

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 22 期 Vol.32 No.22 **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 22 期

2012 年 11 月 (半月刊)

目 次

CO ₂ 浓度和温度升高对噬藻体 PP 增殖的联合作用	牛晓莹,程 凯,荣茜茜,等 (6917)
1956—2009 年内蒙古苏尼特左旗荒漠草原的降水格局	陈 军,王玉辉 (6925)
两个污水处理系统的能值与经济综合分析	李 敏,张小洪,李远伟,等 (6936)
退化草地阿尔泰针茅种群个体空间格局及关联性	赵成章,任 珩 (6946)
地表覆盖栽培对雷竹林凋落物养分及其化学计量特征的影响	刘亚迪,范少辉,蔡春菊,等 (6955)
福州酸雨区次生林中台湾相思与银合欢叶片的 12 种元素含量	郝兴华,洪 伟,吴承祯,等 (6964)
“雨花露”水蜜桃主要害虫与其捕食性天敌的关系	柯 磊,施晓丽,邹运鼎,等 (6972)
大兴安岭林区 10 小时时滞可燃物湿度的模拟	胡天宇,周广胜,贾丙瑞 (6984)
陕北风沙区不同植被覆盖下的土壤养分特征	李文斌,李新平 (6991)
南方型杨树人工林土壤呼吸及其组分分析	唐罗忠,葛晓敏,吴 麟,等 (7000)
黑河下游土壤水盐对生态输水的响应及其与植被生长的关系	鱼腾飞,冯 起,刘 蔚,等 (7009)
树木胸径大小对树干液流变化格局的偏度和时滞效应	梅婷婷,赵 平,倪广艳,等 (7018)
外来植物紫茎泽兰入侵对土壤理化性质及丛枝菌根真菌(AMF)群落的影响	于文清,刘万学,桂富荣,等 (7027)
基于 Landsat TM 的热带精细地物信息提取的模型与方法——以海南岛为例	王树东,张立福,陈小平,等 (7036)
雪被去除对川西高山冷杉林冬季土壤水解酶活性的影响	杨玉莲,吴福忠,杨万勤,等 (7045)
不同土壤水分处理对水稻光合特性及产量的影响	王唯逍,刘小军,田永超,等 (7053)
木蹄层孔菌不同居群间生长特性、木质素降解酶与 SRAP 标记遗传多样性	曹 宇,徐 晔,王秋玉 (7061)
加拿大一枝黄花入侵对土壤动物群落结构的影响	陈 雯,李 涛,郑荣泉,等 (7072)
间作对玉米品质、产量及土壤微生物数量和酶活性的影响	张向前,黄国勤,卞新民,等 (7082)
接种 AM 真菌对玉米和油菜种间竞争及土壤无机磷组分的影响	张宇亭,朱 敏,钱岩相注,等 (7091)
大亚湾冬季不同粒级浮游生物的氮稳定同位素特征及其与生物量的关系	柯志新,黄良民,徐 军,等 (7102)
太湖水华期间有毒和无毒微囊藻种群丰度的动态变化	李大命,叶琳琳,于 洋,等 (7109)
锌胁迫对小球藻抗氧化酶和类金属硫蛋白的影响	杨 洪,黄志勇 (7117)
基于国家生态足迹账户计算方法的福建省生态足迹研究	邱寿丰,朱 远 (7124)
能源活动 CO ₂ 排放不同核算方法比较和减排策略选择	杨喜爱,崔胜辉,林剑艺,等 (7135)
基于生境等价分析法的胶州湾围填海造地生态损害评估	李京梅,刘铁鹰 (7146)
县级生态资产价值评估——以河北丰宁县为例	王红岩,高志海,李增元,等 (7156)
专论与综述	
丛枝菌根提高宿主植物抗旱性分子机制研究进展	李 涛,杜 娟,郝志鹏,等 (7169)
城市土壤碳循环与碳固持研究综述	罗上华,毛齐正,马克明,等 (7177)
基于遥感的光合有效辐射吸收比率(FPAR)估算方法综述	董泰锋,蒙继华,吴炳方 (7190)
光衰减及其相关环境因子对沉水植物生长影响研究进展	吴明丽,李叙勇 (7202)
浮游动物化学计量学稳态性特征研究进展	苏 强 (7213)
研究简报	
2010 年两个航次獐子岛海域浮游纤毛虫丰度和生物量	于 莹,张武昌,张光涛,等 (7220)
基于熵值法的我国野生动物资源可持续发展研究	杨锡涛,周学红,张 伟 (7230)
残落物添加对农林复合系统土壤有机碳矿化和土壤微生物量的影响	王意锟,方升佐,田 野,等 (7239)
人工湿地不同季节与单元之间根际微生物多样性	陈永华,吴晓芙,张珍妮,等 (7247)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-11



封面图说: 水杉农田防护林中的小麦熟了——水杉曾广泛分布于北半球,第四纪冰期以后,水杉属的其他种类全部灭绝,水杉却在中国川、鄂、湘边境地带得以幸存,成为旷世奇珍,野生的水杉是国家一级保护植物。由于水杉耐水,适应力强,生长极为迅速,其树干通直挺拔,高大秀颀,树冠呈圆锥形,姿态优美,自发现后被人们在中国南方广泛种植,不仅成为了湖边、道路两旁的绿化观赏植物,更成为了农田防护林的重要树种。此图中整齐划一的水杉防护林像忠实的哨兵一样,为苏北农村即将成熟的麦田站岗。

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

DOI: 10.5846/stxb201110261590

赵成章,任珩.退化草地阿尔泰针茅种群个体空间格局及关联性.生态学报,2012,32(22):6946-6954.

