

基于地统计学和 GIS 的首蓿斑蚜种群空间结构分析和分布模拟*

张 蓉^{1,2,*} 冷允法³ 朱猛蒙² 王 芳²

(¹ 宁夏大学农学院, 银川 750021; ² 宁夏农科院植物保护研究所, 银川 750002; ³ 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要 运用地理信息系统(GIS)和地统计学方法对宁夏南部固原市原州区不同时期首蓿斑蚜(*Therioaphis trifolii*)种群的空间结构进行了分析,并采用普通克立格插值法模拟了首蓿斑蚜种群空间分布。结果表明:不同时期首蓿斑蚜种群存在空间相关性,其半变异函数曲线均为指数型,空间格局呈聚集分布,空间变异成分的变化范围为34.13%~48.77%,空间相关范围为8.751~12.049 km,聚集程度和方向有从西南向东北方向聚集的趋势。空间分布模拟图能较好地时间、空间两个角度直观地分析不同时期首蓿斑蚜种群的动态变化,易于确定同一时期首蓿斑蚜的发生位置和发生程度。

关键词 首蓿斑蚜 地统计学 地理信息系统 空间结构 模拟

文章编号 1001-9332(2007)11-2580-06 中图分类号 Q968.1 文献标识码 A

Spatial structure analysis and distribution simulation of *Therioaphis trifolii* population based on geostatistics and GIS. ZHANG Rong^{1,2}, LENG Yun-fa³, ZHU Meng-meng², WANG Fang² (¹ College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; ² Institute of Plant Protection, Ningxia Academy of Agricultural Sciences, Yinchuan 750002, China; ³ Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China). - Chin. J. Appl. Ecol. 2007, 18(11): 2580-2585.

Abstract: Based on geographic information system and geostatistics, the spatial structure of *Therioaphis trifolii* population of different periods in Yuanzhou district of Guyuan City, the southern Ningxia Province, was analyzed. The spatial distribution of *Therioaphis trifolii* population was also simulated by ordinary Kriging interpretation. The results showed that *Therioaphis trifolii* population of different periods was correlated spatially in the study area. The semivariograms of *Therioaphis trifolii* could be described by exponential model, indicating an aggregated spatial arrangement. The spatial variance varied from 34.13%-48.77%, and the range varied from 8.751-12.049 km. The degree and direction of aggregation showed that the trend was increased gradually from southwest to northeast. The dynamic change of *Therioaphis trifolii* population in different periods could be analyzed intuitively on the simulated maps of the spatial distribution from the two aspects of time and space. The occurrence position and degree of *Therioaphis trifolii* to a state of certain time could be determined easily.

Key words: *Therioaphis trifolii*; geostatistics; geographic information system; spatial structure; simulation.

1 引 言

地统计学和 GIS 技术的成熟为生物种群时空动态研究提供了新方法或新工具^[3,22],目前它已经有

效地应用于昆虫种群的时空动态研究^[14,24]。这种方法能最大限度地利用田间调查所提供的各种信息、稀疏或无规律的空间数据,通过空间插值方法,形成在时间序列上的种群分布格局。空间结构分析和插值模拟结合可对某个区域内的生物量进行整体估计,它估计出的量比经典方法更精确,可有效地避免系统误差^[11,24]。该方法在昆虫生态学研究中的应用

* 宁夏回族自治区科技攻关国际合作资助项目(NXIC2006009)。

* * 通讯作者。E-mail: zhangrong_nx@yahoo.com.cn

2006-12-04 收稿,2007-08-15 接受。

主要体现在两方面:在大尺度上可用于大范围的害虫管理^[25],在小尺度上可用于研究昆虫种群空间分布型、扩散距离、天敌和害虫的跟随关系等^[26-79,1226]。

地统计学侧重于区域化变量空间结构的分析、模拟和空间插值, GIS 则侧重于空间显示和查询、影响种群动态的因子分析、可视化种群时空动态模拟等^[16]。目前两者结合的发展趋势非常迅速,优点是能够在丰富的地理背景下处理巨大而复杂的空间信息,可方便地分析昆虫种群在不同环境条件下的空中结构动态。在生态学研究 and 害虫管理实践中,特别是大区域害虫管理策略的制定,往往需要在空间分层的样本中进行插值,从而评价各种防治措施的必要性^[21,25]。

