

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

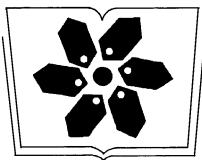
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第21期 Vol.32 No.21 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 21 期

2012 年 11 月 (半月刊)

目 次

白洋淀富营养化湖泊湿地厌氧氨氧化菌的分布及对氮循环的影响.....	王衫允,祝贵兵,曲冬梅,等 (6591)
造纸废水灌溉对滨海退化盐碱湿地土壤酶活性的响应.....	夏孟婧,苗颖,陆兆华,等 (6599)
图们江下游湿地生态系统健康评价.....	朱卫红,郭艳丽,孙 鹏,等 (6609)
适应白洋淀湿地健康评价的 IBI 方法.....	陈 展,林 波,尚 鹤,等 (6619)
基于 MODIS 的洞庭湖湿地面积对水文的响应.....	梁 婕,蔡 青,郭生练,等 (6628)
崇明东滩湿地不同潮汐带入侵植物互花米草根际细菌的多样性.....	章振亚,丁陈利,肖 明 (6636)
中国东部亚热带地区树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 方位变化的谐波分析.....	赵兴云,李宝惠,王 建,等 (6647)
甘肃臭草型退化草地优势种群空间格局及其关联性.....	高福元,赵成章 (6661)
川西亚高山/高山森林土壤氧化还原酶活性及其对季节性冻融的响应.....	谭 波,吴福忠,杨万勤,等 (6670)
模拟分类经营对小兴安岭林区森林生物量的影响.....	邓华卫,布仁仓,刘晓梅,等 (6679)
苹果三维树冠的净光合速率分布模拟.....	高照全,赵晨霞,张显川,等 (6688)
拟茎点霉 B3 与有机肥配施对连作草莓生长的影响.....	郝玉敏,戴传超,戴志东,等 (6695)
落叶松林土壤可溶性碳、氮和官能团特征的时空变化及与土壤理化性质的关系.....	苏冬雪,王文杰,邱 岭,等 (6705)
人工固沙区与流沙区准噶尔无叶豆种群数量特征与空间格局对比研究.....	张永宽,陶 冶,刘会良,等 (6715)
山地河流浅滩深潭生境大型底栖动物群落比较研究——以重庆开县东河为例.....	王 强,袁兴中,刘 红 (6726)
荣成俚岛人工鱼礁区游泳动物群落特征及其与主要环境因子的关系.....	吴忠鑫,张 磊,张秀梅,等 (6737)
北黄海秋、冬季浮游动物多样性及年间变化.....	杨 青,王真良,樊景凤,等 (6747)
鄂尔多斯市土地利用生态安全格局构建.....	蒙古军,朱利凯,杨 倩,等 (6755)
村落文化林与非文化林多尺度物种多样性加性分配.....	高 虹,陈圣宾,欧阳志云 (6767)
不同生计方式农户的环境感知——以甘南高原为例.....	赵雪雁 (6776)
两种预测模型在地下水动态中的比较与应用.....	张 霞,李占斌,张振文,等 (6788)
四川黄龙沟少花鹤顶兰繁殖成功特征.....	黄宝强,寇 勇,安德军 (6795)
硝化抑制剂对蔬菜土硝化和反硝化细菌的影响.....	杨 扬,孟德龙,秦红灵,等 (6803)
新疆两典型微咸水湖水体免培养古菌多样性.....	邓丽娟,娄 恺,曾 军,等 (6811)
白洋淀异养鞭毛虫群落特征及其与环境因子的相关性.....	赵玉娟,李凤超,张 强,等 (6819)
双酚 A 对萼花臂尾轮虫毒性及生活史的影响.....	陆正和,赵宝坤,杨家新 (6828)
孵化温度对双斑锦蛇初生幼体行为和呼吸代谢的影响.....	曹梦洁,祝 思,蔡若茹,等 (6836)
黄玛草蛉捕食米蛾卵的功能反应与数值反应.....	李水泉,黄寿山,韩诗畴,等 (6842)
互惠-寄生耦合系统的稳定性.....	高 磊,杨 燕,贺军州,等 (6848)
超微七味白术散对肠道微生物及酶活性的影响.....	谭周进,吴 海,刘富林,等 (6856)
专论与综述	
氮沉降对森林生态系统碳吸存的影响.....	陈 浩,莫江明,张 炜,等 (6864)
全球 CO_2 水平升高对浮游植物生理和生态影响的研究进展.....	赵旭辉,孔繁翔,谢薇薇,等 (6880)
跨界自然保护区——实现生物多样性保护的新手段.....	石龙宇,李 杜,陈 蕾,等 (6892)
研究简报	
会同和朱亭 11 年生杉木林能量积累与分配.....	康文星,熊振湘,何介南,等 (6901)
退化草地阿尔泰针茅生殖株丛与非生殖株丛的空间格局.....	任 珩,赵成章,高福元,等 (6909)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 35 * 2012-11



封面图说: 白洋淀是华北地区最大的淡水湖泊湿地。淀区内沟壕纵横交织错落,村庄、苇地、园田星罗棋布,在水文、水化学、生物地球化学循环以及生物多样性等方面,具有非常复杂的异质性。随着上游城镇污废水、农田径流进入水域,淀区富营养化日益加剧。复杂的水环境特点、高度的景观异质性和良好的生物多样性,使得该地区成为探索规模性厌氧氨氧化反应的良好研究地点(详见本期第 6591—6598 页)。

彩图提供: 王为东博士 中国科学院生态环境研究中心 E-mail: wdwangh@yahoo.com

DOI: 10.5846/stxb201110061457

任珩, 赵成章, 高福元, 石福习, 张茜. 退化草地阿尔泰针茅生殖株丛与非生殖株丛的空间格局. 生态学报, 2012, 32(21): 6909-6916.

