

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第34卷 第3期 Vol.34 No.3 **2014**

中国生态学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 3 期 2014 年 2 月 (半月刊)

## 目次

### 前沿理论与学科综述

- 灾后生态恢复评价研究进展 ..... 刘孝富,王文杰,李京,等 (527)
- 基于生态能量视角的我国小水电可持续性分析 ..... 庞明月,张力小,王长波 (537)

### 个体与基础生态

- 北部湾北部海域夏季微型浮游动物对浮游植物的摄食压力 ..... 马璐,曹文清,张文静,等 (546)
- 鲢鱼和胡子鲶的两性异形与雌性个体生育力 ..... 樊晓丽,林植华,丁先龙,等 (555)
- 环境温度对白头鹇代谢产热和蒸发失水的影响 ..... 林琳,曹梦婷,胡益林,等 (564)
- 灌溉对沙拐枣幼苗生长及氮素利用的影响 ..... 黄彩变,曾凡江,雷加强,等 (572)
- PAHs 污染土壤植物修复对酶活性的影响 ..... 朱凡,洪湘琦,闫文德,等 (581)
- 基于修正 RISKE 模型的重庆岩溶地区地下水脆弱性评价 ..... 魏兴萍,蒲俊兵,赵纯勇 (589)
- 排水沟蓄水条件下农田与排水沟水盐监测 ..... 潘延鑫,罗纨,贾忠华,等 (597)

### 种群、群落和生态系统

- 高寒退化草地不同海拔梯度狼毒种群分布格局及空间关联性 ..... 高福元,赵成章,卓马兰草 (605)
- 捕食者对空心莲子草叶甲种群的生物胁迫 ..... 刘雨芳,李菲,桂芳艳,等 (613)
- 夏、冬季南海北部浮游植物群落特征 ..... 马威,孙军 (621)
- 磨盘山天然次生林凋落物数量及动态 ..... 范春楠,郭忠玲,郑金萍,等 (633)
- 持续干旱对樱桃根际土壤细菌数量及结构多样性影响 ..... 刘方春,邢尚军,马海林,等 (642)
- 随机森林算法基本思想及其在生态学中的应用——以云南松分布模拟为例 ..... 张雷,王琳琳,张旭东,等 (650)
- 基于水文平衡的湿地退化驱动因子定量研究 ..... 侯鹏,申文明,王桥,等 (660)
- 华北低丘山地人工林蒸散的控制因子 ..... 黄辉,孟平,张劲松,等 (667)
- 新疆天山高寒草原不同放牧管理下的  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  通量特征 ..... 贺桂香,李凯辉,宋韦,等 (674)

### 景观、区域和全球生态

- 宁夏生态足迹影响因子的偏最小二乘回归分析 ..... 马明德,马学娟,谢应忠,等 (682)
- 引黄灌区土壤有机碳密度剖面特征及固碳速率 ..... 董林林,杨浩,于东升,等 (690)
- 自养微生物同化  $\text{CO}_2$  的分子生态研究及同化碳在土壤中的转化 ..... 吴小红,简燕,陈晓娟,等 (701)

### 资源与产业生态

- 基于能值分析法的矿区循环经济系统生态效率分析 ..... 孙玉峰,郭全营 (710)

基于 AD-AS 模型的海岸带生态系统综合承载力评估——以舟山海岸带为例 ..... 苏盼盼,叶属峰,过仲阳,等 (718)

城乡与社会生态

基于增强回归树和 Logistic 回归的城市扩展驱动力分析 ..... 李春林,刘 淼,胡远满,等 (727)

研究简报

陕西省不同生态区大气氮素干湿沉降的时空变异 ..... 梁 婷,同延安,林 文,等 (738)

不同覆盖方式对旱地果园水热特征的影响 ..... 刘小勇,李红旭,李建明,等 (746)

长白山苔原带土壤动物群落结构及多样性..... 王振海,殷秀琴,蒋云峰 (755)

最大可允许填海面积模拟——厦门西海域案例研究 ..... 林琛琛,饶欢欢,刘 岩,等 (766)

学术信息与动态

2013 年水文土壤学与自然资源可持续利用国际学术研讨会述评 ..... 张 骁,赵文武 (774)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 252 \* zh \* P \* ￥90.00 \* 1510 \* 29 \* 2014-02



封面图说: 云南松树冠——云南松为松科松属裸子植物,多生长在海拔 1000—3500m 的高山,喜光、耐干旱、耐瘠薄,适应酸性的红壤、黄壤,在其他树种不能生长的贫瘠石砾地或冲刷严重的荒山坡分布,易于天然更新。主要分布于四川西南部、云南、西藏东南部、贵州西部、广西西部,常形成大面积纯林,尤以云南分布最广,故有云南松之称。云南松树高可达 30m,胸径达 1m,树皮呈灰褐色,叶通常 3 针一束,鲜有两针,球果圆锥状卵圆形,种子近卵圆形或倒卵形。树干通直,木质轻软细密,是优质造纸、人造板原料,富含松脂是云南松的重要特点之一。

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



DOI: 10.5846/stxb201209191317

高福元, 赵成章, 卓马兰草. 高寒退化草地不同海拔梯度狼毒种群分布格局及空间关联性. 生态学报, 2014, 34(3): 605-612.

Gao F Y, Zhao C Z, Zhuo M L C. Spatial distribution and spatial association of *Stellera chamaejasme* population in the different altitude in degraded alpine grassland. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(3): 605-612.

## 高寒退化草地不同海拔梯度狼毒 种群分布格局及空间关联性

高福元<sup>1</sup>, 赵成章<sup>2,\*</sup>, 卓马兰草<sup>3</sup>

(1. 郑州师范学院, 郑州 450044; 2. 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070;

3. 甘肃民族师范学院, 甘南 747000)

**摘要:**在石羊河上游高寒退化草地,应用点格局分析方法,按狼毒个体分枝数设置 I 级株丛(1—10 枝)、II 级株丛(11—20 枝)、III 级株丛(21—30 枝)、IV 级株丛(30 以上)4 个株级,研究了不同海拔高度各株级狼毒的空间分布格局及关联性,并统计了狼毒种群的大小组成。结果表明:随海拔升高 I、II 级狼毒株丛个体数减少,III、IV 级狼毒株丛个体数增多;III、IV 级狼毒株丛在各海拔梯度上主要以随机分布为主,I、II 级狼毒株丛在低海拔地区小尺度上表现为聚集分布,随海拔升高聚集强度增强,聚集尺度减小,在较大尺度上表现为随机分布;I 级狼毒株丛与 III、IV 级狼毒株丛、II 级狼毒株丛与 IV 级狼毒株丛小尺度上表现为正关联关系,随海拔升高正关联关系发生的尺度减小。狼毒种群对环境变化具有明显的响应机制,可通过相互之间的庇护作用、减少繁殖、减弱种内竞争以及提高聚集强度实现生存繁殖。

