

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第31卷 第20期 Vol.31 No.20 **2011**

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



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 20 期 2011 年 10 月 (半月刊)

## 目 次

- 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性..... 王宝强,薛俊增,庄 骅,等 (5865)
- 天津近岸海域夏季大型底栖生物群落结构变化特征..... 冯剑丰,王秀明,孟伟庆,等 (5875)
- 基于景观遗传学的滇金丝猴栖息地连接度分析..... 薛亚东,李 丽,李迪强,等 (5886)
- 三江平原湿地鸟类丰富度的空间格局及热点地区保护..... 刘吉平,吕宪国 (5894)
- 江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制 ..... 王 千,金晓斌,周寅康 (5903)
- 广州市主城区树冠覆盖景观格局梯度..... 朱耀军,王 成,贾宝全,等 (5910)
- 景观结构动态变化及其土地利用生态安全——以建三江垦区为例 ..... 林 佳,宋 戈,宋思铭 (5918)
- 基于景观安全格局的香格里拉县生态用地规划..... 李 晖,易 娜,姚文璟,等 (5928)
- 苏南典型城镇耕地景观动态变化及其影响因素..... 周 锐,胡远满,苏海龙,等 (5937)
- 放牧干扰下若尔盖高原沼泽湿地植被种类组成及演替模式..... 韩大勇,杨永兴,杨 杨,等 (5946)
- 放牧胁迫下若尔盖高原沼泽退化特征及其影响因子..... 李 珂,杨永兴,杨 杨,等 (5956)
- 近 20 年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响..... 蓝文陆 (5970)
- 万仙山油松径向生长与气候因子的关系 ..... 彭剑峰,杨爱荣,田沁花 (5977)
- 50 年来山东塔山植被与物种多样性的变化 ..... 高 远,陈玉峰,董 恒,等 (5984)
- 热岛效应对植物生长的影响以及叶片形态构成的适应性..... 王亚婷,范连连 (5992)
- 遮荫对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响..... 刘建锋,杨文娟,江泽平,等 (5999)
- 遮荫对 3 年生东北铁线莲生长特性及品质的影响..... 韩忠明,赵淑杰,刘翠晶,等 (6005)
- 云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对封育草地四种优势植物的化感效应..... 王 辉,谢永生,杨亚利,等 (6013)
- 杭州湾滨海滩涂盐基阳离子对植物分布及多样性的影响 ..... 吴统贵,吴 明,虞木奎,等 (6022)
- 藏北高寒草原针茅属植物 AM 真菌的物种多样性..... 蔡晓布,彭岳林,杨敏娜,等 (6029)
- 成熟马占相思林的蒸腾耗水及年际变化..... 赵 平,邹绿柳,饶兴权,等 (6038)
- 荆条叶性状对野外不同光环境的表型可塑性..... 杜 宁,张秀茹,王 炜,等 (6049)
- 短期极端干旱事件干扰后退化沙质草地群落恢复力稳定性的测度与比较..... 张继义,赵哈林 (6060)
- 滨海盐碱地土壤质量指标对生态改良的响应..... 单奇华,张建锋,阮伟建,等 (6072)
- 退化草地阿尔泰针茅与狼毒种群的小尺度种间空间关联..... 赵成章,任 珩 (6080)
- 延河流域植物群落功能性状对环境梯度的响应 ..... 龚时慧,温仲明,施 宇 (6088)
- 臭氧胁迫使两优培九倒伏风险增加——FACE 研究 ..... 王云霞,王晓莹,杨连新,等 (6098)
- 甘蔗//大豆间作和减量施氮对甘蔗产量、植株及土壤氮素的影响 ..... 杨文亭,李志贤,舒 磊,等 (6108)
- 湿润持续时间对生物土壤结皮固氮活性的影响..... 张 鹏,李新荣,胡宜刚,等 (6116)
- 锌对两个品种茄子果实品质的效应..... 王小晶,王慧敏,王 菲,等 (6125)
- Cd<sup>2+</sup> 胁迫对银芽柳 PS II 叶绿素荧光光响应曲线的影响 ..... 钱永强,周晓星,韩 蕾,等 (6134)
- 紫茉莉对铅胁迫生理响应的 FTIR 研究 ..... 薛生国,朱 锋,叶 晟,等 (6143)

结缕草对重金属镉的生理响应 .....	刘俊祥,孙振元,巨关升,等 (6149)
两种大型真菌子实体对 Cd <sup>2+</sup> 的生物吸附特性 .....	李维焕,孟凯,李俊飞,等 (6157)
富营养化山仔水库沉积物微囊藻复苏的受控因子 .....	苏玉萍,林慧,钟厚璋,等 (6167)
一种新型的昆虫诱捕器及其对长足大竹象的诱捕作用 .....	杨瑶君,刘超,汪淑芳,等 (6174)
光周期对梨小食心虫滞育诱导的影响 .....	何超,孟泉科,花蕾,等 (6180)
农林复合生态系统防护林斑块边缘效应对节肢动物的影响 .....	汪洋,王刚,杜瑛琪,等 (6186)
中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变 .....	程琳,李锋,邓华锋 (6194)
城市综合生态风险评价——以淮北市城区为例 .....	张小飞,王如松,李正国,等 (6204)
唐山市域 1993—2009 年热场变化 .....	贾宝全,邱尔发,蔡春菊 (6215)
基于投影寻踪法的武汉市“两型社会”评价模型与实证研究 .....	王茜茜,周敬宣,李湘梅,等 (6224)
长株潭城市群生态屏障研究 .....	夏本安,王福生,侯方舟 (6231)
基于生态绿当量的城市土地利用结构优化——以宁国市为例 .....	赵丹,李锋,王如松 (6242)
基于 ARIMA 模型的生态足迹动态模拟和预测——以甘肃省为例 .....	张勃,刘秀丽 (6251)
<b>专论与综述</b>	
孤立湿地研究进展 .....	田学智,刘吉平 (6261)
甲藻的异养营养型 .....	孙军,郭术津 (6270)
生态工程领域微生物菌剂研究进展 .....	文娅,赵国柱,周传斌,等 (6287)
我国生态文明建设及其评估体系研究进展 .....	白杨,黄宇驰,王敏,等 (6295)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 440 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 49 * 2011-10	



**封面图说:** 壶口瀑布是黄河中游流经秦晋大峡谷时形成的一个天然瀑布。此地两岸夹山,河底石岩上冲刷成一巨沟,宽达 30 米,深约 50 米,最大瀑面 3 万平方米。滚滚黄水奔流至此,倒悬倾注,若奔马直入河沟,波浪翻滚,惊涛怒吼,震声数里可闻。其形其声如巨壶沸腾,故名壶口。300 余米宽的滚滚黄河水至此突然收入壶口,有“千里黄河一壶收”之说。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

赵成章, 任珩. 退化草地阿尔泰针茅与狼毒种群的小尺度种间空间关联. 生态学报, 2011, 31(20): 6080-6087.