Zhao C Z, Ren H. Individual spatial pattern and spatial association of *Stipa krylovii* population in Alpine Degraded Grassland. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(22):6946-6954.

退化草地阿尔泰针茅种群个体空间格局及关联性

赵成章*,任珩

(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:植物的空间格局及关联性是自身特性和环境因素综合作用的结果。采用草地群落学调查与点格局分析方法,在祁连山北坡阿尔泰针茅草原,根据株丛径大小将阿尔泰针茅(*Stipa krylovii*)分为3个大小等级:A级(1.1—7.0 cm)、B级(1.1—7.0 cm)和C级(株丛径7.1 cm以上),分析了阿尔泰针茅种群的大小结构和不同大小等级个体的空间格局及关联性。结果表明:随天然草地退化过程延续,阿尔泰针茅种群个体空间格局由聚集分布转变为非聚集分布,个体间的关联性由正相关为主转化为不相关和负相关;不同大小等级个体的空间格局存在差异,C级个体仅在中度退化草地表现出聚集格局,A级和B级个体以聚集和随机格局为主,且在未退化和轻度退化草地由随机转向聚集格局;不同等级个体间的空间关联性与形体大小差异不存在相关性,A级与B级、C级个体间正关联尺度明显增大,B级与C级个体间则以不相关和负相关为主且负相关尺度增大。物种大小结构和个体间的竞争关系变化,是种群不同大小等级空间格局及关联性转换的关键因素,反映了退化草地植物应对干扰的更新途径。

关键词:阿尔泰针茅;空间格局;空间关联;大小结构;个体;祁连山地

Individual spatial pattern and spatial association of *Stipa krylovii* population in Alpine Degraded Grassland

ZHAO Chengzhang*, REN Heng

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: Population's spatial pattern and spatial association are the main forms of plant community's ecological relationship and ecological process on the space pattern, which can reveal the dynamic and stability of population structure 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 and spatial association among different size classes of *S. krylovii* population. Study sites locates in the Ma Changtan grassland (38°47'22.1"—38°52'11" N, 99°45'11.7"—99°57'41.2" E) which belongs to the upper reaches of Heihe River in the SuNan country of the north Qilian Mountain. In early August, 2011, we recorded the size structure of *S. krylovii* population and fine-scale (0—100 cm) spatial pattern and spatial association among different size classes 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 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

基金项目:国家自然科学基金(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资助(nwnu-KJCXGC-03-66)

收稿日期:2011-10-26; **修订日期:**2012-06-14

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

number of Monte Carlo stochastic simulation was 20 times with the step of 2 cm. The results showed that: (1) Along with the natural pasture degeneration process extension, the population's size structure transformed from stable type to instability. (2) Spatial pattern among different size classes existed different characteristics: spatial pattern of plant size A transformed from random to aggregation at 8—69 cm scales in no degradation and light degradation, as well as plant size B transformed at 24—59 cm scales; under moderate degradation conditions, spatial pattern of plant size A and C showed random and aggregation, plant size B showed random and regular; under heavy degradation conditions, all plant size showed random or regular. (3) Spatial association among different size classes was changed on the different scale and degradation gradient: positive correlation was shown between plant size A and B in no degradation and light degradation, whereas no significant or negative correlation was shown under moderate degradation and heavy degradation conditions; no significant or negative correlation was shown between plant size B and C, meanwhile, the scale of negative correlation increased from 6—22 cm to 5—26 cm; positive correlation and no significant correlation was shown between plant size A and C at different degradation gradient type, meanwhile, the scale of positive correlation increased. The changes of size structure of *S. krylovii* population, as well as the mutual conversion of intraspecific competition and interspecific competition, which are not only the antecedent conditions affecting scale transformation of spatial pattern and spatial association, 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*; spatial pattern; spatial association; size structure; plant; Qilian Mountain

空间格局与关联性是植物种群自身生物学特性与环境因素相互作用的结果,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^[1-2],在生态学中一直是研究热点^[3]。植物种群的大小结构是种群内不同大小个体数量的分布状况^[4],不仅反映种群个体的组配情况,也反映了种群数量动态及其发展趋势^[5]。在异质生境中植物种群不同大小个体处于不断转化过程^[6],带动了种群结构出现动态特征,以及不同发育阶段个体配置情况发生转变,进而造成个体占据环境空间能力和空间大小存在差异^[7],使不同生境下部分优势个体递进扩散和劣势个体退化、死亡,对种群空间分布格局产生影响。因此,从大小结构的角度研究植物种群的空间分布格局及关联性,是认识草地植物种群更新规律的关键途径。许多学者研究了植物种群的空间分布格局及关联性的尺度效应^[8-9]、种群结构和分布格局的动态特征^[6,10]。对于典型草原区优势植物种群不同大小等级个体的空间格局与关联性的尺度效应研究仍然十分有限。

