

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第2期 Vol.33 No.2 **2013**

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 33 卷 第 2 期

2013 年 1 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 岩溶山区水分时空异质性及植物适应机理研究进展..... 陈洪松, 聂云鹏, 王克林 (317)
- 红树林植被对大型底栖动物群落的影响 陈光程, 余 丹, 叶 勇, 等 (327)
- 淡水湖泊生态系统中砷的赋存与转化行为研究进展..... 张 楠, 韦朝阳, 杨林生 (337)
- 纳米二次离子质谱技术(NanoSIMS)在微生物生态学研究中的应用 胡行伟, 张丽梅, 贺纪正 (348)
- 城市系统碳循环: 特征、机理与理论框架 赵荣钦, 黄贤金 (358)
- 城市温室气体排放清单编制研究进展..... 李 晴, 唐立娜, 石龙宇 (367)

个体与基础生态

- 科尔沁沙地家榆林的种子散布及幼苗更新..... 杨允菲, 白云鹏, 李建东 (374)
- 环境因子对木棉种子萌发的影响 郑艳玲, 马焕成, Scheller Robert, 等 (382)
- 五花米草与短叶荳蔻落物分解过程中碳氮磷化学计量学特征 欧阳林梅, 王 纯, 王维奇, 等 (389)
- 性别、季节和体型大小对吐鲁番沙虎巢域的影响 李文蓉, 宋玉成, 时 磊 (395)
- 遮蔽行为对海刺猬摄食、生长和性腺性状的影响..... 罗世滨, 常亚青, 赵 冲, 等 (402)
- 水稻和玉米苗上饲养的稻纵卷叶螟对温度的反应 廖怀建, 黄建荣, 方源松, 等 (409)

种群、群落和生态系统

- 亚热带不同林分土壤表层有机碳组成及其稳定性 商素云, 姜培坤, 宋照亮, 等 (416)
- 禁牧条件下不同类型草地群落结构特征 张鹏莉 陈 俊 崔树娟, 等 (425)
- 高寒退化草地狼毒与赖草种群空间格局及竞争关系 任 珩, 赵成章 (435)
- 小兴安岭 4 种典型阔叶红松林土壤有机碳分解特性 宋 媛, 赵溪竹, 毛子军, 等 (443)
- 新疆富蕴地震断裂带植被恢复对土壤古菌群落的影响 林 青, 曾 军, 张 涛, 等 (454)
- 长期施肥对紫色土农田土壤动物群落的影响 朱新玉, 董志新, 况福虹, 等 (464)
- 潮虫消耗木本植物凋落物的可选择性试验 刘 燕, 廖允成 (475)
- 象山港网箱养殖对近海沉积物细菌群落的影响 裘琼芬, 张德民, 叶仙森, 等 (483)
- 2005 年夏季东太平洋中国多金属结核区小型底栖生物研究 王小谷, 周亚东, 张东声, 等 (492)
- 川西亚高山典型森林生态系统截留水文效应 孙向阳, 王根绪, 吴 勇, 等 (501)

景观、区域和全球生态

- 中国水稻生产对历史气候变化的敏感性和脆弱性 熊 伟, 杨 婕, 吴文斌, 等 (509)
- 1961—2005 年东北地区气温和降水变化趋势 贺 伟, 布仁仓, 熊在平, 等 (519)
- 地表太阳辐射减弱和臭氧浓度增加对冬小麦生长和产量的影响 郑有飞, 胡会芳, 吴荣军, 等 (532)

资源与产业生态

- 基于环境卫星数据的黄河湿地植被生物量反演研究 高明亮, 赵文吉, 官兆宁, 等 (542)
- 黄土高原南麓县域耕地土壤速效养分时空变异 陈 涛, 常庆瑞, 刘 京, 等 (554)

不同水稻栽培模式下小麦秸秆腐解特征及对土壤生物学特性和养分状况的影响..... 武 际,郭熙盛,鲁剑巍,等 (565)

施氮时期对高产夏玉米光合特性的影响 吕 鹏,张吉旺,刘 伟,等 (576)

城乡与社会生态

城市景观组分影响水质退化的阈值研究 刘珍环,李正国,杨 鹏,等 (586)

长株潭地区生态可持续性 戴亚南,贺新光 (595)

外源 NO 对镉胁迫下水稻幼苗抗氧化系统和微量元素积累的影响 朱涵毅,陈益军,劳佳丽,等 (603)

达里诺尔湖沉积物中无机碳的形态组成 孙园园,何 江,吕昌伟,等 (610)

绿洲土 Cd、Pb、Zn、Ni 复合污染下重金属的形态特征和生物有效性 武文飞,南忠仁,王胜利,等 (619)

柠檬酸和 EDTA 对铜污染土壤环境中吊兰生长的影响 汪楠楠,胡 珊,吴 丹,等 (631)

研究简报

海州湾生态系统服务价值评估 张秀英,钟太洋,黄贤金,等 (640)

内蒙古羊草群落、功能群、物种变化及其与气候的关系 谭丽萍,周广胜 (650)

氮磷供给比例对长白落叶松苗木磷素吸收和利用效率的影响 魏红旭,徐程扬,马履一,等 (659)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 352 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 38 * 2013-01



封面图说: 科尔沁沙地榆树——榆树疏林草原属温带典型草原地带,适应半干旱半湿润气候的隐域性沙地顶级植物群落,具有极强的适应性、稳定性,生物产量较高。在我国仅见于科尔沁沙地和浑善达克沙地。是防风固沙、保护沙区生态环境和周边土地资源的一种重要的植物群落类型,是耐旱沙生植物的重要物种基因库和荒漠野生动物的重要避难所和栖息地。这些年来,由于人类毁林开荒、过度放牧、甚至片面地建立人工林群落等的干扰,不同程度地破坏了榆树疏林的生态环境,影响了其特有的生态作用。

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

DOI: 10.5846/stxb201112031850

任珩, 赵成章. 高寒退化草地狼毒与赖草种群空间格局及竞争关系. 生态学报, 2013, 33(2): 0435-0442.