Zhao C Z, Ren H. Fine-scale spatial associations of *Stipa krylovii* and *Stellera chamaejasme* population in alpine degraded grassland. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(20): 6080-6087.

## 退化草地阿尔泰针茅与狼毒种群的 小尺度种间空间关联

赵成章\*, 任珩

(西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

**摘要:**采用草地群落学调查与点格局分析方法,在祁连山北坡选择 4 种退化高寒草地群落,分析了阿尔泰针茅(*Stipa krylovii*)与狼毒(*Stellera chamaejasme*)种群的大小结构、斑块特征和种间关联关系。结果表明:随天然草地退化过程延续,阿尔泰针茅由大株丛结构演变为小株丛结构,种群密度和领地面积减小、空斑面积增大、领地密度先增大后减小,狼毒种群的株丛结构和斑块特征发生了相反的变化趋势;不同退化草地阿尔泰针茅和狼毒种群的空间关联呈现负关联、正关联和不关联规律;在未退化草地和轻度退化草地、中度退化草地,阿尔泰针茅与狼毒的关联性分别由 0—14 cm、0—51 cm 尺度上的负相关和 0—85 cm 尺度上的不相关,转变为 14—100 cm、51—100 cm 尺度上的不相关和 86—100 cm 尺度上的正相关。物种个体大小结构变化,以及狼毒种群的斑块吞并、合并和阿尔泰针茅种群的斑块破碎、被分割过程,既是物种关联性发生尺度转换的先决条件,又是引起草地群落中物种地位与作用改变的关键因素。

**关键词:**阿尔泰针茅;狼毒;空间关联;尺度转换;大小结构;斑块;祁连山地

### Fine-scale spatial associations of *Stipa krylovii* and *Stellera chamaejasme* population in alpine degraded grassland

ZHAO Chengzhang\*, REN Heng

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

**Abstract:** Grassland degradation is one of the important environment and resource issues in North China. Different degrees of grassland degradation in alpine grassland are mainly caused by global climate change, overexploitation and other reasons, which threatens to the sustainable development of grassland animal husbandry and improvement of living standards of farmers. Spatial structure of plant species is important in plant ecology as it affected the dynamics of plant populations, communities and ecosystem processes. Small-scale spatial association is the main sources of spatial heterogeneity, which can reveal the dynamic and stability of population and community structure. *Stipa krylovii* and *Stellera chamaejasme* are dominant species in alpine degraded grassland, have great significance for understanding sustainable utilization of grassland resources with studies on the spatial association of *S. krylovii* and *S. chamaejasme*. In this study for three main aims: First, to describe the scale transformation of spatial associations within the same gradient; Second, to study the spatial associations changes along with the degradation gradient; Third, to analyze the effect of bunch size structure and population patch on the spatial associations. Study sites locates in the Ma Changtan grassland in SuNan country of the north Qilian Mountain (38°47'22.1"—38°52'11" N, 99°45'11.7"—99°57'41.2" E). In July 2010, we recorded fine-scale (0—100 cm) spatial association of *S. krylovii* and *S. chamaejasme* from 2m×2m grids (2 cm×2 cm quadrats) in four plots under four kinds of degradation gradients: no degradation, light degradation, moderate degradation and heavy degradation. The point pattern

**基金项目:**国家自然科学基金项目(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资助

**收稿日期:**2011-06-19; **修订日期:**2011-07-11

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

analysis and Monte Carlo stochastic simulation method were used to quantitatively analyze spatial association. Based on bunch structure, patch characteristics, life history traits and strategies of ecological adaptation in the community, the scale transformation of spatial associations were discussed. The results showed that: (1) along with the natural pasture degeneration process extension, the population density and population territory area of *S. krylovii* gradually decreased, total area of hole gradually increased, and territory density increased firstly and then reduced. Meanwhile, the bunch size structure and population patch characteristics of *S. chamaejasme* showed the opposite change tendency; (2) under no degradation conditions, negative correlation was shown between *S. krylovii* and *S. chamaejasme* within 14 cm scale, whereas no significant was shown at 14 cm to 100 cm scales; negative correlation was shown under light degradation conditions within 51 cm scales, no significant correlation was shown at 51 cm to 100 cm scales; under moderate degradation conditions, the spatial associations were no significant correlation within 86 cm scales, but positive correlation was shown at 86 cm to 100 cm scales; under heavy degradation conditions, there was no significant correlation as a whole and the scale ranges was from 0 cm to 100 cm. To sum up, the spatial associations between *S. krylovii* and *S. chamaejasme* were changed on the different scale and degradation gradient. The changes of population's bunch size structure, as well as the combining and annex of *S. chamaejasme* patches and the process of *S. krylovii* patch separated into many small "island" patches, are not only the antecedent conditions affecting scale transformation of spatial associations, but also the critical factors of population's status and function change.

**Key Words:** *Stipa krylovii*; *Stellera chamaejasme*; spatial association; scale transformation; size structure; patch; Qilian Mountain

种间关联是物种在不同生境中相互影响和相互作用所形成的有机联系的反映,不同物种个体种间关联程度的客观测定,能有效地反映组成群落物种间相互依存和相互制约的复杂关系<sup>[1-2]</sup>。草地微斑块是草地生态系统结构与功能得以体现的基础<sup>[3]</sup>,种群的大小结构反应了种群不同个体的组配情况,以及种群与环境间的相互关系和它们在群落中的作用和地位<sup>[4]</sup>。许多学者研究了单一尺度上多种群间相对固定的种间关联性<sup>[5-6]</sup>,草地群落微斑块的性状<sup>[3]</sup>、植物种群结构和空间格局变化与草地群落结构的关系<sup>[7]</sup>,丰富和发展了草地植物群落生态学理论。“毒杂草型”退化草地已经成为北方牧区中最具代表性的退化类型,放牧干扰下家畜不采食的毒杂草逐渐取代丛生禾草是该类草地逆行演替的主要特征,近年来在“毒杂草型”退化草地群落结构<sup>[8]</sup>和土壤种子库<sup>[9-10]</sup>、种群空间结构和分布格局<sup>[11-12]</sup>等方面开展了深入研究,为“毒杂草型”退化草地群落生态学和种群生物学研究提供了依据,但是退化草地优势种群更替过程中,基于物种个体大小结构和斑块特征的种间关联尺度转换机理尚不明晰,在一定程度上阻碍了对毒草种群更新途径与策略的深入理解。鉴于此,本文利用群落调查法与点格局分析法相结合,研究了祁连山北坡“毒杂草型”退化草地中主要物种阿尔泰针茅(*Stipa krylovii*)和狼毒(*Stellera chamaejasme*)种群的小尺度种间关联关系,旨在从空间尺度上认识种间关联关系的动态特征,以及植物种群应对放牧干扰的可塑性机制。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于祁连山北坡中高山区的甘肃省肃南裕固族自治县马场滩草原,地理坐标为 38°47'22.1" — 38°52'11" N, 99°45'11.7" — 99°57'41.2" E,海拔 2610—2632 m,年均温 1—2℃,≥0℃的年积温为 2450℃,相对无霜期 80 d,年降水量 270—350 mm,年蒸发量 1480—1620 mm,相对湿度 65%。土壤以山地栗钙土为主。供试样地属于山地草原类,坡地针茅组,阿尔泰针茅型。天然草地主要植物有阿尔泰针茅、冷蒿(*Artemisia frigida*)、甘肃臭草(*Melica przewalskyi*)、扁穗冰草(*Agropyron cristatum*)、草地早熟禾(*Poa pratensis*)、赖草(*Leymus secalinus*)、狼毒、披针叶黄华(*Thermopsis lanceolata*)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)、星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)、蒲公英(*Taxaxacum mongolicum*)、异叶青兰(*Dracocephalum heterophyllum*)、阿拉善独行菜

