱种群在整个广东省稻区的空间变差函数曲线见图1A,褐飞虱种群随着距离的增加,相互间变差函数值的差异有变化。当取样间距从23km增加到70km时,褐飞虱密度数据间变差函数值的差异急剧减小,表明在小于70km的距离之内,褐飞虱种群之间似乎毫无联系,呈明显的随机分布,但考虑到当距离为23km时,用于计算变差函数的数据只有16对,明显少于变差函数计算的必需点配对数(30点对^[5]),所以,现有数据并不能完全揭示相互距离为23km的褐飞虱种群的空间结构。从长距离来看,早稻褐飞虱第一繁殖代种群发生密度的空间结构有聚集现象,在间距为70~400km的范围中,褐飞虱种群间存在相依性,即褐飞虱种群聚集斑块的直径为400km;当间距大于400km时,各地褐飞虱种群间不再有空间相依性,即超过此距离的褐飞虱种群间无相互影响。广东全省早稻褐飞虱第一繁殖代空间模拟分布见图2A,模拟分布的平均值为173.94头·百丛⁻¹,标准误差为1.664。从图2可知,广东省中部珠江三角洲地区及粤东的大部分地区,褐飞虱发生密度较轻,其中东部揭阳、潮州地区和梅州的丰顺,中部的惠州、河源的紫金和东源等地褐飞虱发生程度最轻,小于40头·百丛⁻¹(平均密度)。粤北韶关地区和清远地区的大部,肇庆的怀集、广宁、封开,还有广东西部,包括雷州半岛,褐飞虱发生量在110~150头·百丛⁻¹(平均密度),其中阳江的阳春北部(119.91°E, 22.33°N附近)有小面积褐飞虱发生密度达180头·百丛⁻¹(平均密度)。

3.2.2 早稻褐飞虱第一主害代种群密度的空间结构

5月中旬,此阶段全省褐飞虱种群的发生量较前一阶段有大的提高,平均密度数据分布较均匀,其中密度数据出现频率最高的范围在175~525头·百丛⁻¹之间。褐飞虱种群的空间变差函数曲线见图1B,褐飞虱种群

在广东全境有非常明显的空间结构,变差曲线的形状非常规则,随着距离的增加,褐飞虱种群间的差异增大,当距离增加到 200km 时,密度差异不再随距离变化,表明在 200km 的距离之内,褐飞虱第一主害代种群密度间存在空间相依性,当间距大于 200km 时各地的褐飞虱种群间不再存在相依性.与早稻褐飞虱第一繁殖代种群发生密度的空间结构相比,随着时间的推移,褐飞虱种群的空间聚集范围从 400km 下降到 200km,但空间结构的局部不连续程度也有一定程度的下降(图 1A, B).

广东全省早稻褐飞虱主害一代空间模拟分布见图 2B,模拟分布的平均值为 371.09 头·百丛⁻¹,标准误差为 4.24.从图 2 可知,广东省自 111.89°E 以东的广大地区,褐飞虱发生密度较低,一般低于 250 头·百丛⁻¹(平均密度),其中尤以梅州、汕头、潮州、揭阳、汕尾、河源、惠州,以及韶关的南雄、始兴、隆化等地褐飞虱发生密度最低,一般小于 120 头·百丛⁻¹(平均密度),这与 4 月中旬褐飞虱种群的分布和发生情况相似.但是,在此区域中,以广州为中心的珠江三角洲地区,褐飞虱发生程度较 4 月中旬增高,平均发生密度在 500 头·百丛⁻¹左右.云浮的罗定、郁南、阳江的阳春大部 and 阳东地区,褐飞虱发生密度比上述地区要高,为 500~620 头·百丛⁻¹(平均密度).粤西包括雷州半岛在内的地区,褐飞虱发生密度最高,在 700~1000 头·百丛⁻¹之间,但粤西南沿海的电白和揭西两地,褐飞虱发生程度明显低于周围地区.

3.2.3 早稻褐飞虱第 2 主害代种群密度的空间结构

6 月上旬,广东省褐飞虱种群的发生量进一步提高,数据分布重新开始聚集,其中以 424~766 头·百丛⁻¹数据出现的频率最高,最大密度达 3500 头·百丛⁻¹(平均密度).褐飞虱种群的空间变差函数曲线图见图 1 C,变差函数曲线的起点间距为 7km,但此点的计算点对只有两对,故其实际值不能考虑,从曲线走向来看,在变差曲线的前半段,随着距离的增加,褐飞虱种群密度间的变差值差异增大;而变差值在后半段起伏不定,由于到后半段参与计算变差值的点对数较少,故只考虑曲线的前半段,即可以认为,褐飞虱种群在广东全境的一定范围内存在聚集的现象,聚集范围为 205km.当然,不排除此次变差分析的数据太少而导致结果有误.