近年来,随着苜蓿(*Medicago sativa*)种植面积的剧增和大面积的连片种植,苜蓿斑蚜(*Therioaphis trifolii*)已成为危害苜蓿的重要害虫之一^[1,10,18-19],其发生和危害呈逐年上升趋势。固原市是宁夏苜蓿的主要种植区域,截至 2005 年 12 月,固原市原州区苜蓿累计留床面积 5 万 hm^2 ,占全市苜蓿总面积的 25%。由于原州区在区域生态条件、气候特点、苜蓿种植分布等各方面具有一定的代表性,对该区域进行苜蓿斑蚜空间结构和分布动态的研究,具有典型的代表意义。鉴于此,运用 GIS 和地统计学相结合的方法,研究了宁夏固原市原州区苜蓿斑蚜不同时期的空间分布格局和空间结构,并模拟了苜蓿斑蚜不同时期种群空间分布,旨在提供直观详细的昆虫空间种群动态信息及变化规律的同时,为深入研究苜蓿斑蚜的分布扩展及区域化预测提供重要依据^[23]。

2 研究地区与研究方法

2.1 自然概况

本研究区域位于宁夏南部的固原市原州区。原州区下设 14 个乡镇,以头营、寨科、三营、河川、彭堡、张易 6 个乡镇的苜蓿种植面积最大,占原州区总种植面积的 61%,故本研究以这 6 个乡镇作为样本重点分布区。研究区属中温带半湿润-半干旱-干旱气候交错的典型地带,海拔 1 470~2 880 m,土地总面积 3 505.91 km^2 ,占固原市土地总面积的 31.1%。地貌以黄土丘陵沟壑为主体,水资源匮乏,干旱持续频繁,年均降水量 350 mm,其中 6—9 月份降水量 326.5 mm,年均气温 7 $^{\circ}\text{C}$ ~9 $^{\circ}\text{C}$ 。由于长期破坏,研究区内森林严重退化,草原成为区内植被主体,主要分布在黄土丘陵区(图 1)。

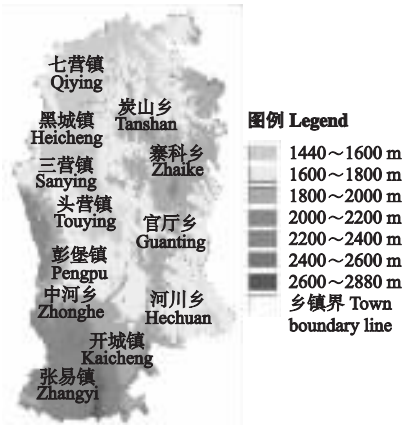


图 1 原州区数字高程图

Fig. 1 Digital altitude map of Yuanzhou.



图 2 采样点分布图

Fig. 2 Distribution of sampling points.

2.2 数据来源

根据苜蓿斑蚜种群发生规律,在 2005 年苜蓿斑蚜发生期(6—7 月)采样 3 次,具体日期为 6 月 4 日、6 月 28 日、7 月 15 日。采用 GPS 定位,在研究区共采集了 197 个样点,样点分布见图 2。每个样点均 5 点取样,每点统计每平方米苜蓿的斑蚜虫口数量,每个样点的数为 5 个取样点的平均值。考虑苜蓿的种植分布,采样方法选择非网格取样。

原始数据通常由于特异值的存在,造成实验半变异函数发生畸变,可将调查数据进行域法处理,使其偏度和峰度降低,统计分布趋向正态^[8]。本研究中,原始数据没有出现特异值,分析直接在原始调查数据基础上进行。