**关键词:**狼毒种群;空间分布格局;空间关联性;斑块;石羊河上游

## Spatial distribution and spatial association of *Stellera chamaejasme* population in the different altitude in degraded alpine grassland

GAO Fuyuan<sup>1</sup>, ZHAO Chengzhang<sup>2,\*</sup>, ZHUO MA Lancan<sup>3</sup>

1 Zhengzhou Normal University, Zhengzhou 450044, China

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

3 Gansu Normal University For Nationalities, Gannan 747000, China

**Abstract:** *Stellera chamaejasme* L spread threatens productivity, conservation and ecological sustainability in wide range of meadows and grasslands on the Tibetan Plateau of China, it has become one of the most serious weeds threatening a widerange of grasslands, which were grazed heavily. In recent years, distribution of the *Stellera chamaejasme* have expanded and there formed severe degraded grassland in some high altitude area. Therefore, it is extremely important to understand their biologic characters of the population distribution that are in the different altitude. It is critical for revealing the cause and mechanism of population diffusion. The experiments were conducted in degraded alpine grassland in the upper reaches of Shiyang river, Gansu Province, China. In August 2012, at the same aspect and slope of the sample by selecting different altitudes(2700—3000 m), every 100 meters to set up a plot, set up four plot, plot area of 2 m×2 m, with 1 m×1 m sample box (box-like area of the small squares 10 cm×10 cm) placed 4 times at a certain order of sampling, record every individual branches, ground projection and relative position, setted up I degree cluster(1—10 branches)、II degree cluster(11—20 branches)、III degree cluster(21—30 branches)、IV degree cluster(above 30 branches) under *Stellera*

基金项目:国家自然科学基金资助项目(91125014)

收稿日期:2012-09-19; 修订日期:2013-05-27

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

*chamaejasme* branch number. The measured value  $L(d)$  and the value of upper and lower envelopes were calculated by the Visual Fortran 6.5 based on the coordinate getting by GetData Graph Digitizer 2.22, Origin 7.5 was used as the plot software, this plot in the lower left corner coordinate origin to the intersection, using the step of 5 cm, the number of Monte-Carlo stochastic simulation is 20 times, dashed line are the 95% confidence envelopes for the same process. The results showed that: I、II degree *Stellera chamaejasme* cluster reduced, III、IV degree *Stellera chamaejasme* cluster increased with the altitude escalate; III、IV degree *Stellera chamaejasme* cluster mainly random distribute in each altitude, while I、II degree *Stellera chamaejasme* cluster small-scale showed aggregated distribution in low-elevation, aggregation intensity increase, scale decreases with the altitude escalate, showed random distribution in larger scale; I degree *Stellera chamaejasme* cluster and III、IV degree *Stellera chamaejasme* cluster、II degree *Stellera chamaejasme* cluster and IV degree *Stellera chamaejasme* cluster showed positive relationship in small scale, positive relationship emerged scale reduced with the altitude escalate. *Stellera chamaejasme* population possess apparent response mechanism to environmental change, by each other shield、reduce propagation、weaken intraspecific competition and enhance aggregate strength realize survival and reproduction.

**Key Words:** stellera chamaejasme population; spatial distribution pattern; spatial association; patch; upper reaches of Shiyang River

种群空间格局是指种群内个体的空间分布方式或配置特点,是植物种群在群落中相对位置可以定量化描述的基本特征之一,是种群生态特性、种内种间关系及生物与环境相互作用等综合作用的结果<sup>[1-2]</sup>。植物种群的空间分布有3种基本类型:集群分布、随机分布和均匀分布,聚集分布体现了种群内部正向(相互有利)的生态关系,均匀分布反映了种群内部负向(相互排斥)的生态关系,随机分布则意味着种群内部没有明确的生态关系<sup>[3-5]</sup>。不同的格局类型可以反映出种群利用环境资源的状况,是其在群落中地位与生存能力的外在表现<sup>[6-7]</sup>。从20世纪90年代,我国学者陆续运用点格局分析法研究森林或草地物种的种群分布格局或空间关联性,得以很好地从多尺度上理解植物种群的生态学特性或过程<sup>[8-10]</sup>,同时借助“点格局”研究方法对退化草地中的优势种群分布格局和空间关联性进行了分析;王鑫厅<sup>[11]</sup>等利用摄影定位法结合点格局方法测定了羊草+大针茅草原退化群落中4个优势种群的空间分布格局,得到了退化草地中优势种群的一些重要特征。因此,种群空间分布格局的研究对于揭示草地退化机制具有十分重要的意义。

狼毒(*Stellera chamaejasme* L.)是广泛分布于我国北方地区的一种毒杂草。由于全球气候变化以及对草地的过度利用,狼毒种群增长迅速,严重威胁到天然草地中优良牧草的生长,受到生态学家的重视,

关于狼毒的研究包括不同退化梯度下狼毒种群土壤种子库<sup>[12]</sup>;狼毒种群土壤中养分的变化研究<sup>[13]</sup>;狼毒个体年龄的判断方法及其种群的年龄结构研究<sup>[14]</sup>。同时,邢福<sup>[15-16]</sup>等对内蒙古典型草原区狼毒种群的空间分布格局和种子种群分布格局强度、类型与规模进行了分析,认为狼毒种群具有“近母株散布”的种子散布机制,基本散布半径为0—50cm,并引起生物学斑块。随着“点格局”方法在种群格局分析中普遍应用,赵成章<sup>[17-18]</sup>等对不同分盖度下的狼毒种群和不同龄级的狼毒种群进行了点格局分析,并得出了种群的扩散规律。近年来,狼毒种群的分布区域不断扩大,在一些高海拔地区定植、繁殖、扩散,形成重度退化草地,但对于狼毒种群能够在高海拔地区生存、扩散的原因和机理等方面的研究较薄弱,阻碍了对于狼毒大量滋生的退化草地的全面认识。鉴于此,本文采用点格局分析方法,通过分析不同海拔高度狼毒种群的大小组成、空间分布格局和空间关联性,探讨了狼毒种群空间格局和空间关联性对海拔高度的响应,为深刻理解狼毒种群对环境变化的响应机制和“狼毒型”退化草地分布区扩散机制提供科学参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