阿尔泰针茅(*Stipa krylovii*),又称为西北针茅和克氏针茅^[11],它所形成的草原群落分布在我国中西部,占据了典型草原西半侧的广大地区,还可进入荒漠区的山地成为山地草原的一部分^[12]。阿尔泰针茅对于干旱环境的适应能力是维系草地群落结构和群落环境的物质基础^[13]。在过度放牧和气候变迁影响下,阿尔泰针茅种群的更新能力受到抑制,天然草地发生严重退化,进而造成草地生态系统结构简单化、功能衰退和生物多样性丧失^[14-15]。研究天然草地退化过程中阿尔泰针茅分布格局和种内、种间关系,是认识天然草地阿尔泰针茅的干扰响应机制,制定草地生态系统恢复措施的理论基础。目前,学界在阿尔泰针茅种群年龄和株丛结构^[16]、空间格局的尺度效应^[13,17]、种间关联性^[2,18]等方面进行了深入研究,但是不同等级个体间的空间格局及关联性研究仍较为薄弱。有鉴于此,本文利用群落调查法与点格局分析法相结合,研究了祁连山北坡山地草原阿尔泰针茅(*Stipa krylovii*)种群个体的空间格局及关联性,旨在从种群大小结构的角度揭示植物空间格局及关联性的转换特征,以及退化草地植物种群应对放牧干扰的更新机理。

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。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、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。

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^[17,19],在地貌相对一致、地形平缓的冬春草地,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高度、盖度和地上生物量,以及草地群落的优势种和草地近10 a的放牧率(放牧率= $B/D \times 100\%$,式中 B 表示2001—2010年供试草地的年均牲畜饲养量, D 表示同一时期草地的理论载畜量)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	样地面积 Plot area /hm ²	阿尔泰针茅 <i>S. Krylovii</i>				群落 Community 优势种 Dominant species
			高度 Height/cm	盖度 Subcoverage /%	地上生物量 Aboveground biomass /(g/m ²)	放牧率 Stocking rate/%	
未退化(Ⅰ) No degradation(Ⅰ)	2615	68.5	37.5±3.23	62±8.56	63.6±10.55	<90	阿尔泰针茅 <i>Stipa krylovii</i>
轻度退化(Ⅱ) Light degradation(Ⅱ)	2610	102	36.4±4.89	40±5.50	41±7.23	105—125	阿尔泰针茅 <i>S. Krylovii</i> 狼毒 <i>Stellera chamaejasme</i>
中度退化(Ⅲ) Moderate degradation(Ⅲ)	2632	135.5	31.5±2.59	23±2.77	21±3.99	123—138	狼毒 <i>S. chamaejasme</i>
重度退化(Ⅳ) Heavy degradation(Ⅳ)	2627	90	25.3±2.18	7.2±1.90	8.6±1.65	135—150	狼毒 <i>S. chamaejasme</i>

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、阿尔泰针茅种群不同大小级的分布格局与关联性调查^[20]。实测并记录每个样方内的植物种类、密度、株高和地上生物量;以样方框左下角顶点为基点,记录样方中每个阿尔泰针茅个体的地面投影和相对位置,用坐标值直接表示距离^[21]。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个体数和个体的株丛径(对于压在样线上的个体,其个体数用样方内枝条数占该个体总枝条数的比例表示,其它个体参数用实际观测值表示)。结合白永飞等对针茅属植物个体大小的划分标准^[16]和野外观测结果,将阿尔泰针茅大小结构划分为3个等级:A级(0—1.0 cm)、B级(1.1—7.0 cm)、C级(7.1 cm以上)。为了更直观地了解阿尔泰针茅种群大小结构的动态变化特征,将B级划分为B₁级(1.1—2.5 cm)、B₂级(2.6—4.0 cm)、B₃级(4.1—5.5 cm)、B₄级(5.6—7.0 cm)等4级,将C级划分为C₁级(7.1—9.0 cm)、C₂级(9.1 cm以上)等2级,并分别进行统计。

1.3 数据分析

1.3.1 不同大小等级个体的点格局分析

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^[22],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点事件, d 为距离尺度, d_{ij} 为某点到其它点的距离。

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 方法求解随机分布的上下包迹线, 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 不同大小等级个体间空间关联分析

不同大小等级空间关联性分析可表达为二者的点格局分析。将第一个大小等级 $k(d)$ 写成 $k11(d)$, 将第二个大小等级写成 $k22(d)$ 。两个不同大小等级个体在距离 (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^[23]。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 分别为等级 1 和等级 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 分别代表大小等级 1 和 2 的个体, 同样计算:

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

通常, 当 $L12(d) = 0$ 表明两个大小等级个体间在 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, 检验不同大小等级空间关联的显著性。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。

2 结果与分析

2.1 阿尔泰针茅种群大小结构特征

表 2 资料显示, 阿尔泰针茅种群的大小结构由稳定型逐渐转变为衰退型。随着天然草地退化, 阿尔泰针茅 B 级和 C 级个体占种群个体总数的比例逐渐下降, A 级个体比例逐渐增加, 且在重度退化草地中, 9.0 cm 以上的阿尔泰针茅个体消失。阿尔泰针茅种群大小结构变化是种群大株丛径个体破碎为小个体, 以及种群在群落结构与功能中的作用下降造成的。方差分析表明, 阿尔泰针茅种群大小结构在不同退化草地中呈显著性

差异 ($F=14.52, P<0.01$)。

表 2 阿尔泰针茅种群的大小结构
Table 2 The size structure of *Stipa krylovii* population

退化梯度 Degradation gradient	大小结构 Size structure /m ⁻²						
	A (0—1.0 cm)	B ₁ (1.1—2.5 cm)	B ₂ (2.6—4.0 cm)	B ₃ (4.1—5.5 cm)	B ₄ (5.6—7.0 cm)	C ₁ (7.1—9.0 cm)	C ₂ (≥9.1 cm)
未退化 No degradation(I)	25±3.11 ^c	31±3.48 ^a	29±3.56 ^a	25±3.25 ^a	21±2.78 ^a	8±1.02 ^b	4±0.32 ^a
轻度退化 Light degradation(II)	42±5.25 ^b	29±3.05 ^a	28±3.49 ^a	30±3.77 ^a	23±2.54 ^a	9±1.10 ^b	6±0.57 ^a
中度退化 Moderate degradation(III)	54±6.07 ^a	26±2.99 ^a	23±3.31 ^a	15±1.82 ^b	15±1.91 ^b	4±0.23 ^a	2±0.20 ^a
重度退化 Heavy degradation(IV)	61±8.39 ^a	21±1.87 ^a	14±1.98 ^b	9±1.15 ^c	6±0.79 ^c	2±0.12 ^a	