Ren H, Zhao C Z, Gao F Y, Shi F X, Zhang Q. Spatial pattern of sexual plants and vegetative plants of *Stipa krylovii* population in alpine degraded grassland. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(21): 6909-6916.

退化草地阿尔泰针茅生殖株丛与 非生殖株丛的空间格局

任 珩, 赵成章*, 高福元, 石福习, 张 茜

(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: 生殖株丛与非生殖株丛的空间格局是株丛自身特性和植物种内、种间关系综合作用的结果。采用草地群落学调查与点格局分析方法, 在祁连山北坡高寒退化草地设置 4 个退化梯度, 每个梯度内随机设置 3 个 2 m×2 m 的样方, 分析了 0—100 cm 空间尺度上阿尔泰针茅 (*Stipa krylovii*) 种群生殖与非生殖株丛的生物量、高度和空间格局。结果表明: 未退化草地中, 阿尔泰针茅生殖与非生殖株丛均出现聚集格局, 且分布于不同的尺度区间; 草地退化过程中, 生殖与非生殖株丛聚集格局出现重叠且重叠的空间尺度发生转换, 从 18—19 cm、54—68 cm 转换为 45—78 cm; 生殖株丛空间格局以聚集分布为主, 聚集格局尺度随生物量和株高增加而增大; 非生殖株丛以聚集和均匀分布为主, 聚集格局尺度随生物量和株高下降而减小, 均匀格局尺度增大。在干扰活动影响下, 生物量分配和株高的转变是种群空间格局发生尺度转换的关键因素, 反映了退化草地植物种群繁殖与更新的适应性途径。

关键词: 阿尔泰针茅; 株丛; 空间格局; 株高; 地上生物量; 祁连山北坡

Spatial pattern of sexual plants and vegetative plants of *Stipa krylovii* population in alpine degraded grassland

REN Heng, ZHAO Chengzhang*, GAO Fuyuan, SHI Fuxi, ZHANG Qian

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: Spatial pattern is important in plant ecology as it affected the dynamics of plant populations, communities and ecosystem processes, which can reveal the dynamic and stability of population and community structure. *Stipa krylovii*, the zonal vegetation in alpine degraded grassland, has a great significance for understanding reproductive strategies of grassland resources with studies on spatial pattern of sexual plants and vegetative plants of *S. krylovii* population. In this study for two main aims: First, to describe the scale transformation of spatial pattern along with the different plot; Second, to analyze the effect of aboveground biomass and plant height on the spatial pattern. 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, we recorded aboveground biomass, plant height and fine-scale (0—100 cm) spatial pattern of sexual plants and vegetative plants of *S. krylovii* population from 2 m×2 m 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 measured value and the value of upper and lower envelopes were calculated by the Visual Fortran 6.5 based on the coordinate getting by

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40971039, 91125014); 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; 西北师范大学知识与科技创新工程项目 (nwnu-KJCXGC-03-66) 资助

收稿日期: 2011-10-06; 修订日期: 2012-02-01

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

GetData Graph Digitizer 2.22, the point pattern analysis and Monte Carlo stochastic simulation method were used to quantitatively analyze spatial pattern, the excel software was used to construction, the number of Monte Carlo stochastic simulation was 20 times with the step of 2 cm. The results showed that: (1) Under no degradation conditions, the spatial pattern of sexual plants and vegetative plants were aggregated at different scale, the sexual plants were aggregated at 94—100 cm scales, the vegetative plants were aggregated at 22—46 cm scales. (2) In the process of natural pasture degeneration, along with the aboveground biomass and plant height changed, the reduplication of aggregated between sexual plants and vegetative plants developed, the scale changed form 18—19 cm and 54—68 cm to 45—78 cm. (3) Along with the aboveground biomass and plant height of the sexual plants developed, the aggregated was the important pattern type, the aggregated scale changed form 11—19 cm and 54—82 cm to 25—92 cm. (4) Along with reduction of aboveground biomass and plant height of the vegetative plants, the aggregated and regular were the important pattern types, the aggregated scale changed form 18—68 cm to 45—78 cm, as well as the regular scale changed form 0—9 cm to 0—19 cm. To sum up, the spatial pattern of sexual plants and vegetative plants of *S. krylovii* population were changed on the different scale and degradation gradient. The changes of aboveground biomass, as well as the plant height, are not only the antecedent conditions affecting scale transformation of spatial pattern, but also the critical factors of population's status and function change. It may reflect the adaptive approach of regeneration and reproduction when *S. krylovii* population in the face of the outside interference.