Ren H, Zhao C Z. Spatial pattern and competition relationship of *Stellera chamaejasme* and *Aneurolepidium dasystachys* population in degraded alpine grassland. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(2): 0435-0442.

高寒退化草地狼毒与赖草种群空间格局及竞争关系

任 珩, 赵成章*

(西北师范大学地理与环境科学学院甘肃省湿地资源保护与产业发展工程研究中心, 兰州 730070)

摘要:种群空间格局的尺度转换效应反映了植物种内、种间竞争关系的变化过程。采用草地群落学调查与点格局分析方法, 在祁连山北坡阿尔泰针茅草原, 分析了干扰状态下狼毒(*Stellera chamaejasme*)和赖草(*Aneurolepidium dasystachys*)种群的空间格局及竞争关系。结果表明:随着草地退化过程加剧, 狼毒种群空间格局由聚集分布转变为非聚集分布, 反映了协作转向竞争的种内个体间关系;赖草种群以聚集格局为主, 体现了种内相互协作的个体间关系;二者空间关联性存在正相关、不相关和负相关的转换过程, 正相关尺度逐渐缩小, 负相关仅在重度退化草地出现, 种群间关系表现为由协作转向竞争且竞争强度逐渐增大。干扰状态下, 种群空间格局的尺度转换效应影响植物种内、种间的竞争关系及强度, 反映了退化草地物种应对干扰的更新途径。

关键词:狼毒;赖草;竞争;空间分布格局;空间关联性;祁连山北坡

Spatial pattern and competition relationship of *Stellera chamaejasme* and *Aneurolepidium dasystachys* population in degraded alpine grassland

REN Heng, ZHAO Chengzhang*

Engineering Research Center of Wetland resources protection and industrial development in Gansu Province, College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

Abstract: Human activities are affecting the habitat, which decrease the number of habitats and recede the quality. The biggest threat to species diversity worldwide is the loss of suitable habitat. Human activities affect species dynamics and further influence species diversity by changing habitat. Species evolution at different types of habitat is very complex, so there is an urgency to understand species responses to human-caused habitat degradation. Spatial pattern and competition relationship are important in plant ecology as they affected the dynamics of plant populations, communities and ecosystem processes, which can reveal the dynamic and stability of population and community structure. *Stellera chamaejasme* and *Aneurolepidium dasystachys* are the main species in alpine degraded grassland, have a great significance for understanding reproductive strategies of grassland plant resources with studies on spatial pattern and competition relationship of *S. chamaejasme* and *A. dasystachys*. In this study for two main aims: First, to describe the scale transformation of population's spatial pattern and spatial association along with the different plot; Second, to analyze the competition relationship and competition intensity of *S. chamaejasme* and *A. dasystachys*. 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 early August, 2011, four experimental plots were established by the community characteristics and *S. chamaejasme* population characteristics. At the same time, we recorded fine-scale (0—100 cm) spatial pattern and spatial association of *S. chamaejasme* and *A. dasystachys* population from 2 m×2 m grids (2 cm×2 cm quadrats) in different plot. The point pattern

基金项目:国家自然科学基金(91125014, 40971039);甘肃省生态经济重点学科资助

收稿日期:2011-12-03; 修订日期:2012-07-17

* 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 pattern and competition relationship. The results showed that: (1) In the process of natural pasture degeneration, the spatial patterns of *S. chamaejasme* were aggregated at 53—58 cm and 63—100 cm scales under no degradation and light degradation conditions, and subsequently random or regular under moderate degradation and heavy degradation conditions, which meant that the intraspecific relationship converted mutualism into competition within different plot. (2) The spatial patterns of *A. dasystachys* were aggregated within four plots, which meant that intraspecific mutualism was the most important competition relationship of *A. dasystachys* in the process of natural pasture degeneration. (3) The spatial association of *S. chamaejasme* and *A. dasystachys* population changed on the different scale and degradation gradient. Under no degradation and light degradation conditions, the positive correlation was shown at 8—20 cm and 66—71 cm scales; under moderate degradation conditions, there was no significant correlation as a whole and the scale ranges was from 0 cm to 100 cm; under heavy degradation conditions, negative correlation was shown at 16—28 cm scales. It reflected that the interspecific relationship converted mutualism into competition. The scale transformations of population's spatial pattern, as well as the spatial association, are not only the antecedent conditions affecting changes of competition relationship, but also the critical factors of population's competition intensity. It may reflect the adaptive approach of regeneration and reproduction when *S. chamaejasme* and *A. dasystachys* population face the outside interference.

Key Words: *Stellera chamaejasme*; *Aneurolepidium dasystachys*; competition; spatial pattern; spatial association; north Qilian Mountain

空间格局是植物种群的基本特征,研究植物种群的空间格局有助于认识它们的生态过程以及与生境的相互关系^[1]。其中,判定种群的空间分布类型和空间关联性是空间格局研究的两个主要内容^[2],二者不仅反映植物的空间分布特点、利用环境资源的状况和种群在群落中的作用与地位,而且可以揭示植物个体之间相互依存和相互制约的复杂关系^[2-4],通常被认为是研究物种间相互作用以及植物与环境间关系的一种重要手段^[2,5]。竞争是自然群落中普遍存在的现象,是塑造植物形态、生活史以及植物群落结构和动态特征的主要动力之一^[6]。在过度放牧和气候变迁影响下,天然草地严重退化,植物群落优势种群发生更替,改变了系统物质与能量的收支平衡和群落资源的分配格局^[7],对于植物群落环境和物种的竞争能力产生影响,导致植物种群或群落形成不同的空间格局^[8-9]。因此研究植物种群空间格局及竞争关系,对于揭示草地生态系统的退化机理,制定草地生态系统恢复措施具有重要意义。