(*Lepidium alashanicum*)、甘肃马先蒿(*Pedicularis artselaeri*)、碱韭(*Allium polyrhizum*)等。1983年牧区实行天然草地承包到户以来,研究区域天然草地长期处于过度放牧状态,原来以丛生禾草为优势种的草地群落逐渐退化为以狼毒等毒杂草为优势种的草地群落<sup>[8]</sup>。

## 1.2 样地设置与调查分析

根据赵成章等2001—2010年对祁连山北坡“毒杂草型”退化草地群落演替过程的观察研究<sup>[8-9]</sup>,在地貌相对一致、地形平缓的冬春草场,结合草地放牧管理和草地群落学调查,根据建群种阿尔泰针茅的平均盖度、高度和地上生物量,以及草地群落的物种丰富度、优势种等指标选取了4户牧民的围栏草地作为实验样地,分别为:未退化草地(梯度Ⅰ)、轻度退化草地(梯度Ⅱ)、中度退化草地(梯度Ⅲ)和重度退化草地(梯度Ⅳ),各样地概况和群落特征详见表1。

表1 供试样地的主要特征指标  
Table 1 The chief characteristics of Plots

样地 Plot	海拔/m Altitude	阿尔泰针茅 <i>S. krylovii</i>			群落 Community	
		高度/cm Height	盖度/% Subcoverage	地上生物量/(g/m <sup>2</sup> ) Aboveground biomass	丰富度 Species richness	优势种 Dominant species
未退化(梯度Ⅰ) No degradation(Ⅰ Type)	2615	37.5±3.23	62.0±8.56	63.6±10.55	12.0±1.00	阿尔泰针茅 <i>S. krylovii</i>
轻度退化(梯度Ⅱ) Light degradation(Ⅱ Type)	2610	36.4±4.89	40.0±5.50	41.0±7.23	12.0±1.00	阿尔泰针茅 <i>S. krylovii</i> 狼毒 <i>S. chamaejasme</i>
中度退化(梯度Ⅲ) Moderate degradation(Ⅲ Type)	2632	31.5±2.59	23.0±2.77	21.0±3.99	14.0±2.00	狼毒 <i>S. chamaejasme</i>
重度退化(梯度Ⅳ) Heavy degradation(Ⅳ Type)	2627	25.3±2.18	7.2±1.90	8.6±1.65	16.0±2.00	狼毒 <i>S. chamaejasme</i>

试验在2010年7月植物生长盛期进行,在每个围栏样地内随机设置3个2 m × 2 m的样方,共设置12个样方,用1 m × 1 m的样方框(样方框内小格子的面积为2 cm × 2 cm)按从左到右,从上到下的顺序依次放置(样方框按正南正北方向放置)4次进行草地群落调查与阿尔泰针茅和狼毒种间关联调查<sup>[13]</sup>。实测并记录每个样方内的植物种类、多度、株高、盖度和地上生物量;以样方框左下角顶点为基点,记录样方中每个阿尔泰针茅和狼毒株丛的地面投影和相对位置,用坐标值直接表示距离<sup>[14]</sup>。在室内对每一个样方按照取样时样方框放置的顺序进行拼接、合并;确定各群落优势种;统计每个样方内阿尔泰针茅和狼毒的株丛数。并按照株丛径将阿尔泰针茅株丛划分为7级<sup>[15]</sup>:A级株丛(0—1.0 cm)、B级株丛(1.1—2.0 cm)、C级株丛(2.1—3.0 cm)、D级株丛(3.1—4.0 cm)、E级株丛(4.1—5.0 cm)、F级株丛(5.1—7.0 cm)、G级株丛(7.1—9.0 cm);按枝条数将狼毒株丛划分为5级<sup>[12]</sup>:A级株丛(枝条数1—10枝)、B级株丛(枝条数11—20枝)、C级株丛(枝条数21—30枝)、D级株丛(枝条数31—40枝)、E级株丛(枝条数40以上)。

## 1.3 数据分析方法

### 1.3.1 种间空间关联分析

多元点格局分析方法突破了联结分析等方法只能对生物生态学特性比较清楚的物种进行分析的局限<sup>[16]</sup>。单种格局分析可以认为是一个种群个体间的关系研究,阿尔泰针茅与狼毒种群之间的空间关联性分析实际上则是两个种群之间的点格局分析。因此,将第1个种群  $k(d)$  写成  $k_{11}(d)$ ,将第2个种群写成  $k_{22}(d)$ 。多元点格局分析要考虑两个不同大小种群的个体在距离(尺度)  $d$  内的数目,就是要计算  $k_{12}(d)$ ,其定义和计算原理与单种格局相近<sup>[17]</sup>。不难证明  $k_{12}(d)$  可以用下式估计:

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

式中,  $A$  表示研究区域面积,  $i$  和  $j$  分别代表种群1和种群2的个体,  $n_1$  和  $n_2$  分别为种群1和种群2的个体数(点数),  $I_{ij}(d) = 1$  (当  $d_{ij} \leq d$  时成立,  $d_{ij}$  是  $i$  到  $j$  之间的距离),  $W_{ij}(d)$  是边缘校正的权重,等于以点事件  $i$  为

圆心以  $d_{ij}$  ( $d_{ij}$  表示某点到其它点的距离,  $d$  表示距离尺度) 为半径的圆落在研究区域内的弧长和整个圆周长的比值。计算:

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

当  $\hat{L}_{12}(d) = 0$  表明两个种在  $d$  尺度下无关联性, 当  $\hat{L}_{12}(d) > 0$  表明二者为正关联, 当  $\hat{L}_{12}(d) < 0$  表明二者为负关联。