Key Words: *Stipa krylovii*; plants; spatial pattern; aboveground biomass; plant height; Qilian Mountain

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,能够有效地揭示种群在群落中的地位和作用^[1-2]。植物种群的空间格局不仅是种群自身生态特性和种内种间关系等因素综合作用的结果,而且还与群落资源配置和种群利用环境资源状况密切相关,在生态学中一直是研究热点^[3-4]。生殖株丛和非生殖株丛反映了兼性克隆植物的有性和无性繁殖特征^[5]。在异质生境中有性繁殖过程可以通过改变茎的垂直生长将整个植株或觅食位点置放于一个觅光优越的垂直空间内^[6],而无性繁殖过程则可以通过生物量配置改变和形态可塑性而将分株置放在资源优越的生境中^[7-8],造成种群新生个体扩大和部分劣势个体退化、死亡,进而对种群空间分布格局产生影响。因此,从株高和生物量分配的角度研究生殖与非生殖株丛的空间格局,可以揭示物种在异质生境中资源配置的繁殖与更新机理,植物应对草地退化的适应性策略。许多学者研究了种群生物量的分配格局^[9-10]、高度结构的分形特征^[11]、种群空间格局的空间尺度效应^[12-13],丰富和发展了草地植物群落生态学理论,但是干扰活动影响下,基于株高和生物量分配影响下植物种群生殖与非生殖株丛空间格局的尺度效应和转换机理尚不明晰。鉴于此,本文利用群落调查法与点格局分析法相结合,研究了祁连山北坡高寒退化草地中优势物种阿尔泰针茅(*Stipa krylovii*)种群生殖与非生殖株丛的空间分布格局,旨在从生物量分配和株高的角度认识植物空间格局的尺度转换特征,以及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。

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4类草地,分别为山地荒漠草原类(1900—2450 m)、山地草原类(2450—2800 m)、山地草甸草原类(2800—3000 m)和山地草甸类(3000—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裕固族自治县马场滩草原(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。原生植被属于山地草原类,坡地针茅组,阿尔泰针茅型,主要植物有:阿尔泰针茅、冷蒿(*Artemisia*

frigida)、狼毒(*Stellera chamaejasme*)、甘肃臭草(*Melica przewalskyi*)、扁穗冰草(*Agropyron cristatum*)、星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)等。阿尔泰针茅作为北方天然草地最重要、最有代表性的优良牧草,其种群消长对于高寒草地群落结构和功能的稳定性具有不可替代的生态作用^[14]。但近十几年来不合理的放牧影响,造成阿尔泰针茅等原生禾草的营养体和繁殖库衰退、种群规模退缩,草地群落的组成结构逐渐简单化,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^[15]。

1.2 样地设置与调查分析

根据赵成章等 2001—2011 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^[15-16],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,以及建群种阿尔泰针茅的平均高度、地上生物量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。

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	阿尔泰针茅 <i>S. krylovii</i>			群落 Community	
		高度 Height/cm	地上生物量 Aboveground biomass /(g/m ²)	密度 Density /(bunch/m ²)	丰富度 Species richness	优势种 Dominant species
未退化 No degradation(Ⅰ)	2615	11.41±3.33	64.96±10.57	142±28.56	12±1.00	阿尔泰针茅 <i>S. krylovii</i>
轻度退化 Light degradation(Ⅱ)	2610	11.39±4.51	48.44±9.16	169±31.50	12±1.00	阿尔泰针茅 <i>S. krylovii</i> 狼毒 <i>S. chamaejasme</i>
中度退化 Moderate degradation(Ⅲ)	2632	11.32±2.91	46.24±7.92	138±22.77	14±2.00	狼毒 <i>S. chamaejasme</i>
重度退化 Heavy degradation(Ⅳ)	2627	11.24±3.28	35.55±8.77	114±19.90	16±2.00	狼毒 <i>S. chamaejasme</i>

试验在 2011 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、阿尔泰针茅种群生殖株丛与非生殖株丛的空间格局调查^[17],其中,为了了解阿尔泰针茅在种群水平上的有性和无性繁殖特征,将生殖株丛(有生殖枝的株丛)和非生殖株丛(无生殖枝的株丛)进行分别测定^[5]。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)中每个阿尔泰针茅株丛的地面投影和相对位置,用坐标值直接表示距离^[18]。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 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^[19],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 是研究区域内两个具有相同特征的点事件, d_{ij} 表示某点到其它点的距离, 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 πd^2 。估计式为:

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

式中, A 表示研究区域面积, $\lambda = \frac{n}{A}$, $E = n^{-1} \sum_i \sum_j \frac{I_{ij}(d)}{W_{ij}(d)}$, 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。

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, 偏离数值越大说明聚集强度越高; 如果 $L(d) = 0$, 为随机分布; 如果 $L(d) < 0$, 为均匀分布。

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

利用 Monte Carlo 方法求解随机分布的上下包迹线, 如果研究对象实际值落在上下包迹线的区间内, 则此距离尺度下点事件为随机分布; 如果研究对象实际值落在上下包迹线之上, 则此距离尺度下为聚集分布; 如果研究对象实际值落在上下包迹线之下, 则此距离尺度下为均匀分布。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。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格局及关联分析中。通过 Visual Fortran 6.5 进行编程计算。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。

2 结果与分析

2.1 阿尔泰针茅种群生殖株丛与非生殖株丛生物学特征

阿尔泰针茅种群生殖株丛与非生殖株丛生物学特征在不同退化阶段存在差异 (表 2)。生殖株丛与非生殖株丛的高度无显著性差异 ($F=6.11, P=0.09$; $F=4.57, P=0.03$), 草地退化过程中生殖株丛高度逐渐增高, 而非生殖株丛高度逐渐降低; 二者的地上生物量具有显著性差异 ($F=14.7, P<0.01$; $F=19.23, P<0.01$), 生殖株丛地上生物量在轻度至重度退化草地中表现为增加趋势, 非生殖株丛表现为减小趋势。