在祁连山北坡阿尔泰针茅草原,狼毒(*Stellera chamaejasme*)和赖草(*Aneurolepidium dasystachys*)是原生地带性植被群落的常见种和零星分布物种^[10-11]。过度放牧影响下,建群种阿尔泰针茅(*Stipa krylovii*)更新能力受到限制,逐渐丧失了群落中的优势地位^[12],群落环境和资源利用状态随之发生改变。与此同时,狼毒凭借对干旱环境和放牧干扰的适应能力,种群规模逐步扩大并替代阿尔泰针茅成为退化草地群落的优势种群,赖草借助株高优势以及根状茎的生理整合能力^[11,13],逐步成为退化草地群落的伴生种。退化草地群落狼毒和赖草地位的变化必然引起种群的分布格局和关联性发生变化,是认识干旱半干旱区草原植物对干扰和竞争响应特征的重要途径。目前,学界在退化草地中狼毒种群分布格局^[14-15]和狼毒与阿尔泰针茅种群之间的关联性^[16]、赖草分株种群对干旱胁迫和土壤资源异质性的响应^[11,17]等方面进行了深入研究,但是草地退化过程中狼毒和赖草种群空间格局的尺度效应,及种内、种间竞争关系的转换机理尚不明晰。鉴于此,本文利用群落调查法与空间点格局分析法相结合,研究了祁连山北坡山地草原中狼毒与赖草种群的空间分布格局及关联性,旨在认识物种在异质环境中空间格局及竞争关系的转换特征,以及退化草地植物种群应对放牧干扰的更新途径。

1 研究方法

1.1 研究区概况

东祁连山北坡地处河西走廊与青藏高原的过渡带,具有大陆性气候和山地垂直气候特征,生态环境脆弱,

植被以荒漠和草原为主,在特定的地形地貌和气候条件下主要发育并形成了荒漠草原(1900—2450 m)、典型草原(2450—2800 m)和草甸草原(2800—3800 m),植物以旱生和中生草本以及灌木为主。研究区位于甘肃省肃南县马场滩草原(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 80d,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。原生植被属于典型草原亚型的阿尔泰针茅草原,主要植物有:阿尔泰针茅、狼毒、冷蒿(*Artemisia frigida*)、赖草、甘肃臭草(*Melica przewalskyi*)、扁穗冰草(*Agropyron cristatum*)、星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)等。

1.2 样地设置与调查分析

根据 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^[10,12],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,根据草地群落的优势种、物种丰富度,以及群落主要毒杂草物种狼毒的平均高度、盖度和密度等指标选取了 4 户牧民的围栏草地作为实验样地,分别为:未退化草地(Ⅰ)、轻度退化草地(Ⅱ)、中度退化草地(Ⅲ)和重度退化草地(Ⅳ),各样地概况和群落特征详见表 1。供试草地每年 6—11 月休牧,其余时间正常放牧。

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 Altitude /m	狼毒 <i>S. chamaejasme</i>			群落 Community	
		高度 Height /cm	盖度 Subcoverage /%	密度 Density /(株/m ²)	丰富度 Species richness	优势种 Dominant species
未退化(Ⅰ) No degradation(Ⅰ)	2615	16.89±2.31b	18.20±2.12d	4.3±0.31b	12±1.00	阿尔泰针茅 <i>S. krylovii</i>
轻度退化(Ⅱ) Light degradation(Ⅱ)	2610	21.22±3.73a	38.41±6.19c	5.3±0.52b	12±1.00	阿尔泰针茅 <i>S. krylovii</i> 狼毒 <i>S. chamaejasme</i>
中度退化(Ⅲ) Moderate degradation(Ⅲ)	2632	24.30±3.56a	52.32±9.23b	9.2±1.17 a	14±2.00	狼毒 <i>S. chamaejasme</i>
重度退化(Ⅳ) Heavy degradation(Ⅳ)	2627	24.45±3.20a	65.45±10.27a	10.7±2.00a	16±2.00	狼毒 <i>S. chamaejasme</i>

同一列数据后不同字母表示处理间差异显著 $P < 0.01$

试验在 2010 年 8 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、狼毒与赖草种群的空间格局及关联性调查^[18]。实测并记录每个样方(2 m×2 m)内的植物种类、密度、株高和地上生物量;以样方框左下角顶点为基点,记录样方(2 m×2 m)中每个狼毒与赖草株丛的地面投影和相对位置,用坐标值直接表示距离^[19]。在室内对每一个样方(2 m×2 m)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。

1.3 数据分析

1.3.1 点格局分析

位于研究区域内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^[20],其定义如下:

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

式中, λ 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, $i、j$ 是两个具有相同特征的事件, d_{ij} 表示点 i 到点 j 的距离, d 为距离尺度。如果一定距离尺度下点事件随机分布,则应有:

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

此时, $k(d) = \pi d^2$;在距离尺度较小的情况下,若点事件为聚集分布, $k(d)$ 的观测值则将大于 πd^2 。估计

式为:

$$k(d) = \frac{A}{n^2} \sum_i^n \sum_j^n \frac{I_{ij}(d)}{W_{ij}(d)} \quad (1)$$

式中, A 表示研究区域面积, $\lambda = \frac{n}{A}$, $E = n^{-1} \sum_i^n \sum_j^n \frac{I_{ij}(d)}{W_{ij}(d)}$, 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, $I_{ij}(d) = 1$ (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} 为半径的圆落在研究区域内的弧长和整个圆周长的比值。

利用 $L(d)$ 函数的估计值判断在此尺度下点事件的分布类型。距离尺度 d 下, 若 $L(d) > 0$, 为聚集分布; 若 $L(d) = 0$, 为随机分布; 若 $L(d) < 0$, 为均匀分布。