石羊河是甘肃河西走廊三大内陆河流之一,发

源于祁连山区,恶劣的自然条件和人类不合理开发利用,使该流域已成为我国西北内陆河流域生态环境问题最严重的区域,上游天然草地生态系统发生了严重退化,对祁连山地、河西走廊和青藏高原的陆地生态系统产生了重要影响。研究区位于祁连山北坡中山区皇城草原(37°51' N, 101°50' E),海拔2700—3000 m,年均温 1—2 °C,年平均日照时数2800 h,无霜期 90 d,年降水量 320—400 mm,蒸发量1500—1800 mm,相对湿度 65%,土壤为山地栗钙土,pH 值 8.3。研究区属山地草原,狼毒(*Stellera chamaejasme*)斑块分布,伴生有赖草(*Leymus secalinus*)、克氏针茅(*Stipa krylovii*)、阿尔泰狗娃花(*Aster tataricus*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、扁穗冰草(*Agropyron cristatum*)、苔草(*Carex tristachya*)等,受干旱气候影响,草地生产能力处于较低水平<sup>[19]</sup>。

## 1.2 样地设置

2012 年 8 月,在研究区内选择坡度(38—40°)、坡向(南坡)相同的山坡,沿海拔 2700—3000 m,每隔 100 m 海拔高度设置一个样带,共设置 4 个水平样带,每个样带内选取 71%—80% 狼毒分盖度下的重度退化草地。根据以前对狼毒种群分布格局的研究<sup>[17-18]</sup>和狼毒自生的特征,2 m×2 m 的样方能够满足实验的要求,并且使种群的各种格局均能出现,因此在各样带分别设置 71%—80% 狼毒分盖度下的 2 m×2 m 的正方形样地 1 个。

## 1.3 取样方法

### 1.3.1 点格局取样方法

点格局分析取样要求取一个样地。在上述样地内设置邻接格子样方,每个样地用 4 个 1 m×1 m 的样方框(样方框内小格子的面积为 10 cm×10 cm)按从左到右,从上到下的顺序依次放置放置 4 次进行取样,记录样方内每个狼毒植株的地面投影和分枝数,在样方中记录每个狼毒个体的位置,以坐标值表示,用坐标值直接表示距离<sup>[20]</sup>。在室内对每一个样方内提取的狼毒个体的相对位置图(每个样地 4 个),按照取样时样方框放置的顺序将 4 个图进行拼接,合并成 2 m×2 m 的正方形样地所对应的图。按枝条数将狼毒株丛划分为 4 级:Ⅰ级株丛(枝条数 1—10 枝)、Ⅱ级株丛(枝条数 11—20 枝)、Ⅲ级株丛(枝条数 21—30 枝)、Ⅳ级株丛(30 以上),并统计每个样方内的各级狼毒个体数量。

## 1.4 数据分析

### 1.4.1 点格局分析

研究区域内,位于二维空间的点构成点事件,用  $k(d)$  函数来反映点事件空间布局的依赖程度<sup>[21]</sup>,其定义如下:

$$k(d) = \lambda^{-1} E(\#(d_{ij} \leq d))$$

式中, $\lambda$  表示研究区域内每单位面积点事件的密度, $E$  表示在一定距离尺度下点事件数量的期望, $\#$  表示数量, $d_{ij}$  表示研究区域内任意一点到其他点的距离, $d$  表示距离尺度。如果在一定距离尺度下点事件的分布是随机的,则有:

$$E(\#(d_{ij} \leq d)) = \lambda \pi d^2$$

此时, $k(d) = \pi d^2$ 。当点事件为聚集分布时,如果距离尺度较小, $k(d)$  的观测值将大于  $\pi d^2$ 。估计式为:

$$\hat{K}(d) = \frac{A}{n^2} \sum_i^n \sum_j^n \frac{I_{ij}(d)}{w_{ij}(d)}$$

式中, $A$  表示研究区域面积, $n$  是研究区域内点事件的数量, $i, j$  是样方内任意两个具有相同特征的点事件, $I_{ij} = 1$  (当  $d_{ij} \leq d$  成立时, $d_{ij}$  是  $i$  到  $j$  之间的距离), $w_{ij}(d)$  是边缘校正的权重,等于以  $i$  为圆心,以  $d_{ij}$  为半径的圆落在研究区域内的弧长和整个圆周长的比值。

通常用  $L(d)$  函数的估计值来判断在此尺度下点事件的分布类型。在距离尺度  $d$  下,如果  $L(d) > 0$ ,为聚集分布;如果  $L(d) = 0$ ,为随机分布;如果  $L(d) < 0$ ,则为均匀分布:

$$L(d) = \sqrt{\hat{K}(d)/\pi} - d$$

一般利用 Monte Carlo 方法来求解随机分布的上下包迹线,如果研究对象实际的值落在上下包迹线的区间内,则在此距离尺度下植物种群是随机分布的;如果研究对象实际的值落在上下包迹线的区间以上,则在此距离尺度下植物种群是聚集分布的;如果研究对象实际的值落在上下包迹线的区间以下,则在此距离尺度下植物种群是均匀分布的<sup>[7]</sup>。具体方法是选取  $m$  组  $n$  个随机数,每组都利用上述公式求解在不同距离尺度下的  $L(d)$  值,然后把对应的每个  $d$  下的  $m$  个  $L(d)$  由小到大进行排序,分别保留最大值和最小值作为上下包迹线的取值范围。

### 1.4.2 空间关联性

两个种群之间的空间关联性分析,实际上是两

个种群之间的点格局分析,也叫多元点格局分析。单种格局分析可以认为是一个种群个体间的关系研究<sup>[7]</sup>,因此对第 1 个种群  $k(d)$  可以写成  $k_{11}(d)$ ,对第 2 个种群可以写成  $k_{22}(d)$ 。现在要考虑两个不同大小种群的个体在距离(尺度)  $d$  内的数目,就是要求  $k_{12}(d)$ ,其定义和计算原理与单种格局相近。不难证明  $k_{12}(d)$  可以用下式估计<sup>[22]</sup>:

$$\hat{K}_{12}(d) = \frac{A}{n_1 \times n_2} \sum_i^{n_1} \sum_j^{n_2} \frac{I_{ij}(d)}{W_{ij}(d)}$$

这里  $n_1$  和  $n_2$  分别为种群 1 和种群 2 的个体数(点数),  $A$ 、 $I_{ij}(d)$  和  $W_{ij}(d)$  含义同(1)式,不同的是  $i$  和  $j$  分别代表种群 1 和种群 2 的个体,同样计算:

$$L_{12}(d) = \sqrt{\hat{K}(d)_{12}/\pi} - d$$

当  $L_{12}(d) = 0$  表明两个种在  $d$  尺度下无关联性,当  $L_{12}(d) > 0$  表明二者为正关联,当  $L_{12}(d) < 0$  表明二者为负关联。用 Monte-Carlo 检验拟合包迹线,以检验两个种是否显著地关联。如果研究对象实际

