

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第13期 Vol.32 No.13 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 32 卷 第 13 期 2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

砂质潮间带自由生活海洋线虫对缺氧的响应——微型受控生态系研究.....	华 尔, 李 佳, 董 洁, 等 (3975)
植物种群自疏过程中构件生物量与密度的关系	黎 磊, 周道玮, 盛连喜 (3987)
基于景观感知敏感度的生态旅游地观光线路自动选址.....	李继峰, 李仁杰 (3998)
基于能值的沼气农业生态系统可持续发展水平综合评价——以恭城县为例.....	杨 谨, 陈 彬, 刘耕源 (4007)
内蒙古荒漠草原植被盖度的空间异质性动态分析.....	颜 亮, 周广胜, 张 峰, 等 (4017)
典型草地的土壤保持价值流量过程比较.....	裴 厦, 谢高地, 李士美, 等 (4025)
长沙市区马尾松人工林生态系统碳储量及其空间分布.....	巫 涛, 彭重华, 田大伦, 等 (4034)
厦门市七种药用植物根围 AM 真菌的侵染率和多样性	姜 攀, 王明元 (4043)
Cd、低 Pb/Cd 下冬小麦幼苗根系分泌物酚酸、糖类及与根际土壤微生物活性的关系	贾 夏, 董岁明, 周春娟 (4052)
凉水保护区土壤产类漆酶-多铜氧化酶细菌群落结构	赵 丹, 谷惠琦, 崔岱宗, 等 (4062)
盐渍化土壤根际微生物群落及土壤因子对 AM 真菌的影响.....	卢鑫萍, 杜 茜, 闫永利, 等 (4071)
菌丝室接种解磷细菌 <i>Bacillus megaterium</i> C4 对土壤有机磷矿化和植物吸收的影响.....	张 林, 丁效东, 王 菲, 等 (4079)
闽江河口不同河段芦苇湿地土壤碳氮磷生态化学计量学特征.....	王维奇, 王 纯, 曾从盛, 等 (4087)
高山森林三种细根分解初期微生物生物量动态.....	武志超, 吴福忠, 杨万勤, 等 (4094)
模拟降水对古尔班通古特沙漠生物结皮表观土壤碳通量的影响	吴 林, 苏延桂, 张元明 (4103)
铁皮石斛组培苗移栽驯化过程中叶片光合特性、超微结构及根系活力的变化	濮晓珍, 尹春英, 周晓波, 等 (4114)
不同产量水平旱地冬小麦品种干物质累积和转移的差异分析.....	周 玲, 王朝辉, 李富翠, 等 (4123)
基于作物模型的低温冷害对我国东北三省玉米产量影响评估.....	张建平, 王春乙, 赵艳霞, 等 (4132)
黄土高原 1961—2009 年参考作物蒸散量的时空变异.....	李 志 (4139)
莫莫格湿地芦苇对水盐变化的生理生态响应.....	邓春暖, 章光新, 李红艳, 等 (4146)
不同蚯蚓采样方法对比研究.....	范如芹, 张晓平, 梁爱珍, 等 (4154)
亚洲玉米螟成虫寿命与繁殖力的地理差异.....	涂小云, 陈元生, 夏勤雯, 等 (4160)
黑河上游天然草地蝗虫空间异质性与分布格局.....	赵成章, 李丽丽, 王大为, 等 (4166)
苦瓜叶乙酸乙酯提取物对斜纹夜蛾实验种群的抑制作用.....	骆 颖, 凌 冰, 谢杰峰, 等 (4173)
长江口中国花鲈食性分析.....	洪巧巧, 庄 平, 杨 刚, 等 (4181)
基于线粒体控制区序列的黄河上游厚唇裸重唇鱼种群遗传结构.....	苏军虎, 张艳萍, 娄忠玉, 等 (4191)
镉暴露对黑斑蛙精巢 ROS 的诱导及其蛋白质氧化损伤作用机理	曹 慧, 施蔡雷, 贾秀英 (4199)
北方草地牛粪中金龟子的多样性.....	樊三龙, 方 红, 高传部, 等 (4207)
合肥秋冬季茶园天敌对假眼小绿叶蝉和茶蚜的空间跟随关系.....	杨 林, 郭 骅, 毕守东, 等 (4215)
植被、海拔、人为干扰对大中型野生动物分布的影响——以九寨沟自然保护区为例.....	张 跃, 雷开明, 张语克, 等 (4228)
基于社会网络分析法的生态工业园典型案例研究.....	杨丽花, 佟连军 (4236)
基于生命周期的户用沼气系统可用能核算——以广西恭城瑶族自治县为例.....	齐 静, 陈 彬, 戴 婧, 等 (4246)
专论与综述	
水文情势与盐分变化对湿地植被的影响研究综述	章光新 (4254)
松嫩碱化草甸土壤种子库格局、动态研究进展	马红媛, 梁正伟, 吕丙盛, 等 (4261)
一种新的景观扩张指数的定义与实现	武鹏飞, 周德民, 官辉力 (4270)
研究简报	
华山新麦草光合特性对干旱胁迫的响应.....	李 倩, 王 明, 王雯雯, 等 (4278)
美丽海绵提取物防污损作用.....	曹文浩, 严 涛, 刘永宏, 等 (4285)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-07



封面图说: 涵养水源——在长白山南坡的峭壁上, 生长在坡面上的森林所涵养的水源还在汨汨地往下流个不停, 深红色的落叶掉在了苔藓上, 这里已经是长白山的深秋了。虽然雨季已经过去了很久, 但是林下厚厚的枯枝落叶层、腐殖质层、苔藓草本层所涵养的水分还在不间断地流淌, 细细的水线在壁下汇成了溪、汇成了河。涵养水源是森林的主要生态功能之一。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201105250693

赵成章, 李丽丽, 王大为, 殷翠琴, 盛亚萍. 黑河上游天然草地蝗虫空间异质性与分布格局. 生态学报, 2012, 32(13): 4166-4172.