研究使用的资料数据包括研究区行政图、地形图和数字高程图。

2.3 研究方法

2.3.1 空间结构分析 地统计学的方法是基于区域

化变量理论基础的一种空间分析方法. 对于调查的数据系列 $\{z(x_i) \mid i=1, 2, \dots, n\}$, 样本半变异函数 $\gamma(h)$ 可用下式计算:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^k \{z(x_i) - z(x_i + h)\}^2$$

式中 h 是分割两样点的距离; $N(h)$ 是被 h 分割的数据对 $(x_i, x_i + h)$ 的对数; $z(x_i)$ 和 $z(x_i + h)$ 分别是在点 x_i 和点 $x_i + h$ 处样本的测量值. 半变异函数的 3 个重要参数(变程 (a) 、基台值 $(C + C_0)$ 和块金值 (C_0)) 可反映昆虫种群空间格局或空间相关类型, 给出该空间相关范围.

在空间上昆虫种群数量是区域化变量, 因而可用区域化变量理论和方法进行研究. 通过计算斑蚜种群的半变异函数曲线和选择适合的半变异函数模型, 分析苜蓿斑蚜种群的空间格局及空间相关关系. 苜蓿斑蚜空间结构分析在 ArcGIS 9.0 软件平台的 geostatistical analysis 模块上进行.

2.3.2 苜蓿斑蚜半变异函数最优模型的构建 构建半变异函数模型是一个关键步骤. 模型的选择取决于半变异图的性质和特征, 本研究选择的模拟模型为球型模型、指数模型、高斯模型和圆型模型^[4-5], 具体选择时主要根据模拟误差最小原则. 对于一个较好的模型应该满足以下 5 个条件: 平均预测误差 (mean error) 尽可能地接近 0; 均方根误差 (root mean square error, RMSE) 尽可能小; 平均克里格标准差 (average standard deviation) 尽可能地小; 无偏估计 (mean Std, 平均标准差) 尽可能接近 0; 一致性估计 (RMS Std, 均方根标准差) 接近 1^[15].

球型半变异函数说明所研究的种群是聚集分布, 它的空间结构是当样点间隔距离达到变程之前, 样点的空间依赖性随样点间距离的增大而逐渐降低. 指数型半变异函数与球型模型类似, 所研究的种群也是聚集分布, 但其基台值是渐近线. 非水平直线型的半变异函数表明种群是中等程度的聚集分布, 其空间依赖范围超过研究尺度. 水平直线或稍有斜率的半变异函数为随机分布, 块金值等于基台值, 表明在研究尺度下没有空间相关性.

2.3.3 空间分布模拟 在用空间统计学的理论和方法解决未知点性状值的预测或估计问题时, 用 Kriging 插值法定量地分析所采集样本性状值的空间分布特征, 再用半变异函数确定其权重后进行拟合.

根据构建的半变异函数模型进行 Kriging 插值法计算. 本研究采用 Ordinary Kriging 插值法生成空间分布图^[13-20], 并进行空间分布格局分析. 插值及

插值图的生成在 ArcGIS 9.0 软件平台的 Spatial Analysis 模块支持下进行.

3 结果与分析

3.1 苜蓿斑蚜的半变异函数和最优模型的构建

用不同模型拟合半变异函数, 用普通 Kriging 空间插值法计算不同半变异函数模型的误差 (表 1).

由表 1 可以看出: 1) 3 个时期的指数函数模型的平均预测误差和无偏估计均最接近 0; 2) 6 月 4 日和 7 月 15 日的指数函数模型一致性估计最接近 1; 3) 6 月 28 日的高斯模型的一致性估计最接近 1; 3) 3 个时期的指数函数模型均方根误差均最小; 4) 6 月 4 日和 7 月 15 日的指数函数模型平均克里格标准差最小; 6 月 28 日高斯模型的最小. 因此, 3 个时期苜蓿斑蚜的空间结构最符合指数函数模型.

3.2 苜蓿斑蚜的空间结构

苜蓿斑蚜种群数量的空间分析结果表明 (表 2、图 3), 其数量在不同发生时期都显示了明显的空间结构, 空间分布类型均为聚集格局, 都存在一定的空间相关性和明显的结构性. 说明种群分布具有空间连续性, 且随着距离的延长, 其强度变化幅度减少.

