

# 白背飞虱若虫空间格局的地统计学分析

闫香慧<sup>1</sup>, 赵志模<sup>1</sup>, 刘怀<sup>1</sup>, 肖晓华<sup>2</sup>, 谢雪梅<sup>2</sup>, 程登发<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>西南大学植物保护学院, 重庆 400715; <sup>2</sup>重庆市秀山县植保植检站, 重庆秀山 409900; <sup>3</sup>中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

**摘要:** 【目的】研究白背飞虱 [*Sogatella furcifera* (Horváth)] 迁入后其后代若虫在稻田间的聚集与扩散的动态过程和空间分布规律, 为综合防治提供理论依据。【方法】本文根据 2008 年在秀山县的系统调查资料, 运用地统计学中的半方差函数, 建立了秀山县水稻栽插至成熟 10 次调查时间在东西和南北 2 个方向上白背飞虱若虫的空间变异曲线模型, 并利用 Surfer 8.0 软件对空间分布数据进行插值和模拟。【结果】白背飞虱若虫密度越高, 空间变量的变化幅度越大; 由随机因数引起的空间变异平均为 38.7%, 由自相关因数引起的空间变异为 61.3%, 且空间变异的随机程度有随水稻生育期而逐渐增高的趋势; 各调查时间东西方向的空间相关范围都小于南北方向, 前者平均为 18.99 m, 后者为 25.09 m; 空间插值表明白背飞虱若虫种群在稻田的聚集斑块南北方向比东西方向长。【结论】白背飞虱若虫种群的空间分布主要呈聚集分布; 在研究尺度下, 南北方向是白背飞虱若虫种群聚集和扩散的主要方向。

**关键词:** 白背飞虱; 地统计学; 空间结构; Surfer 8.0

## Geostatistical Analysis on Spatial Distribution of White-Backed Planthopper Nymphs

YAN Xiang-hui<sup>1</sup>, ZHAO Zhi-mo<sup>1</sup>, LIU Huai<sup>1</sup>, XIAO Xiao-hua<sup>2</sup>, XIE Xue-mei<sup>2</sup>, CHENG Deng-fa<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400715; <sup>2</sup>Plant Protection Station of Xiushan County, Chongqing 409900; <sup>3</sup>Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193)

**Abstract:** 【Objective】 Dynamic process and spatial pattern of the white-backed planthopper (WBPH), *Sogatella furcifera* (Horváth) nymphs after they immigrated into the rice were studied to provide a theoretical basis for its integrated control. 【Method】 Models of space variation were constructed at the directions of east-west and south-north based on the geostatistical method by using 10 survey data from the transplanting to ripening of the rice in Xiushan, Chongqing in 2008. Isoclines maps of the WBPH nymphs at each stage were created by the geostatistical software Surfer 8.0 with Kriging interpolation. 【Result】 The variograms showed the higher the WBPH nymphs density was, the larger the space variation scope became. Average space variation was 38.7% caused by the random factor and 61.3% caused by the autocorrelation. The random degree of space variation became greater as the rice grew up. Space-related area was 18.99 m in the direction of east-west and 25.09 m in south-north averagely. Kriging interpolation indicated that aggregated scope in south-north was larger than in east-west. 【Conclusion】 The population of white-backed planthopper nymphs showed a clumped distribution mainly after immigrating into rice fields and south-north was the main direction for WBPH nymphs to aggregate and diffuse.

**Key words:** white-backed planthopper; geostatistics; spatial distribution; Surfer 8.0

## 0 引言

【研究意义】白背飞虱 [*Sogatella furcifera* (Horváth)]

是重要的迁飞性水稻害虫, 其迁入稻田后, 具有复杂的空间分布结构。地统计学 (geostatistics) 是在地质分析和统计分析互相结合的基础上形成的一套分析空

收稿日期: 2009-06-09; 接受日期: 2009-09-14

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划 (2006BAD08A01)

作者简介: 闫香慧, 博士研究生。Tel: 023-68204414; E-mail: yanxh@swu.edu.cn。通信作者赵志模, 教授, 硕士。Tel: 023-68251795; E-mail: zhaozm@swu.edu.cn。刘怀, 教授, 博士。Tel: 023-68251541; E-mail: redliuhuai@yahoo.com.cn

间相关变量的理论和方法,主要研究在空间分布上既具有随机性又具有结构性的自然现象<sup>[1]</sup>;它能最大限度地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的本质,估计出的参数比用经典统计学方法估计的更为精确,可有效避免系统误差<sup>[2-3]</sup>,为害虫种群的时空研究提供了一种全新的方法。本研究旨在利用地统计学方法研究白背飞虱迁入后其后代若虫在稻田的空间分布动态,以期为综合防治提供理论依据。【前人研究进展】在中国国内,除有关害虫空间分布格局的地统计学分析已有不少报道外<sup>[4-6]</sup>,梁文举等<sup>[7]</sup>还应用地统计学方法分析了土壤耕作层中植物寄生线虫的空间分布特征;蒋勇军等<sup>[8]</sup>应用地统计学方法研究了岩溶区土壤有机质的空间变异;也有学者将地统计学方法运用于害虫种群的时间格局分析,取得了较好的预测效果<sup>[9-10]</sup>。在国外,地统计学已被应用于害虫种群时空动态格局、发生暴发与区域环境关系的分析<sup>[11-14]</sup>。【本研究切入点】秀山县位于重庆市东南部武陵山区腹地,白背飞虱在该县不能越冬,每年春夏季虫源从中国南部稻区随气流迁入<sup>[15]</sup>,特殊的地理位置使秀山县成为中国白背飞虱南北迁飞的重要通道,同时也使这种害虫成为危害该地区水稻生产的主要害虫之一<sup>[16-17]</sup>,而有关白背飞虱迁入本地区后,在田间的空间分布情况却鲜见报道。【拟解决的关键问题】根据笔者2008年在秀山县的系统调查资料,运用经典统计学与地统计学相结合的方法对白背飞虱若虫的空间结构进行分析,以期深入了解该虫迁入后在本地区田间聚集与扩散的动态过程和空间分布规律。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查方法