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

利用 Monte Carlo 方法求解空间分布的上下包迹线, 若研究对象实际值落在上下包迹线的区间内, 则此距离尺度下点事件为随机分布; 如果实际值落在上包迹线之上, 则为聚集分布; 如果实际值落在下包迹线之下, 则为均匀分布。

1.3.2 空间关联性分析

狼毒和赖草之间的空间关联性分析可表达为二者的点格局分析。将第一个种群 $k(d)$ 写成 $k11(d)$, 将第二个种群写成 $k22(d)$ 。两个种群个体在距离(尺度) d 内的数目为 $k12(d)$, 其定义和计算原理与单种格局相近^[21]。不难证明 $k12(d)$ 可以用下式估计:

$$k12(d) = \frac{A}{n_1 \times n_2} \sum_i^{n_1} \sum_j^{n_2} \frac{I_{ij}(d)}{W_{ij}(d)} \quad (2)$$

式中, n_1 和 n_2 分别为种群 1 和种群 2 的个体数, 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 2 的个体, 同样计算:

$$L12(d) = \sqrt{k12(d)/\pi} - d$$

通常, 当 $L12(d) = 0$ 表明两个种群间在 d 尺度无关联性, $L12(d) > 0$ 为正关联, $L12(d) < 0$ 为负关联。

利用 Monte Carlo 检验拟合包迹线, 检验种群空间关联的显著性。若实际值落在上下包迹线的区间内, 则此距离尺度下二者空间关联性不显著; 若落在上包迹线之上, 则为显著正关联; 若落在下包迹线之下, 则为显著负关联。本文中采用的步长为 2 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。

1.3.3 种群领地密度计算

通常, 种群领地密度是在确定种群空斑面积的基础上完成的。本文参考王鑫厅等对羊草 (*Leymus chinensis*) 种群空斑面积和种群领地密度的计算方法^[22], 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 狼毒和赖草种群特征分析

狼毒和赖草种群特征在不同退化草地中存在差异(表 2)。狼毒地上生物量和种群领地密度均有显著的差异 ($F=18.77, P<0.01$; $F=13.43, P<0.01$), 随着草地退化, 地上生物量和种群领地密度持续增加; 赖草种群高度、地上生物量和领地密度也存在显著差异 ($F=15.87, P<0.01$; $F=10.02, P<0.01$; $F=18.97, P<0.01$), 随着草地退化, 高度和种群领地密度逐渐降低, 地上生物量先增大后减小。

表 2 不同退化梯度狼毒和赖草种群特征

Table 2 Ppulation characteristics of *Stellera chamaejasme* and *Aneurolepidium dasystachys* in different degradation gradient type

样地 Plot	狼毒 <i>Stellera chamaejasme</i>		赖草 <i>Aneurolepidium dasystachys</i>		
	地上生物量	种群领地密度	高度	地上生物量	种群领地密度
	Aboveground biomass /(g/m ²)	Territory density /(株/m ²)	Height /cm	Aboveground biomass /(g/m ²)	Territory density /(株/m ²)
未退化(Ⅰ) No degradation(Ⅰ)	16.43±2.01 ^d	11.67±1.54 ^c	67.11±11.19 ^a	10.13±1.08 ^c	833.33±79.95 ^a
轻度退化(Ⅱ) Light degradation(Ⅱ)	45.42±8.43 ^c	12.00±1.22 ^c	66.42±12.41 ^a	18.51±2.65 ^a	701.42±70.35 ^b
中度退化(Ⅲ) Moderate degradation(Ⅲ)	61.69±10.17 ^b	17.65±2.03 ^b	50.76±7.30 ^b	15.25±2.14 ^b	515.14±42.88 ^c
重度退化(Ⅳ) Heavy degradation(Ⅳ)	67.02±10.20 ^a	41.67±5.13 ^a	30.95±4.26 ^c	11.43±1.98 ^c	253.78±32.27 ^d

同一列数据后不同字母表示处理间差异显著 $P < 0.01$

2.2 狼毒种群的空间分布格局

图 1 表明,不同退化梯度中,狼毒种群在不同尺度上空间点格局特征存在明显差异。未退化草地中,53—58 cm 尺度上呈聚集分布;轻度退化草地中,聚集格局尺度转换为 63—100 cm;中度退化草地中,在 46—50 cm 和 64—85 cm 呈聚集分布;重度退化草地中,在 22—41 cm 尺度上呈均匀分布。狼毒种群的分布格局统计上是极其显著的($P < 0.01$)。