Zhao C Z, Li L L, Wang D W, Yin C Q, Sheng Y P. Analysis on grasshopper spatial heterogeneity and pattern of natural grass in upper reaches of Heihe. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(13): 4166-4172.

黑河上游天然草地蝗虫空间异质性与分布格局

赵成章*, 李丽丽, 王大为, 殷翠琴, 盛亚萍

(西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘要:蝗虫空间分布格局是物种长期适应自然的结果, 是蝗虫与环境、蝗虫之间关系的反映, 有助于理解蝗虫发生学的环境背景。采用地统计学方法, 在黑河上游山区天然草地研究了微生境影响下的蝗虫空间格局与异质性。结果表明: 该区域 5 种优势种蝗虫的半变异函数模型均为非线性模型, 表现为聚集分布; 不同种类蝗虫样点之间空间依赖的范围为 2.29—24.59 m; 在蝗虫种群总异质性中随机部分引起的空间异质性占 15.77%—88.64%。受食性和栖息地选择的影响, 蝗虫种群形成了片状和斑块状的分布格局; 尺度依赖性使蝗虫分布格局趋于多元化和繁杂化的特点, 不同蝗虫种群之间相互交错嵌插, 同种蝗虫高低值呈非均匀扩散, 整体上形成了均衡性与互补性的斑块镶嵌结构, 这种分布格局反映了蝗虫对生境和气候变化的多元适应性结构。

关键词:蝗虫; 分布格局; 空间异质性; 地统计学; 黑河上游

Analysis on grasshopper spatial heterogeneity and pattern of natural grass in upper reaches of Heihe

ZHAO Chengzhang*, LI Lili, WANG Dawei, YIN Cuiqin, SHENG Yaping

College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

Abstract: Grasshopper species spatial distribution pattern is the result of natural long-term adaptation, and a reflection of the relationship between grasshoppers and the environment. The spatial heterogeneity is an important theory basis to recognize the dynamic characteristics of the population development. To study the spatial distribution pattern of grasshoppers in natural grassland of heihe upstream in a quantitative research method, to analyze the spatial distribution characteristics of dominant species, then to determine the spatial structure features of grasshopper population and the spatial autocorrelation, all of what provided the theory basis to understand the ecological explanation of grasshoppers occurrence and distribution. On July 25, August 5, August 15, 2009, in the Baidaban, which locates at the south side of theater circles river- Heihe branch of north Qilian Mountain, a north-south investigation area with length of 3500m, width of 900m was set up along altitudinal gradients, combined with the survey data of wild vegetation communities, then 3—8 investigation plots were set in each type of grassland, and finally 36 representative kinds were chose out with each kind of 100 × 100 m², extracting three 50 m × 50 m rectangle sample point in double diagonal method from each standard plots, a total of 108 sample points. To take samples 3 times with no returns, each time with the insect net (net diameter 30cm) which were used to sweep 200 nets like parallel lines, each net with radian 180°, then collected grasshopper's abundance, density, many degrees in each type place according to each sample point's three statistical average. We tested the data using the statistical software SPSS (16.0) of the P-P normal probability graph method, and analyzed the grasshoppers regionalized variables space structure,

基金项目:国家自然科学基金(91125014, 40971039); 甘肃省科技支撑计划项目(1011FKCA157); 甘肃省高校基本科研业务费项目共同资助

收稿日期:2011-05-25; **修订日期:**2012-03-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaocz@nwnu.edu.cn

simulation and spatial interpolation with statistic method in ArcGIS for the analysis of the grasshopper spatial distribution pattern, then calculated the space heterogeneity using a half variation function method. The results showed that: the dominant five kinds of grasshoppers in this region's semivariogram models are nonlinear models, showing aggregated distribution; different types of spatial dependence between samples of grasshoppers in the range of 2.29—24.59m; in the grasshopper population heterogeneity in the random part of the total due to spatial heterogeneity accounted for 15.77%—88.64%. Influenced by diet and habitat selectivity, the distribution pattern of grasshopper populations are flaky and patchy pattern of horizontal distribution in their formation process. Scale dependence of the grasshoppers become diversified and complex distribution pattern of the characteristics of cross between different species of grasshoppers intercalation, the same kinds of grasshoppers was non-uniform spread of high and low values the overall balance of the formation of a plaque inlaid with complementary structure, this distribution pattern reflects the grasshopper habitats and climate change on the diversity of adaptive structures. Grasshopper species spatial distribution pattern is the result of natural long-term adaptation, grasshoppers and the environment, a reflection of the relationship between grasshoppers, grasshoppers is to recognize the spatial heterogeneity of grasshopper population dynamics of the occurrence and development an important theoretical basis, taking quantitative research of Heihe River upstream of the natural populations of grasshoppers spatial distribution pattern, analysis of spatial distribution of dominant species of grasshoppers, grasshopper populations to determine the spatial structure and spatial autocorrelation, for understanding the occurrence and distribution of grasshopper environmental studies provide a theoretical basis to explain.