用 Monte-Carlo 检验拟合包迹线, 以检验两个植物种群的空间关联性。如果研究对象实际值落在上下包迹线的区间内, 则此距离尺度下两个植物种群空间关联性不显著; 如果实际值落在上包迹线之上, 则此距离尺度下为显著正关联; 如果实际值落在下包迹线之下, 则此距离尺度下为显著负关联。利用 CAD 软件绘制植物株丛的地面投影分布图, 通过 GetData Graph Digitizer 2.22 软件从植物株丛地面投影分布图中提取各株丛的实际坐标值, 最后将坐标值转入到 Excel 软件中, 此后便可将数据应用于种间空间关联分析中。通过 Visual Fortran 6.5 进行编程计算, Origin 7.5 进行绘图。本文中采用的步长为 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。

### 1.3.2 种群斑块特征分析

空斑是指在植物种群格局研究中, 没有种群个体出现的较明显的空白区, 种群空斑面积是由草地群落本身存在的空斑和其他种群分布区两部分组成<sup>[18]</sup>。本文参考王鑫厅等对羊草 (*Leymus chinensis*) 种群空斑面积的计算方法<sup>[18]</sup>, 若在单位方格中 (2 cm × 2 cm) 没有种群株丛的地上投影出现, 则称之为 1 个单位面积的空斑, 以确定种群空斑面积的大小。将取样面积内除去种群空斑面积余下的区域称为种群领地, 单位领地面积内的种群个体数称为种群领地密度。即种群领地 = 取样面积 - 种群空斑总面积, 种群领地密度 = 种群个体数 / 种群领地面积。

## 2 结果与分析

### 2.1 阿尔泰针茅种群大小结构特征

大小结构是植物种群不同组级水平上个体数量的分布规律。同一退化梯度中, 阿尔泰针茅小株丛 (A 级) 比例较高, 是种群的主要株丛类型。不同退化梯度中, 阿尔泰针茅大株丛 (B 级至 G 级) 占株丛总数的比例下降, 小株丛比例增加, 且在梯度 III 至梯度 IV 草地中, 5.1—9.0 cm 的阿尔泰针茅大株丛消失 (表 2)。方差分析表明, 阿尔泰针茅各梯度株丛大小结构差异达显著水平 ( $F = 15.42, P < 0.01$ )。

表 2 阿尔泰针茅种群株丛大小结构

Table 2 The bunch size structure of *Stipa krylovii* population

化梯度 Degradation gradient	株丛大小 bunch size / (株丛/m <sup>2</sup> )						
	A	B	C	D	E	F	G
梯度 I I Type	27±4.08 a	6±0.90 a	14±1.80 a	12±1.91 a	11±1.6 a	8±1.10 a	1±0.08
梯度 II II Type	35±5.86 a	13±2.65 b	11±1.58 a	5±0.78 b	2±0.35 b	1±0.13 b	
梯度 III III Type	30±4.19 a	10±1.10 b	6±0.45 b	5±0.85 b	3±0.11 b		
梯度 IV IV Type	29±4.18 a	5±0.62 c	5±0.51 b	3±0.50 b	2±0.15 b		

同一列数据后不同字母表示处理间差异显著  $P < 0.01$

### 2.2 狼毒种群大小结构特征

狼毒种群大小结构在不同退化草地中呈显著性差异 ( $F = 12.47, P < 0.01$ )。同一退化梯度中, 狼毒种群以小株丛 (A 级) 为主, 其他组级占株丛总数的比例较小。在不同退化梯度下, 狼毒小株丛数量维持在一个相对稳定范围之内, 大株丛 (B 级至 E 级) 数量处于不断增长趋势, E 级狼毒株丛仅在梯度 IV 草地出现; 同时, 各级狼毒株丛占株丛总数的比例不断变化, 小株丛比例下降, 大株丛比例增长 (表 3)。

### 2.3 不同退化梯度草地阿尔泰针茅和狼毒种群特征

阿尔泰针茅和狼毒种群斑块特征在不同退化草地中存在相反的变化趋势 (表 4)。阿尔泰针茅种群密度

和领地面积表现为逐渐降低的变化趋势,空斑面积逐渐增加,种群领地密度先增大后减小;狼毒种群密度和领地面积呈现逐渐增大的趋势,空斑面积逐渐减小,种群领地密度先减小后增大。

表3 狼毒种群株丛大小结构

Table 3 The bunch size structure of *Stellera chamaejasme* population

退化梯度 Degradation gradient	株丛大小 bunch size / (株丛/m <sup>2</sup> )				
	A	B	C	D	E
梯度 I I Type	21 ±0.19 a	5 ±0.12 a	2 ±0.09 a		
梯度 II II Type	30 ±0.38 b	8 ±0.15 a	3 ±0.10 a	1 ±0.06 a	
梯度 III III Type	30 ±0.31 b	10 ±0.17 a	3 ±0.11 a	1 ±0.07 a	
梯度 IV IV Type	29 ±0.25 b	12 ±0.13 a	6 ±0.15 b	3 ±0.10 b	1 ±0.05

同一列数据后不同字母表示处理间差异显著  $P < 0.01$ 。

表4 不同退化梯度草地阿尔泰针茅和狼毒种群斑块特征

Table 4 Population path characteristics of *Stipa krylovii* and *Stellera chamaejasme* in different degradation gradient

退化梯度 Degradation gradient	阿尔泰针茅 <i>S. krylovii</i>			
	种群密度/(株丛/m <sup>2</sup> ) Population Density	空斑面积/m <sup>2</sup> Total area of hole	领地面积/m <sup>2</sup> Population territory area	领地密度/(株丛/m <sup>2</sup> ) Territory density
梯度 I I Type	78.00±9.31 a	0.94±0.26 a	0.06±0.02 a	1248.00±78.24 a
梯度 II II Type	66.00±6.14 a	0.95±0.25 a	0.05±0.01 a	1320.00±101.52 b
梯度 III III Type	52.00±5.83 b	0.96±0.18 a	0.04±0.01 a	1386.67±125.88 b
梯度 IV IV Type	40.00±2.54 c	0.97±0.29 a	0.03±0.01 a	1333.34±99.87 c
退化梯度 Degradation gradient	狼毒 <i>S. chamaejasme</i>			
	种群密度/(株丛/m <sup>2</sup> ) Population Density	空斑面积/m <sup>2</sup> Total area of hole	领地面积/m <sup>2</sup> Population territory area	领地密度/(株丛/m <sup>2</sup> ) Territory density
梯度 I I Type	28.00±0.50 a	0.85±0.31 a	0.15±0.05 a	186.67±22.35 a
梯度 II II Type	42.00±1.10 b	0.68±0.19 b	0.32±0.08 b	131.25±17.50 b
梯度 III III Type	44.00±1.36 b	0.65±0.22 b	0.36±0.11 b	122.22±13.24 b
梯度 IV IV Type	51.00±2.10 c	0.61±0.15 b	0.39±0.10 b	130.77±15.12 b