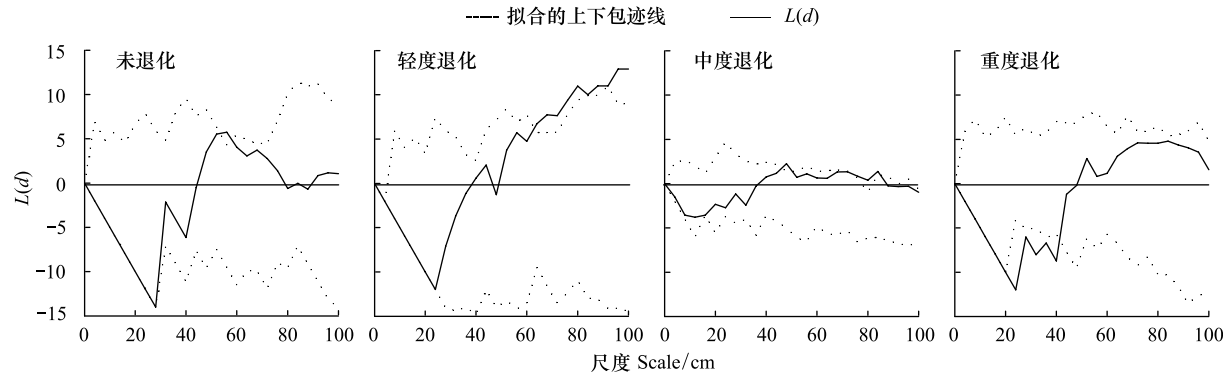


图 1 狼毒种群的点格局分析

Fig.1 Point pattern analysis of *Stellera chamaejasme* population

2.3 赖草种群的空间分布格局

赖草种群空间格局以聚集分布和随机分布为主,且聚集分布格局在不同退化梯度上具有明显的尺度转换效应(图 2)。未退化草地中,赖草种群在 10—51 cm 尺度上呈聚集分布格局;轻度退化草地中,聚集格局转换为 4—9 cm 和 37—100 cm;中度退化草地中,8—36 cm 尺度上表现为聚集分布;重度退化草地中,聚集格局仅在 18—34 cm 尺度上分布。赖草种群的分布格局统计上是极其显著的($P < 0.01$)。

2.4 狼毒与赖草种群的空间关联性

不同退化梯度中,狼毒与赖草的空间关联性随空间尺度变化表现出不同的关联类型(图 3)。狼毒和赖草种群空间关联性在未退化至中度退化草地中,以正相关和不相关为主:未退化草地中在 8—20 cm 尺度上呈现正相关,轻度退化草地中仅在 66—71 cm 出现正相关关联性,中度退化草地在 0—100 cm 尺度上表现为关联性不显著;重度退化草地以负相关和不相关为主,在 16—28 cm 尺度上表现为显著负相关。狼毒与赖草的空间关联统计上是显著的($P < 0.01$)。

3 结论与讨论

干扰影响下特定植物群落中,微景观格局破碎化通常会造成群落资源与空间容量下降,引起具备较强更新能力的种群个体倾向于分享相邻个体的基础资源与空间部分,加剧了植物种群空间格局及竞争关系的不确定性^[7]。本文选取的草地类型同狼毒与阿尔泰针茅种群空间关联研究草地一致,基本上反映了研究区“毒杂草型”退化草地的形成过程^[16]。草地退化过程中,建群种阿尔泰针茅株丛死亡和草毡表层破碎,释放了部分

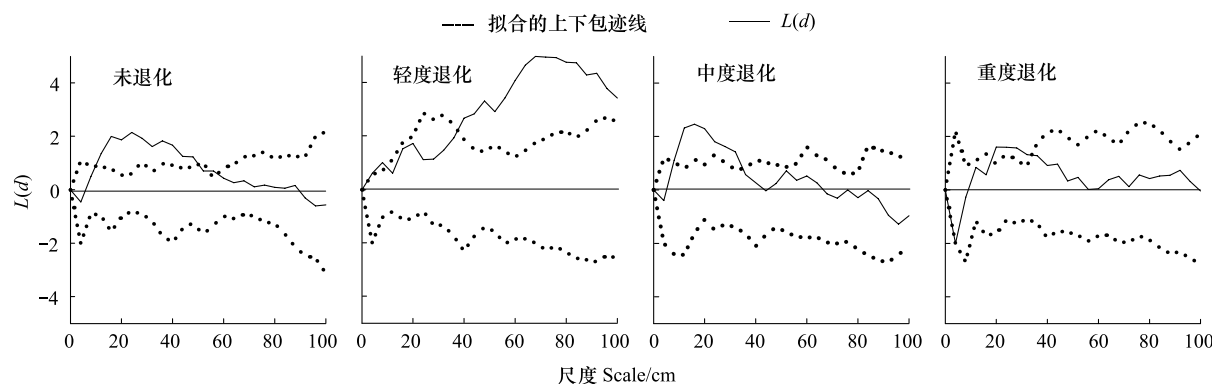


图2 赖草种群的点格局分析

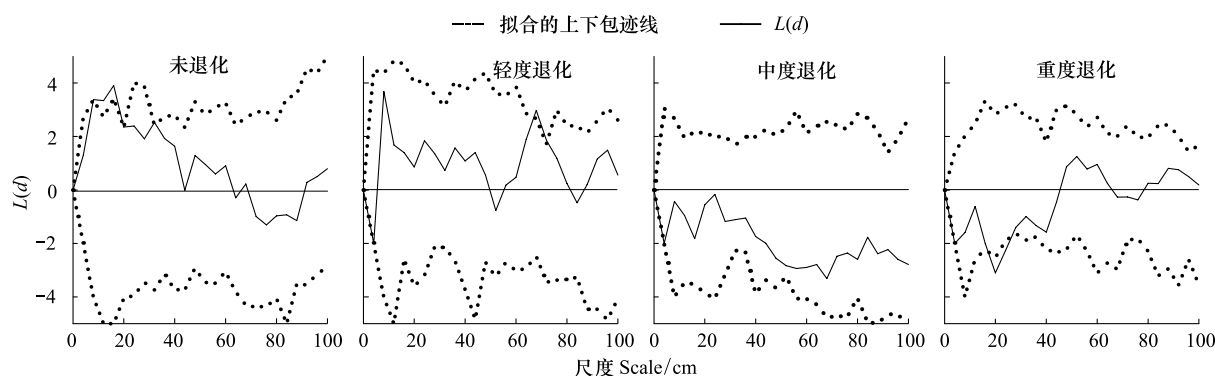
Fig. 2 Point pattern analysis of *Aneurolepidium dasystachys* population

图3 狼毒和赖草种群空间关联性分析

Fig. 3 Spatial association analysis of *Stelleria chamaejasme* and *Aneurolepidium dasystachys* population

资源和空间,狼毒与赖草等物种利用群落中剩余资源拓殖,一方面与阿尔泰针茅等建群物种竞争资源,另一方面,需要相互排斥实现对剩余资源的支配,从而植物竞争关系在特定阶段表现出不同的特征,空间格局发生尺度转换。