Key Words: grasshoppers; spatial pattern; spatial heterogeneity; geo-statistic; upper reaches of Heihe

不同时空尺度上生物物种的分布格局以及组成规律,是生态学的基本问题之一^[1]。种群分布格局研究不仅可以揭示种群内和种群间的空间结构,也是抽样技术的理论基础,同时也是制定和完善害虫防治策略的前提之一。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^[2-3],而地质统计学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间相关变量的理论和方法,它研究的对象是那些分布于空间中并显示出一定结构和随机性的自然现象。事实上,自然环境或生物等变量大多并不是纯随机变量,而是既有随机性,又有结构性(指在空间分布上有某种程度的相关性或连续性)的变量^[4-5],因而地统计学比经典生物统计学更精确,更具有现实性意义。

蝗虫的空间异质性是认识蝗虫种群发生发育动态特性的重要理论基础,能够揭示蝗虫发生的环境学机理。目前,运用地统计学分析蝗虫空间格局已成为研究蝗虫的一个热点,大量文献围绕半变异函数模型^[6]、分布型判定^[7]和空间相关距离^[8-9](变程)等问题展开了深入研究,而蝗虫种群格局的研究主要集中在蝗卵、蝗蝻分布的空间尺度依赖性和模型方面^[10-11],而对天然草地优势蝗虫种群的空间分布格局,特别是对中小尺度上的聚集程度、空间变异程度等方面的研究相对较少。而对天然草地优势蝗虫种群空间分布格局的异质性特征及其生态学成因缺乏深入了解。鉴于此,本文采用地学统计方法,对黑河上游天然草地蝗虫种群的空间分布格局进行定量化研究,分析了优势种蝗虫空间分布特征,确定了蝗虫种群的空间结构特征及空间自相关性,从而为认识蝗虫发生和分布的环境学解释提供理论依据。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

研究区位于祁连山北坡黑河支流梨园河南侧的白大坂草原(38°48'0"—38°49'50"N, 99°37'15"—99°39'0"E),海拔2400—2800 m,属于典型的大陆性气候,同时又具有水热垂直地带性变化的山地气候特点,年平均气温1—2.5℃,7月均温14℃,1月均温-12.5℃,≥0℃积温为1400—1688℃,年均降水量270—350 mm,降水主要集中在6—8月。土壤以栗钙土和黑钙土为主,受地势起伏的影响,植被分布具有明显的垂直分异性,植被以旱生多年生禾本科植物和湿中生灌木为主。多样的植被类型为草地蝗虫种群提供了异质性的生存

和繁殖生境,造就了丰富的生物多样性。

1.2 样地设置

研究区属于祁连山中山区,包括荒漠草原、山地草原和山地草甸草地 3 个地类和 7 个草地型^[12]。为了满足不同草地类型的蝗虫生境多样性特征,沿海拔梯度设置了一个南北长 3500 m,东西宽 900 m 的调查区,结合野外植被群落调查资料,在每个草地型设置调查样方 3—8 个,共选择具有代表性的样地 36 个。每个样地面积 100 m×100 m,每一样地内采用双对角线法抽取 3 个 30 m×30 m 的长方形样点,共 108 个样点。于 2009 年 7 月 25 日、8 月 5 日、8 月 15 日在各样地分 3 次进行了蝗虫多样性调查。在每个样点无放回取样 3 次,每次用捕虫网(网径 30 cm)平行扫网 200 网,每网扫过植被弧度 180°,所有样品投入到沾有敌敌畏棉球毒品瓶中,带回实验室进行计数和鉴定,蝗虫标本依据《甘肃蝗虫图志》鉴定^[13],按照每个样点的 3 次平均值统计每个样地中蝗虫的种类、密度、多度。将研究区 1:50000 的地形图进行数字化、校正坐标投影,将实测样地的几何中心点的定为蝗虫多样性调查的标志点。

1.3 研究方法

1.3.1 空间结构分析

半方差函数表示分隔距离为 h 的两点 x_i 和点 $x_i + h$ 的区域化变量 $z(x_i)$ 和 $z(x_i + h)$ 之间的变异。其计算公式为:

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

式中, $N(h)$ 为间隔为 h 的样本点的对数, $z(x_i)$ 和 $z(x_i + h)$ 分别是在点 x_i 和点 $x_i + h$ 处样本的测量值。半方差函数中有 3 个最重要的参数:块金常数(Nugget, c_0),基台值(Sill, $c_0 + c_1$)和变程(Range, a)。块金常数反映了区域化变量内部随机性的可能程度;基台值反映了变量变化幅度的大小;变程反映了区域化变量影响范围的大小。

1.3.2 空间结构模拟

Kriging 法是一种估计观测样点间内插值的地学统计学方法。块段克里格空间局部插值(Block Kriging)估计的不是某一点 x_i 的值,而是以 x_i 为中心块段的平均值,利用块段克里格插值法进一步揭示蝗虫在黑河上游的聚集分布区域。块段克里格插值法将任一以该点为中心块段的平均值影响范围内的 n 个有效样本值 $Z(x_i)$ 的线性组合得到,即

$$Z_v^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

式中, λ_i 是与样点观察 $Z(x_i)$ 有关的加权系数,用来表示各个样点值 $Z(x_i)$ 对估计值 Z_v^* 的贡献。对于任一给定的区域和数据信息 $Z(x_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$, 存在一组加权系数 λ_i 。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。

2 结果与分析

2.1 蝗虫组成及优势种群特征

经过鉴定和数量统计,在 36 个研究区域中共采集蝗虫 3149 头,隶属于 3 科 10 属 13 种。其中亚洲小车蝗(*Oedaleus decorus asiaticus* B.-Bienko)、李氏大足蝗(*Gomphocerus licenti* (Chang))、肃南短鼻蝗(*Filchnerella sunanensis* Liu)、短星翅蝗(*Calliptamus abbreviatus* Ikonnikov)和青海狮蝗(*Bryodema miramae miramae* B.-Bienko)的优势度分别达到 23.17%、19.30%、12.01%、10.62%、10.49%,均超过总量的 10%,构成了研究区的蝗虫优势群体^[14]。

2.2 蝗虫种群变异函数模型选取及尺度特征

在确保块金值比基台值小的前提下,同时满足最优模型拟合的 5 个条件^[15-17],确定 5 种蝗虫变异函数模型。通过不同种群蝗虫数量的空间分析可知(图 1):肃南短鼻蝗变异函数为典型的球状模型,在变