值落在上下包迹线的区间内,则在此距离尺度下两个植物种群空间关联性不显著;如果研究对象实际的值落在上下包迹线的区间以上,则在此距离尺度下两个植物种群空间关联性为显著正关联;如果研究对象实际的值落在上下包迹线的区间以下,则在此距离尺度下两个植物种群空间关联性为显著负关联。采用 GetData Graph Digitizer 2.22 进行数据采集,Visual Fortran 6.5 进行编程计算,Origin 7.5 进行绘图。本文中坐标原点为样方左下角的交点,采用的步长为 5 cm, Monte-Carlo 随机模拟的数目为 20 次,得到上下两条包迹线围成的 95% 置信区间。

## 2 结果与分析

### 2.1 狼毒种群的组成格局

在坡度、坡向、盖度相同的条件下,随着海拔升高 I、II 级狼毒株丛个体数逐渐减少, III、IV 级狼毒株丛个体数逐渐增多。在所有海拔梯度上, I 级狼毒株丛个体数最多, IV 级狼毒株丛个体数最少。

表 1 不同海拔梯度狼毒种群的大小组成

Table 1 The size of *Stellera chamaejasme* plants in the different altitude

海拔/m Altitude	株级/株 Class/Plant			
	I	II	III	IV
2700	124	21	4	3
2800	108	17	5	3
2900	92	15	5	4
3000	74	13	6	5

### 2.2 狼毒种群的分布格局

在 2700、2800、2900m 和 3000m 海拔高度上, I 级狼毒株丛分别在 0—82cm、0—75cm、0—70cm 和 0—62cm 尺度范围内表现为聚集分布,聚集强度随海拔升高逐渐增强,在 80—100cm、75—100cm、70—100cm 和 62—100cm 尺度范围内表现为随机分布; II 级狼毒株丛分别在 0—80cm、0—73cm、0—68cm 和 0—61cm 尺度范围内表现为聚集分布,聚集强度也随海拔升高逐渐增强,在 80—100cm、73—100cm、68—100cm 和 61—100cm 尺度范围内表现为随机分布; III、IV 级狼毒株丛在所有研究尺度上以随机分布为主。

### 2.3 不同狼毒株丛之间的空间关联性

在 2700、2800、2900m 和 3000m 海拔高度上(图 2), I 和 II 级狼毒株丛在 0—100cm 尺度上均表现为

负关联; I 和 III 级狼毒株丛分别在 0—50cm、0—42cm、0—38cm 和 0—36cm 尺度上为正关联,在 50—100cm、42—100、38—100cm 和 36—100cm 尺度上表现为无关联; I 和 IV 级狼毒株丛分别在 0—55cm、0—44cm、0—40cm 和 0—38cm 尺度上表现为正关联,在 55—100cm、44—100cm、40—100cm 和 38—100cm 尺度上表现为无关联; II 和 III 级狼毒株丛在 0—100cm 尺度上均表现为负关联,负关联强度随海拔升高逐渐减弱。II 和 IV 级狼毒株丛, 2700、2800m 海拔高度上所有尺度上表现为无关联, 2900m 和 3000m 海拔高度上,分别在 0—38cm 和 0—34cm 尺度上表现为正关联,随海拔升高关联强度增强,分别在 38—100cm 和 34—100cm 尺度上表现为无关联。III 和 IV 级狼毒株丛在所有海拔高度的所有尺度上表现为负关联。