种群分布格局是植物种群生物学特性对环境条件长期适应和选择的结果^[23-24]。由于植物与环境之间存在着不间断的相互作用、相互影响,植物种群的分布格局总是随着群落环境的变化而发生变化^[9,24]。未退化草地中,阿尔泰针茅形成的草毡层有助于加强对群落资源的控制作用^[16],以幼株为主的狼毒种群,对群落资源的竞争相对较弱,为了抵御种间竞争和提高存活率,他们需要相互庇护形成团体竞争资源^[14,16],从而狼毒种群在 53—58 cm 呈聚集分布。轻度退化草地中,家畜的过度践踏和啃食破坏了阿尔泰针茅草毡层,狼毒趁机突破限制,在过剩资源的驱动下迅速拓殖,并且凭借家畜不采食特性占据资源竞争的优势地位,种群规模迅速扩大形成聚块,引起聚集尺度区间转换为 63—100 cm,狼毒种群地上生物量变化从 16.43 g/m² 增大至 45.42 g/m²,也表明了种群对群落过剩资源的迅速利用状况。中度退化草地聚集尺度进一步转换为 46—50 cm 和 64—85 cm,主要是随着狼毒逐渐成为群落优势种,资源的利用方式也从以争夺过剩资源为主转变为重新分配为主,狼毒能够进入较大级别的株丛的数量减少,聚块开始扩散^[14-15],以及狼毒在地下 10—30 cm 土层形成密集根系层^[10],引起种群竞争关系由以种间竞争为主转向种内竞争,造成聚集尺度区间减小;且随草地进一步退化,狼毒种内竞争加剧引起重度退化草地 22—41 cm 尺度上出现均匀分布格局。

退化初期赖草种群以聚集格局为主且聚集区间增大,主要是因为赖草植株叶片宽大、茎叶稍硬^[13],家畜首先选择采食适口性较好的阿尔泰针茅,赖草在拓殖能力驱动下,通过产生分株占领阿尔泰针茅退化所释放的资源空间。但伴随着狼毒种群的崛起,群落资源在狼毒种群控制下重新分配^[14],赖草对资源的利用限于狼

毒未充分利用部分,与此同时家畜开始大量采食导致植株的高度从 67.11 cm 下降至 30.95 cm,降低了种群竞争光照资源的能力,赖草可利用资源受到限制,赖草地上生物量从 18.51 g/m² 减小至 11.43 g/m²,种内个体更多的表现出对有限资源的争夺,引起聚集尺度在中度至重度退化草地中由 8—36 cm 转换为 18—34 cm。赖草根茎克隆特性可能也对种群聚集区间转换产生了一定的影响,在土壤水分有效性较低条件下,通过根茎延伸分株的定植范围,在较大空间内置放分株,以便于种群尽快越过不利生境斑块,提高种群个体的存活概率^[17],这可能也是退化草地中赖草非均匀分布的主要原因,需要进一步从种群无性繁殖特性深入研究。

种间关联理论认为,正相关是由于一个物种依赖于另一个物种,或者异质环境中几个物种对环境条件有相似的适应和反应引起的;负相关则是二者在竞争资源中互相排斥,或者环境需求的不相似性综合作用的结果^[4,16]。狼毒与赖草种间空间关联性的动态特征可能反映了优势种更替过程中物种间竞争与依存的复杂关系。未退化和轻度退化草地关联性以正相关和不相关为主,正相关尺度从 8—20 cm 转换为 66—71 cm,随后在中度和重度退化草地中转变为不相关和负相关,可能是因为草地退化初期,狼毒和赖草种群的主要竞争对象是阿尔泰针茅,在自身所控制的有限空间内,相互协作的伴生种间关系有助于共同抵御优势种的竞争压力,提高个体存活率,但随着狼毒逐渐成为群落优势种,阻碍了这种种间协作关系的延续,在种群拓殖能力的驱动下,植物个体间更多的表现为对阿尔泰针茅株丛破碎、死亡所留下的空斑和资源的争夺,同时阿尔泰针茅草毡层破碎^[12],土壤水分蒸散速率加快使群落环境趋于干旱化,赖草无性系稳长深扎的适应对策加剧了二者根系生态位的重叠程度^[11],使种间关系由协作关系逐渐转向竞争关系,随着退化程度加剧,种间竞争激烈程度增大,从而空间关联性转变为负相关。值得一提的是中度至重度退化草地狼毒种群同时表现出强烈的种内和种间竞争关系,可能是因为种内竞争有助于狼毒种群整合资源实现种群扩散,种间竞争则可能是狼毒排斥具有相似资源生态位需求物种的途径。草地退化过程中,狼毒种群领地密度从 12 株/m² 增长至 41.67 株/m²,赖草从 701.42 株/m² 减小至 253.78 株/m² 的变化规律,也验证了二者非对称性竞争关系,由此推测这种同步提高种内、种间竞争强度的竞争关系,可能有助于狼毒种群排除其他竞争物种,提升群落中的地位。

综上所述,狼毒和赖草的空间格局随物种在群落中的地位更替表现出尺度转换效应,反映了植物种间、种内个体间竞争关系的转化过程。对于逐渐演变为群落优势种的狼毒种群,同步提升种内、种间竞争强度的更新途径,可能更有利于提升种群在群落中的地位和排除具有相似资源生态位需求的竞争物种;而赖草在非对称性资源竞争影响下,种群可利用资源受到限制,种群成为群落伴生物种。因此,干扰影响下,植物群落演替过程中物种的空间格局及竞争关系的转变可能是草地退化的关键因素,反映了退化草地植物种群应对放牧干扰的繁殖与更新的适应性途径。

References:

- [1] Yang X H, 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.
- [2] Zhang J T. *Quantitative Ecology*. Beijing: Science Press, 2004.
- [3] Condit R, Ashton P S, Baker P, Bunyavejchewin S, Gunatilleke S, Gunatilleke N, Hubbell S P, Foster R B, Itoh A, LaFrankie J V, Lee H S, Losos E, Manokaran N, Sukumar R, Yamakura T. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science*, 2000, 288(5470): 1414-1418.
- [4] 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(11): 1016-1024.
- [5] Greig-Smith P. *Quantitative Plant Ecology*. London: Blackwell Scientific Publications, 1983.
- [6] Li B, Chen J K, Andrew R W. A literature review on plant competition. *Chinese Bulletin of Botany*, 1998, 15(4): 18-29.
- [7] Zhao D L, Liu Z L, Yang G X, Xin X P, Liang C Z, Wang W, Wang L X. Grazing impact on distribution pattern of the plant communities and populations in *Stipa krylovii* steppe. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 19(3): 6-13.
- [8] Niu K C, Luo Y J, Choler P, Du G Z. The role of biomass allocation strategy in diversity loss due to fertilization. *Basic and Applied Ecology*, 2008, 9(5): 485-493.
- [9] Wang Y G, Yang X H, Ci L J. Analysis of spatial pattern and competition relationship of shrub community in arid desert of Western Ordos Plateau. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2010, 19(2): 8-14.

- [10] 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.
- [11] Ren A Z, Gao Y B, Liang Y, Chen S P, Liu S, Liu N. Effect of drought stress on clonal growth of *Pennisetum Centasiaticum* and *Leymus Secalinus*. *Journal of Desert Research*, 1999, 19(Suppl 1): 30-34.
- [12] Zhao C Z, Ren H, Sheng Y P, Gao F Y, Shi F X. Fine-scale spatial point patterns of *Stipa krylovii* population in different alpine degraded grasslands. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(21): 6388-6395.
- [13] Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences. *Iconographia Cormophytorum Sinicorum* (tomus V). Beijing: Science Press, 1976: 87.
- [14] 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.
- [15] Xing F, Song R. Population distribution pattern and dynamics of poisonous *Stellera chamaejasme* on grassland. *Pratacultural Science*, 2002, 19(1): 16-19.
- [16] 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.
- [17] Zhu X W, Liu H D, Liang S C, Ye Y Z, Dong M. Heterogeneity of *Leymus secalinus* ramet population and its soil resources in the Otindag Sandland. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1459-1464.
- [18] 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.
- [19] Ripley B D. *Spatial Statistics*. New York: Wiley, 1981: 10-200.
- [20] Diggle P. *Statistical Analysis of Spatial Point Patterns*. New York: Academic Press, 1983.
- [21] Manly B F J. *Randomization and Monte Carlo Methods in Biology*. New York: Chapman and Hal, 1991.
- [22] 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.
- [23] Gittins R. *Canonical Analysis; a Review With Applications in Ecology*. Berlin: Springer Verlag, 1985.
- [24] Chao Z G, Wang S P, Xu G P, Hu Y G, Zhang Z H. Effect of fencing on community structure and distribution patterns of main populations in degraded *Kobresia humilis* Meadow. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2008, 28(11): 2320-2326.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 张金屯. *数量生态学*. 北京: 科学出版, 2004.
- [4] 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(11): 1016-1024.
- [6] 李博, 陈家宽, A. R. 沃金森. 植物竞争研究进展. *植物学通报*, 1998, 15(4): 18-29.
- [7] 赵登亮, 刘钟岭, 杨桂霞, 辛小平, 梁存柱, 王炜, 王立新. 放牧对克氏针茅草原植物群落与种群格局的影响. *草业学报*, 2010, 19(3): 6-13.
- [9] 王彦阁, 杨晓晖, 慈龙骏. 西鄂尔多斯高原干旱荒漠灌木群落空间分布格局及其竞争关系分析. *植物资源与环境学报*, 2010, 19(2): 8-14.
- [10] 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.
- [11] 任安芝, 玉葆, 梁宇, 陈世革, 刘爽, 刘宁. 白草和赖草无性系生长对干旱胁迫的反应. *中国沙漠*, 1999, 19(增刊1): 30-34.
- [12] 赵成章, 任珩, 盛亚萍, 高福元, 石福习. 不同高寒退化草地阿尔泰针茅种群的小尺度点格局. *生态学报*, 2011, 31(21): 6388-6395.
- [13] 中国科学院北京植物研究所. *中国高等植物图鉴* (第五册). 北京: 科学出版, 1976: 87-87.
- [14] 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.
- [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] 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.
- [17] 朱选伟, 刘海东, 梁士楚, 叶永忠, 董鸣. 浑善达克沙地赖草分株种群与土壤资源异质性分析. *生态学报*, 2004, 24(7): 1459-1464.
- [18] 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.
- [22] 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.
- [24] 晁增国, 汪诗平, 徐广平, 胡宜刚, 张振华. 围封对退化矮蒿草甸群落结构和主要种群空间分布格局的影响. *西北植物学报*, 2008, 28(11): 2320-2326.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.2 January ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Spatio-temporal heterogeneity of water and plant adaptation mechanisms in karst regions; a review CHEN Hongsong, NIE Yunpeng, WANG Kelin (317)
- Impacts of mangrove vegetation on macro-benthic faunal communities CHEN Guangcheng, YU Dan, YE Yong, et al (327)
- Advance in research on the occurrence and transformation of arsenic in the freshwater lake ecosystem ZHANG Nan, WEI Chaoyang, YANG Linsheng (337)
- Application of nano-scale secondary ion mass spectrometry to microbial ecology study HU Hangwei, ZHANG Limei, HE Jizheng (348)
- Carbon cycle of urban system; characteristics, mechanism and theoretical framework ZHAO Rongqin, HUANG Xianjin (358)
- Research and compilation of urban greenhouse gas emission inventory LI Qing, TANG Lina, SHI Longyu (367)