调查田设于重庆市秀山县平凯镇护国村(北纬28°25'54",东经108°58'50"),海拔高度352 m,水稻品种为Q优1号,在整个水稻生长期不施任何农药,施肥、灌溉等按常规管理。调查田的一边为废弃田,其余三边为杂交稻田。将900 m<sup>2</sup>(30 m×30 m)的调查田按删格式分成225个4 m<sup>2</sup>(2 m×2 m)的样方,每样方随机调查3丛水稻,按样方位置记录盘拍(即以33 cm×45 cm白搪瓷盘为载体)的白背飞虱若虫数量。调查时间为2008年一季中稻栽插至成熟期,共调查10次,调查日期(月/日)依次为:5/30,6/10,6/20,6/30,7/10,7/20,7/30,8/10,8/20和8/30。

### 1.2 半方差函数的计算

当一个变量在空间上与其位置有关时称为区域化

变量。区域化变量在空间上因其相互间的位置关系或相关性而存在一定的规律性变化称空间变异。半方差函数是研究区域化变量的主要工具,它被定义为变量 $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i+h)$ 增量平方的数学期望,即区域化变量增量的方差<sup>[18]</sup>。其计算公式为:

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

式中 $r(h)$ 是相隔距离为 $h$ 的半方差估值, $N(h)$ 是相隔距离为 $h$ 的所有点的配对数, $Z(x_i)$ 是样点 $x_i$ 的变量值, $Z(x_i+h)$ 是样点 $(x_i+h)$ 的变量值。本研究中的变量值为白背飞虱若虫密度(头/丛)。

### 1.3 半方差函数理论模型的拟合

半方差 $r(h)$ 是距离 $h$ 的函数,以距离 $h$ 为横坐标,半方差 $r(h)$ 为纵坐标构成的二维平面图称为半方差函数图(又称空间变异函数曲线)。地统计学中常用来拟合空间变异曲线的理论模型主要有球状模型、高斯模型和指数模型<sup>[19]</sup>,这3种模型揭示的空间结构虽然存在很大差异,但它们表明的数据都是聚集的,并且都反映出4个具有明显生态学意义的重要参数,即块金值、基台值、变程和空间变异比<sup>[20]</sup>。块金值 $C_0$ 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( $C_0+C$ )是指达到平衡时的或最大的半方差函数值,它反映了变量变化幅度的大小;空间变异比 $C_0/(C_0+C)$ 反映空间变异的随机程度,该比值越大说明由随机因素引起的空间变异性程度越高,而由空间自相关因素引起的空间变异性程度越低,一般当该比值小于0.25时,说明变量具有强烈的空间相关性,比值在0.25—0.75,说明变量具有中等程度的空间相关性,比值大于0.75,说明变量的空间相关性很弱<sup>[8]</sup>;变程 $a$ 是当半方差函数值达到平衡或最高时的距离,它反映了区域化变量的影响范围或空间依赖性的大小。

本研究中,除个别时间某一方向的空间变异曲线属完全随机分布而不能反映4个空间分布参数外,其余时间和方向的空间变异曲线均可用高斯模型<sup>[1]</sup>(公式2)或球状模型<sup>[21]</sup>(公式3)拟合。半变差函数曲线的参数 $C_0$ 、 $C$ 和 $a$ 在高斯模型中已直接给出,对球状模型可通过对方程求导得到。

高斯模型:

$$r(h) = \begin{cases} 0 & h=0 \\ C_0 + C[1 - \exp(-h/a)^2] & 0 < h \leq \sqrt{3} a \\ C_0 + C & h > \sqrt{3} a \end{cases} \quad (2)$$

球状模型:

$$r(h)=\begin{cases} 0 & h=0 \\ C_0+C_1 h+C_2 h^2+C_3 h^3 & 0<h\leq a \\ C_0+C & h>a \end{cases} \quad (3)$$

#### 1.4 空间数据插值

空间分布的区域化变量用克里格插值法生成分布图, 该图可以反映调查样点之间区域化变量的分布状况。克里格插值法是将任一个点的估计值通过该点影响范围内的  $n$  个有效样本值的线形组合得到。设  $Z(v)$  为待估点的值, 在该点附近有  $n$  个已知点  $x_i$ , 其对应的观察值为  $Z(x_i)$ , 当获得了空间变量的半方差函数模型后, 可通过它计算各  $x_i$  的权重  $L_i$ , 用以表示各样点值  $Z(x_i)$  对估计值  $Z(v)$  的贡献, 从而使变量的估计值在点  $v$  处的期望方差最小。待估点的值  $Z(v)$  可由公式 4 计算<sup>[22]</sup>:

$$Z(v)=\sum L_i Z(x_i) \quad (i=1,2, \dots, n) \quad (4)$$

本文基础数据统计及半变差函数的计算与理论模

型的建立在 EXCEL (2003) 和 SPSS 16.0 软件上完成, 克里格插值模拟由地理信息系统软件 Surfer 8.0 实现。

## 2 结果与分析

### 2.1 白背飞虱若虫空间分布数据的统计特征

不同时间白背飞虱若虫数据的统计特征见表 1。由表 1 看出, 从 5 月底到 8 月底水稻栽插至成熟期, 田间白背飞虱若虫密度呈单峰型增长, 峰值出现在水稻拔节末期的 7 月 10 日, 最高密度达 226.67 头/丛, 平均密度为 (64.63±33.81) 头/丛。在水稻生长前期 (5 月 30 日) 和后期 (7 月 20 日以后) 白背飞虱若虫的平均密度和标准差较小, 但变异系数较大; 而在水稻生长中期 (6 月 10 日至 7 月 20 日) 白背飞虱若虫的平均密度和标准差较大, 但变异系数较小。从峰度值和偏度值看, 各调查时间白背飞虱若虫数量均为右偏的分布 (偏度 > 0), 并且偏度越大相应的峰度越高, 亦即分布曲线越陡。