同一列数据后不同字母表示处理间差异显著  $P < 0.01$ 。

## 2.4 阿尔泰针茅与狼毒种群空间关联性分析

图1表明,不同退化梯度中,阿尔泰针茅和狼毒种间关联性随空间尺度变化表现出不同的关联类型。梯度 I 草地中,阿尔泰针茅和狼毒种群在 0—14 cm 尺度上显著负相关,14—100 cm 尺度上关联性不显著;梯度 II 草地中,显著负关联的尺度明显增大,在 0—51 cm 尺度上表现显著负相关,51—100 cm 尺度上关联性不显著;梯度 III 草地中,在 86—100 cm 尺度上表现为显著正相关,而 0—86 cm 尺度上关联性不显著;梯度 IV 草地中,阿尔泰针茅种群和狼毒种群种间空间关联性在 0—100 cm 尺度上均表现为关联性不显著。并且阿尔泰针茅与狼毒的种间空间关联统计上是显著的( $P < 0.01$ )。

## 3 结论与讨论

本文选取的 4 种草地类型基本上反映了祁连山北坡中山区“毒杂草型”退化草地的形成过程,具有一定的代表性。其中未退化草地(梯度 I)代表小部分保护较好的原生草地,轻度退化草地(梯度 II)是该地区所占比例最大的草地群落,中度退化草地(梯度 III)是该地区天然草地退化演替的临界阶段和人类合理干扰的关键阶段<sup>[8]</sup>,重度退化草地(梯度 IV)中原生地帶性优势种群丛生禾草处于零星分布状态、草毡层消失,草地生态系统的结构和功能接近崩溃。土壤、气候和人类干扰是退化草地形成的外生因素<sup>[19]</sup>,而草地植物群落结构改变和优势植物种群的更新策略,以及由此产生的种间依赖、竞争关系是草地群落演替的主要内因<sup>[20]</sup>。植物种群关联性存在非线性特征,退化草地群落微景观格局的破碎化,加剧了小尺度层面种间关系的不确定性<sup>[21]</sup>。毒杂草型退化草地中小尺度上阿尔泰针茅和狼毒种间关联性的尺度转换效应和组合特征,与种群大



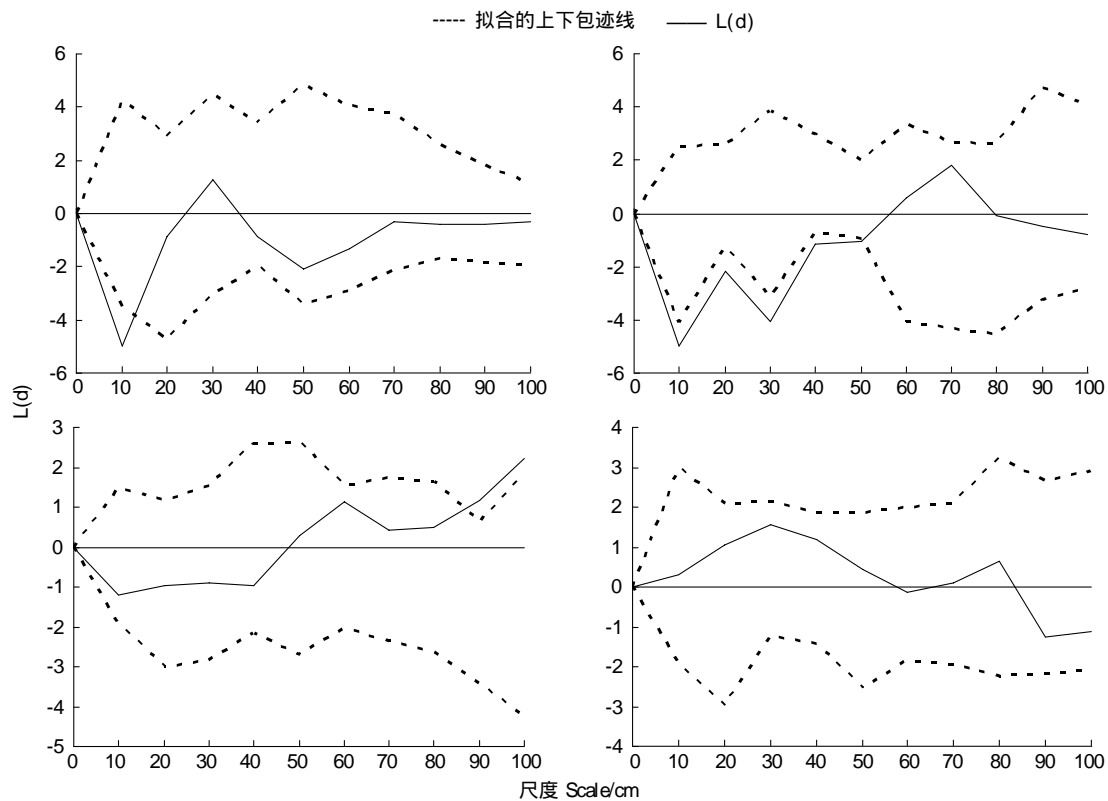


图1 阿尔泰针茅和狼毒种群空间关联性分析

Fig. 1 Spatial association analysis of *Stipa krylovii* and *Stellera chamaejasme* population

小结构和斑块格局变化引起的物种适应性对策密切相关<sup>[22]</sup>,反映了草地退化演替过程中优势种空间分布格局对群落环境的响应机制。因此,本文将讨论的重点放在天然草地退化过程中,优势物种株丛大小结构转化和斑块动态特征对种间关联性的作用机制方面。