程 22.12 m 之内,种群间具有明显的空间自相关性;亚洲小车蝗空间变异函数为指数模型,种群内相关范围为 17.62 m;青海痼蝗和李氏大足蝗的变异函数曲线也是指数模型,但是它们的自相关范围要稍大于亚洲小车蝗,分别为 22.9 m 和 24.59 m;短星翅蝗的半变异函数为高斯模型,并且肃南短鼻蝗在直径为 24.59 m 的区域中能相互影响。

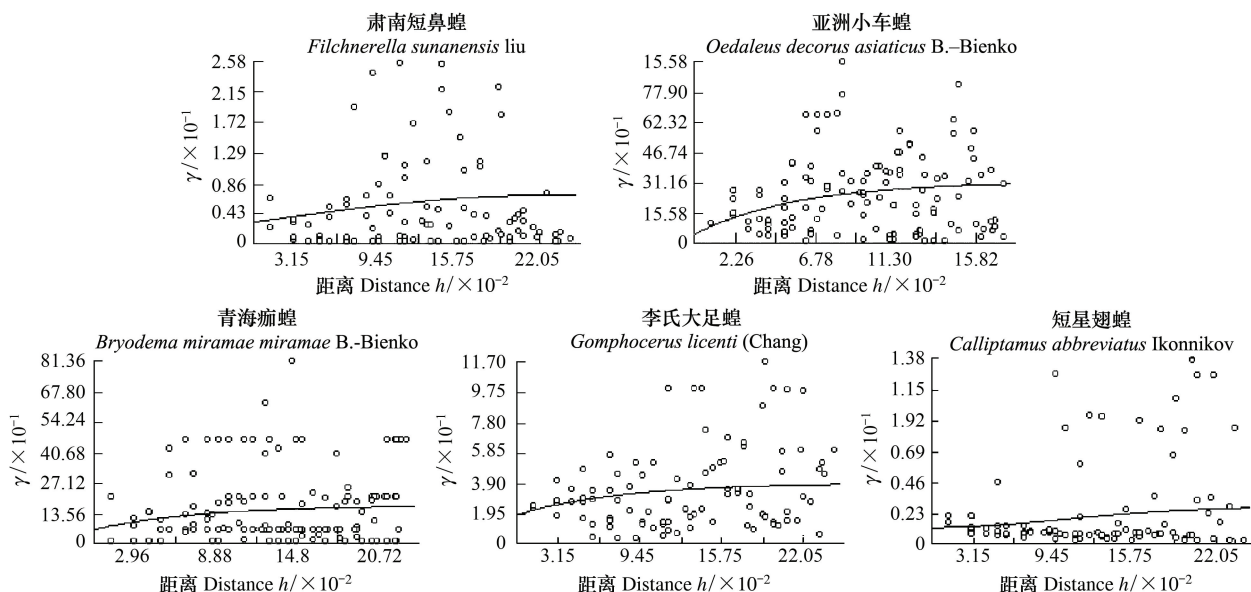


图 1 不同蝗虫种群的半变异函数曲线

Fig. 1 Semi variograms curve for different grasshopper population

2.3 蝗虫种群的空间异质性分析

5 种优势种蝗虫的空间异质性程度存在明显差异(表 1)。李氏大足蝗由随机因素引起的空间异质性占总空间异质性为 88.46%,这表明李氏大足蝗在整个研究区域上具有相对恒定的变异;肃南短鼻蝗的空间变异程度 79.68%,变异范围为 0.77;短星翅蝗由随机因素引起的空间异质性为 78.07%,而有空间自相关引起的空间异质性为 22.93%;青海痼蝗的空间变异程度为 56.85%,其变异空间范围为 0.46;亚洲小车蝗的空间变异程度为 15.77%,即有空间自相关因素引起的空间异质性占总空间异质性的 84.23%,而块金常数(c_0)和基台值($c_0 + c_1$)分别 43.08 和 273.25,变异幅度较大为 230.17。

表 1 不同种类蝗虫种群数量空间格局

Table 1 Spatial pattern for different grasshopper population

蝗虫种类 Grasshopper type	块金常数 Nugget(c_0)	基台值 Sill($c_0 + c_1$)	空间变异程度 Variance/% $c_0 / (c_0 + c_1)$
李氏大足蝗 <i>Gomphocerus licenti</i> (Chang)	18.25	20.63	88.46%
肃南短鼻蝗 <i>Filchnerella sunanensis liu</i>	3.01	3.78	79.68%
短星翅蝗 <i>Calliptamus abbreviatus</i> Ikonnikov	11.92	15.26	78.07%
青海痼蝗 <i>Bryodema miramae miramae</i> B.-Bienko	0.611	1.07	56.85%
亚洲小车蝗 <i>Oedaleus decorus asiaticus</i> B.-Bienko	43.08	273.25	15.77%

2.4 蝗虫种群的空间分布模拟

在空间相关性分析的基础上,利用块段克里格法(Block Kriging),模拟了不同类型蝗虫的空间分布格局(图 2)。肃南短鼻蝗的种群聚集程度最高,与空间结构分析结果相符,集聚分布在海拔为 2500—2550 m 的 26、27 号样点周围;亚洲小车蝗种群空间分布集聚程度较高,南北走向形成以 26、27、17 和 23、33 号样点 3 个高值斑块,分布在 2500—2550 m、2641—2675 m 和 2650—2700 m 的海拔区间内;青海痼蝗种群空间分布呈明

显的斑块状,主要分布于海拔以 2690—2750 m 为中心处的区域,并且随着海拔的降低不断出现新的分布中心,如 2640—2680 m 和 2450—2520 m,高值与低值相嵌插,形成相对独立的区域,但变异空间范围有限;李氏大足蝗的种群聚集程度较低,种群空间分布沿东西方向相对均匀,在海拔 2720—2760 m 的 1、2 号样点处形成近似东西走向的高值斑块;短星翅蝗在海拔 2390—2430 m 的 30、31 号样点处形成南北走向的高值斑块,种群密度随海拔升高而降低。

