

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 22 期 Vol.33 No.22 **2013**

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 33 卷 第 22 期 2013 年 11 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 利用分布有/无数据预测物种空间分布的研究方法综述 刘 芳, 李 晟, 李迪强 (7047)
- 景观服务研究进展 刘文平, 宇振荣 (7058)
- 土壤呼吸组分分离技术研究进展 陈敏鹏, 夏 旭, 李银坤, 等 (7067)

个体与基础生态

- 平茬高度对四合木生长及生理特性的影响 王 震, 张利文, 虞 毅, 等 (7078)
- 不同水分梯度下珍稀植物四数木的光合特性及对变化光强的响应 邓 云, 陈 辉, 杨小飞, 等 (7088)
- 水稻主茎节位分蘖及生产力补偿能力 隗 溟, 李冬霞 (7098)
- 基于辐热积法模拟烤烟叶面积与烟叶干物质产量 张明达, 李 蒙, 胡雪琼, 等 (7108)
- 耕作方式和秸秆还田对华北地区农田土壤水稳性团聚体分布及稳定性的影响
..... 田慎重, 王 瑜, 李 娜, 等 (7116)
- 不同光照强度下兴安落叶松对舞毒蛾幼虫生长发育及防御酶的影响 鲁艺芳, 严俊鑫, 李霜雯, 等 (7125)
- 南方小花蝽在不同空间及笼罩条件下对西花蓟马的控制作用 莫利锋, 鄧军锐, 田 甜 (7132)
- 浮游植物对溶解态 AI 的清除作用实验研究 王召伟, 任景玲, 闫 丽, 等 (7140)
- 卧龙巴郎山川滇高山栎群落植物叶特性海拔梯度特征 刘兴良, 何 飞, 樊 华, 等 (7148)
- 春夏季闽江口和兴化湾虾类数量特征 徐兆礼, 孙 岳 (7157)
- 啃食性端足类强壮藻钩虾对贫筲湖三种大型海藻的摄食选择性 郑新庆, 黄凌风, 李元超, 等 (7166)

种群、群落和生态系统

- 4 种农业措施对三化螟种群动态的控制作用 张振飞, 黄炳超, 肖汉祥, 等 (7173)
- 黄土高原沟壑区森林带不同植物群落土壤氮素含量及其转化 邢肖毅, 黄懿梅, 安韶山, 等 (7181)
- 基于诊断学的生态系统健康评价 蔡 霞, 徐颂军, 陈善浩, 等 (7190)
- 稻田生态系统中植硅体的产生与积累——以嘉兴稻田为例 李自民, 宋照亮, 姜培坤 (7197)
- 自由搜索算法的投影寻踪模型在湿地芦苇调查中的应用 李新虎, 赵成义 (7204)
- 贺兰山不同海拔典型植被带土壤微生物多样性 刘秉儒, 张秀珍, 胡天华, 等 (7211)
- 内蒙古典型草原灌丛化对生物量和生物多样性的影响 彭海英, 李小雁, 童绍玉 (7221)
- 黄土丘陵沟壑区 80 种植物繁殖体形态特征及其物种分布 王东丽, 张小彦, 焦菊英, 等 (7230)
- 基于 MAXENT 模型的贺兰山岩羊生境适宜性评价 刘振生, 高 惠, 滕丽微, 等 (7243)
- 太湖湖岸带浮游植物初级生产力特征及影响因素 蔡琳琳, 朱广伟, 李向阳 (7250)

景观、区域和全球生态

- 艾比湖地区土壤呼吸对季节性冻土厚度变化的响应…………… 秦 璐,吕光辉,何学敏,等 (7259)
- 田间条件下黑垆土基础呼吸的季节和年际变化特征…………… 张彦军,郭胜利,刘庆芳,等 (7270)

资源与产业生态

- 光核桃遗传资源的经济价值评估与保护 …………… 张丽荣,孟 锐,路国彬 (7277)
- 棉花节水灌溉气象等级指标…………… 肖晶晶,霍治国,姚益平,等 (7288)

研究简报

- 云南红豆杉人工林萌枝特性…………… 苏 磊,苏建荣,刘万德,等 (7300)
- 赣中亚热带森林转换对土壤氮素矿化及有效性的影响…………… 宋庆妮,杨清培,余定坤,等 (7309)

学术信息与动态

- 2013 年 European Geosciences Union 国际会议述评 …………… 钟莉娜,赵文武 (7319)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 276 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 30 * 2013-11



封面图说: 山坡岩羊图——岩羊属国家二级保护动物,因喜攀登岩峰而得名,又名石羊。贺兰山岩羊主要分布于海拔 1500—2300m 的山势陡峭地带,羊群多以 2—10 只小群为主。生境适宜区主要为贺兰山东坡(宁夏贺兰山国家级自然保护区)的西南部,而贺兰山西坡(内蒙古贺兰山国家级自然保护区)也有少量分布。贺兰山建立国家级自然保护区以来,随着保护区环境的不断改善,这里岩羊的数量也开始急剧增长,每平方公里的分布数量现居世界之首,岩羊的活动范围也相应扩大到低山 900 米处的河谷。贺兰山岩羊生境选择的主要影响因子为海拔、坡度及植被。

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

DOI: 10.5846/stxb201208101131

彭海英, 李小雁, 童绍玉. 内蒙古典型草原灌丛化对生物量和生物多样性的影响. 生态学报, 2013, 33(22): 7221-7229.

Peng H Y, Li X Y, Tong S Y. Effects of shrub encroachment on biomass and biodiversity in the typical steppe of Inner Mongolia. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(22): 7221-7229.