表 2 不同退化草地阿尔泰针茅种群生殖株丛与非生殖株丛特征

Table 2 Sexual plants and vegetative plants of *Stipa krylovii* population characteristics in different plot

样地 Plot	生殖株丛 Sexual plant		非生殖株丛 Vegetative plant	
	地上生物量/(g/m ²)	高度/cm	地上生物量/(g/m ²)	高度/cm
	Aboveground biomass	Height	Aboveground biomass	Height
未退化 No degradation (I)	7.12±0.69a	17.87±2.11a	57.84±11.22a	10.76±1.19a
轻度退化 Light degradation (II)	2.34±0.15b	13.74±1.99a	46.10±9.34b	10.58±1.03a
中度退化 Moderate degradation (III)	2.68±0.27b	14.45±2.02a	43.56±10.37b	10.15±1.00a
重度退化 Heavy degradation (IV)	7.05±0.66a	17.09±2.26a	28.5±8.30c	9.07±0.98a

同一列数据后不同字母表示处理间差异显著 $P<0.01$

2.2 阿尔泰针茅种群生殖株丛空间格局

图 1 表明, 不同退化草地中, 阿尔泰针茅种群生殖株丛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, 在 0—94 cm 尺度上呈随机分布, 94—100 cm 尺度上呈聚集分布; 轻度退化草地中, 在 0—11 cm、19—54 cm 和 82—100 cm 尺度上呈随机分布, 11—19 cm 和 54—82 cm 尺度上呈聚集分布; 中度退化草地中, 在 0—25 cm 和 92—100 cm 呈随机分布, 25—92 cm 尺度上呈聚集分布; 重度退化草地中, 在 0—100 cm 尺度上呈随机分布。阿尔泰针茅种群生殖株丛的分布格局统计上是极其显著的 ($P<0.01$)。

2.3 阿尔泰针茅种群非生殖株丛空间格局

阿尔泰针茅种群非生殖株丛空间格局在不同退化草地中具有明显的差异 (图 2)。未退化草地中, 在 0—11 cm 和 93—100 cm 尺度上呈均匀分布, 11—22 cm 和 46—93 cm 呈随机分布, 22—46 cm 尺度上呈聚集分布; 轻度退化草地中, 在 0—9 cm 和 93—100 cm 尺度上呈均匀分布, 9—18 cm 和 68—93 cm 呈随机分布, 18—

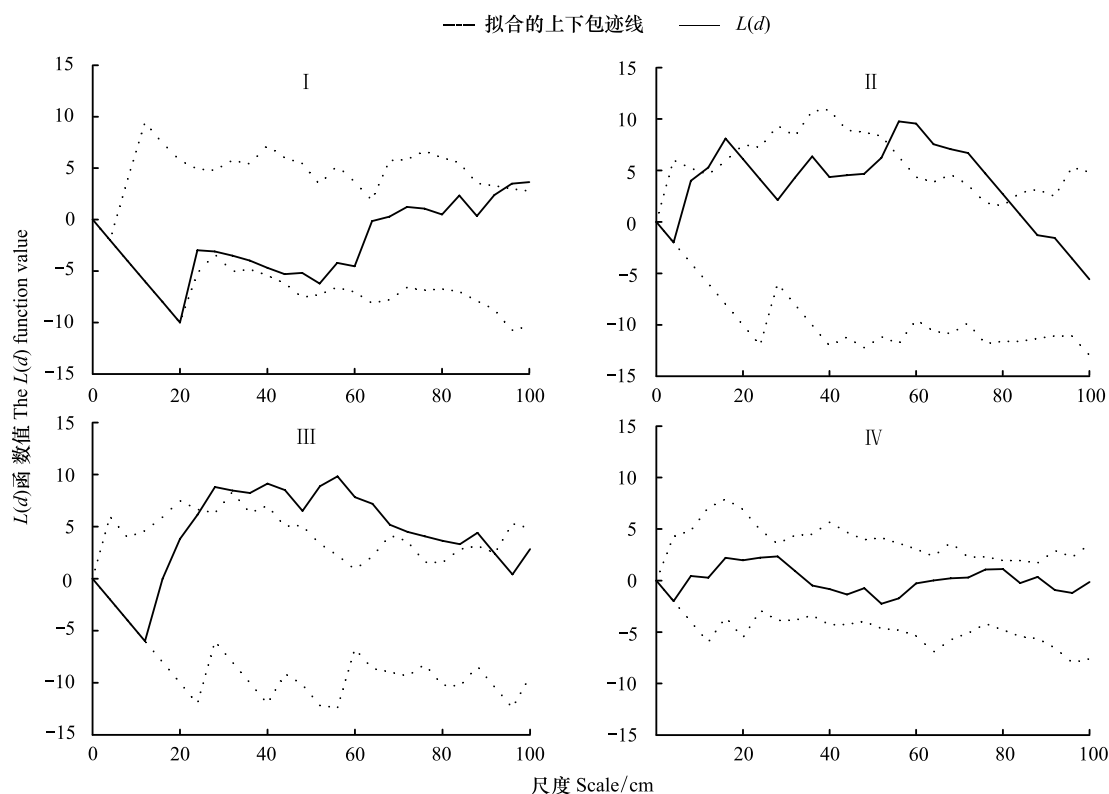


图1 阿尔泰针茅种群生殖株丛点格局分析

Fig. 1 Point pattern analysis between sexual plants of *Stipa krylovii* population