大小结构可以反映种群的数量动态和发展趋势,并可以结合种群的繁殖更新能力和各龄级的死亡情况在一定程度上反映或预测未来种群的发展方向<sup>[23]</sup>。研究发现,阿尔泰针茅和狼毒的种间关联性转化的尺度范围存在差异,这种现象需要借助不同草地群落中,物种株丛大小结构调整影响下的空间资源获取能力和种内、种间竞争格局加以解释。梯度 I 和梯度 II 草地中,阿尔泰针茅种群以株丛径 2.1—7.0 cm 的大株丛构成了“中间大、两头小”的相对稳定的种群大小结构,使其在资源有限的情况下处于竞争优势地位;而狼毒种群的大株丛数量相对较少,小株丛随机分布在阿尔泰针茅株丛周围,种群大小结构处于增长阶段,竞争能力的不对称性引起两者只能在较小尺度上形成种间竞争关系,二者分别在 0—14 cm 和 0—51 cm 的尺度上呈负相关;在较大尺度上,阿尔泰针茅株丛对群落资源存在绝对控制作用,狼毒小株丛无法与其共享群落资源,两者的竞争关系有所减弱甚至消失,二者在 14—100 cm 和 51—100 cm 尺度上呈现不相关关系。梯度 III 和梯度 IV 草地中,在放牧干扰下阿尔泰针茅大株丛中央的枝条死亡,在株丛中央形成“空心”,株丛被枯叶鞘分割为数个克隆片段<sup>[15]</sup>,大株丛逐渐分化为株丛径为 0.1—1.0 cm 的小株丛,形成以小株丛为主体的种群大小结构;与此同时狼毒种群的大株丛数量持续增加并占据草地群落的优势地位,必然加剧种内资源生态位的重叠,竞争关系由种间竞争为主逐渐转化为种内竞争为主,在 0—85 cm 尺度上二者的关联性由负相关和不相关转变为不相关,86—100 cm 尺度上出现正相关关系;随着阿尔泰针茅大株丛破碎为小株丛,以及狼毒株丛个体的扩大,在 0—100 cm 尺度上二者表现为不相关。这些结果,完善了运用方差分析、Pearson 相关分析和 Spearman 秩相关分析等方法研究退化草地种间关联性结论的尺度空间<sup>[1,6]</sup>。

物种分布的斑块性是自然界的一种普遍现象<sup>[3]</sup>,斑块间物质能量的流动对于物种分布格局和生态过程

具有重要作用,从而影响种间关系的变化<sup>[24]</sup>。在放牧干扰下,梯度Ⅱ草地中阿尔泰针茅斑块中心株丛死亡,导致斑块中形成了一些小空斑,空斑面积出现逐步增大趋势;与此同时,随狼毒株丛数量的增加,形成了许多直径较小的狼毒斑块,并开始对阿尔泰针茅斑块进行切割,不断嵌入至阿尔泰针茅斑块中,因此,两种群在0—51 cm 尺度呈现负相关关系,其余尺度呈现不相关关系。小尺度上植物种群可能以个体为单位通过聚集形成斑块,当尺度继续增大时可能发生更高层次的斑块分化现象<sup>[25]</sup>,在梯度Ⅲ草地中,随着斑块规模和数量进一步增大,狼毒种群需要通过斑块吞并逐步实现种群的扩散<sup>[12]</sup>,规模较大的斑块将规模较小的斑块合并到一起,形成具有更大竞争能力的斑块,狼毒种群的斑块运动格局必然造成阿尔泰针茅斑块进一步被分割,致使后者的斑块分化为多个直径较小“岛”状小斑块,随机分布在狼毒斑块的空斑处,两者在空间生态位上分离,使种间关系由负相关转向正相关。随着斑块吞并、合并过程的交替进行,在梯度Ⅳ草地中,狼毒种群最终形成以成年植株为核心周围聚集小斑块的团块结构,实现了对草地群落资源空间的绝对控制,阿尔泰针茅斑块完全破碎失去了与狼毒竞争的能力,引起两者种间关联关系逐渐转向不相关。

综上所述,阿尔泰针茅与狼毒种群的大小结构和斑块特征存在此消彼长的不对称关系。随着草地退化,针茅种群大小结构和斑块特征表现出“稳定-波动-破碎”的动态过程,狼毒种群大小结构趋于稳定,种群斑块吞并、合并过程交替进行形成了团块格局,改变了草地群落的微环境,以及物种在草地群落中的地位和资源竞争态势,引起二者关联关系在退化梯度和空间尺度上发生转换。因此,物种个体大小结构变化,以及狼毒种群的斑块吞并、合并和阿尔泰针茅种群的斑块破碎、被分割过程,既是物种关联性发生尺度转换的先决条件,又是引起草地群落中物种地位与作用改变的关键因素,反映了退化草地植物种群繁殖与更新的适应性途径。

#### References:

- [ 1 ] Greig-Smith P. Quantitative Plant Ecology. London: Blackwell Scientific Publications, 1983.
- [ 2 ] Liu J H, Gao H, Zhang L H, Chen L P, Zhao N X, Gao Y B. Comparative analysis of inter-specific association within the *Stipa grandis*-*S. krylovii* community in typical steppe of Inner Mongolia, China. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(9): 1016-1024.
- [ 3 ] Zhang W G, Huang W B, Yang Z Y. The study on the relationship between mini-patch and degradation of pasture. Acta Prataculturae Sinica, 2003, 12(3): 44-50.
- [ 4 ] Umeki K, Lim E M, Honjo T. A GIS-based simulation program to predict multi-species size-structure dynamics for natural forests in Hokkaido, northern Japan. Ecological Informatics, 2008, 3(3): 218-227.
- [ 5 ] Zhong Y, Zhang J, Yang W Q, Wu F Z, Feng M S, Liu Q B. Interspecific relationships and ecological species groups of dominant herbage species in *Eucalyptus grandis* plantation. Acta Prataculturae Sinica, 2010, 19(3): 56-62.
- [ 6 ] Jian M F, Liu Q J, Zhu D, You H. Inter-specific correlations among dominant populations of tree layer species in evergreen broad-leaved forest in Jiulianshan Mountain of Subtropical China. Chinese Journal of Plant Ecology, 2009, 33(4): 672-680.
- [ 7 ] Su A L, Xu G P, Duan J C, Wang S P, Zhang Z H. Community structure and point pattern analysis on main plant populations of *Potentilla fruticosa* shrub meadow in Qilian Mountain. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2010, 30(6): 1231-1239.
- [ 8 ] Zhao C Z, Fan S Y, Yin C Q, He X B. Study on vegetation community's structure of degraded grassland of noxious and miscellaneous grass type. Journal of Desert Research, 2004, 24(4): 507-512.
- [ 9 ] Zhao C Z, Zhang Q P, Dong X G, Wang Q, Wang Y Y. Soil seed bank of *Potentilla acaulis* community in arid grassland of the upstream of Shiyang River. Arid Land Geography, 2010, 33(1): 71-77.
- [ 10 ] Tong C, Feng X, Zhong Y K. Soil seed banks of *Stipa krylovii* degraded steppe in the Xilin River Basin. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 4710-4719.
- [ 11 ] 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.
- [ 12 ] Lu Q S, Huang L, Lü N. Degraded grassland patterns of eastern eight counties, source region of the Three Rivers, Qinghai Province. Journal of Natural Resources, 2009, 24(2): 259-267.
- [ 13 ] Chen B R, Yang G X, Zhang H B, Duan Q W, Xin X P. Spatial pattern analysis of *Leymus chinensis* population under different disturbances. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(21): 5868-5874.
- [ 14 ] Riggle B D. Spatial Statistics. New York: Wiley, 1981: 10-200.