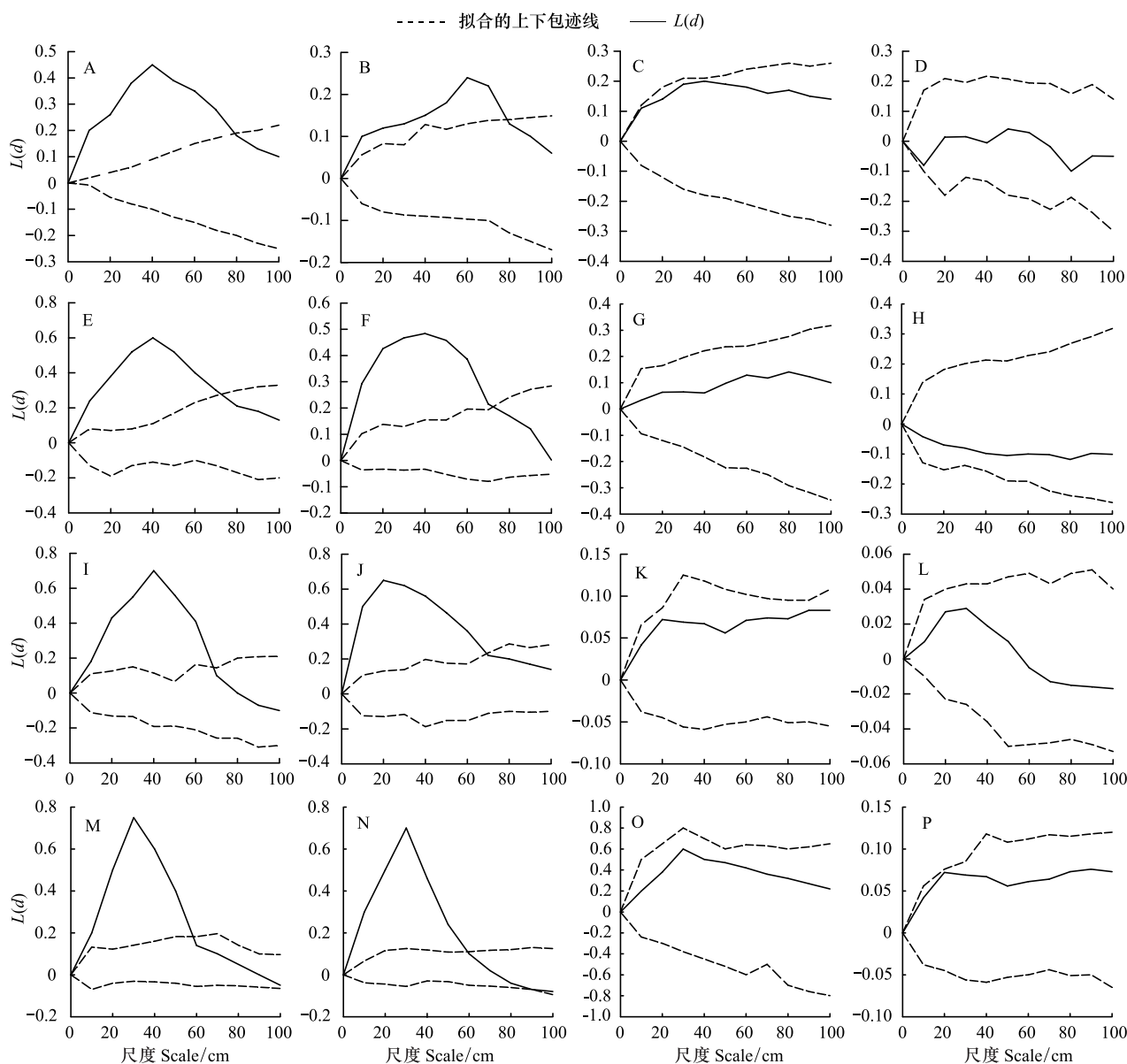


图1 不同海拔高度狼毒株丛点格局分析

Fig.1 Results of point pattern analysis for *Stellera chamaejasme* plants in the different altitude

A、B、C、D 表示 2700m I、II、III、IV 级狼毒株丛的格局; E、F、G、H 表示 2800m I、II、III、IV 级狼毒株丛的格局; I、J、K、L 表示 2900m I、II、III、IV 级狼毒株丛的格局; M、N、O、P 表示 3000m I、II、III、IV 级狼毒株丛的格局

### 3 讨论

尤海舟<sup>[23]</sup>等通过对川滇高山栎种群 2400—3600m 海拔高度上种群数量分布的研究表明高山栎植株数量随着海拔梯度的升高呈现先升高后降低的趋势, 2800m 是高山栎分布最多的海拔, 并推断 2800m 海拔的环境比较适合高山栎的生存。与高山栎种群数量分布相比, 狼毒种群数量分布规律较为复杂, 随海拔变化不同株级表现出不同的变化规律。在坡度、坡向和狼毒分盖度相同的条件下, 狼毒种群

随着海拔升高幼小个体数逐渐减少, 这是狼毒种群对环境条件变化的响应, 一方面是繁殖投入方面的原因, 有研究表明种群间的繁殖对策和繁殖成功会随海拔发生变化<sup>[24-25]</sup>, 随着海拔升高温度降低, 风速增大, 为了个体和种群的生存, 成株个体可能会放弃一些繁殖机会, 减少繁殖不仅可以增加成株个体生存的机率, 同时减小了种内竞争的强度, 使部分幼株能够生存, 对种群的发展具有重要意义; 另一方面由于环境的变化, 使得幼小个体的存活率降低, 因此随海拔升高幼小个体数减少。随海拔升高成株个体数



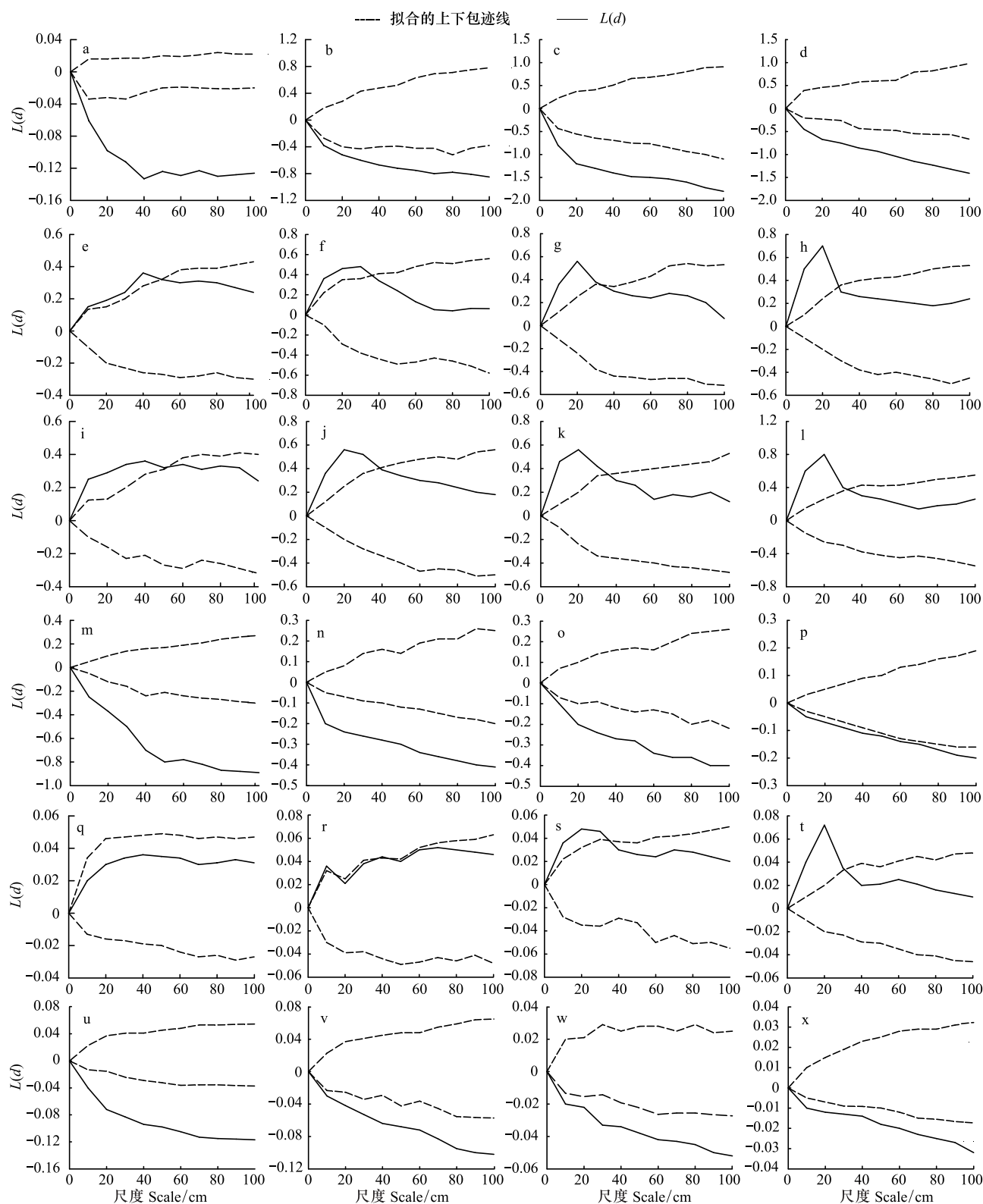


图2 不同海拔高度狼毒株丛之间的关联性分析

Fig 2 Spatial association analysis between *Stellera chamaejasme* plants in the different altitude

a、b、c、d 表示 I 和 II 级狼毒株丛在 2700、2800、2900m 和 3000m 海拔高度上的关联性；e、f、g、h 表示 I 和 III 级狼毒株丛在 2700、2800、2900m 和 3000m 海拔高度上的关联性；i、j、k、l 表示 I 和 IV 级狼毒株丛在 2700、2800、2900m 和 3000m 海拔高度上的关联性；m、n、o、p 表示 II 和 III 级狼毒株丛在 2700、2800、2900m 和 3000m 海拔高度上的关联性；q、r、s、t 表示 II 和 IV 级狼毒株丛在 2700、2800、2900m 和 3000m 海拔高度上的关联性；u、v、w、x 表示 III 和 IV 级狼毒株丛在 2700、2800、2900m 和 3000m 海拔高度上的关联性