同一列数据后不同字母表示处理间差异显著 $P < 0.01$

2.2 阿尔泰针茅不同大小等级个体的空间分布格局

阿尔泰针茅不同大小等级个体的空间分布格局在不同退化梯度上存在明显差异(图1)。未退化和轻度退化草地中,阿尔泰针茅种群 A 级和 B 级分别在 8—69 cm 和 24—59 cm 尺度上由随机分布格局转向聚集分布格局,C 级则以随机格局分布;中度退化草地中,A 级和 C 级在较大尺度上以聚集格局分布,B 级以均匀和随机格局存在;重度退化草地中,A 级、B 级和 C 级的空间格局以非聚集格局分布在 0—100 cm 尺度上。阿尔泰针茅不同大小等级个体的空间分布格局的尺度转换效应与植物个体行为引起的种群大小结构变化相关,且在统计上是显著的($P<0.01$)。

2.3 阿尔泰针茅不同大小等级个体间的空间关联性

图 2 表明,不同退化阶段中,阿尔泰针茅种群相应大小等级个体间的空间关联存在类型和尺度差异。阿尔泰针茅 A 级与 B 级的空间关联性在未退化和轻度退化草地中以正相关为主,且正相关尺度从 28—47 cm 增大至 12—61 cm,中度至重度草地中逐渐转变为负相关或不相关;B 级与 C 级以不相关和负相关为主,负相关尺度逐渐增大;A 级与 C 级以不相关和正相关为主,且在未退化、中度和重度草地中,正相关尺度逐渐增大。阿尔泰针茅不同大小级的关联性实质是微环境资源制约下不同大小等级个体种内竞争与种间竞争相互转化的结果,且在统计上是显著的($P<0.01$)。

3 结论与讨论

干扰是草地优势种群退化的外生因素^[24],而植物群落和种群结构及其更新策略改变,以及由此产生的种内个体间依赖、竞争关系是草地植物退化的主要内因^[25]。干扰影响下特定植物群落中,植物种群复杂的个体组配情况和个体特有的形态特征,使其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结构及小尺度层面种内关系的不确定性^[13]。本文选取的草地类型基本上反映了祁连山北坡丛生禾草草地的衰退过程,其中中度退化草地(III)是该地区草地退化演替的临界阶段和人类合理干扰的关键阶段^[18]。在草地退化过程中,阿尔泰针茅不同大小等级个体的空间格局及关联性表现出复杂的组合特征和尺度转换效应,与种群大小结构变化引起的物种适应性对策密切相关^[22],可能反映了阿尔泰针茅种群应对干扰的更新途径。

植物种群空间分布格局反映的是一定环境因子对个体行为、生存和生长的影响^[9]。通常,植物群落环境改变会引起植物个体行为发生变化,引起不同发育阶段个体相互联系和作用构成的种群大小结构转变^[26],从而小尺度上空间格局具有较强的空间尺度依赖性^[6,8,27]。未退化和轻度退化草地中,阿尔泰针茅 A 级和 B 级分别在 8—69 cm 和 24—59 cm 尺度上由随机转向聚集分布,可能是因为阿尔泰针茅是优良的可食牧草,而狼毒是家畜不食的有毒植物,家畜选择性采食改变了植物种群间的竞争关系,使阿尔泰针茅处于不利的竞争地位,种内聚集格局则有助于阿尔泰针茅种群增强种内个体间的相互庇护作用,以利于个体存活扩散和获取环境资源^[8,28],这种现象与合理干扰通过抑制不稳定的生物作用或提供更新生态位而促进稳定物种共生的观点