68 cm 尺度上呈聚集分布;中度退化草地中,在 0—18 cm 尺度上呈均匀分布,18—45 cm 和 78—100 cm 呈随机分布,45—78 cm 尺度上呈聚集分布;重度退化草地中,在 0—19 cm 尺度上呈均匀分布,19—100 cm 呈随机分布。阿尔泰针茅种群非生殖株丛的分布格局统计上是极其显著的($P < 0.01$)。

3 结论与讨论

干扰是草地优势种群退化的外生因素^[20],而植物群落资源配置结构改变和优势植物种群的资源分配策略,以及由此产生的种内个体间依赖、竞争关系是草地优势种群退化的主要内因^[21]。干扰影响下特定植物群落中,个体特有的形态特征和复杂的生态关系,使其倾向于分享相邻个体的基础资源与空间部分,加剧了小尺度层面种群种内关系的不确定性^[22]。天然草地退化过程中,阿尔泰针茅株丛聚集和均匀分布格局发生了明显地尺度转化效应,反映了种群个体间相互协作、相互竞争的生态关系^[12]。在未退化至中度退化草地中,生殖株丛以聚集分布格局为主,聚集格局区间逐渐增大;非生殖株丛以聚集与均匀分布格局为主,聚集格局区间逐渐减小,均匀格局区间逐渐增大。这种格局分布和尺度转化现象与种群调整株丛生物量分配和垂直空间占据策略密切相关,可能反映了草地退化过程中阿尔泰针茅种群应对干扰活动的繁殖与更新的适应性途径。

生物量配置是植物生理整合作用对生境中的异质环境作出的反应^[10],为了提高株丛在异质性生境中的“觅食”效率,通常改变个体间生物量分配格局而合理布置株丛的置放空间^[7-8],造成种群空间格局倾向于聚集分布。阿尔泰针茅生殖与非生殖株丛聚集分布格局的尺度差异可能是生物量配置影响下种群更新的结果。未退化草地中,生殖株丛在 0—94 cm 和 94—100 cm 尺度呈随机和聚集分布,非生殖株丛在 22—46 cm 和 93—100 cm 呈聚集和均匀分布的空间格局,可能是阿尔泰针茅处于群落资源的支配地位,合理的生物量分配有助于种群对群落资源控制的延续,种群尽量保持相互协作的种内关系,反映了植物在生殖与非生殖株丛间分化聚集格局,避免种内竞争造成资源损耗的更新途径。轻度和中度退化草地中,生殖与非生殖株丛的聚集格局区间出现重叠且重叠的空间尺度发生转换,从 18—19 cm、54—68 cm 转换为 45—78 cm,可能是放牧干扰下阿尔泰针茅种群资源获取能力减弱,当有限资源不能满足种群稳定需求时,个体间势必出现资源竞争态势,