表 1 用普通 Kriging 空间插值法计算的不同半变异函数模型的误差

Tab. 1 Error of different semivariogram models with ordinary Kriging interpolation (2005)

取样日期 Sampling date	模型类型 Model type	平均预测误差 Mean error	均方根误差 RMSE	平均克里格标准差 Average standard deviation	无偏估计 Mean Std	一致性估计 RMS Std
06.04	球型 Spherical	3.86	1524	1453	-0.0045	1.057
	指数 Exponential	-1.48	1480	1403	-0.0011	1.043
	高斯 Gaussian	-11.21	1603	1445	-0.0085	1.094
	圆型 Circular	-2.97	1517	1393	-0.0039	1.084
06.28	球型 Spherical	-5.20	981	1065	-0.0050	0.935
	指数 Exponential	-2.40	976	1062	-0.0028	0.934
	高斯 Gaussian	-9.00	986	1037	-0.0077	0.968
	圆型 Circular	-7.40	987	1068	-0.0069	0.937
07.15	球型 Spherical	4.07	783	687	0.0065	1.133
	指数 Exponential	3.04	781	681	0.0055	1.131
	高斯 Gaussian	6.18	794	703	0.0088	1.131
	圆型 Circular	4.09	784	684	0.0065	1.137

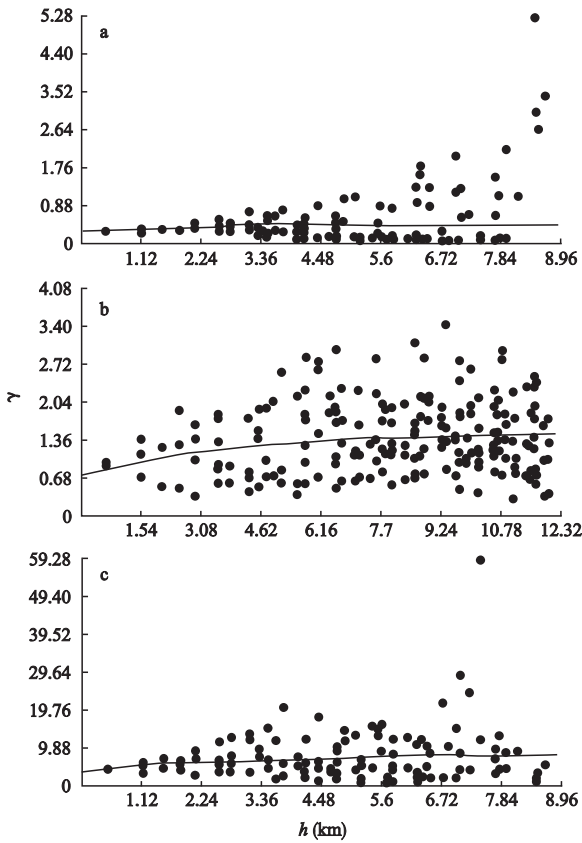


图 3 不同时期首蓆斑蚜种群的半变异函数曲线

Fig. 3 Semivariograms curve for *T. trifolii* at different time.

a) 2005-06-04; b) 2005-06-28; c) 2005-07-15. 下同 The same below.

表 2 不同时期首蓆斑蚜种群数量的半变异函数模型参数及空间格局

Tab. 2 Model parameters of semivariograms and spatial pattern for *T. trifolii* at different time

日期 Date	模型类型 Model type	变程 Range α (km)	块金常数 Nugget C_0	基台值 Sill $C_0 + C$	空间变 异程度 Variance $C_0 /$ $(C_0 + C)$ (%)	空间格局 Pattern
06.04	指数 Exponential	8.751	0.157	0.460	34.13	聚集分布 Aggregation
06.28	指数 Exponential	12.049	0.723	1.501	48.77	聚集分布 Aggregation
07.15	指数 Exponential	8.751	3.896	8.446	46.13	聚集分布 Aggregation