广东全省早稻褐飞虱主害 2 代空间模拟分布见图 2C,模拟分布的平均值为 665.64 头·百丛⁻¹,标准误差为 3.417.6 月上旬,广东省褐飞虱发生密度进一步增大,其中,粤西的大部分地区,包括湛江的遂溪、廉江、化州、吴州,茂名地区、云浮地区和阳江的阳春、阳

东两地,粤北和粤西的大部分地区,褐飞虱发生的密度相对较小,一般为 600~800 头·百丛⁻¹.

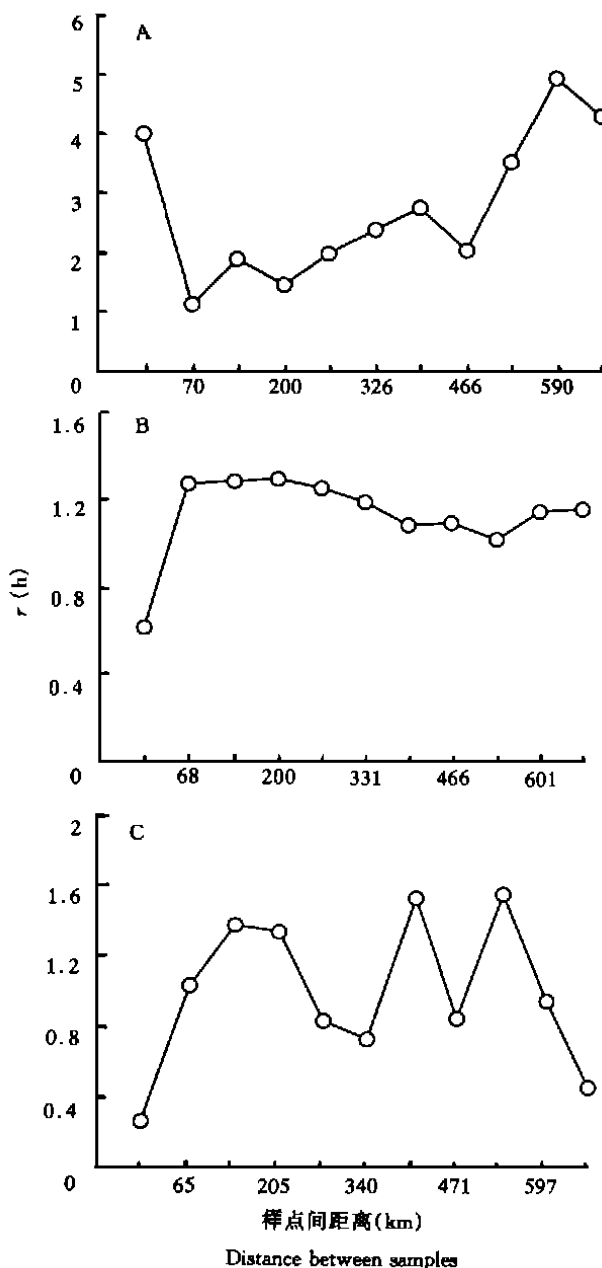


图 1 大尺度褐飞虱种群变差函数图(1997 早稻,广东)

Fig. 1 Semivariograms for BPH during the 1st season 1997, in Guangdong. A: 第 1 繁殖代 20 April, B: 第 1 主害代 20 May, C: 第 2 主害代 20 June. 下同 The same below.

4 讨 论

本研究初步发现,大尺度下不同世代的褐飞虱田间种群的空间分布均为聚集型,水稻生长期,或者是水稻的营养状态对褐飞虱若虫空间结构的影响不明显,此结论与张润杰等^[9]对小尺度田间褐飞虱空间结构的研究结果相似,说明空间尺度的改变对褐飞虱种群结构无明显影响.但是,用不同的尺度研究褐飞虱种群

的结构, 所得的空间结构必然有差异. 褐飞虱种群聚集的范围分别为 400、200 和 205km, 表明随着水稻的生长, 不同世代褐飞虱种群聚集分布的特性不改变, 但聚集的范围有变化, 因此有必要在不同尺度下对昆虫种群的空间结构进行研究.