- [15] Bai Y F, Xu Z X, Li D X, Zhao G. Study on age and bunch structure of four *Stipa* species in Inner Mongolia Plateau. *Acta Botanica Sinica*, 1999, 41(10): 1125-1131.
- [16] Xing F, Song R, Qi B L, Guo J X. Analysis to the interspecific association of *Stellera chamaejasme* population and other main plant species in *Cleistogenes squarrosa* steppe. *Acta Prataculturae Sinica*, 2002, 11(4): 46-51.
- [17] Manly B F J. Randomization and Monte Carlo Methods in Biology. New York: Chapman and Hall, 1991.
- [18] Wang X T, Wang W, Liang C Z. Changes in the population spatial distribution pattern of *Leymus chinensis* in degraded steppe community during restorative succession in Inner Mongolia, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(1): 63-70.
- [19] Bird S B, Herrick J E, Wander M M, Murray L. Multi-scale variability in soil aggregate stability: implications for understanding and predicting semi-arid grassland degradation. *Geoderma*, 2007, 140(1/2): 106-118.
- [20] Zhang J T. Succession analysis of plant communities in abandoned croplands in the eastern Loess Plateau of China. *Journal of Arid Environments*, 2005, 63(2): 458-474.
- [21] Liu J F, Hong W, Li J Q, Lin J L. Study on competition relationship and predictive dynamics of dominant species in natural forest of *Castanopsis kavakamii*. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2003, 11(3): 211-216.
- [22] Diggle P J. Statistical Analysis of Spatial Point Patterns. New York: Academic Press, 1983.
- [23] Richart M, Hewitt N. Forest remnants in the Long Point region, Southern Ontario: tree species diversity and size structure. *Landscape and Urban Planning*, 2008, 86(1): 25-37.
- [24] Gonzalez M, Ladet S, Deconchat M, Cabanettes A, Alard D, Balent G. Relative contribution of edge and interior zones to patch size effect on species richness: an example for woody plants. *Forest Ecology and Management*, 2010, 259(3): 266-274.
- [25] Song Y Y, Li Y Y, Zhang W H. Analysis of spatial pattern and spatial association of *Haloxylon ammodendron* population in different developmental stages. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(16): 4317-4327.

#### 参考文献:

- [2] 刘珏宏, 高慧, 张丽红, 陈丽萍, 赵念席, 高玉葆. 内蒙古锡林郭勒草原大针茅-克氏针茅群落的种间关联特征分析. *植物生态学报*, 2010, 34(9): 1016-1024.
- [3] 张卫国, 黄文冰, 杨振宇. 草地微斑块与草地退化关系的研究. *草业学报*, 2003, 12(3): 44-50.
- [5] 钟宇, 张健, 杨万勤, 吴福忠, 冯茂松, 刘泉波. 巨桉人工林草本层优势种的种间关系及生态种组的划分. *草业学报*, 2010, 19(3): 56-62.
- [6] 简敏菲, 刘琪璟, 朱笃, 游海. 九连山常绿阔叶林乔木优势种群的种间关联性分析. *植物生态学报*, 2009, 33(4): 672-680.
- [7] 苏爱玲, 徐广平, 段吉闯, 汪诗平, 张振华. 祁连山金露梅灌丛草甸群落结构及主要种群的点格局分析. *西北植物学报*, 2010, 30(6): 1231-1239.
- [8] 赵成章, 樊胜岳, 殷翠琴, 贺学斌. 毒杂草型退化草地植被群落特征的研究. *中国沙漠*, 2004, 24(4): 507-512.
- [9] 赵成章, 张起鹏, 董小刚, 王倩, 王艳艳. 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): 71-77.
- [10] 仝川, 冯秀, 仲延凯. 内蒙古锡林郭勒克氏针茅退化草原土壤种子库特征. *生态学报*, 2009, 29(9): 4710-4719.
- [11] 赵成章, 高福元, 王小鹏, 盛亚萍, 石福习. 黑河上游高寒退化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.
- [12] 芦清水, 黄麟, 吕宁. 三江源区东部8县草地退化格局分析. *自然资源学报*, 2009, 24(2): 259-267.
- [13] 陈宝瑞, 杨桂霞, 张宏斌, 段庆伟, 辛晓平. 不同干扰类型下羊草种群的空间格局. *生态学报*, 2010, 30(21): 5868-5874.
- [15] 白永飞, 许志信, 李德新, 赵钢. 内蒙古高原四种针茅种群年龄与株丛结构的研究. *植物学报*, 1999, 41(10): 1125-1131.
- [16] 邢福, 宋日, 祁宝林, 郭继勋. 糙隐子草草原狼毒种群与其他主要植物的种间联结分析. *草业学报*, 2002, 11(4): 46-51.
- [18] 王鑫厅, 王炜, 梁存柱. 典型草原退化群落不同恢复演替阶段羊草种群空间格局的比较. *植物生态学报*, 2009, 33(1): 63-70.
- [21] 刘金福, 洪伟, 李俊清, 林加良. 柞林优势种竞争关系及其预测动态的研究. *热带亚热带植物学报*, 2003, 11(3): 211-216.
- [25] 宋于洋, 李园园, 张文辉. 梭梭种群不同发育阶段的空间格局与关联性分析. *生态学报*, 2010, 30(16): 4317-4327.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 20 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Community structure and diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Yangshan Port ..... WANG Baoqiang, XUE Junzeng, ZHUANG Hua, et al (5865)

Variation characteristics of macrobenthic communities structure in tianjin coastal region in summer ..... FENG Jianfeng, WANG Xiuming, MENG Weiqing, et al (5875)

Analysis of habitat connectivity of the Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) using landscape genetics ..... XUE Yadong, LI Li, LI Diqiang, WU Gongsheng, et al (5886)

Study on the spatial pattern of wetland bird richness and hotspots in Sanjiang Plain ..... LIU Jiping, LÜ Xianguo (5894)

Dynamic analysis of coastal region cultivated land landscape ecological security and its driving factors in Jiangsu ..... WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang (5903)

Landscape pattern gradient on tree canopy in the central city of Guangzhou, China ..... ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (5910)

Research on dynamic changes of landscape structure and land use eco-security; a case study of Jiansanjiang land reclamation area ..... LIN Jia, SONG Ge, SONG Siming (5918)

Shangri-La county ecological land use planning based on landscape security pattern ..... LI Hui, YI Na, YAO Wenjing, WANG Siqi, et al (5928)

Changes of paddy field landscape and its influence factors in a typical town of south Jiangsu Province ..... ZHOU Rui, HU Yuanman, SU Hailong, et al (5937)

Species composition and succession of swamp vegetation along grazing gradients in the Zoige Plateau, China ..... HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5946)

Characteristics and influence factors of the swamp degradation under the stress of grazing in the Zoige Plateau ..... LI Ke, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5956)