在 2005 年 6 月 4 日(发生初期),首蓆斑蚜的空间变异程度为 34.13%,聚集程度较高,种群空间相关范围为 8.751 km(图 3a),即首蓆斑蚜在直径为 8.751 km 的区域中能相互影响。6 月 28 日首蓆斑蚜种群密度达到最高,种群相关范围为 12.049 km(图 3b),空间变异程度也随之上升为 48.77%。7 月 15 日首蓆斑蚜的空间结构与发生初期相似,相关范围为 8.751 km(图 3c),但空间变异程度依旧稳定为 46.13%,而块金常数(C_0)和基台值($C_0 + C$)分别达

3.896 和 8.446,说明首蓆斑蚜在这个时期的变异幅度较大,随机性因素占有一定比例。

以上分析表明首蓆斑蚜的分布有较强的距离相关性,在较大范围内(8.751 ~ 12.049 km),田间种群呈聚集分布,不同时期的聚集程度均大于 50%。

3.3 首蓆斑蚜的空间分布模拟

在空间相关性分析的基础上,基于指数模型进行普通 Kriging 插值,模拟不同时期首蓆斑蚜的空间分布。这种模拟不是简单的距离加权,而是建立在对整个研究区域所有样点的空间相关分析基础上,比较各种方法和模型后确定的,其模拟误差最小(表 1),模拟精确度较高。

由图 4 可以看出,首蓆斑蚜种群在不同时期都表现出明显的片状和斑块分布特点,呈聚集分布的空间格局,而各期的聚集程度随其空间相关成分所占比例的不同而不同。6 月 4 日的空间模拟图显示该期间种群聚集程度最高(图 4a),与空间结构分析结果相符,南北走向形成 2 个高值斑块。6 月 28 日首蓆斑蚜种群空间分布沿每一个方向相对均匀,形成近似南北走向的 3 个高值斑块(图 4b),空间差异程度上升。7 月 15 日空间差异程度基本不变,明显形成 2 个斑块(图 4c)。随着时间的延长,其聚集程度和方向有从西南向东北聚集的趋势。

从空间模拟地图上可明显地看出首蓆斑蚜种群的田间分布动态和扩散趋势。6 月 4 日斑蚜相对聚集,主要集中在原州区西部和北部区域,西部头营镇和彭堡镇的虫口密度均超过 1 000 头·m⁻²,其中,近 40% 的区域斑蚜严重发生,虫口密度达 2 000 ~ 4 400 头·m⁻²,北部甘城乡个别区域甚至达到 4 400 ~ 8 000 头·m⁻²,这可能与该区域海拔(< 1 500 m)相对较低和处于半干旱平原区有关。其它区域虫口密度都低于 1 000 头·m⁻²,特别是东部高海拔(> 2 000 m)山地丘陵区基本低于 500 头·m⁻²,发生较轻。6 月 28 日斑蚜在研究区普遍发生,除东部部分区域低于 500 头·m⁻²以外,原州区大部分区域蚜量范围在 500 ~ 5 797 头·m⁻²,其中约 70% 区域的蚜量为 1 000 ~ 4 400 头·m⁻²。7 月 15 日,斑蚜虫口密度整体明显降低,除东北部蚜量达 1 000 ~ 2 000 头·m⁻²,绝大部分区域蚜量在 1 000 头·m⁻² 以下,其中头营镇和彭堡镇、官厅乡等中部区域蚜量下降到 250 头·m⁻² 以下。