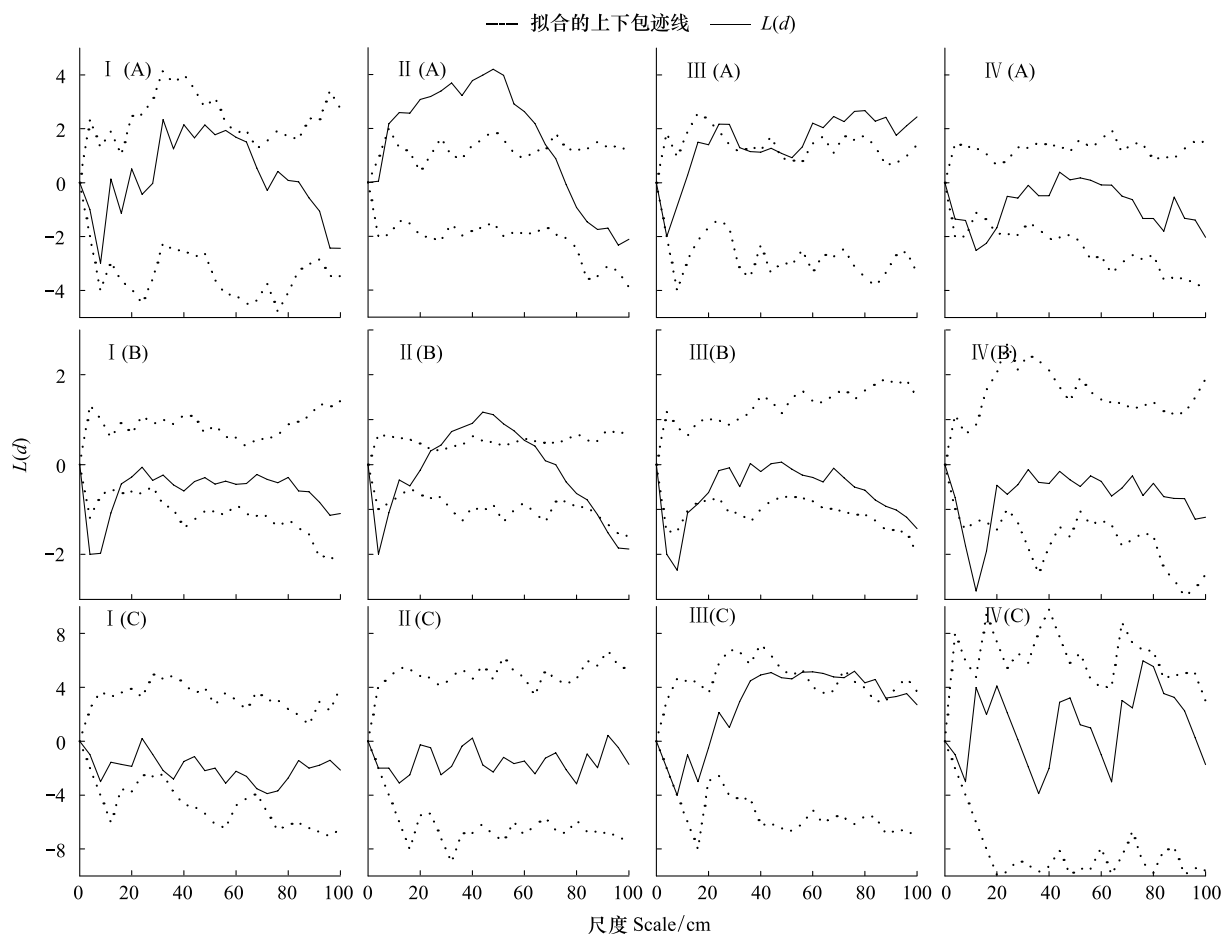


图1 不同退化梯度不同大小等级个体的点格局分析

Fig. 1 The point pattern analysis between different size classes at different degradation gradient type

I: 未退化, II: 轻度退化, III: 中度退化, IV: 重度退化

相一致^[29],反映了植物种群的一种适应机制。过度放牧干扰下阿尔泰针茅较大株丛径个体中央的枝条死亡,个体被枯叶鞘分割为数个克隆片段^[16],大小结构由以B级个体为主的“中间大、两头小”结构逐渐转向以A级为主的“衰退型”结构,不同大小等级个体的空间格局从聚集分布转变为随机分布。中度退化草地中A级和C级在23—35 cm、46—100 cm和56—69 cm、73—88 cm尺度上聚集分布,可能是放牧干扰作用下,狼毒种群成为群落优势种,阿尔泰针茅种群斑块逐渐破碎^[14,18]、种群结构趋于不稳定,个体间聚集格局有利于维持种群结构的稳定性,其中,A级个体的聚集分布一般认为是幼小个体为了适应不利环境和提高存活率,个体间相互庇护形成正向相关关系^[8,30],而C级个体是种群斑块的中心,聚集分布格局可以确保种群斑块之间资源信息互通和种群结构稳定。随着草地进一步退化,阿尔泰针茅斑块、草毡层破碎^[17],个体间失去了资源和信息联系,阿尔泰针茅个体也逐渐破碎、死亡,并散布于狼毒等物种个体四周,从而引起不同大小等级个体的空间格局转向随机或均匀分布。

退化草地微环境的形成、变化影响了植物个体对其竞争和占据的情况,造成植物劣势个体退化、优势个体生长发育^[28],进而引起种群关联性发生非线性的波动现象^[18]。A级与B级的空间关联性在未退化和轻度退化草地中以正相关为主且尺度从28—47 cm增大至12—61 cm,但随后转变为不相关或负相关,可能是因为在未退化和轻度退化草地中竞争关系以种间竞争为主、种内竞争为辅,有助于种群合理分配资源尽量避免种内竞争造成的资源损耗,实现幼小个体生长发育和维持种群结构稳定,但过度放牧作用下资源有限性改变了阿尔泰针茅竞争关系,种内个体间更多的表现为对有限资源的竞争过程,从而引起关联性在退化梯度上发生转换。B级与C级的关联性在退化过程中以不相关和负相关为主,且负相关尺度从6—22 cm增大至5—26 cm,