逐渐增多,这是因为随海拔升高环境条件改变,幼小个体数量减少,生存机率也降低,导致相同龄级的狼毒个体数减少,有效的减小了种内竞争的压力,幼株个体只要能够克服外界环境生存下来,生长为较大成株个体的概率较大;在低海拔地区虽然幼株个体生存概率较大,但是相同龄级的个体数较多,种内竞争压力增大,向更大狼毒过渡时死亡率高,所以随海拔升高较大的成株个体数逐渐增多。

由于大龄级个体由中小龄级发育而来,大龄级个体还影响着其他龄级个体的存活和生长,所以分析不同龄级个体间的空间格局和种间关联可以更好地理解群落的时空动态和小龄级个体生长过程的影响因素<sup>[26]</sup>。Hegazy<sup>[27]</sup>等认为典型山地垂直地带上的植物种群空间格局会随海拔变化而变化,结合图1、图2资料,在高寒草地狼毒种群的空间分布格局与空间关联性随海拔表现出规律变化。Ⅰ级狼毒株丛在低海拔地区小尺度(0—50 cm)上表现为聚集分布,随海拔的升高聚集强度增强,聚集尺度减小,Ⅰ级狼毒株丛与Ⅲ、Ⅳ级狼毒株丛小尺度上表现为正关联关系,并且随着海拔的升高,正关联关系发生的尺度减小,一方面是因为Ⅲ、Ⅳ级狼毒株丛能够为Ⅰ级狼毒株丛抵挡风沙,对幼小个体起到保护作用,二者之间形成了正关联关系<sup>[28]</sup>,同时形成以Ⅲ、Ⅳ级狼毒个体为中心的狼毒斑块,表现出聚集分布<sup>[17-18]</sup>,低海拔地区热量好,风速小,Ⅲ、Ⅳ级狼毒个体能够对较多的幼小个体提供保护作用,形成斑块的尺度较大,所以形成聚集分布的尺度较大,随着海拔升高,环境条件发生变化,热量减少,风速变大,Ⅲ、Ⅳ级狼毒自身所处的环境也相对恶劣,需要自我保护,所以形成斑块的尺度变小,正关联关系发生的尺度减小,聚集分布的尺度相应减小,但是强度增强;另一方,幼小个体对水分等资源的竞争相对微弱,同时为抵御风沙和提高存活率,它们需要相互庇护,于是个体之间以正向相互关系为主,进而表现为聚集分布<sup>[29-30]</sup>。Ⅰ级狼毒株丛与Ⅱ级狼毒株丛在小尺度上,所有海拔上表现为负关联,这是因为他们处于同一个斑块内,种内竞争引起负关联。

Ⅱ级狼毒株丛在所有海拔上,小尺度范围内表现为聚集分布,并随海拔升高聚集强度增强,聚集尺度减小,但是聚集强度明显低于Ⅰ级狼毒株丛。Ⅱ级狼毒株丛与Ⅲ级狼毒株丛之间表现为负关联,在

低海拔地区与Ⅳ级狼毒株丛之间表现为无关联,在高海拔地区表现为正关联,强度较弱,随海拔升高正关联强度增强。这说明Ⅱ级狼毒株丛较Ⅰ级狼毒株丛具有更强的竞争力和自我保护、生存的能力,在低海拔地区Ⅱ级狼毒株丛已经能够适应环境,逐渐能够独立生存,聚集强度降低,分布格局有向随机分布转化的趋势,并开始逐渐和Ⅲ级狼毒株丛竞争资源,导致二者之间表现为负关联,在高海拔地区Ⅳ级狼毒株丛对Ⅱ级狼毒株丛的庇护作用依然非常明显,二者之间仍然表现为正关联。

Ⅲ和Ⅳ级狼毒株丛形成随机分布和负关联关系可能有两个原因:1)个体之间具有较强的竞争能力,相互之间的竞争导致负关联和随机分布;2)Ⅲ和Ⅳ级狼毒株丛年龄、体积都相对较大,它们已经占据了一定的空间资源,逐渐形成了以自己为核心的狼毒斑块,斑块间的竞争导致随机分布<sup>[16]</sup>以及负关联关系,同时这也是Ⅰ、Ⅱ级狼毒株丛在较大尺度上表现为随机分布和负关联的原因。

综上所述,对不同海拔条件下不同大小狼毒株丛空间关联性和空间分布格局的研究说明,狼毒种群对环境变化具有明显的响应机制,在所有海拔高度上较大的成株对较小的幼株具有有效的保护作用<sup>[26]</sup>,在高海拔地区这种作用更加突出,强度更强。狼毒种群能够通过减少繁殖、减弱同龄级狼毒之间的竞争以及提高种群的聚集强度等策略来适应高海拔地区的环境,这是狼毒种群能够在高海拔地区生存-繁殖-扩散的内在机制,也是狼毒种群能够在西北干旱区形成优势种的重要条件。

## References:

- [1] Qu Z X. Plant Ecology. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 1983.
- [2] Cao G X, Zhong Z C, Liu Y. The study of distribution pattern of *Camellia rosthorniana* population in Jinyun Mountain. *Journal of Biology*, 2003, 20(1): 10-12.
- [3] Philips D L, Macmahon J A. Competition and spacing patterns in desert shrubs. *Journal of Ecology*, 1981, (69): 97-115.
- [4] Kenkel N C. Pattern of self thinning in Jack pine: testing the random mortality hypothesis. *Ecology*, 1988, (69): 1017-1024.
- [5] Manuel C M. Ecology: Concept and Application. Science Press&McGraw\_Hill, Beijing 2000.
- [6] Dale M R T. Spatial Pattern Analysis in Plant ecology. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- [7] Zhang J T. Analysis of spatial point pattern for plant species. *Chinese Journal of plant Ecology*, 1998, 22(4): 344-349.
- [8] Yang H X, Zhang J T, Wu B, Li X S, Zhang Y Y. Point pattern