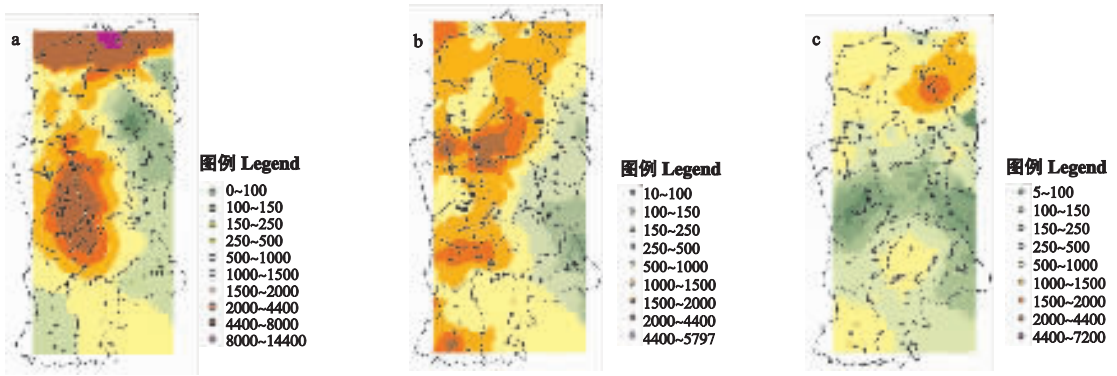


图4 不同时期苜蓿斑蚜种群数量的 Kriging 插值分布图

Fig. 4 Maps of Kriging estimates for *T. trifolii* at different time (hed · m⁻²).

4 结 论

在本研究区域内,苜蓿斑蚜田间种群的空间结构为聚集分布,其半变异函数为指数型,变程在 8.751 ~ 12.049 km 之间,并且聚集程度和方向有从西南向东北聚集的趋势.不同时期苜蓿斑蚜田间种群的空间结构有一定的差异,在发生初期聚集程度最高.理论拟合程度较好,比较真实地反映了苜蓿斑蚜田间空间格局分布.

通过对不同发生时期苜蓿斑蚜虫口密度的分布模拟,可从时空两个角度直观地分析害虫动态变化,既可定性判断和定量分析斑蚜在不同时期的发生程度及变化,又可确定同一时期斑蚜在空间上的分布及重发地的位置和范围,同时还提供了空间连续的数量分布及详细的地理环境信息.需要进一步认识的是害虫空间分布的模拟并不只是了解害虫的动态信息,更重要的是揭示害虫时空动态的内在机制^[17],并为害虫的宏观管理和预警奠定基础.影响害虫种群动态的因子较多,其中包括所在区域的地理位置、地势、海拔、地貌、气象(如温度和降雨)以及天敌、耕作栽培等^[2, 25, 27],这些都会直接或间接地影响害虫种群数量的变化.因此,结合地理和气象等因子对害虫时空分布及其动态变化的研究还有待深入探讨.

参考文献

- [1] Baird CR, Homan HW. 1994. Idaho Insect Control Recommendations for Alfalfa Seed Production. Idaho: University of Idaho Cooperative Extension System.
- [2] Bi S-D (毕守东), Zou Y-D (邹运鼎), Geng J-G (耿继光), et al. 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)
- [3] Burrough PA. 1986. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford: Oxford University Press
- [4] Cliff AD, Ord JK. 1981. Spatial Processes: Models and Applications. London: Pion Ltd
- [5] Ding Y-Q (丁岩钦). 1994. Entomological Mathematics Ecology. Beijing: Science Press (in Chinese)
- [6] Liebhold AM, Simons EE, Sior A, et al. 1993. Geostatistical and geographic information systems in applied insect ecology. *Annual Review of Entomology*, **38**: 307-327
- [7] Liebhold AM, Zhang X, Hohn ME, et al. 1991. Geostatistical analysis of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) egg mass populations. *Environmental Entomology*, **20**(5): 1407-1417
- [8] Liu F-C (刘付程), Shi X-Z (史学正), Yu D-S (于东升). 2004. Mapping soil properties of the typical area of Taihu Lake watershed by geostatistics and geographic information on systems: A case study of total nitrogen in topsoil. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), **41**(1): 20-27 (in Chinese)
- [9] Lu Y-Y (陆永跃), Liang G-W (梁广文). 2002. The spatial pattern of the cotton bollworm eggs with geostatistics. *Journal of Huazhong Agricultural University* (华中农业大学学报), **21**(1): 13-17 (in Chinese)
- [10] Orloff SB, Carlson HC. 1997. Intermountain Alfalfa Management. California: California University Press
- [11] Rossi RE, Mulla DJ, Journel AG, et al. 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs*, **62**: 277-314
- [12] Shi G-S (石根生), Li D-M (李典谟). 1997. Geostatistics analysis of spatial pattern of *Dendrolimus punctatus*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **8**(6): 612-616 (in Chinese)
- [13] Su S (苏 姝), Lin A-W (林爱文), Liu Q-H (刘庆华). 2004. Ordinary Kriging algorithm applied for interpolation. *Journal of Southern Yangtze University* (Natural Science) (江南大学学报·自然科学版), **3**(1): 18-21 (in Chinese)
- [14] Wang Z-J (王正军), Cheng J-A (程家安), Zhu Z-R (祝增荣). 2000. Geographic information system and its application in integrated pest management. *Acta Agri-*