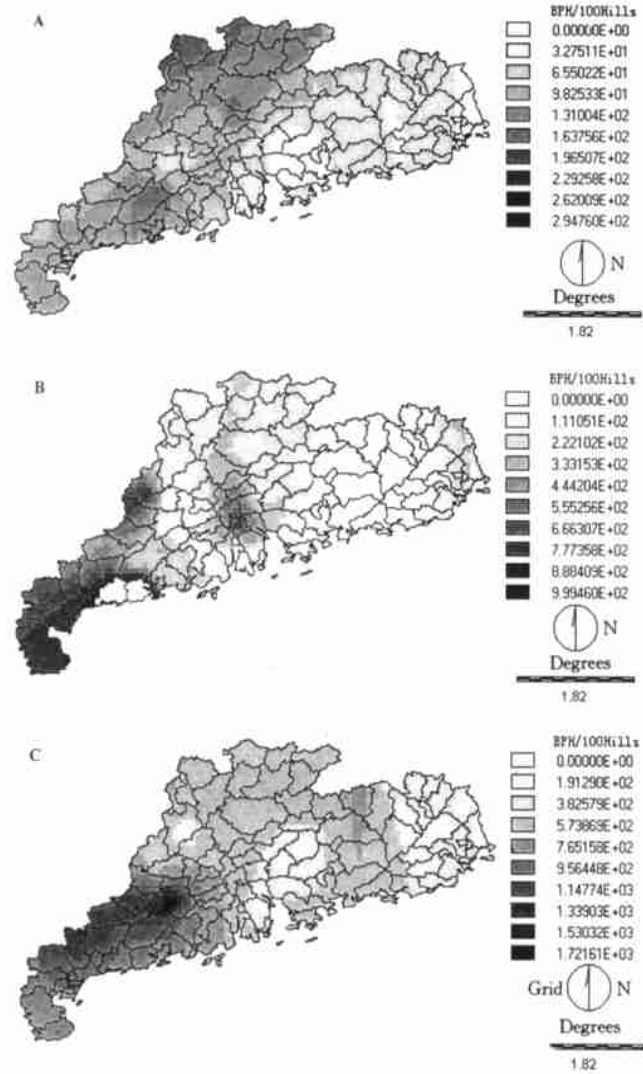


图2 广东省褐飞虱种群空间分布(1997, 早稻)(头·百丛⁻¹(BPH·100Hills⁻¹))

Fig. 2 Distribution of BPH during the 1st rice season 1997, in Guangdong.

空间分布模拟地图可以反映褐飞虱种群在田间的具体分布情况. 广东西部地区每一世代褐飞虱的发生密度均高于东部地区, 这可能与褐飞虱的虫源地及迁飞路线有关. 本文只对褐飞虱空间结构进行了初步分析, 更明确的解释需要以更细致的空间数据为基础. 准确的克里格估计建立在对样点的空间连续性的充分理解上, 这包括应选择一个适当的半方差模型, 而且模型

的相关系数对特异值、空间方向、不同区域空间相依性的差异和样点的选取敏感. 获得准确和及时的害虫空间分布图必须考虑到上述因素, 这样才能充分发挥害虫空间分布地图在害虫综合治理中的作用.

最后, 在生态学研究 and 害虫管理实践中, 特别是在制定大范围的害虫管理策略时, 往往需要在对样本进行插值的基础上, 再结合其它因子(如气候因子、作物生长、土壤特征等), 以评价各种防治措施的必要性. 因此, 以空间结构分析为基础的克里格插值模拟地图, 必须结合地理信息系统(Geographic Information System, GIS)支持下的多属性叠加分析功能, 才能进行更复杂的地理分析, 才能在丰富的地理背景下处理巨大而又复杂的空间信息, 为害虫的异地测报、估计害虫发生风险、模拟害虫大面积分布以及实时监控害虫的发展变化提供基础.

参考文献

- 1 Eastman JR. 1992. IDRISI user's guide version 4. Clark University Graduate School of Geography, Worcester, MA.
- 2 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. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 9(6): 651~ 657(in Chinese)
- 3 Li R-D(李汝铎), Ding J-H(丁锦华), and Hu G-W(胡国文). 1996. The brown planthopper and its population management. Shanghai: Fudan University Press. 84~ 122(in Chinese)
- 4 Liebhold AM, Zhang X, Hohn ME. 1991. Geostatistical analysis of gypsy moth (*Lepidoptera: Lymantriidae*) egg mass populations. *Environ Ent*, 20(5): 1407~ 1417
- 5 Liebhold AM, Simons EE, Sior A. 1993. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. *Annu Rev Ent*, 38: 303~ 327
- 6 Rossi RE, Mulla DJ, Journel AG. 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecol Monographs*, 62(2): 277~ 314
- 7 Shi G-S(石根生), Li D-M(李典谟). 1997. Geostatistic analysis of spatial pattern of *Dendrolimus punctatus*. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 8(6): 612~ 616(in Chinese)
- 8 STATISTICA Institute. 1993. User's guide. Version 4.5 StatSoft Institute.
- 9 Zhang R-J(张润杰), Zhou Q(周强), Gu D-X(古德祥). 1998. Analysis of the spatial structure and pattern of *Nilaparvata lugens* population in rice fields. *J Southwest Agric Univ* (西南农业大学学报), 20(5): 449~ 456(in Chinese)
- 10 Zhou G-F(周国法), Xu R-M(徐汝梅). 1998. Research on the Biogeo statistics. Beijing: Science Press. 3~ 5(in Chinese)
- 11 Zhou Q(周强), Zhang R-J(张润杰), Gu D-X(古德祥). 1998. Review of geostatistics in applied insect population spatial structure. *Zool Res* (动物学研究), 19(6): 482~ 488(in Chinese)

作者简介 周强,男,1968年生,博士,讲师,主要研究方向为昆虫生态学,发表论文13篇. E-mail: ls43@zsulink.zsu.edu.cn