表 1 白背飞虱若虫的描述性统计分析结果

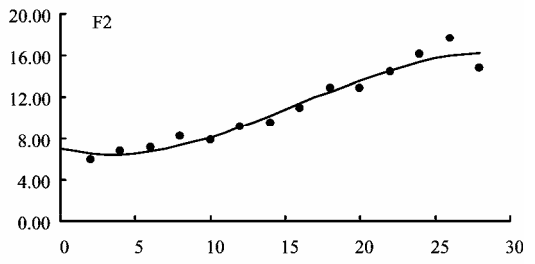
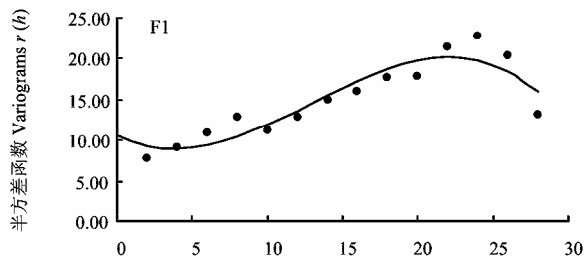
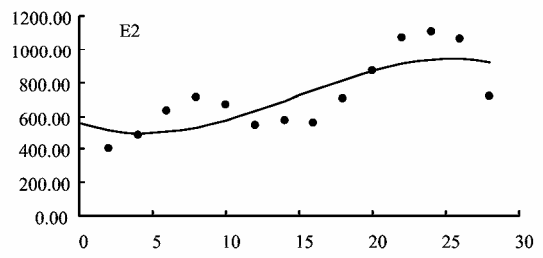
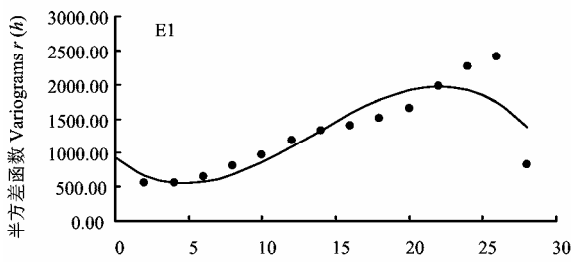
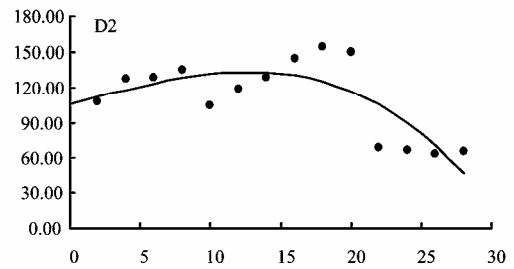
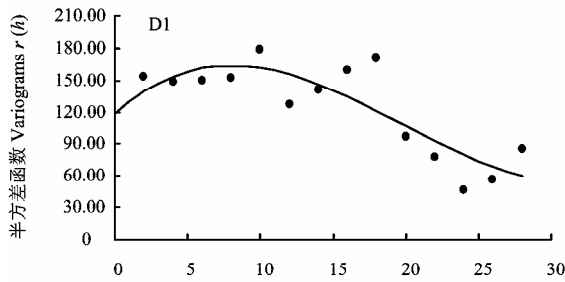
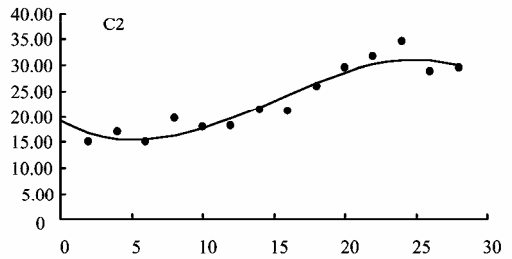
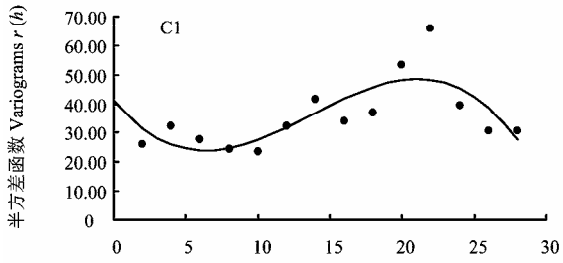
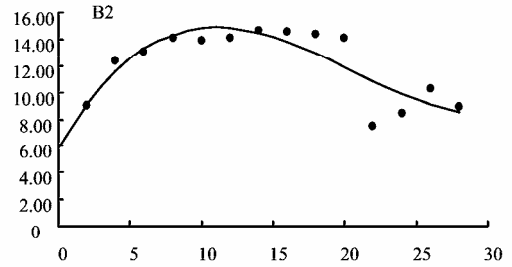
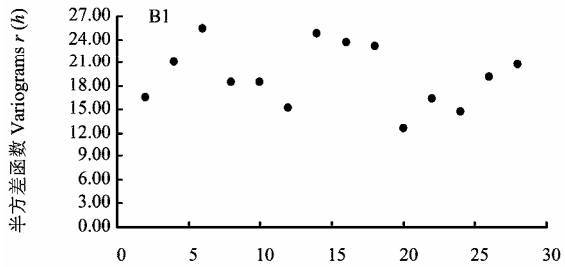
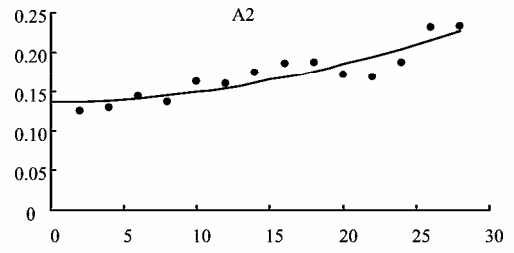
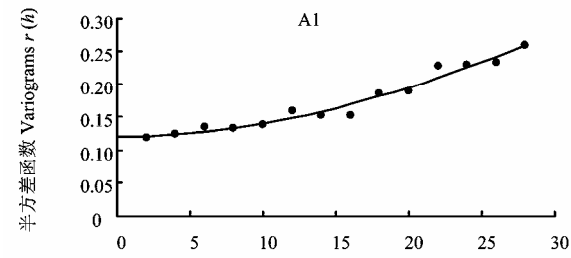
Table 1 Descriptive statistical result of the WBPH nymphs