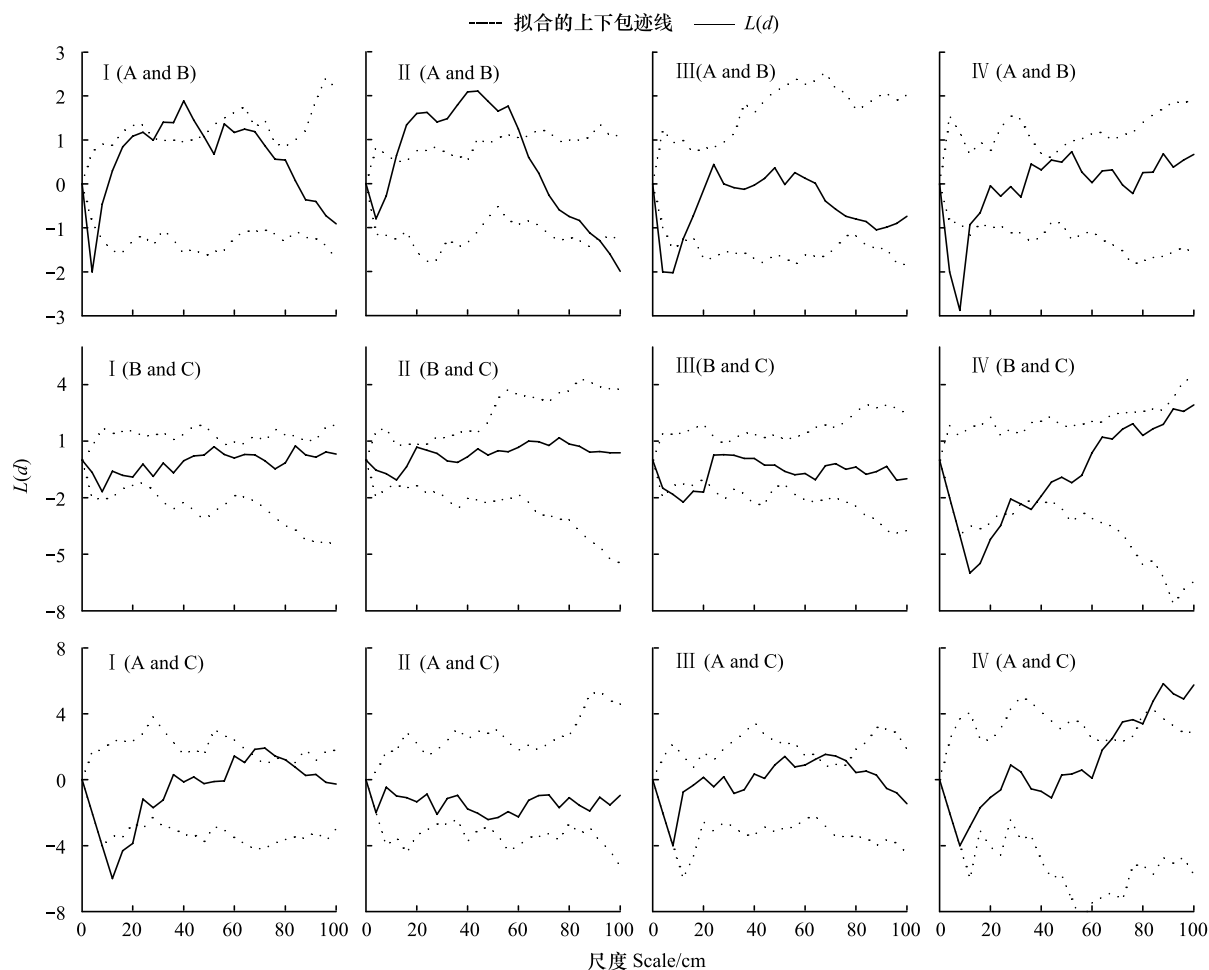


图2 不同退化梯度不同大小级间的空间关联

Fig. 2 The spatial associations between different size classes at different degradation gradient type

I: 未退化, II: 轻度退化, III: 中度退化, IV: 重度退化

可能是因为以 7.1 cm 以上株丛径个体为中心的种群斑块挤压 B 级个体生存空间资源,引起激烈的种内竞争造成的,且随着草地退化延续,这种种内竞争的激烈程度逐渐加剧,因而二者负相关尺度增大。A 级与 C 级在未退化、中度和重度退化草地中存在正相关尺度增大的现象,与形体大小差异越大,正关联关系越弱,甚至表现为负关联关系的研究^[27,31],以及 B 级与 C 级表现出的关联关系不一致,可能主要是阿尔泰针茅种群斑块破碎,大株丛径个体分化为相互独立的较小株丛径个体造成的,阿尔泰针茅 C 级个体所占比例从 8.4% 下降至 1.8%,A 级个体由 17.5% 增长至 54%,株丛径较小的个体集群分布在大株丛径个体四周,引起二者在空间上表现出正相关关系,而且随着大株丛径个体破碎程度加剧,这种正相关的尺度逐渐增大。

综上所述,阿尔泰针茅不同大小级的空间分布格局及关联性存在复杂的组合和尺度转化特征。随着草地退化,阿尔泰针茅稳定的种群大小结构演变为衰退型结构,以及不同大小等级个体种内和种间竞争相互转化的过程,改变了种群空间资源的获取能力及植物个体间协作和竞争态势,引起种群不同大小等级的空间格局及关联性在退化梯度上发生转换。因此,在干扰影响下,植物种群大小结构动态变化,以及种群个体间种内和种间竞争的转化关系,可能是物种不同大小等级个体的空间格局及关联性发生转换的关键因素。