- culturae Zhejiangensis* (浙江农业学报), **12**(4):233-238 (in Chinese)
- [15] Wang Z-J (王正军), Li D-M (李典谟), Xie B-Y (谢宝瑜). 2004. Analysis on spatial distribution and dynamics of *Helicoverpa armigera* (Hubner) eggs, based on GIS and GS. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), **47**(1):33-40 (in Chinese)
- [16] Yuan Z-M (袁哲明), Fu W (付威), Li F-Y (李方一). 2004. Spatial distribution pattern of *Chilo suppressalis* analyzed by classical method and geostatistics. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **15**(4):610-614 (in Chinese)
- [17] Yuan Z-M (袁哲明), Li F-Y (李方一), Hu X-Y (胡湘粤), et al. 2006. Geostatistical analysis on temporal patterns of *Chilo suppressalis* population. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **17**(4):673-677 (in Chinese)
- [18] Zhang G-X (张广学), Zhong T-S (钟铁森). 1983. Economic Insect Fauna of China (Vol. 25). Homoptera: Aphidina. Beijing: Science Press (in Chinese)
- [19] Zhang R (张蓉), Ma J-H (马建华), Wang J-H (王进华), et al. 2003. The occurrence and control strategy of alfalfa diseases and insects in Ningxia. *Practical Science* (草业科学), **20**(6):40-44 (in Chinese)
- [20] Zhang R-J (张润杰), Zhou Q (周强), Chen C-X (陈翠贤), et al. 2003. Application of ordinary kriging method in entomologic ecology. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **14**(1):90-92 (in Chinese)
- [21] Zhang R-J (张润杰), Zhou Q (周强), Gu D-X (古德祥). 1998. Analysis on spatial structure and pattern of *Nilaparvata lugens* population in rice field. *Journal of Southwest Agricultural University* (西南农业大学学报), **20**(5):450-455 (in Chinese)
- [22] Zhou G-F (周国法), Xu R-M (徐汝梅). 1998. Research on the Biogeostatistics. Beijing: Science Press (in Chinese)
- [23] Zhou L-Y (周立阳), Gao Z-X (高增祥), Li D-M (李典谟). 2001. The ecological basis and applied technologies on forecasting insect pests population dynamics. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **21**(6):1013-1019 (in Chinese)
- [24] Zhou Q (周强), Zhang R-J (张润杰), Gu D-X (古德祥). 1998. Review of geostatistics applied in insect population spatial structure. *Zoological Research* (动物学研究), **19**(6):482-488 (in Chinese)
- [25] Zhou Q (周强), Zhang R-J (张润杰), Gu D-X (古德祥), et al. 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)
- [26] Zhou Q (周强), Zhang R-J (张润杰), Gu D-X (古德祥). 2003. Spatial distribution patterns of the white-backed planthopper in rice field. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), **46**(2):171-177 (in Chinese)
- [27] Zou Y-D (邹运鼎), Bi S-D (毕守东), Wang X-S (王祥胜), et al. 2001. Geostatistical analysis on spatial pattern of *Macrosiphum granarium* and *Aphidius*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **12**(6):887-891 (in Chinese)

作者简介 张蓉,女,1966年生,博士,研究员。主要从事草原昆虫生态学和害虫综合防治研究,发表论文30余篇。E-mail: zhangrong_nx@yahoo.com.cn

责任编辑 杨弘