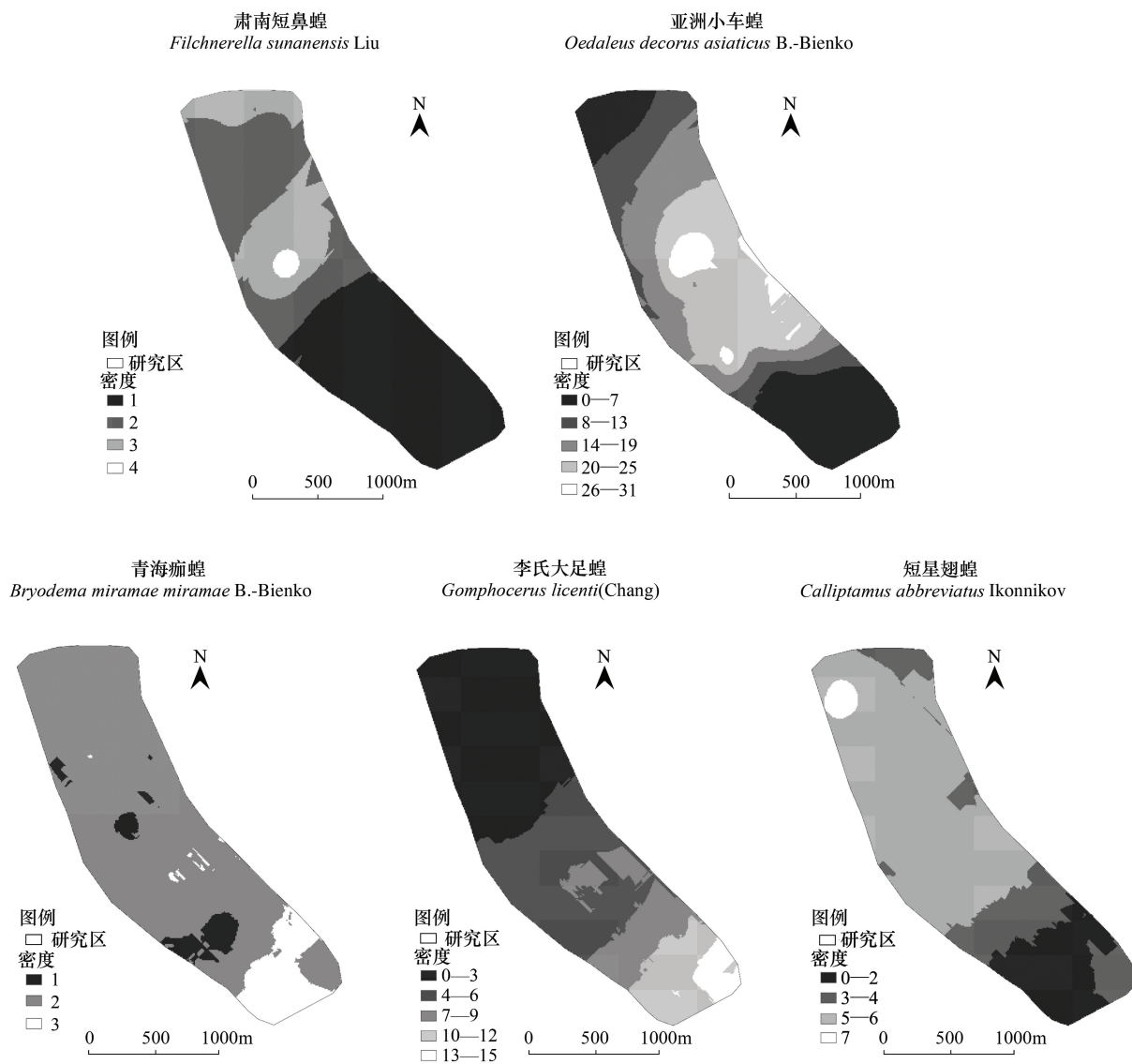


图 2 不同蝗虫种群数量的 Kriging 插值分布图

Fig. 2 Maps of Kriging estimates for different grasshopper population

3 结论与讨论

研究区的优势种蝗虫空间变异函数均为非线性模型,从生态学角度上讲,这种变异函数模型映射出蝗虫空间分布格局呈聚集分布,这与李宏实等^[18]关于吉林西部草原蝗虫呈集团状分布的研究相一致。环境因子的空间差异性导致蝗虫分布格局多样性的根本原因,祁连山地形、微气候条件和土壤差异性的存在,导致了微生境因子的空间异质性,从而形成不同的植物群落类型。植物群落结构特征的差异及其空间异质性,使得植被群落在空间上表现斑块状的聚集分布格局^[19],而蝗虫与植被有着明显的追随关系,再加栖息地分布破碎化,使 5 种蝗虫种群都表现出明显的片状和斑块分布特点,具有明显的向异性结构。

尺度依赖性使昆虫的分布格局表现为空间的不确定性和复杂性,一个大尺度上为聚集分布的种群,在小

尺度上可能是随机分布或均匀分布^[20-21]。李氏大足蝗在小尺度上呈聚集分布,在较大的尺度上却呈均匀分布,这是由于研究区是以旱生多年生禾本科和莎草科植物为主,从而为其生存提供了广泛的取食资源^[12];肃南短鼻蝗空间格局在中尺度上没有明显规律,小尺度上却有鲜明的团状分布特点,这与肃南短鼻蝗是整个区域的特有种有关,即只在海拔 2500 m 左右的荒漠草原与山地草原过渡带呈优势种分布^[13],不同的尺度上肃南短鼻蝗具有不同生态学过程,这种过程控制了它在空间上的分布特征;短星翅蝗与肃南短鼻蝗有着相似的尺度效应,只是在小尺度上短星翅蝗聚集程度低于肃南短鼻蝗,这与其广泛的食性选择有着密切的关系;青海痂蝗在小尺度上呈聚集分布,较大的空间中却为随机分布;亚洲小车蝗尺度依赖性在小尺度呈聚集分布,较大的尺度上均匀分布,更大尺度上又为聚集分布。因此,尺度依赖性使蝗虫分布格局多元化和繁杂化。