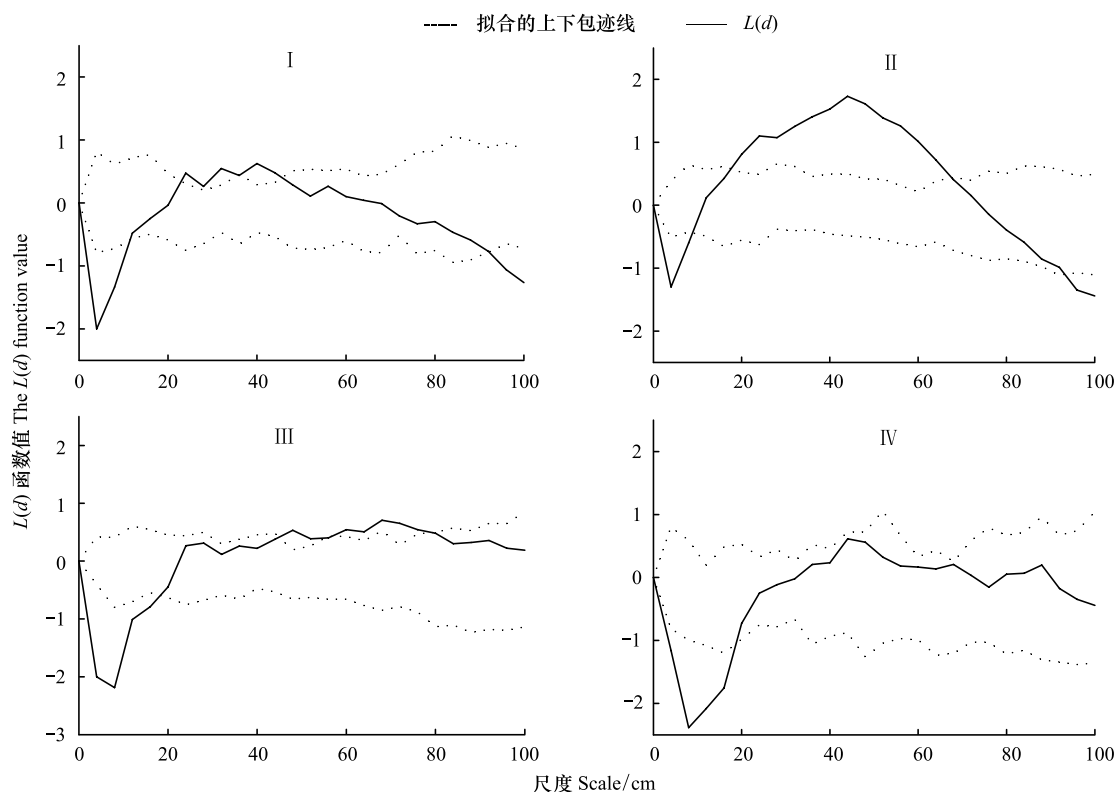


图2 阿尔泰针茅种群非生殖株丛点格局分析

Fig. 2 Point pattern analysis between vegetative plants of *Stipa krylovii* population

种内关系由种内协同向种内竞争过渡,从而引起生殖与非生殖株丛的空间分布格局发生转变,结合阿尔泰针茅生殖株丛生物量增加,非生殖株丛减小的结果,可以推测阿尔泰针茅在干扰活动影响下采取以牺牲无性繁殖为代价,加大有性繁殖投入的 r-策略^[23-24],尽可能的将能量投入到有性繁殖中去,最大程度上占有空间资源^[25],而且随退化程度加剧,这种资源投入分化的现象愈加明显,甚至于在重度退化草地中种群生物量显著下降的情况下,生殖株丛配置的生物量仍表现为增加趋势。引起生殖株丛的聚集分布格局从 11—19 cm、54—82 cm 转换为 25—92 cm,非生殖株丛从 18—68 cm 转换为 45—78 cm,这些研究与兼性克隆植物由于克隆生长而几乎完全放弃有性过程的繁殖对策相悖^[26-27],可能与放牧干扰下种群大小结构由以成株为主转向以幼株为主和种群斑块被分割、破碎过程相关,需要进一步研究。

光竞争条件下,植物个体高生长所导致的适合程度依赖于其对邻体的相对高度,当某一比现有种群个体更高的表现型入侵到种群中时,相对于原始个体而言能获得更多的光资源,在其他条件相同的情况下,新表现型便会在种群中定植并最终将代替原有植物类型^[28]。阿尔泰针茅生殖株丛高于非生殖株丛,反映了光竞争不对称性影响下较高的生殖株丛在光照资源竞争过程中占据优势地位^[6,29],通过截取较低的非生殖株丛的光照,对其产生遮蔽作用^[11,30]。随着草地退化过程延续,植物在株高上表现出的分化现象愈加明显。轻度至重度退化草地中,阿尔泰针茅生殖株丛高度逐渐增加,生殖株丛对光资源的竞争能力进一步增强,在株丛高度降低影响下,非生殖株丛占据的垂直空间不断被生殖株丛取代,加剧了非生殖株丛资源竞争能力衰退,引起二者聚集分布格局区间表现出相反的变化趋势,当生殖株丛聚集分布格局尺度增大时,非生殖株丛减小。均匀分布格局仅在非生殖株丛中出现,从轻度草地 0—9 cm 转换为重度草地 0—19 cm,可能是因为在生殖株丛遮蔽作用影响下非生殖株丛可支配资源逐渐减少,资源有限性加剧了株丛之间的竞争激烈程度^[12],引起均匀格局尺度生转变。从株丛高度视角分析空间分布格局在一定程度上揭示了植物个体间的竞争关系,但是干扰影响下,这种种内个体的竞争关系服从于种间关系,狼毒等物种个体特征转变影响阿尔泰针茅种群的空间分布格

局,因而有待于从空间关联的角度深入分析。

综上所述,阿尔泰针茅生殖株丛与非生殖株丛的空间格局存在复杂的尺度转换特征。随着草地退化,阿尔泰针茅种群降低无性繁殖资源投入,增大有性繁殖的调节过程和光竞争条件下株高分化造成个体间的竞争过程,改变了生殖与非生殖株丛空间资源获取的能力,以及植物个体间协作和竞争态势,引起二者空间格局在退化草地中发生尺度转换。因此,在干扰活动影响下,偏向于有性繁殖过程的生物量分配策略,以及遮蔽作用下株高的分化过程可能是种群空间格局发生尺度转换的关键因素,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。但是,植物种群空间格局的转变规律服从于植物种间关系,与种群大小结构和种群斑块等特征相关,因而仅从生物量和株高视角分析存在一定的局限性和不确定性,需要进一步完善。

References:

- [1] 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.
- [2] Cao GX, Zhong Z C, Liu Y, Xie D T. The study of distribution pattern of *Camellia rosthorniana* population in Jinyun Mountain. *Journal of Biology*, 2003, 20(1):10-12.
- [3] Greig-Smith P. *Quantitative Plant Ecology*. London: Blackwell Scientific Publications, 1983: 125-141.
- [4] Zhang J T. *Method of Quantitative Vegetation Ecology*. Beijing: Chineses Science and Technic Press, 1995.
- [5] Zhang X N, Ha D C L, Pan Q M. Adaptive regulation in reproductive strategy of two bunchgrasses under mowing disturbance in Inner Mongolia grassland. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(3): 253-262.
- [6] Tao J P, Zhong Z C. Effects of light on morphological plasticity and biomass allocation of *Momordica charantia*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(3): 336-340.
- [7] Slade A J, Hutchings M J. The effect of light intensity on for aging in the clonal herb *Glechoma hederacea*. *Journal of Ecology*, 1987, 75(3): 639-650.
- [8] Tao J P, Zhong Z C. Morphological responses to different nutrient supply in the stoloniferous herb *Glechoma longituba*. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(2): 207-211.
- [9] Wang L, Niu K C, Yang Y H, Zhou P. Patterns of above and belowground biomass allocation in China's grasslands: evidence from individual-level observations. *Science China Life Sciences*, 2010, 53(7): 851-857.
- [10] Chapin F S III, Bloom A J, Field C B, Waring R H. Plant responses to multiple environmental factors. *Bio Science*, 1987, 37(1): 49-57.
- [11] Liang S X, Wang B S. Fractal characteristics of the height structure of *Bruguiera Gymnorhiza* population. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(4): 408-412.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Lu S L, Wu Z L. On geographical distribution of the genus *Stipa* L. in China. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 1996, 34(3): 242-253.
- [15] 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.
- [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] 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.
- [18] Ripley B D. *Spatial Statistics*. New York: Wiley, 1981: 10-200.
- [19] Diggle P. *Statistical Analysis of Spatial Point Patterns*. New York: Academic Press, 1983.
- [20] 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.
- [21] 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.

- [22] 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.
- [23] MacArthur R H. Some generalized theorems of natural selection. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States America*, 1962, 48(11): 1893-1897.
- [24] Newell S J, Tramer E J. Reproductive strategies in herbaceous plant communities during succession. *Ecology*, 1978, 59(2): 228-234.
- [25] Ban Y. Evolution of life history strategy in plants. *Chinese Journal of Ecology*, 1995, 14(3): 33-39.
- [26] Zhang Y F, Zhang D Y. Asexual and sexual reproductive strategies in clonal plants. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(1): 174-183.
- [27] Sculthorpe C D. *The Biology of Aquatic Vascular Plants*. London: Edward Arnold, 1967.
- [28] Chen S Y, Zhang J L, Jia P, Xu J, Wang G, Xiao S. Impact of neighborhood effects on adaptive plasticity of plant height under light competition environment. *Journal of Lanzhou University: Natural Sciences*, 2009, 45(6): 76-81.
- [29] Falster D S, Westoby M. Plant height and evolutionary games. *Trends in Ecology and Evolution*, 2003, 18(7): 337-343.
- [30] Schwinning S, Weiner J. Mechanisms determining the degree of size asymmetry in competition among plants. *Oecologia*, 1998, 113(4): 447-455.

参考文献:

- [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.
- [4] 张金屯. 植被数量生态学方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [5] 张晓娜, 哈达朝鲁, 潘庆民. 刈割干扰下内蒙古草原两种丛生禾草繁殖策略的适应性调节. *植物生态学报*, 2010, 34(3): 253-262.
- [6] 陶建平, 钟章成. 光照对苦瓜形态可塑性及生物量配置的影响. *应用生态学报*, 2003, 14(3): 336-340.
- [8] 陶建平, 钟章成. 匍匐茎草本活血丹(*Glechoma longituba*)在不同养分条件下的克隆形态. *生态学报*, 2000, 20(2): 207-211.
- [9] 王亮, 牛克昌, 杨元合, 周鹏. 中国草地生物量地上-地下分配格局: 基于个体水平的研究. *中国科学: 生命科学*, 2010, 40(7): 642-649.
- [11] 梁士楚, 王伯荪. 红树植物木榄种群高度结构的分形特征. *植物生态学报*, 2002, 26(4): 408-412.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 卢生莲, 吴珍兰. 中国针茅属植物的地理分布. *植物分类学报*, 1996, 34(3): 242-253.
- [15] 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.
- [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] 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] 赵登亮, 刘钟龄, 杨桂霞, 辛小平, 梁存柱, 王伟, 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.
- [25] 班勇. 植物生活史对策的进化. *生态学杂志*, 1995, 14(3): 33-39.
- [26] 张玉芬, 张大勇. 克隆植物的无性与有性繁殖对策. *植物生态学报*, 2006, 30(1): 174-183.
- [28] 陈书燕, 张甲林, 贾鹏, 徐瑾, 王刚, 肖洒. 光竞争条件下邻域效应对植物高生长可塑性的影响. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2009, 45(6): 76-81.