Autecology & Fundamentals

- Seed dispersal and seedling recruitment of *Ulmus pumila* woodland in the Keerqin Sandy Land, China YANG Yunfei, BAI Yunpeng, LI Jiandong (374)
- Influence of environmental factors on seed germination of *Bombax malabaricum* DC. ZHENG Yanling, MA Huancheng, Scheller Robert, et al (382)
- Carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometric characteristics during the decomposition of *Spartina alterniflora* and *Cyperus malaccensis* var. *brevifolius* litters OUYANG Linmei, WANG Chun, WANG Weiqi, et al (389)
- Home range of *Teratoscincus roborowskii* (Gekkonidae): influence of sex, season, and body size LI Wenrong, SONG Yucheng, SHI Lei (395)
- Effects of the covering behavior on food consumption, growth and gonad traits of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis* LUO Shibin, CHANG Yaqing, ZHAO Chong, et al (402)
- Biological response of the rice leaffolder *Cnaphalocrocis medinalis* (Güenée) reared on rice and maize seedling to temperature LIAO Huaijian, HUANG Jianrong, FANG Yuansong, et al (409)

Population, Community and Ecosystem

- Composition and stability of organic carbon in the top soil under different forest types in subtropical China SHANG Suyun, JIANG Peikun, SONG Zhaoliang, et al (416)
- The community characteristics of different types of grassland under grazing prohibition condition ZHANG Pengli, CHEN Jun, CUI Shujuan, et al (425)
- Spatial pattern and competition relationship of *Stellera chamaejasme* and *Aneurolepidium dasystachys* population in degraded alpine grassland REN Heng, ZHAO Chengzhang (435)
- SOC decomposition of four typical broad-leaved Korean pine communities in Xiaoxing' an Mountain SONG Yuan, ZHAO Xizhu, MAO Zijun, et al (443)
- The influence of vegetation restoration on soil archaeal communities in Fuyun earthquake fault zone of Xinjiang LIN Qing, ZENG Jun, ZHANG Tao, et al (454)
- Effects of fertilization regimes on soil faunal communities in cropland of purple soil, China ZHU Xinyu, DONG Zhixin, KUANG Fuhong, et al (464)
- Woody plant leaf litter consumption by the woodlouse *Porcellio scaber* with a choice test LIU Yan, LIAO Yuncheng (475)
- The bacterial community of coastal sediments influenced by cage culture in Xiangshan Bay, Zhejiang, China QIU Qiongfeng, ZHANG Demin, YE Xiansen, et al (483)
- A study of meiofauna in the COMRA's contracted area during the summer of 2005 WANG Xiaogu, ZHOU Yadong, ZHANG Dongsheng, et al (492)
- Hydrologic regime of interception for typical forest ecosystem at subalpine of Western Sichuan, China SUN Xiangyang, WANG Genxu, WU Yong, et al (501)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Sensitivity and vulnerability of China's rice production to observed climate change XIONG Wei, YANG Jie, WU Wenbin, et al (509)

Characteristics of temperature and precipitation in Northeastern China from 1961 to 2005	HE Wei, BU Rencang, XIONG Zaiping, et al (519)
Combined effects of elevated O ₃ and reduced solar irradiance on growth and yield of field-grown winter wheat	ZHENG Youfei, HU Huifang, WU Rongjun, et al (532)
Resource and Industrial Ecology	
The study of vegetation biomass inversion based on the HJ satellite data in Yellow River wetland	GAO Mingliang, ZHAO Wenji, GONG Zhaoning, et al (542)
Temporal and spatial variability of soil available nutrients in arable Lands of Heyang County in South Loess Plateau	CHEN Tao, CHANG Qingrui, LIU Jing, et al (554)
Decomposition characteristics of wheat straw and effects on soil biological properties and nutrient status under different rice cultivation	WU Ji, GUO Xisheng, LU Jianwei, et al (565)
Effects of nitrogen application stages on photosynthetic characteristics of summer maize in high yield conditions	LÜ Peng, ZHANG Jiwang, LIU Wei, et al (576)
Urban, Rural and Social Ecology	
The degradation threshold of water quality associated with urban landscape component	LIU Zhenhuan, LI Zhengguo, YANG Peng, et al (586)
Ecological sustainability in Chang-Zhu-Tan region; a prediction study	DAI Yanan, HE Xinguang (595)
The effect of exogenous nitric oxide on activities of antioxidant enzymes and microelements accumulation of two rice genotypes seedlings under cadmium stress	ZHU Hanyi, CHEN Yijun, LAO Jiali, et al (603)
Forms composition of inorganic carbon in sediments from Dali Lake	SUN Yuanyuan, HE Jiang, LÜ Changwei, et al (610)
Fractionation character and bioavailability of Cd, Pb, Zn and Ni combined pollution in oasis soil	WU Wenfei, NAN Zhongren, WANG Shengli, et al (619)
Effects of CA and EDTA on growth of <i>Chlorophytum comosum</i> in copper-contaminated soil	WANG Nannan, HU Shan, WU Dan, et al (631)
Research Notes	
Values of marine ecosystem services in Haizhou Bay	ZHANG Xiuying, ZHONG Taiyang, HUANG Xianjin, et al (640)
Variations of <i>Leymus chinensis</i> community, functional groups, plant species and their relationships with climate factors	TAN Liping, ZHOU Guangsheng (650)
The effect of N:P supply ratio on P uptake and utilization efficiencies in <i>Larix olgensis</i> Henry. seedlings	WEI Hongxu, XU Chengyang, MA Lüyi, et al (659)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,300 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 33 卷 第 2 期 (2013 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 2 (January, 2013)

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

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元