昆虫在其适宜的生境内占据合适的空间,形成了聚集程度不同的分布格局,拥有着相对独立的变异程度。研究区 5 种优势种蝗虫在各自的空间自相关范围内表现出不同程度的空间异质性,且随机部分引起的空间异质性在总异质性中占主要部分。李氏大足蝗、肃南短鼻蝗以及短星翅蝗的空间变异程度都大于 75% 属于弱变异^[22],其中李氏大足蝗主要由于较强的均质性和广布性特征,肃南短鼻蝗对生境有较强的依赖性,短星翅蝗作为肃南短鼻蝗的主要伴生种,生长要求相似的立地条件,但是它的分布空间要广一些,空间相关性不强。青海痂蝗变异程度属于中等变异,但变异范围小,这主要是跟青海痂蝗食性和栖境喜好有关^[23],并且青海痂蝗善飞翔不易捕捉,也会影响到分布状态;亚洲小车蝗空间自相关范围在 5 种蝗虫中最小,种群的空间分布格局中结构性占主要部分,因此它的空间格局具有明显的等级结构特点,斑块的密度在不同的尺度下有较大的差别。

蝗虫的空间分布格局既有水平变化,又有垂直变化。尺度以及空间异质性影响了蝗虫的水平分布,而海拔和植被高度决定了蝗虫的垂直结构^[24]。5 种优势蝗虫种群在垂直梯度上形成了既相对独立,又交叉重合的扩散分布格局。青海痂蝗和亚洲小车蝗均形成了多个不连续的聚集分布中心;短星翅蝗在低海拔区域集中栖居,与肃南短鼻蝗栖境差别不大,方向上向异性相似,二者具有相似的生态位,但不完全重合;李氏大足蝗没有形成明显的聚集分布中心,在整个区域都有分布。因此,该区域不同蝗虫种群之间密集分布区相互交错嵌插,同种蝗虫高低值分布中心呈非均匀扩散,整体上形成了均衡性与互补性的斑块镶嵌结构,这种空间分布格局的形成是蝗虫为了在有限的空间和时间中,充分利用环境因子或自然资源实现物种共存,同时又因为社会行为的结果有利于它们的生存和繁殖,个体聚集在一起而又保持相当距离,以维持彼此食物和环境资源的平衡^[24-25]。通过对不同种类蝗虫密度的分布模拟,可直观地分析蝗虫空间动态分布特征,既可定性判断和定量分析同一时期不同种类蝗虫种群的发生强度,又可确定同种蝗虫在空间上的分布及聚集分布区的位置和范围,同时还提供了空间连续的数据及详细的地理信息。蝗虫空间分布的模拟并不只是为了明确蝗虫的分布范围以及重心,而是进一步了解影响蝗虫种群分布的因子,包括所在区域的地形、地貌、气候(如温度和湿润度)以及食草性等因子^[26-28],这些都会直接或间接地影响蝗虫种群数量的变化和结构的演变。因此,地形和气候等因子对蝗虫时空分布及其动态变化的影响还有待深入探讨。

References:

- [1] Levin S A. The problem of pattern and scale in ecology: the Robert H. MacArthur Award Lecture. *Ecology*, 1992, 73(6): 1943-1967.
- [2] Zhou Q, Zhang R J, Gu D X. Review of geo-statistics applied insect population spatial structure. *Zoological Research*, 1998, 19(6): 482-488.
- [3] Wang Z Q. Geo-statistics and Its Application in Ecology. Beijing: Science Press, 1999: 150-195.
- [4] Liu G H, Fang J Y. Spatial patterns of chestnut (*Castanea mollissima*) and its species geographical distribution in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(1): 164-170.
- [5] Pe'er G, Heinz S K, Frank K. Connectivity in heterogeneous landscapes: analyzing the effect of topography. *Landscape Ecology*, 2006, 21(1): 47-61.
- [6] 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.
- [7] Zhang R, Leng Y F, Zhu M M, Wang F. Spatial structure analysis and distribution simulation of *Therioaphis trifolii* population based on geo-statistics and GIS. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(11): 2580-2585.
- [8] Li L, Zou Y D, Bi S D, Gao C Q, Ding C C, Meng Q L, Li C G, Zhou X Z. Geo-statistic analysis on spatial patterns of *Aphis gossypii* and *Erigonidium graminicola*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(6): 1043-1046.