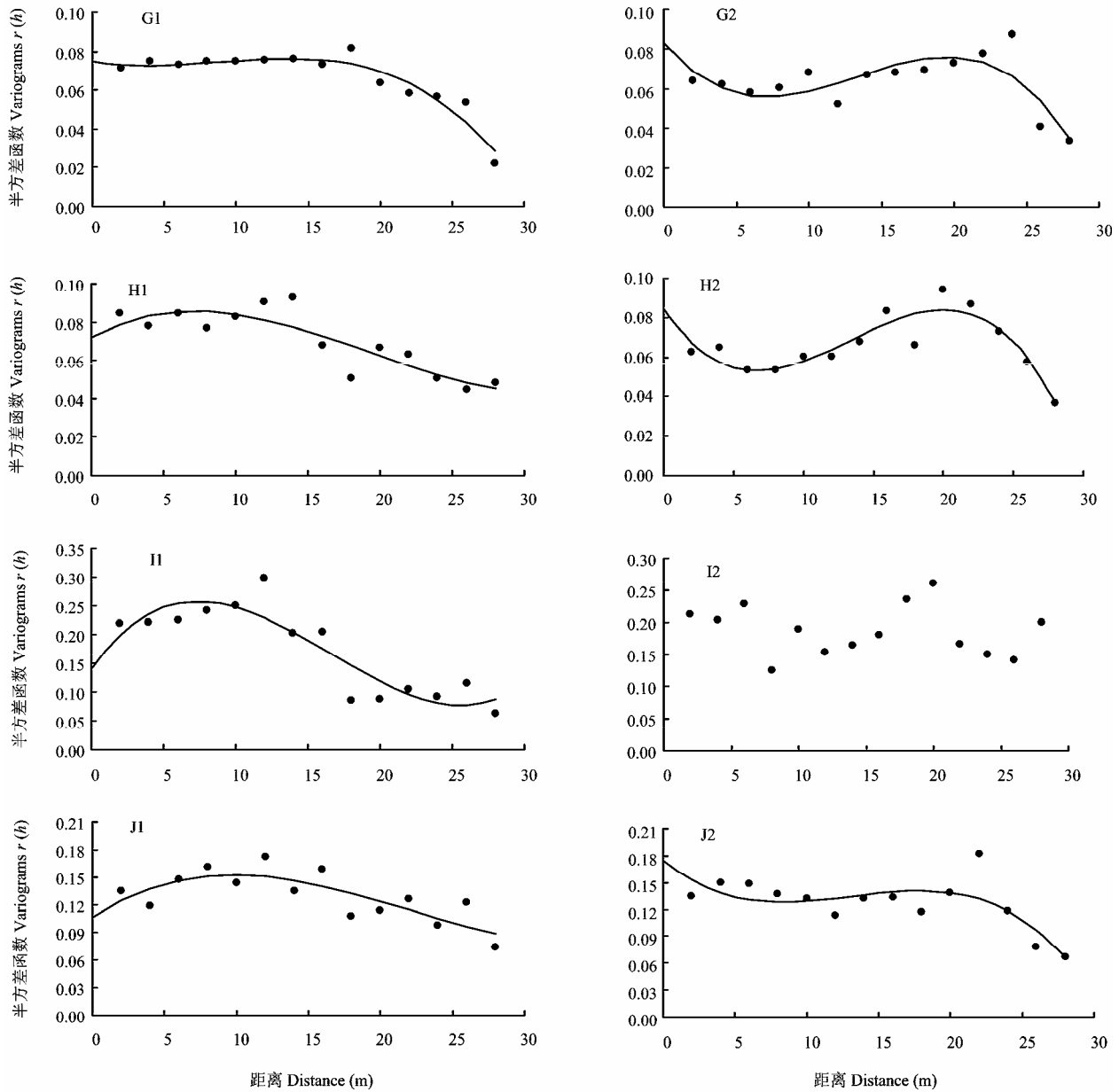
取样时间 Sampling date	平均值 Mean (nymphs/hill)	标准差 SD	变异系数 CV(%)	最小值 Minimum	最大值 Maximum	峰度 Kurtosis	偏度 Skewness
5 月 30 日 30 May	0.38	0.41	107.89	0	2.33	3.64	1.55
6 月 10 日 10 June	8.83	4.44	50.28	2.33	31.67	3.01	1.35
6 月 20 日 20 June	19.20	5.76	30.00	8.33	47	2.64	1.10
6 月 30 日 30 June	26.17	11.92	45.55	11.67	150.33	52.32	5.48
7 月 10 日 10 July	64.63	33.81	52.31	14.33	226.67	2.35	1.23
7 月 20 日 20 July	8.85	3.65	41.24	2.33	22	0.91	0.99
7 月 30 日 30 July	0.16	0.27	168.75	0	1.33	3.30	1.85
8 月 10 日 10 Aug.	0.15	0.27	180.00	0	1.33	4.31	2.03
8 月 20 日 20 Aug.	0.19	0.45	236.84	0	4	27.91	4.47
8 月 30 日 30 Aug.	0.18	0.38	211.11	0	3.33	22.34	3.66

### 2.2 白背飞虱若虫密度的空间变异

根据 2008 年 5 月至 8 月的 10 次调查数据, 按公式 (1) 分别计算不同时间白背飞虱若虫密度在东西、南北 2 个方向上的半变差函数; 根据半变差函数曲线图 (图 1), 除 6 月 10 日的东西方向、8 月 20 日的南北方向白背飞虱若虫种群在田间是随机分布外, 其余时间 2 个方向上的半变差函数曲线均可用高斯模型公式 (2) 或球状模型公式 (3) 拟合, 反映各时间在 2 个方向上的半方差函数拟合模型及其相应参数见表 2。

从表 2 看出, 在时间序列上, 无论是东西方向或是南北方向, 反映空间变异范围大小的基台值 ( $C_0+C$ ) 与白背飞虱密度 (表 1) 的增长趋势完全一致。7 月 10 日白背飞虱若虫密度达到高峰, 平均为 64.63 头/丛, 其基台值最高, 在东西方向和南北方向上分别为 2 902.689 和 1 503.353; 8 月 10 日白背飞虱若虫密度最低, 平均为 0.15 头/丛, 其基台值也最低, 在东西方向上和南北方向上分别为 0.158 和 0.169。这说明在聚集分布情况下, 田间虫口密度越高, 基台值越大, 亦即在相应变程范围内的空间变异越大; 相反, 田间虫





A: 5 月 30 日; B: 6 月 10 日; C: 6 月 20 日; D: 6 月 30 日; E: 7 月 10 日; F: 7 月 20 日; G: 7 月 30 日; H: 8 月 10 日; I: 8 月 20 日; J: 8 月 30 日。1、2 分别表示东西、南北 2 个方向  
 A: 30 May; B: 10 June; C: 20 June; D: 30 June; E: 10 July; F: 20 July; G: 30 July; H: 10 August; I: 20 August; J: 30 August. 1: East-west; 2: South-north