- analysis of *Artemisia ordosica* population in the Mu us sandy land. Chinese Journal of plant Ecology, 2006, 30(4): 563-570.
- [9] Liu Z G, Li Z Q. Fine-scale spatial pattern of *Artemisia frigida* population under different grazing intensities. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(2): 227-234.
- [10] Zhang J T, Meng D P. Spatial pattern analysis of individuals in different age-classes of *Larix principis-rupprechtii* in Luya Mountain Reserve, Shanxi, China. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(1): 35-40.
- [11] Wang X T, Hou Y L, Liu F, Chang Y, Wang W, Liang C Z, Miao B L. Point pattern analysis of dominant populations in a degraded community in *Leymus chinensis* + *Stipa grandis* steppe in Inner Mongolia, China. Chinese Journal of plant Ecology, 2011, 35(12): 1281-1289.
- [12] Zhao C Z, Zhang Q P, Dong X G. Soil seed bank of *Potentilla acaulis* community in arid grassland of the upstream of Shiyang River. Arid Land Geography, 2010, 33(1): 71-76.
- [13] G Sun, P Luo, N Wu. *Stellera chamaejasme* L. increases soil N availability, turnover rates and microbial biomass in an alpine meadow ecosystem on the eastern Tibetan Plateau of China. Soil Biology and Biochemistry, 2009, 41: 86-91.
- [14] Xing F, Guo J X, Wei C Y. Judging method of individual age and age structure of *Stellera chamaejasme* population in degraded steppe. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(11): 2104-2108.
- [15] Xing F, Song R. Population distribution pattern and dynamics of poisonous *Stellera chamaejasme* on grassland. Pratacul-tural Sinica, 2002, 19(1): 16-19.
- [16] Xing F, Wang Y H, Guo J X. Spatial distribution patterns and dispersal mechanisms of the seed population of *Stellera chamaejasme* on degraded grasslands in Inner Mongolia, China. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(1): 143-148.
- [17] Zhao C Z, Gao F Y, Wang X P, Sheng Y P, Shi F X. Fine-scale spatial patterns of *Stellera chamaejasme* population in degraded alpine grassland in upper reaches of Heihe, China. Chinese Journal of plant Ecology, 2010, 34(11): 1319-1326.
- [18] Zhao C Z, Gao F Y, Sheng Y P, Dong X G, Zhou W. Fine-scale spatial distribution and spatial association of *Stellera chamaejasme* population. Arid Land Geography, 2011, 34(3): 492-498.
- [19] Zhao C Z, Fan S Y, Yin C Q. Study on Vegetation Community's Structure of Degraded Grassland of Noxious and Miscellaneous Grass Type. Journal of Desert Research, 2004, 24(4): 507-512.
- [20] Riggall B D. Spatial statistics, Wiley, New York, 1981.
- [21] Manly B F J. Randomization and Monte Carlo Methods in Biology. Chapman and Hal, New York, 1991.
- [22] Diggle P J. Statistical analysis of spatial point patterns, Academic Press, New York, 1983.
- [23] You H Z, Liu X L, Miao N, He F, Ma Q Y. Individual association and scale effect of spatial pattern of *Quercus aquifolioides* populations along the elevation gradients. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(15): 4004-4011.
- [24] Bingham R A, Orthner A R. Efficient pollination of alpine plants. Nature, 1998, 391: 238-239.
- [25] Kudo G, Molau U. Variations in reproductive traits at florescence and flower levels of an arctic legume. *Astragalus alpinus* L. Comparisons between subalpine and an alpine population. Plant Species Biology, 1999, 14: 181-191.
- [26] Li L, Wei S G, Huang Z L. Spatial patterns and interspecific associations of three canopy species at different life stages in a subtropical forest, China. Journal of Integrative Plant Biology, 2008, 50: 1140-1150.
- [27] Hegazy A K, Hosni H A, El-Demerdash M A. Vegetation, species diversity and floristic relations along an altitudinal gradient in south-west Saudi Arabia. Journal of Arid Environment, 1998, 38: 3-13.
- [28] Gao F Y, Zhao C Z. Pattern-controlling mechanics of different age classes of *Stellera chamaejasme* population in degraded alpine grassland. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(10): 3114-3121.
- [29] Allee W C. Animal Aggregations; A study in general sociology. Chicago: University of Chicago Press, 1931: 41-65.
- [30] Cai F. A study on the structure and dynamics of *Cyclobalanopsis glauca* population at hills around west lake in Hangzhou. Scientia Silvae Sinicae, 2000, 36(3): 67-72.

#### 参考文献:

- [1] 曲仲湘. 植物生态学 (第二版). 北京: 高等教育出版社, 1983.
- [2] 操国兴, 钟章成, 刘芸, 谢德体. 缙云山川鄂连蕊茶种群空间分布格局研究. 生物学杂志, 2003, 20(1): 10-12.
- [7] 张金屯. 植物种群空间分布的点格局分析. 植物生态学报, 1998, 22(4): 344-349.
- [8] 杨洪晓, 张金屯, 吴波, 李晓松, 张友炎. 毛乌素沙地油蒿种群点格局分析. 植物生态学报, 2006, 30(4): 563-570.
- [9] 刘振国, 李镇清. 不同放牧强度下冷蒿种群小尺度空间格局. 生态学报, 2004, 24(2): 227-234.
- [10] 张金屯, 孟东平. 芦芽山华北落叶松林不同龄级立木的点格局分析. 生态学报, 2004, 24(1): 35-40.
- [11] 王鑫厅, 侯亚丽, 刘芳, 常英, 王炜, 梁存柱, 苗百岭. 羊草+大针茅草原退化群落优势种群空间点格局分析. 植物生态学报, 2011, 35(12): 1281-1289.
- [12] 赵成章, 张起鹏, 董小刚, 等. 石羊河上游干旱草原星毛委陵菜群落土壤种子库. 干旱区地理, 2010, 33(1): 71-76.
- [14] 邢福, 郭继勋, 魏春雁. 退化草原狼毒个体年龄判定方法及其种群年龄结构的研究. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2104-2108.
- [15] 邢福, 宋日. 草地有毒植物狼毒种群分布格局及动态. 草业科学, 2002, 19(1): 16-19.
- [16] 邢福, 王艳红, 郭继勋. 内蒙古退化草原狼毒种子的种群分布格局与散布机制. 生态学报, 2004, 24(1): 143-148.
- [17] 赵成章, 高福元, 王小鹏, 盛亚萍, 石福习. 黑河上游高寒草地狼毒种群小尺度点格局分析. 植物生态学报, 2010, 34(11): 1319-1326.
- [18] 赵成章, 高福元, 盛亚萍, 董小刚, 周伟. 狼毒种群小尺度空间分布格局及空间关联性研究. 干旱区地理, 2011, 34(5): 492-497.
- [19] 赵成章, 樊胜岳, 殷翠琴. 祁连山区天然草原退化原因分析与可持续利用对策. 中国沙漠, 2004, 24(2): 207-210.
- [23] 尤海舟, 刘兴良, 缪宁, 何飞, 马钦彦. 川滇高山栎种群不同海拔空间格局的尺度效应及个体间空间关联. 生态学报, 2010, 30(15): 4004-4011.
- [28] 高福元, 赵成章. 高寒退化草地狼毒种群株丛间格局控制机理. 生态学报, 2013, 33(10): 3114-3121.
- [30] 蔡飞. 杭州西湖山区青冈种群结构和动态的研究. 林业科学, 2000, 36(3): 67-72.



# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.3 Feb., 2014 (Semimonthly)

## CONTENTS

### Frontiers and Comprehensive Review

- Research advances and prospects of post-disaster ecological restoration assessment .....  
..... LIU Xiaofu, WANG Wenjie, LI Jing, et al (527)
- The sustainability analysis of small hydropower plants in China based on ecological energetic accounting .....  
..... PANG Mingyue, ZHANG Lixiao, WANG Changbo (537)

### Autecology & Fundamentals

- An ecological study on zooplankton in the northern Beibu Gulf V: the effects of microzooplankton grazing on phytoplankton in summer .....  
..... MA Lu, CAO Wenqing, ZHANG Wenjing, et al (546)
- Sexual size dimorphism and female individual fecundity of *Silurus asotus* and *Clarias fuscus* .....  
..... FAN Xiaoli, LIN Zhihua, DING Xianlong, et al (555)
- Effect of environmental temperature on thermogenesis and evaporative water loss in Chinese bulbuls (*Pycnonotus sinensis*) .....  
..... LIN Lin, CAO Mengting, HU Yilin, et al (564)
- Effects of irrigation on plant growth and nitrogen use characteristics of *Calligonum caput-medusae* Schrenk seedlings .....  
..... HUANG Caibian, ZENG Fanjiang, LEI Jiaqiang, et al (572)
- Enzymatic activity during phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon impacted soil .....  
..... ZHU Fan, HONG Xiangqi, YAN Wende, et al (581)
- Assessment of karst groundwater vulnerability in Chongqing based on revised RISKE model .....  
..... WEI Xingping, PU Junbing, ZHAO Chunyong (589)
- Monitoring salt and water dynamics in farmland and drainage ditch in a saline environment under reduced drainage intensity .....  
..... PAN Yanxin, LUO Wan, JIA Zhonghua, et al (597)

### Population, Community and Ecosystem

- Spatial distribution and spatial association of *Stellera chamaejasme* population in the different altitude in degraded alpine grassland .....  
..... GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang, ZHUO MA Lancuo (605)
- Biotic stress of predators on population of alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Col.: Chrysomelidae) .....  
..... LIU Yufang, LI Fei, GUI Fangyan, et al (613)
- Characteristics of phytoplankton community in the northern South China Sea in summer and winter .....  
..... MA Wei, SUN Jun (621)
- The amount and dynamics of litterfall in the natural secondary forest in Mopan Mountain .....  
..... FAN Chunnan, GUO Zhongling, ZHENG Jinping, et al (633)
- Effects of continuous drought on soil bacteria populations and community diversity in sweet cherry rhizosphere .....  
..... LIU Fangchun, XING Shangjun, MA Hailin, et al (642)
- The basic principle of random forest and its applications in ecology: a case study of *Pinus yunnanensis* .....  
..... ZHANG Lei, Wang Linlin, ZHANG Xudong, et al (650)
- Quantitative analysis of driving factors for wetland degradation based on hydrology balance .....  
..... HOU Peng, SHEN Wenming, WANG Qiao, et al (660)
- Stomatal and environmental control on evapotranspiration in a plantation in the lower mountain areas of North China .....  
..... HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (667)
- The fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in alpine grassland of the Tianshan Mountains, Xinjiang .....  
..... HE Guixiang, LI Kaihui, SONG Wei, et al (674)

**Landscape, Regional and Global Ecology**

- Analysis the relationship between ecological footprint (EF) of ningxia and influencing factors: Partial Least-Squares Regression (PLS)  
..... MA Mingde, MA Xuejuan, XIE Yingzhong, et al (682)
- Profile distribution patterns of soil organic carbon and the rate of carbon sequestration in Ningxia Irrigation Zone .....  
..... DONG Linlin, YANG Hao, YU Dongsheng, et al (690)
- Molecular mechanism on carbon dioxide assimilation of autotrophic microorganism and carbon translocation in agricultural soils .....  
..... WU Xiaohong, JIAN Yan, CHEN Xiaojuan, et al (701)

**Resource and Industrial Ecology**

- Ecological efficiency analysis of the circular economy system in mining area based on emergy analytic approach .....  
..... SUN Yufeng, GUO Quanying (710)
- Assessing synthetic carrying capacity based on AD-AS model: a case study in Coastal Zone, Zhoushan .....  
..... SU Panpan, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (718)

**Urban, Rural and Social Ecology**

- Driving forces analysis of urban expansion based on boosted regression trees and Logistic regression .....  
..... LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (727)

**Research Notes**

- Spatial-temporal variability of dry and wet deposition of atmospheric nitrogen in different ecological regions of Shaanxi .....  
..... LIANG Ting, TONG Yan'an, LIN Wen, et al (738)
- The effects of different mulching way on soil water thermal characteristics in pear orchard in the arid area .....  
..... LIU Xiaoyong, LI Hongxun, LI Jianming, et al (746)
- Structure and diversity of soil fauna communities in the tundra of the Changbai Mountains, China .....  
..... WANG Zhenhai, YIN Xiuqin, JIANG Yunfeng (755)
- Modeling the total allowable area for coastal reclamation: a case study of Xiamen, China .....  
..... LIN Chenchen, RAO Huanhuan, LIU Yan, et al (766)

# 《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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 90 元/册,全年定价 2160 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 34 卷 第 3 期 (2014 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 34 No. 3 (February, 2014)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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:100717	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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元