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] 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] You H Z, Liu X L, Miao N, He F, Ma Q Y. Individual association and scale effect of spatial pattern of *Quercus aquifolioides* populations along the elevation gradients. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(15): 4004-4011.
- [4] Li X K, Su Z M, Xiang W S, Ning S J, Tang R Q, Ou Z L, Li R T. Study on the structure and spatial pattern of the endangered plant population of *Abies yuanbaoshanensis*. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12): 2246-2253.
- [5] 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.
- [6] Yan S J, Hong W, Wu C Z, Bi X L, Lan B. The structure and distribution pattern of dominant populations in *Catanopsis carlesii* community. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2002, 10(1): 15-21.
- [7] Nie S Q, Guan W B, Yang G T, Shi F C, He X S. Research on Population Ecology of *Amurlinden*. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1992.
- [8] 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.
- [9] He Z B, Zhao W Z. Spatial pattern of two dominant shrub populations at transitional zone between oasis and desert of Heihe River Basin. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(6): 947-952.
- [10] Kang H J, Chen Z L, Liu P, Hao C Y, Wei F M. The population structure and distribution pattern of *Emmenopterys henryi* in Dapanshan natural reserve of Zhejiang Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1): 389-396.
- [11] Zhang L Y, Zhang D M, Gao J X, Leng Q Z, Guo Y J. Some important forage plants in Sinkiang. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 1977, 15(1): 29-42.
- [12] Lu S L, Wu Z L. On geographical distribution of the genus *Stipa* L. in China. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 1996, 34(3): 242-253.
- [13] 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.
- [14] Bai Y F, Li D X, Xu Z X, Wei Z J. Growth and reproduction of *Stipa krylovii* population on a grazing gradient. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(4): 479-484.
- [15] Jia M Q, Gao Y B, Liu H Y, Gao H, Wu J B, Bao X Y. Morphological variations of *Stipa Krylovii* Roshev in middle and Eastern Inner Mongolia Steppe. *Bulletin of Botanical Research*, 2008, 28(5): 608-6013.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Ripley B D. *Spatial Statistics*. New York: Wiley, 1981: 10-200.
- [22] Diggle P. *Statistical Analysis of Spatial Point Patterns*. New York: Academic Press, 1983.
- [23] Manly B F J. *Randomization and Monte Carlo Methods in Biology*. New York: Chapman and Hal, 1991.
- [24] 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): 106-118.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] You H Z, Liu X L, Miao N, He F, Ma Q Y. Individual association and scale effect of spatial pattern of *Quercus aquifolioides* populations along the elevation gradients. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(15): 4004-4011.

- [28] Cai F, Song Y C. A study on the structure and dynamics of *Schima Superba* population on WuYi Mountain. Chinese Journal of Plant Ecology, 1997, 21(2): 138-148.
- [29] Connell J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. Science, 1978, 199(4335): 1302-1310.
- [30] Allee W C. Animal Aggregations: A Study in General Sociology. Chicago: University of Chicago Press, 1931.
- [31] 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.

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] 尤海舟, 刘兴良, 缪宁, 何飞, 马钦彦. 川滇高山栎种群不同海拔空间格局的尺度效应及个体间空间关联. 生态学报, 2010, 30(15): 4004-4011.
- [4] 李先琨, 苏宗明, 向悟生, 宁世江, 唐润琴, 欧祖兰, 李瑞棠. 濒危植物元宝山冷杉种群结构与分布格局. 生态学报, 2002, 22(12): 2246-2253.
- [6] 闫淑君, 洪伟, 吴承祯, 毕晓丽, 蓝斌. 武夷山天然米槠林优势种群结构与分布格局. 热带亚热带植物学报, 2002, 10(1): 15-21.
- [7] 聂绍荃, 关文彬, 杨国亭, 石福臣, 何小双. 紫椴种群生态学研究. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1992.
- [8] 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.
- [9] 何志斌, 赵文智. 黑河流域荒漠绿洲过渡带两种优势植物种群空间格局特征. 应用生态学报, 2004, 15(6): 947-952.
- [10] 康华靖, 陈子林, 刘鹏, 郝朝运, 韦福民. 大盘山自然保护区香果树种群结构与分布格局. 生态学报, 2007, 27(1): 389-396.
- [11] 张立运, 张佃民, 高建新, 冷巧珍, 郭英杰. 新疆的一些重要牧草. 植物分类学报, 1977, 15(1): 29-42.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 白永飞, 李德新, 许志信, 魏志军. 牧压梯度对克氏针茅生长和繁殖的影响. 生态学报, 1999, 19(4): 479-484.
- [15] 贾美清, 高玉葆, 刘海英, 高慧, 吴建波, 包晓影. 内蒙古中东部草原不同生境克氏针茅(*Stipa krylovii* Roshev)种群的形态差异分析. 植物研究, 2008, 28(5): 608-6013.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [26] 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.
- [27] 尤海舟, 刘兴良, 缪宁, 何飞, 马钦彦. 川滇高山栎种群不同海拔空间格局的尺度效应及个体间空间关联. 生态学报, 2010, 30(15): 4004-4011.
- [28] 蔡飞, 宋永昌. 武夷山木荷种群结构和动态的研究. 植物生态学报, 1997, 21(2): 138-148.
- [31] 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.