图 1 稻田中不同时间白背飞虱若虫种群东西、南北方向变异函数理论模型图 (2008)

Fig. 1 Variograms of white-backed planthopper nymphs in directions of north to south and west to east in occurrence peak period respectively, in 2008

口密度越低，基台值越小，亦即在相应变程范围内的空间变异越小。就两个方向比较，东西方向基台值的总平均值为 367.50；南北方向的总平均值为 204.16，东西方向的基台值大于南北方向，但就同一时间而言情况有所不同，一般在水稻生长前期（5 月 30 日）和

后期（7 月 30 日及其以后），虫口密度很低，东西方向的基台值小于南北方向；而在水稻生长中期（6 月 10 日—7 月 20 日），虫口密度较大，东西方向的基台值则大于南北方向。

由空间变异的随机程度  $C_0 / (C_0 + C)$ ，除 6 月 10 日

表 2 水稻不同生长期白背飞虱若虫在不同方向上空间结构特点及模型参数 (重庆秀山, 2008)

Table 2 Model parameters and spatial patterns of WBPH nymphs in different directions at different rice growing stages (Xiushan, Chongqing, 2008)

取样时间 Sampling date	理论模型 Model	空间方向 Direction	块金值 Nugget $C_0$	基台值 Still ( $C_0+C$ )	随机程度 Random degree [ $C_0/(C_0+C)$ ]	变程 Range $a(m)$	决定系数 Model $R^2$	分布类型 Pattern
5月30日 30 May	高斯 Gaussian	东西 E-W	0.121	0.821	0.147	59.62	0.968	聚集 Clumped
	高斯 Gaussian	南北 S-N	0.137	0.677	0.202	65.46	0.818	聚集 Clumped
6月10日 10 June	随机 Random	东西 E-W	-	-	-	-	-	随机 Random
	球形 Spherical	南北 S-N	5.864	20.731	0.283	11.03	0.728	聚集 Clumped
6月20日 20 June	球形 Spherical	东西 E-W	41.215	89.796	0.459	21.11	0.606	聚集 Clumped
	球形 Spherical	南北 S-N	19.231	50.333	0.382	25.10	0.908	聚集 Clumped
6月30日 30 June	球形 Spherical	东西 E-W	118.413	282.418	0.419	7.93	0.716	聚集 Clumped
	球形 Spherical	南北 S-N	105.272	238.458	0.441	12.75	0.611	聚集 Clumped
7月10日 10 July	球形 Spherical	东西 E-W	926.533	2902.689	0.319	22.12	0.774	聚集 Clumped
	球形 Spherical	南北 S-N	561.445	1503.353	0.373	25.48	0.617	聚集 Clumped
7月20日 20 July	球形 Spherical	东西 E-W	10.626	30.780	0.345	22.13	0.856	聚集 Clumped
	球形 Spherical	南北 S-N	7.022	23.237	0.302	28.55	0.954	聚集 Clumped
7月30日 30 July	球形 Spherical	东西 E-W	0.075	0.152	0.496	13.64	0.903	聚集 Clumped
	球形 Spherical	南北 S-N	0.083	0.160	0.521	19.50	0.628	聚集 Clumped
8月10日 10 Aug.	球形 Spherical	东西 E-W	0.072	0.158	0.457	7.13	0.763	聚集 Clumped
	球形 Spherical	南北 S-N	0.085	0.169	0.502	19.99	0.816	聚集 Clumped
8月20日 20 Aug.	球形 Spherical	东西 E-W	0.139	0.396	0.351	7.49	0.816	聚集 Clumped
	随机 Random	南北 S-N	-	-	-	-	-	随机 Random
8月30日 30 Aug.	球形 Spherical	东西 E-W	0.107	0.259	0.411	9.75	0.633	聚集 Clumped
	球形 Spherical	南北 S-N	0.175	0.316	0.554	17.85	0.559	聚集 Clumped