- [9] Kang L, Chen Y L. Temporal and spatial heterogeneity of grassland locust research// Grassland Ecosystem Research. Beijing: Science Press, 1992: 109-123.
- [10] Ji R, Li D M, Xie B Y, Li Z, Yuan H. Research on soil spatial heterogeneity based on locusta migratoria manilensis egg pods spatial pattern in coastal locust areas. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(3): 1019-1025.
- [11] 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.
- [12] Zhao C Z, Zhou W, Wang K M, Dong X G. Relationship between ecological distribution of grasshoppers and their habitats in the middle and upper reaches of Heihe River. Journal of Lanzhou University: Natural Sciences, 2009, 45(4): 42-47.
- [13] Gansu Cooperative Locust Group. Insect Fauna of Grasshopper in Gansu. Lanzhou: Gansu People Press, 1985.
- [14] Zhou G F, Xu R M. Biogeostatistics. Beijing: Science Press, 1997.
- [15] Duan W B. The Micro environmental Heterogeneity of Soil Moisture in a Broad-leaved *Pinus korariensis* Forest Gap. Journal of Natural Resources, 2009, 24(5): 809-815.
- [16] Yang Z P, OuYang H, Xu X L, Yang W B. Spatial heterogeneity of soil moisture and vegetation coverage of alpine grassland in permafrost area of the Qinghai-Tibet Plateau. Journal of Natural Resources, 2010, 25(3): 426-434.
- [17] Li F, Zhao J, Zhao C Y, Hao J M, Zheng J J. The potential vegetation spatial distributions and patterns in China. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(11): 5347-5355.
- [18] Li H S. Guild structure of grasshopper community in the grassland of West Jilin province. Acta Ecologica Sinica, 1991, 11(1): 73-78.
- [19] Ross I 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.
- [20] Harte J, Kinzig A, Green J. Self-similarity in the distribution and abundance of species. Science, 1999, 284(5412): 334-336.
- [21] Kunin W E. Extrapolating species abundance across spatial scales. Science, 1998, 281(5382): 1513-1515.
- [22] Cambardella C A, Moorman T B, Parkin T B, Karlen D L, Novak J M, Turco R F, Konopka A E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58(5): 1501-1511.
- [23] Ma Y, Li H C, Kang L. The Grassland Insects of Inner Mongolia. Shanxi: Tianze Press, 1991: 34-65.
- [24] Jonas J L, Joern A. Grasshopper (Orthoptera: Acrididae) communities respond to fire, bison grazing and weather in North American tallgrass prairie: a long-term study. Oecologia, 2007, 153(3): 699-711.
- [25] Chen Y L. China's Major Ecological Locust and Locust Control. Beijing: Science Press, 2007: 139-196.
- [26] Joern A. Resource utilization and community structure in assemblages of arid grassland grasshoppers (Orthoptera: Acrididae). Transactions of the American Entomological Society, 1979, 105(3): 253-300.
- [27] Zhang H L, Ni S X, Deng Z W, Chen Y. Correlation between monthly average temperature and grasshopper outbreak in the region around Qinghai Lake based on GIS. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 3(7): 837-840.
- [28] Kemp W P, O'Neill K M, Cigliano M M, Torrusio S. Field-scale variations in plant and grasshopper communities: a GIS-based assessment. Transactions in GIS, 2002, 6(2): 115-133.

参考文献:

- [2] 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.
- [3] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999: 150-195.
- [4] 刘国华, 方精云. 我国栗属物种 (*Castanea mollissima*) 地理分布及其空间特征分析. 生态学报, 2001, 21(1): 164-170.
- [6] 王政军, 李典谟, 商哈武, 程家安. 地质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.
- [7] 张蓉, 冷允法, 朱猛蒙, 王芳. 基于地统计学和 GIS 的苜蓿斑蚜种群空间结构分析和分布模拟. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2580-2585.
- [8] 李磊, 邹运鼎, 毕守东, 高彩球, 丁程成, 孟庆雷, 李昌根, 周夏芝. 棉蚜和草间小黑蛛种群空间格局的地统计学研究. 应用生态学报, 2004, 15(6): 1043-1046.
- [9] 康乐, 陈永林. 草原蝗虫时空异质性的研究//草原生态系统研究(第四集). 北京: 科学出版社, 1992: 109-123.
- [10] 季荣, 李典谟, 谢宝瑜, 李哲, 原惠. 基于沿海蝗区飞蝗卵块分布格局的土壤空间异质性. 生态学报, 2007, 27(3): 1019-1025.
- [11] 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.
- [12] 赵成章, 周伟, 王科明, 董小刚. 黑河中上游草原蝗虫生态分布与生境的关系. 兰州大学学报: 自然科学版, 2009, 45(4): 42-47.
- [13] 甘肃省蝗虫调查协作组. 甘肃蝗虫图志. 兰州: 甘肃人民出版社, 1985.
- [14] 周国法, 徐汝梅. 生物统计学. 北京: 科学出版社, 1997.
- [15] 段文标. 阔叶红松林林隙土壤水分微环境变异特征分析. 自然资源学报, 2009, 24(5): 809-815.
- [16] 杨兆平, 欧阳华, 徐兴良, 杨文斌. 五道梁高寒草原土壤水分和植被盖度空间异质性的地统计分析. 自然资源学报, 2010, 25(3): 426-434.
- [17] 李飞, 赵军, 赵传燕, 郝君明, 郑佳佳. 中国潜在植被空间分布格局. 生态学报, 2008, 28(11): 5347-5355.
- [18] 李宏实. 吉林省西部草原蝗虫群落的集团结构. 生态学报, 1991, 11(1): 73-78.
- [23] 马耀, 李鸿昌, 康乐. 内蒙古草地昆虫. 陕西: 天则出版社, 1991: 34-65.
- [25] 陈永林. 中国主要蝗虫及蝗灾的生态学治理. 北京: 科学出版社, 2007: 139-196.
- [27] 张洪亮, 倪绍祥, 邓自旺, 湛芸. GIS 支持下青海湖地区草地蝗虫发生与月均温的相关性. 应用生态学报, 2002, 13(7): 837-840.