CONTENTS

The combined effects of elevated CO ₂ and elevated temperature on proliferation of cyanophage PP	NIU Xiaoying, CHENG Kai, RONG Qianqian, et al (6917)
Precipitation pattern of desert steppe in Inner Mongolia, Sunite Left Banner: 1956—2009	CHEN Jun, WANG Yuhui (6925)
Emergy and economic evaluations of two sewage treatment systems	LI Min, ZHANG Xiaohong, LI Yuanwei, et al (6936)
Individual spatial pattern and spatial association of <i>Stipa krylovii</i> population in Alpine Degraded Grassland	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6946)
Litter characteristics of nutrient and stoichiometry for <i>Phyllostachys praecox</i> over soil-surface mulching	LIU Yadi, FAN Shaohui, CAI Chunju, et al (6955)
Characteristics of leaf element concentrations of twelve nutrients in <i>Acacia confusa</i> and <i>Leucaena glauca</i> in secondary forests of acid rain region in Fuzhou	HAO Xinghua, HONG Wei, WU Chengzhen, et al (6964)
Relationships between main insect pests and their predatory natural enemies in “Yuhualu” juicy peach orchard	KE Lei, SHI Xiaoli, ZOU Yunding, et al (6972)
Simulating 10-hour time-lag fuel moisture in Daxinganling	HU Tianyu, ZHOU Guangsheng, JIA Bingrui (6984)
Soil nutrient characteristics under different vegetations in the windy and sandy region of northern Shaanxi	LI Wenbin, LI Xinpeng (6991)
Partitioning of autotrophic and heterotrophic soil respiration in southern type poplar plantations	TANG Luozhong, GE Xiaomin, WU Lin, et al (7000)
Soil water and salinity in response to water deliveries and the relationship with plant growth at the lower reaches of Heihe River, Northwestern China	YU Tengfei, FENG Qi, LIU Wei, et al (7009)
Effect of stem diameter at breast height on skewness of sap flow pattern and time lag	MEI Tingting, ZHAO Ping, NI Guangyan, et al (7018)
Invasion of exotic <i>Ageratina adenophora</i> Sprengel. alters soil physical and chemical characteristics and arbuscular mycorrhizal fungus community	YU Wenqing, LIU Wanxue, GUI Furong, et al (7027)
Models and methods for information extraction of complex ground objects based on LandSat TM images of Hainan Island, China	WANG Shudong, ZHANG Lifu, CHEN Xiaoping, et al (7036)
Effects of snow pack removal on soil hydrolase enzyme activities in an alpine <i>Abies faxoniana</i> forest of western Sichuan	YANG Yulian, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (7045)
Effects of different soil water treatments on photosynthetic characteristics and grain yield in rice	WANG Weixiao, LIU Xiaojun, TIAN Yongchao, et al (7053)
Growth characteristics, lignin degradation enzyme and genetic diversity of <i>Fomes fomentarius</i> by SRAP marker among populations	CAO Yu, XU Ye, WANG Qiuyu (7061)
Effects of the invasion by <i>Solidago canadensis</i> L. on the community structure of soil animals	CHEN Wen, LI Tao, ZHENG Rongquan, et al (7072)
Effects of intercropping on quality and yield of maize grain, microorganism quantity, and enzyme activities in soils	ZHANG Xiangqian, HUANG Guoqin, BIAN Xinmin, et al (7082)
Influence of mycorrhizal inoculation on competition between plant species and inorganic phosphate forms	ZHANG Yuting, ZHU Min, XIAN Yanxiangwa, et al (7091)
The stable nitrogen isotope of size-fractionated plankton and its relationship with biomass during winter in Daya Bay	KE Zhixin, HUNG Liangmin, XU Jun, et al (7102)
Dynamics of toxic and non-toxic <i>Microcystis</i> spp. during bloom in the large shallow hypereutrophic Lake Taihu	LI Daming, YE Linlin, YU Yang, et al (7109)
Activities of antioxidant enzymes and Zn-MT-like proteins induced in <i>Chlorella vulgaris</i> exposed to Zn ²⁺	YANG Hong, HUANG Zhiyong (7117)
Ecological footprint in Fujian based on calculation methodology for the national footprint accounts	QIU Shoufeng, ZHU Yuan (7124)
The comparison of CO ₂ emission accounting methods for energy use and mitigation strategy: a case study of China	YANG Xiai, CUI Shenghui, LIN Jianyi, et al (7135)
Ecological damage assessment of Jiaozhou Bay reclamation based on habitat equivalency analysis	LI Jingmei, LIU Tieying (7146)
The value assessment of county-level ecological assets: a case in Fengning County, Hebei Province	WANG Hongyan, GAO Zhihai, LI Zengyuan, et al (7156)
Review and Monograph	
Molecular basis for enhancement of plant drought tolerance by arbuscular mycorrhizal symbiosis: a mini-review	LI Tao, DU Juan, HAO Zhipeng, et al (7169)
A review of carbon cycling and sequestration in urban soils	LUO Shanghua, MAO Qizheng, MA Keming, et al (7177)
Overview on methods of deriving fraction of absorbed photosynthetically active radiation (FPAR) using remote sensing	DONG Taifeng, MENG Jihua, WU Bingfang (7190)
Research progress on influencing of light attenuation and the associated environmental factors on the growth of submersed aquatic vegetation	WU Mingli, LI Xuyong (7202)
The framework of stoichiometry homeostasis in zooplankton elemental composition	SU Qiang (7213)
Scientific Note	
Abundance and biomass of planktonic ciliates in the sea area around Zhangzi Island, Northern Yellow Sea in July and August 2010	YU Ying, ZHANG Wuchang, ZHANG Guangtao, et al (7220)
Research of wildlife resources sustainable development based on entropy method in China	YANG Xitao, ZHOU Xuehong, ZHANG Wei (7230)
Influence of residue composition and addition frequencies on carbon mineralization and microbial biomass in the soils of agroforestry systems	WANG Yikun, FANG Shengzuo, TIAN Ye, et al (7239)
Seasonal changes in microbial diversity in different cells of a wetland system constructed for municipal sewage treatment	CHEN Yonghua, WU Xiaofu, ZHANG Zhenni, et al (7247)

《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 22 期 (2012 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 22 (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