E-W: 东西; S-N: 南北 E-W: East-west; S-N: South-north

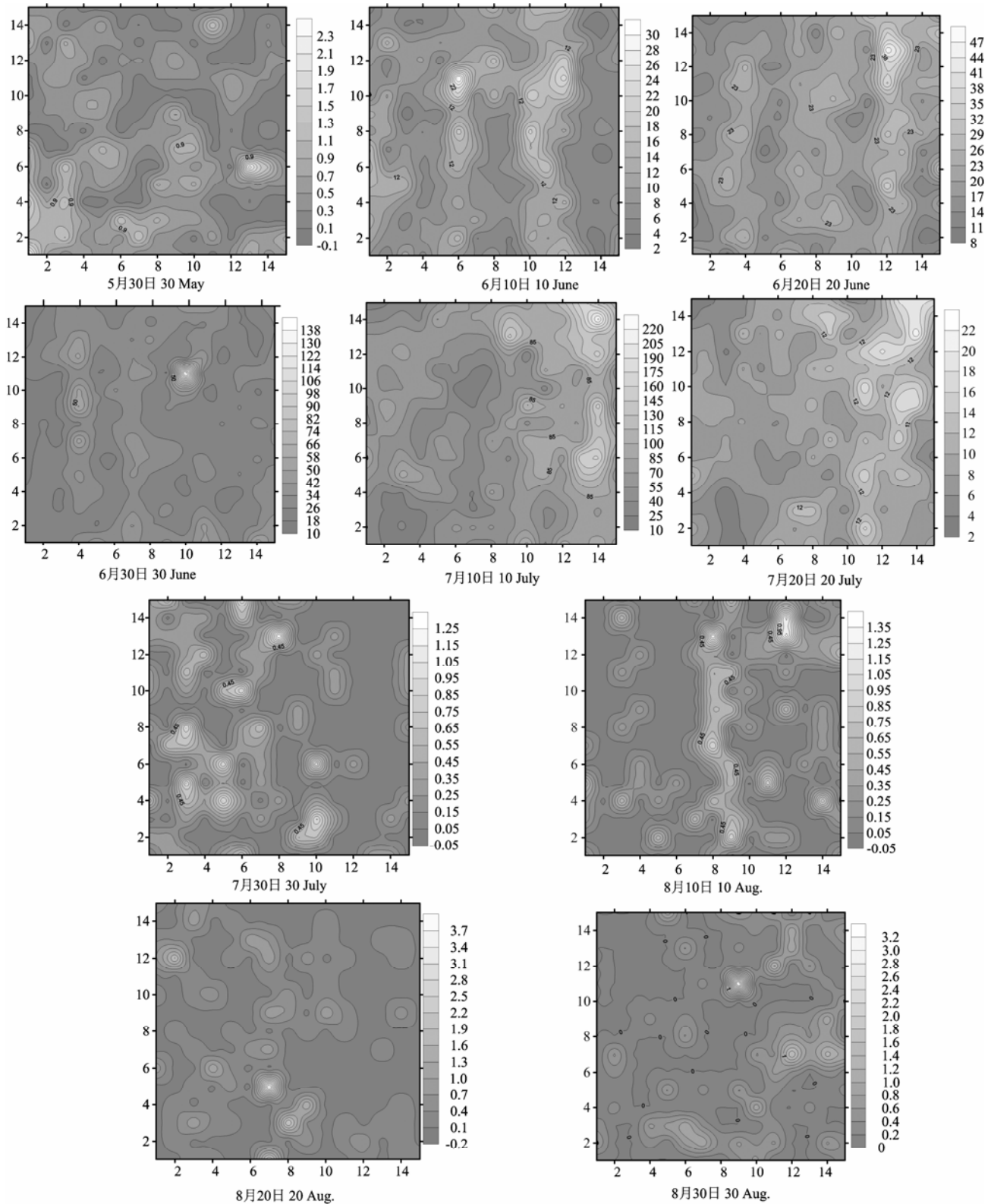
东西方向和8月20日南北方向的空间变异是完全随机的以外, 其余各时间及其2个方向上空间变异的随机程度在14.7%—55.4%, 空间变异的随机程度有随水稻生育期而逐渐增高的趋势, 但在同一时间的2个方向上一般差异不大; 5月30日东西方向和南北方向分别为14.7%和20.2%, 均小于25%, 属强烈空间相关, 其余时间大都在30%—50%, 属中等程度的空间相关。空间变异随机程度的总平均值为38.7%, 根据随机程度和相关程度互补的原理<sup>[1]</sup>, 白背飞虱若虫密度由自相关部分引起的空间变异平均为61.3%。

不同时间的空间相关范围(变程 $a$ )除5月30日较大, 东西方向和南北方向分别为59.62 m和65.46 m外, 其余时间及其2个方向上的空间相关范围在7.13—28.55 m之间, 平均为16.97 m; 与2个方向上基台值的情况相反, 东西方向的变程小于南北方向, 前者平均为18.99 m, 后者平均为25.09 m。在同一调查时间, 与2个方向上基台值的情况也不相同, 所有时间

的空间相关范围, 亦即空间连续性总是东西方向小于南北方向。

### 2.3 白背飞虱若虫种群的空间分布模拟

为了直观地反映秀山县白背飞虱若虫种群在田间的分布特征, 本研究采用克立格插值法绘制了调查田该种群空间分布的等值线图(图2)。由图2看出, 虽然不同时期白背飞虱若虫的种群密度和聚集强度不同, 但是种群在稻田中的聚集斑块很少是圆形的, 南北方向的聚集斑块显著比东西方向的长。聚集斑块的方向性, 正好反映了种群聚集和扩散的方向<sup>[19]</sup>。以种群密度较大的6月10日至7月20日的5次模拟分布图为例可以看出, 在南北方向上呈现较为明显的聚集条带, 而在东西方向上聚集斑块的分布零散而不连接, 这与本文2.2中得出的南北方向的空间连续性大于东西方向的结论一致, 说明在本研究的空间尺度下, 南北方向是白背飞虱若虫种群聚集和扩散的主要方向。



各图横坐标为西向东方向，纵坐标为南向北方向，数值表示样方位点  
 Abscissa means the direction of west to east; Ordinate means the direction of south to north; Numerical means quadrat site

图 2 白背飞虱若虫密度田间种群克里格插值分布图 (2008)

Fig. 2 Kriging maps of spatial pattern of white-backed planthopper nymphs density (nymphs/hill) at different rice growing stages in 2008

### 3 讨论

白背飞虱若虫（特别是低龄若虫）盛发期是对其综合防治的关键时期，本研究专门针对若虫进行研究，为有效防治白背飞虱后期发生提供一定的理论依据。研究表明，在水稻栽插至成熟，田间白背飞虱若虫数量呈单峰型，峰值出现在7月10日左右，这是因为白背飞虱属于迁飞性害虫，迁入次数多，叠代危害比较明显，达到高峰期后，田间小环境不适合其生长繁殖，陆续迁出，导致田间虫口密度显著下降；其中绝大多数调查时间若虫种群空间变异函数均可用球状模型或高斯模型拟合，这2个模型反映的空间分布均为聚集分布，这与林华丘等<sup>[23]</sup>应用传统的聚集度指标分析白背飞虱种群空间格局所得的结论一致。

基台值是应用地统计学方法分析区域化变量变异性程度的重要参数。本研究表明，基台值随种群密度的增高而增大，这几乎是田间害虫呈聚集分布时，空间变异程度与其密度关系的一个共同特点。其原因可从计算半方差函数的公式看出，当种群密度较大时，在空间相关范围内相距为 $h$ 的2个点的种群数量 $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i+h)$ 差异的绝对值一般远远大于种群密度低时的差异绝对值，因此高密度下的半方差函数一般也大于低密度下的半方差函数，与此相应，高密度下的基台值一般也大于低密度下的基台值，这一结论也在众多的研究报道中得到证实<sup>[7,21,24-25]</sup>。

在整个水稻生长期内，白背飞虱若虫空间变异的随机程度在14.7%—55.4%，平均38.7%，与之相应，空间变异的相关程度在85.3%—54.6%，平均61.3%。在水稻生长前期的5月30日，东西方向和南北方向空间变异的随机程度分别为14.7%和20.2%，均小于25%，属强烈的空间相关；其余时间大都在30%—50%，属中等程度的空间相关。空间变异的随机程度有随水稻生育期而逐渐增大，相关程度随水稻生育期而逐渐降低的趋势，但同一时间在东西和南北两个方向上空间变异的随机程度差异不大。