Variation of organic pollution in the last twenty years in the Qinzhou bay and its potential ecological impacts ..... LAN Wenlu (5970)

Response of radial growth Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) to climate factors in Wanxian Mountain of He'nan Province ..... PENG Jianfeng, YANG Airong, TIAN Qinhua (5977)

Vegetation and species diversity change analysis in 50 years in Tashan Mountain, Shandong Province, China ..... GAO Yuan, CHEN Yufeng, DONG Heng, et al (5984)

Effect of urban heat island on plant growth and adaptability of leaf morphology constitute ..... WANG Yating, FAN Lianlian (5992)

Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of the endangered plant *Thuja sutchuenensis* ..... LIU Jianfeng, YANG Wenjuan, JIANG Zeping, et al (5999)

Effects of shading on growth and quality of triennial *Clematis manshurica* Rupr. .... HAN Zhongming, ZHAO Shujie, LIU Cuijing, et al (6005)

Allelopathic effect of extracts from *Artemisia sacrorum* leaf and stem on four dominant plants of enclosed grassland on Yunwu Mountain ..... WANG Hui, XIE Yongsheng, YANG Yali, et al (6013)

Effects of soil base cation composition on plant distribution and diversity in coastal wetlands of Hangzhou Bay, East China ..... WU Tonggui, WU Ming, YU Mukui, et al (6022)

Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of *Stipa* L. in alpine grassland in northern Tibet in China ..... CAI Xiaobu, PENG Yuelin, YANG Minna, et al (6029)

Water consumption and annual variation of transpiration in mature *Acacia mangium* Plantation ..... ZHAO Ping, ZOU Lvliu, RAO Xingquan, et al (6038)

Foliar phenotypic plasticity of a warm-temperate shrub, *Vitex negundo* var. *heterophylla*, to different light environments in the field ..... DU Ning, ZHANG Xiuru, WANG Wei, et al (6049)

An case study on vegetation stability in sandy desertification land; determination and comparison of the resilience among communities after a short period of extremely aridity disturbanc .....	ZHANG Jiyi, ZHAO Halin (6060)
Response of soil quality indicators to comprehensive amelioration measures in coastal salt-affected land .....	SHAN Qihua, ZHANG Jianfeng, RUAN Weijian, et al (6072)
Fine-scale spatial associations of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Stellera chamaejasme</i> population in alpine degraded grassland .....	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6080)
The response of community-weighted mean plant functional traits to environmental gradients in Yanhe river catchment .....	GONG Shihui, WEN Zhongming, SHI Yu (6088)
Ozone stress increases lodging risk of rice cultivar Liangyoupeijiu; a FACE study .....	WANG Yunxia, WANG Xiaoying, YANG Lianxin, et al (6098)
Effect of sugarcane//soybean intercropping and reduced nitrogen rates on sugarcane yield, plant and soil nitrogen .....	YANG Wenting, LI Zhixian, SHU Lei, et al (6108)
Effect of wetting duration on nitrogen fixation of biological soil crusts in Shapotou, Northern China .....	ZHANG Peng, LI Xinrong, HU Yigang, et al (6116)
Effects of zinc on the fruits' quality of two eggplant varieties .....	WANG Xiaojing, WANG Huimin, WANG Fei, et al (6125)
Rapid light-response curves of PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of <i>Salix leucopithecia</i> subjected to cadmium-ion stress .....	QIAN Yongqiang, ZHOU Xiaoxing, HAN Lei, et al (6134)
Physiological Response of <i>Mirabilis jalapa</i> Linn. to Lead Stress by FTIR Spectroscopy .....	XUE Shengguo, ZHU Feng, YE Sheng, et al (6143)
Physiological response of <i>Zoysia japonica</i> to Cd <sup>2+</sup> .....	LIU Junxiang, SUN Zhenyuan, JU Guansheng, et al (6149)
Biosorption of Cd <sup>2+</sup> using the fruiting bodies of two macrofungi .....	LI Weihuan, MENG Kai, LI Junfei, et al (6157)
Factors regulating recruitment of <i>Microcystis</i> from the sediments of the eutrophic Shanzai Reservoir .....	SU Yuping, LIN Hui, ZHONG Houzhang, et al (6167)
A new type of insect trap and its trapping effect on <i>Cyrtotrachelus buqueti</i> .....	YANG Yaojun, LIU Chao, WANG Shufang, et al (6174)
Photoperiod influences diapause induction of Oriental Fruit Moth(Lepidoptera: Tortricidae) .....	HE Chao, MENG Quanke, HUA Lei, et al (6180)
Influence of edge effects on arthropods communities in agroforestry ecological systems .....	WANG Yang, WANG Gang, DU Yingqi, et al (6186)
Dynamics of land use and its ecosystem services in China's megacities .....	CHENG Lin, LI Feng, DENG Huafeng (6194)
Comprehensive assessment of urban ecological risks; the case of Huaibei City .....	CHANG Hsiaoifei, WANG Rusong, LI Zhengguo, et al (6204)
The dynamics of surface heat status of Tangshan City in 1993—2009 .....	JIA Baoquan, QIU Erfa, CAI Chunju (6215)
A projection-pursuit based model for evaluating the resource-saving and environment-friendly society and its application to a case in Wuhan .....	WANG Qianqian, ZHOU Jingxuan, LI Xiangmei, et al (6224)
Research on ecological barrier to Chang-Zhu-Tan metropolitan area .....	XIA Benan, WANG Fusheng, HOU Fangzhou (6231)
Optimization of urban land structure based on ecological green equivalent; a case study in Ningguo City, China .....	ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (6242)
Dynamic ecological footprint simulation and prediction based on ARIMA Model; a case study of Gansu Province, China .....	ZHANG Bo, LIU Xiuli (6251)
<b>Review and Monograph</b>	
A prospect for study on isolated wetland .....	TIAN Xuezhi, LIU Jiping (6261)
Dinoflagellate heterotrophy .....	SUN Jun, GUO Shujin (6270)
Research progress of microbial agents in ecological engineering .....	WEN Ya, ZHAO Guozhu, ZHOU Chuanbin, et al (6287)
The progress of ecological civilization construction and its indicator system in China .....	BAI Yang, HUANG Yuchi, WANG Min, et al (6295)

# 2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊\*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 20 期 (2011 年 10 月)

## ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 20 2011

**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  
**主 管** 中国科学技术协会  
**主 办** 中国生态学会  
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

**Editor-in-chief** FENG Zong-Wei  
**Supervised** by China Association for Science and Technology  
**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  
**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@espg.net

**Printed** by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China  
**Distributed** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel:(010)64034563  
E-mail:journal@espg.net

**订 购** 全国各地邮局  
**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

**Domestic** All Local Post Offices in China  
**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