CONTENTS

Responses of sandy beach nematodes to oxygen deficiency: microcosm experiments	HUA Er, LI Jia, DONG Jie, et al (3975)
Allometric relationship between mean component biomass and density during the course of self-thinning for <i>Fagopyrum esculentum</i> populations	LI Lei, ZHOU Daowei, SHENG Lianxi (3987)
Automatic site selection of sight-seeing route in ecotourism destinations based on landscape perception sensitivity	LI Jifeng, LI Renjie (3998)
Emergy evaluation for sustainability of Biogas-linked agriculture ecosystem: a case study of Gongcheng county	YANG Jin, CHEN Bin, LIU Gengyuan (4007)
Spatial heterogeneity of vegetation coverage and its temporal dynamics in desert steppe, Inner Mongolia	YAN Liang, ZHOU Guangsheng, ZHANG Feng, et al (4017)
Soil conservation value flow processes of two typical grasslands	PEI Sha, XIE Gadi, LI Shimei, et al (4025)
Spatial distribution of carbon storage in a 13-year-old <i>Pinus massoniana</i> forest ecosystem in Changsha City, China	WU Tao, PENG Chonghua, TIAN Dalun, et al (4034)
Colonization rate and diversity of AM fungi in the rhizosphere of seven medicinal plants in Xiamen	JIANG Pan, WANG Mingyuan (4043)
Effects of Cd, Low Concentration Pb/Cd on the contents of phenolic acid and simple glucides exuding from winter wheat seedlings root and the relationship between them and rhizosphere soil microbial activity	JIA Xia, DONG Suiming, ZHOU Chunjuan (4052)
The community structure of laccase-like multicopper oxidase-producing bacteria in soil of Liangshui Nature Reserve	ZHAO Dan, GU Huiqi, CUI Daizong, et al (4062)
Effects of soil rhizosphere microbial community and soil factors on arbuscular mycorrhizal fungi in different salinized soils	LU Xinping, DU Qian, YAN Yongli, et al (4071)
The effects of inoculation with phosphate solubilizing bacteria <i>Bacillus megaterium</i> C4 in the AM fungal hyphosphere on soil organic phosphorus mineralization and plant uptake	ZHANG Lin, DING Xiaodong, WANG Fei, et al (4079)
Soil carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometry of <i>Phragmites australis</i> wetlands in different reaches in Minjiang River estuary	WANG Weiqi, WANG Chun, ZENG Congsheng, et al (4087)
Dynamics of soil microbial biomass during early fine roots decomposition of three species in alpine region	WU Zhichao, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4094)
Effects of simulated precipitation on apparent carbon flux of biologically crusted soils in the Gurbantunggut Desert in Xinjiang, Northwestern China	WU Lin, SU Yangui, ZHANG Yuanming (4103)
Changes in photosynthetic properties, ultrastructure and root vigor of <i>Dendrobium candidum</i> tissue culture seedlings during transplantation	PU Xiaozhen, YIN Chunying, ZHOU Xiaobo, et al (4114)
Analysis of dry matter accumulation and translocation for winter wheat cultivars with different yields on dryland	ZHOU Ling, WANG Zhaohui, LI Fucui, et al (4123)
Impact evaluation of low temperature to yields of maize in Northeast China based on crop growth model	ZHANG Jianping, WANG Chunyi, ZHAO Yanxia, et al (4132)
Spatiotemporal variations in the reference crop evapotranspiration on the Loess Plateau during 1961—2009	LI Zhi (4139)
Eco-physiological responses of <i>Phragmites australis</i> to different water-salt conditions in Momoge Wetland	DENG Chunnuan, ZHANG Guangxin, LI Hongyan, et al (4146)
Comparative study of different earthworm sampling methods	FAN Ruqin, ZHANG Xiaoping, LIANG Aizhen, et al (4154)
Geographic variation in longevity and fecundity of the Asian corn borer, <i>Ostrinia furnacalis</i> Guenée (Lepidoptera: Crambidae)	TU Xiaoyun, CHEN Yuansheng, XIA Qinwen, et al (4160)
Analysis on grasshopper spatial heterogeneity and pattern of natural grass in upper reaches of Heihe	ZHAO Chengzhang, LI Lili, WANG Dawei, et al (4166)
Inhibition effects of ethyl acetate extracts of <i>Momordica charantia</i> leaves on the experimental population of <i>Spodoptera litura</i>	LOU Ying, LING Bing, XIE Jiefeng, et al (4173)
Feeding habits of <i>Lateolabrax maculatus</i> in Yangtze River estuary	HONG Qiaoqiao, ZHUANG Ping, YANG Gang, et al (4181)
Genetic structure of <i>Gymnodontichus pachycheilus</i> from the upper reaches of the Yellow River as inferred from mtDNA control region	SU Junhu, ZHANG Yanping, LOU Zhongyu, et al (4191)
Toxicity mechanism of Cadmium-induced reactive oxygen species and protein oxidation in testes of the frog <i>Rana nigromaculata</i>	CAO Hui, SHI Cailei, JIA Xiuying (4199)
The diversity of scarab beetles in grassland cattle dung from North China	FAN Sanlong, FANG Hong, GAO Chuanbu, et al (4207)
Spatial relationships among <i>Empoasca vitis</i> (Gothé) and <i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer) and natural enemies in tea gardens of autumn-winter season in Hefei suburban	YANG Lin, GUO Hua, BI Shoudong, et al (4215)
Effects of vegetation, elevation and human disturbance on the distribution of large- and medium-sized wildlife: a case study in Jiuzhaigou Nature Reserve	ZHANG Yue, LEI Kaiming, ZHANG Yuke, et al (4228)
Research of typical EIPs based on the social network analysis	YANG Lihua, TONG Lianjun (4236)
Exergy-based life cycle accounting of household biogas system: a case study of Gongcheng, Guangxi	QI Jing, CHEN Bin, DAI Jing, et al (4246)
Review and Monograph	
The effects of changes in hydrological regimes and salinity on wetland vegetation: a review	ZHANG Guangxin (4254)
Advances in research on the seed bank of a saline-alkali meadow in the Songnen Plain	MA Hongyuan, LIANG Zhengwei, LÜ Bingsheng, et al (4261)
A new landscape expansion index: definition and quantification	WU Pengfei, ZHOU Demin, GONG Huili (4270)
Scientific Note	
Response of photosynthetic characteristics of <i>Psathyrostachys huashanica</i> Keng to drought stress	LI Qian, WANG Ming, WANG Wenwen, et al (4278)
The antifouling activities of <i>Callyspongia</i> sponge extracts	CAO Wenhao, YAN Tao, LIU Yonghong, et al (4285)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 13 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 13 (July, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元