CONTENTS

Widespread of anaerobic ammonia oxidation bacteria in an eutrophic freshwater lake wetland and its impact on nitrogen cycle	WANG Shanyun, ZHU Guibing, QU Dongmei, et al (6591)
Responses of soil enzyme activities of degraded coastal saline wetlands to irrigation with treated paper mill effluent	XIA Mengjing, MIAO Ying, LU Zhaozhua, et al (6599)
Wetland ecosystem health assessment of the Tumen River downstream	ZHU Weihong, GUO Yanli, SUN Peng, et al (6609)
An index of biological integrity: developing the methodology for assessing the health of the Baiyangdian wetland	CHEN Zhan, LIN Bo, SHANG He, et al (6619)
MODIS-based analysis of wetland area responses to hydrological processes in the Dongting Lake	LIANG Jie, CAI Qing, GUO Shenglian, et al (6628)
The diversity of invasive plant <i>Spartina Alterniflora</i> rhizosphere bacteria in a tidal salt marshes at Chongming Dongtan in the Yangtze River estuary	ZHANG Zhengya, DING Chengli, XIAO Ming (6636)
Analyzing the azimuth distribution of tree ring $\delta^{13}\text{C}$ in subtropical regions of eastern China using the harmonic analysis	ZHAO Xingyun, LI Baohui, WANG Jian, et al (6647)
In the process of grassland degradation the spatial pattern and spatial association of dominant species	GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang (6661)
Activities of soil oxidoreductase and their response to seasonal freeze-thaw in the subalpine/alpine forests of western Sichuan	TAN Bo, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (6670)
Simulating the effects of forestry classified management on forest biomass in Xiao Xing'an Mountains	DENG Huawei, BU Rencang, LIU Xiaomei, et al (6679)
The simulation of three-dimensional canopy net photosynthetic rate of apple tree	GAO Zhaoquan, ZHAO Chenxia, ZHANG Xianchuan, et al (6688)
The effect of <i>Phomopsis</i> B3 and organic fertilizer used together during continuous cropping of strawberry (<i>Fragaria ananassa</i> Duch)	HAO Yumin, DAI Chuanchao, DAI Zhidong, et al (6695)
Temporal and spatial variations of DOC, DON and their function group characteristics in larch plantations and possible relations with other physical-chemical properties	SU Dongxue, WANG Wenjie, QIU Ling, et al (6705)
Comparisons of quantitative characteristics and spatial distribution patterns of <i>Eremosparton songoricum</i> populations in an artificial sand fixed area and a natural bare sand area in the Gurbantunggut Desert, Northwestern China	ZHANG Yongkuan, TAO Ye, LIU Huiliang, et al (6715)
Comparison study on macroinvertebrate assemblage of riffles and pools: a case study of Dong River in Kaixian County of Chongqing, China	WANG Qiang, YUAN Xingzhong, LIU Hong (6726)
Nekton community structure and its relationship with main environmental variables in Lidao artificial reef zones of Rongcheng	WU Zhongxin, ZHANG Lei, ZHANG Xiumei, et al (6737)
Zooplankton diversity and its variation in the Northern Yellow Sea in the autumn and winter of 1959, 1982 and 2009	YANG Qing, WANG Zhenliang, FAN Jingfeng, et al (6747)
Building ecological security pattern based on land use: a case study of Ordos, Northern China	MENG Jijun, ZHU Likai, YANG Qianet al (6755)
Additive partition of species diversity across multiple spatial scales in community culturally protected forests and non-culturally protected forests	GAO Hong, CHEN Shengbin, OUYANG Zhiyun (6767)
Environmental perception of farmers of different livelihood strategies: a case of Gannan Plateau	ZHAO Xueyan (6776)
Application and comparison of two prediction models for groundwater dynamics	ZHANG Xia, LI Zhanbin, ZHANG Zhenwen, et al (6788)
Pollination success of <i>Phaius delavayi</i> in Huanglong Valley, Sichuan	HUANG Baoqiang, KOU Yong, AN Dejun (6795)
Mechanism of nitrification inhibitor on nitrogen-transformation bacteria in vegetable soil	YANG Yang, MENG Denglong, QIN Hongling, et al (6803)
Archaea diversity in water of two typical brackish lakes in Xinjiang	DENG Lijuan, LOU Kai, ZENG Jun, et al (6811)
Abundance and biomass of heterotrophic flagellates in Baiyangdian Lake, as well as their relationship with environmental factors	ZHAO Yujuan, LI Fengchao, ZHANG Qiang, et al (6819)
Effects of bisphenol A on the toxicity and life history of the rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i>	LU Zhenghe, ZHAO Baokun, YANG Jiaxin (6828)
Effect of incubation temperature on behavior and metabolism in the Chinese cornsnake, <i>Elaphe bimaculata</i>	CAO Mengjie, ZHU Si, CAI Ruoru, et al (6836)
Functional and numerical responses of <i>Mallada besalis</i> feeding on <i>Coreyra cephalonica</i> eggs	LI Shuiquan, HUANG Shoushan, HAN Shichou, et al (6842)
Stability analysis of mutualistic-parasitic coupled system	GAO Lei, YANG Yan, HE Junzhou, et al (6848)
Effect of ultra-micro powder qiweibaishuan on the intestinal microbiota and enzyme activities in mice	TAN Zhoujin, WU Hai, LIU Fulin, et al (6856)
Review and Monograph	
The effects of nitrogen deposition on forest carbon sequestration: a review	CHEN Hao, MO Jiangming, ZHANG Wei, et al (6864)
Effect of enhanced CO ₂ level on the physiology and ecology of phytoplankton	ZHAO Xuhui, KONG Fanxiang, XIE Weiwei, et al (6880)
Transboundary protected areas as a means to biodiversity conservation	SHI Longyu, LI Du, CHEN Lei, et al (6892)
Scientific Note	
The energy storage and its distribution in 11-year-old chinese fir plantations in Huitong and Zhuting	KANG Wenxing, XIONG Zhengxiang, HE Jienan, et al (6901)
Spatial pattern of sexual plants and vegetative plants of <i>Stipa krylovii</i> population in alpine degraded grassland	REN Heng, ZHAO Chengzhang, GAO Fuyuan, et al (6909)

《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 32 卷 第 21 期 (2012 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 21 (November, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元