变程是反映区域化变量影响范围大小和空间连续性高低的重要参数<sup>[18]</sup>。本研究表明，除5月30日东西方向和南北方向上的变程较大，分别为59.62 m和65.46 m外，其余时间及其2个方向上的变程在7.13—28.55 m，平均16.97 m。值得特别指出的是，本研究中所有时间在东西方向上的变程总是小于南北方向，前者平均为18.99 m，后者平均为25.08 m，这说明南北方向上的空间影响范围总是大于东西方向，究

其原因，主要是受秀山县南北走向的槽谷地形和西南低涡气流的影响。

对不同时间白背飞虱若虫的空间分布进行克里格插值模拟，能够直观地显示出该种群的密度变化和聚集斑快的大小与方向<sup>[25-26]</sup>，但此方法只能形象地描述白背飞虱若虫种群在空间的相互依赖性及聚集斑快的分布情况，而不能对不同空间分布格局给出具体的聚集指标<sup>[27]</sup>。因此，在利用地统计学方法研究害虫种群空间结构时，常常需要借助传统统计学的分析方法，尤其是在未知研究对象空间分布特征的情况下，可通过经典的理论概率模型拟合或聚集度指标测定为地统计学分析提供指导。

白背飞虱若虫的空间分布格局不仅与其自身的生物学特性有关，如迁入成虫的分布、雌成虫的生殖及扩散状况，而且与水稻的品种、长势、气候条件及所处的环境有关。本研究所选田块为较正规的南北朝向，位于大面积水稻栽种区内，所栽杂交水稻Q优1号，为本地区常栽品种，在整个生长期内气候条件适宜，长势良好，未施用任何农药，较具有代表性。关于白背飞虱迁入成虫的分布对若虫空间分布的影响及二者时空动态变化的关系有待于进一步研究。

### 4 结论

白背飞虱在迁入秀山县稻田后，其后代若虫数量变化呈单峰型，7月10日前后应是本地区白背飞虱防治的关键时期；空间分布主要呈聚集分布，且密度越高，空间变量的变化幅度越大，空间变异的随机程度有随水稻生育期而逐渐增高的趋势。空间插值表明白背飞虱若虫种群在稻田的聚集斑块南北方向比东西方向长，即在研究尺度下，南北方向是白背飞虱若虫种群聚集和扩散的主要方向。

### References

- [1] 冯益明, 唐守正, 李增元. 空间统计分析在林业中的应用. 林业科学, 2004, 40(3): 149-154.  
Feng Y M, Tang S Z, Li Z Y. Application of spatial statistic analysis in forestry. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(3): 149-154. (in Chinese)
- [2] Rossi R E, Mulla D J, Journel A G, Franz E H. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs*, 1992, 62(2): 277-314.
- [3] 周 强, 张润杰, 古德祥. 地质统计学在昆虫种群空间结构研究中的应用概述. 动物学研究, 1998, 19(6): 482-488.  
Zhou Q, Zhang R J, Gu D X. Review of geostatistics in applied insect



- population spatial structure. *Zoological Research*, 1998, 19(6): 482-488. (in Chinese)
- [4] 陈 强, 吴伟坚, 张振飞, 梁广文. 越北腹露蝗若虫空间格局的地统计学分析. *应用生态学报*, 2007, 18(2): 467-470.  
Chen Q, Wu W J, Zhang Z F, Liang G W. Geostatistic analysis of spatial pattern of *Fruhstorferiola tonkinensis* Will (Orthoptera: Catantopidae) nymphs. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(2): 467-470. (in Chinese)
- [5] 季 荣, 谢宝瑜, 李 哲, 李典谟, 孟冬丽. 基于 GIS 和 GS 的东亚飞蝗卵块空间格局的研究. *昆虫学报*, 2006, 49(3): 410-415.  
Ji R, Xie B Y, Li Z, Li D M, Meng D L. Spatial distribution of the oriental migratory locust (Orthoptera: Acrididae) egg pods studied with GIS and GS. *Acta Entomologica Sinica*, 2006, 49(3): 410-415. (in Chinese)
- [6] 于 鑫, 陆永跃, 梁广文, 曾 玲, 林进添. 桔小实蝇雄成虫空间分布的地理统计学分析. *华南农业大学学报*, 2006, 27(2): 28-31.  
Yu X, Lu Y Y, Liang G W, Zeng L, Lin J T. The spatial pattern of *Bactrocera dorsalis* males with geostatistics. *Journal of South China Agricultural University*, 2006, 27 (2): 28-31. (in Chinese)
- [7] 梁文举, 姜 勇, 李 琪. 定位试验地耕层土壤植物寄生线虫空间分布特征. *生态学报*, 2006, 26(1): 33-39.  
Liang W J, Jiang Y, Li Q. Spatial distribution characteristics of plant-parasitic nematodes in cultivated horizon of a site-specific experimental field. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1): 33-39. (in Chinese)
- [8] 蒋勇军, 袁道先, 谢世友, 李林立. 典型岩溶流域土壤有机质空间变异——以云南小江流域为例. *生态学报*, 2007, 27(5): 2040-2047.  
Jiang Y J, Yuan D X, Xie S Y, Li L L. Spatial variability of soil organic matter content in a typical karst watershed: Case study of Xiajiang watershed, Yunnan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (5): 2040-2047. (in Chinese)
- [9] 刘庆年, 刘俊展, 刘京涛, 张路生, 李建庆. 二代棉铃虫种群动态的地统计学分析. *生态学杂志*, 2007, 26 (3): 378-382.  
Liu Q N, Liu J Z, Liu J T, Zhang L S, Li J Q. Geostatistic analysis on population dynamics of second generation cotton bollworm. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(3): 378-382. (in Chinese)
- [10] 袁哲明, 张中霏, 胡湘粤. 基于地统计学的三化螟种群时间格局分析. *中国水稻科学*, 2005, 19 (4): 366-370.  
Yuan Z M, Zhang Z F, Hu X Y. Geostatistical analysis on the temporal patterns of the Yellow Rice Borer, *Tryporyzaincertulas*. *Chinese Journal of Rice Science*, 2005, 19 (4): 366-370. (in Chinese)
- [11] Liebhold A M, Elkinton J S, Zhou G, Hong M E, Rossi R E, Boettner G H, Boettner G W, Burnham C, Mcmanus M L. Regional correlation of gypsymoth (Lepidoptera: Lymantriidae) defoliation with counts of egg masses, pupae and male moths. *Environmental Entomology*, 1995, 24 (2): 193-203.
- [12] Hohn M E, Liebhold A M, Gribko L S. Geostatistical model for forecasting spatial dynamics of defoliation caused by the gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae). *Environmental Entomology*, 1993, 22 (5): 1066-1075.
- [13] Salesa M H, Souza C M, Kyriakidis P C, Roberts D A, Vudal E. Improving spatial distribution estimation of forest biomass with geostatistics: A case study for Rondônia, Brazil. *Ecological Modelling*, 2007, 205: 221-230.
- [14] Pringle M J, Marchant B P, Lark R M. Analysis of two variants of a spatially distributed crop model, using wavelet transforms and geostatistics. *Agricultural Systems*, 2008, 98: 135-146.
- [15] 胡国文, 谢明霞, 汪毓才. 对我国白背飞虱的区划意见. *昆虫学报*, 1988, 31(1): 42-48.  
Hu G W, Xie M X, Wang Y C. One opinion on regionalization of whitebacked planthopper in China. *Acta Entomologica Sinica*, 1988, 31(1): 42-48. (in Chinese)
- [16] 肖晓华, 谢雪梅, 刘 春, 卢福刚. 武陵山区秀山县稻飞虱发生的演变. *现代农业科学*, 2008, 15(2): 36-39.  
Xiao X H, Xie X M, Liu C, Lu F G. The occurrence and development of rice planthoppers in Xiushan county of Wuling mountain area. *Modern Agricultural Sciences*, 2008, 15(2): 36-39. (in Chinese)
- [17] 陈仕高, 石登贵, 谢雪梅, 蒲正国, 刘光杰. 重庆市秀山县稻飞虱发生特点及其原因分析. *昆虫知识*, 2003, 40(2): 179-183.  
Chen S G, Shi D G, Xie X M, Pu Z G, Liu G J. The characteristics and causes of the occurrence of rice planthoppers in Xiushan, Chongqing. *Entomological Knowledge*, 2003, 40(2): 179-183. (in Chinese)
- [18] 王正军, 李典谟, 商晗武, 程家安. 地统计学理论与方法及其在昆虫生态学中的应用. *昆虫知识*, 2002, 39(6): 405-411.  
Wang Z J, Li D M, Shang H W, Cheng J A. Theories and methods of geostatistics and its their application in insect ecology. *Entomological Knowledge*, 2002, 39(6): 405-411. (in Chinese)
- [19] 周国法, 徐汝梅. 生物地理统计学: 生物种群时空分析的方法及其应用. 北京: 科学出版社, 1998: 3-10.  
Zhou G F, Xu R M. *Biogeostatistics: The Method and Application of Space-Time Analysis for Biological Populations*. Beijing: Science Press, 1998: 3-10. (in Chinese)
- [20] 李哈尔滨, 王政权, 王庆成. 空间异质性定量研究理论与方法. *应用生态学报*, 1998, 9(6): 651-657.  
Li H B, Wang Z Q, Wang Q C. Theory and methodology of spatial heterogeneity quantification. *Chinese Journal of Applied Ecology*,

- 1998, 9(6): 651-657. (in Chinese)
- [21] 毕守东, 刘 丽, 高彩球, 邹运鼎, 丁程成, 曹传旺, 刘小林, 孟庆雷. 枣园中枣瘿蚊和草间小黑蛛的空间分布格局及空间依赖性. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2126-2129.
- Bi S D, Liu L, Gao C Q, Zou Y D, Ding C C, Cao C W, Liu X L, Meng Q L. Spatial distribution pattern and space dependence of *Contarinia* sp. and *Erigonidium graminicola* in jujube orchard. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(11): 2126-2129. (in Chinese)
- [22] 周 强, 张润杰, 古德祥. 大尺度下褐飞虱种群空间结构初步分析. 应用生态学报, 2001, 12(2): 249-252.
- Zhou Q, Zhang R J, Gu D X. Spatial structure and pattern of *Nilaparvata lugens* population in large scale. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(2): 249-252. (in Chinese)
- [23] 华丘林, 周岳义, 夏亦秋, 徐梅泉. 白背飞虱不同虫态的空间分布型及变动规律. 应用基础与工程科学学报, 1998, 6(3): 256-260.
- Hua Q L, Zhou Y Y, Xia Y Q, Xu M Q. Study on spatial distribution pattern of various stages of whitebacked planthopper. *Journal of Basic Science and Engineering*, 1998, 6(3): 256-260. (in Chinese)
- [24] 周 强, 张润杰, 古德祥. 白背飞虱在稻田内空间结构的分析. 昆虫学报, 2003, 46(2): 171-177.
- Zhou Q, Zhang R J, Gu D X. Spatial distribution patterns of the white-backed planthopper in rice field. *Acta Entomologica Sinica*, 2003, 46(2): 171-177. (in Chinese)
- [25] 吕昭智, 包安明, 陈 曦, 马英杰, 沈佐锐. 地统计学软件在害虫管理中的应用. 生态学杂志, 2003, 22(6): 132-136.
- Lü Z Z, Bao A M, Chen X, Ma Y J, Shen Z R. Application of geostatistic software in pest management. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(6): 132-136. (in Chinese)
- [26] 王凤花, 张淑娟, 高丽红. 基于 Surfer 软件的田间信息制图与分析. 山西农业大学学报, 2006, 1: 88-90.
- Wang F H, Zhang S J, Gao L H. Analysis and disposal of field information based on surfer. *Journal of Shanxi Agriculture University*, 2006, 1: 88-90. (in Chinese)
- [27] 黄寿山, 胡慧建, 梁广文. 二化螟越冬幼虫空间分布图式的地理统计学分析. 生态学报, 1999, 19(2): 250-253.
- Huang S S, Hu H J, Liang G W. The spatial pattern of diapausing larva of striped rice borer, *Chilo suppressalis* Walker, with geostatistics. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(2): 250-253. (in Chinese)

(责任编辑 毕京翠, 李 莉)