内蒙古典型草原灌丛化对生物量和生物多样性的影响

彭海英^{1, 2, 3}, 李小雁^{1, 2, *}, 童绍玉³

(1. 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学资源学院, 北京 100875;

3. 云南财经大学国土资源与持续发展研究所, 昆明 650221)

摘要: 通过样方调查, 研究了内蒙古典型草原不同退化程度草地中小叶锦鸡儿 (*Caragana microphylla* Lam.) 灌丛斑块空间分布格局、草地生物量及生物多样性特征。结果表明, 从轻度到中度、重度退化草地, 草本植物生物量呈减少趋势, 小叶锦鸡儿生物量呈增加趋势, 总生物量呈先减少后增加趋势; 灌丛斑块生物多样性呈增加趋势, 草地斑块生物多样性呈先减少后增加趋势, 其中轻度退化草地中灌丛斑块生物多样性低于草地斑块, 中度和重度退化草地中灌丛斑块生物多样性高于草地斑块。研究认为, 内蒙古典型草原灌丛化过程中, 生态系统可能存在草本植物占优势或小叶锦鸡儿占优势这样两种稳定状态, 这两种状态能维持较高生物量和生物多样性, 而在由草本植物占优势向小叶锦鸡儿占优势转化的过渡阶段, 系统不稳定, 仅能维持较低生物量和生物多样性。

关键词: 空间格局; 灌丛斑块; 草地斑块; 小叶锦鸡儿

Effects of shrub encroachment on biomass and biodiversity in the typical steppe of Inner Mongolia

PENG Haiying^{1, 2, 3}, LI Xiaoyan^{1, 2, *}, TONG Shaoyu³

1 State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing 100875, China

2 College of Resources Sciences and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

3 Institute of Land Resources and Sustainable Development, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650221, China

Abstract: This study investigated spatial pattern, plant biomass and community characteristics of the shrub and interspace grass patches in *Caragana microphylla* Lam. (*C. microphylla*) encroached grassland of Inner Mongolia. Field quadrat surveys were conducted at three sites with lightly, moderately and seriously degradation states mainly resulting from overgrazing. Results indicated that the aboveground biomass of grass patches decreased with the increasing intensity of degradation, but *C. microphylla* showed reversed trend. The total aboveground biomass including grasses and *C. microphylla* decreased from the lightly to the moderately degradation sites and then increased from the moderately to the seriously degradation sites. Biodiversity increased at shrub patches with increasing degradation intensity from the lightly to the seriously degradation sites, but decreased from the lightly to the moderately degradation sites and then reversed from the moderately to the seriously degradation sites at the interspace grass patches. We noted that biodiversity of shrub patches was much less than that of the interspace grass patches at the lightly degradation site, while it was greater than the interspace grass patches at the moderately and seriously degradation sites. The above results suggest that two stable states might exist in the process of shrub encroachment, i.e., grasses dominated and *C. microphylla* dominated. Ecosystem was stable with more biodiversity

基金项目: 国家杰出青年科学基金资助项目(41025001); 长江学者和创新团队计划资助项目(IRT1108); 中央高校基本科研业务费资助项目; 云南财经大学科研基金引进人才科研启动费资助项目(YC2013D15)

收稿日期: 2012-08-10; 修订日期: 2013-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xyli@bnu.edu.cn

and biomass when grasses or *C. microphylla* dominated, but it was unstable with less biodiversity and biomass at the transitional stage from grasses to shrubs.

Key Words: spatial pattern; shrub patches; grass patches; *Caragana microphylla* Lam.

草原灌丛化是干旱半干旱区草原中木本植物植株密度、盖度和生物量增加的现象^[1]。草原灌丛化现象遍布于非洲^[2]、美洲^[3]、澳大利亚^[4]、亚洲^[5]以及欧洲地中海沿岸国家和地区^[6],是全球干旱半干旱区面临的重要生态环境问题。过度放牧、草原火、气候变化等均有可能引起草原灌丛化^[1]。草原灌丛化过程中,木本植物的定居和发展挤占草本植物的生长空间,降低群落中草本植物生物量^[7],改变草原原有植被的空间分布格局,引起生态系统的生物地球化学循环和水文过程等关键性过程的变化,影响草原生态系统中种间竞争及土壤水分、养分等关键性资源的分配和利用,导致草原群落组成和结构发生转变^[8-11]。Ratajczak 等对北美地区 13 个草地群落的灌丛化进行综合分析,认为灌丛化过程中,群落物种丰富度下降^[12]。地中海沿岸和澳大利亚地区的相关研究表明,灌木的定居通过固定土壤和减少水分压力导致物种多样性增加^[6,13]。

理解草原生态系统群落组成和结构对草原灌丛化过程的响应,对预测生态系统对未来环境变化的响应具有重要意义。国内对草原灌丛化的原因已有所认识^[6],但主要是定性化描述,对草原灌丛化带来的生态环境效应相关方面的实验观测较少,对草原灌丛化过程中植被空间分布格局、物种组成和结构变化特征等问题的理解还不明确。本研究拟通过对内蒙古典型草原不同退化程度草地中小叶锦鸡儿灌丛斑块空间分布格局及其群落特征的观测,探讨草原灌丛化过程对草地生物量和生物多样性的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究在北京师范大学太仆寺旗农田草地生态系统野外试验站进行(图 1),试验站位于内蒙古自治区锡林郭勒盟太仆寺旗东北部(115°30'E,42°07'N),海拔高度 1350—1400 m,呈现低山丘陵与盆地相间分布的波状起伏地形。本区属温带半干旱大陆性气候,年平均气温 1.6 °C,无霜期 90—120d,最冷月 1 月平均气温 -17.6 °C,最热月 7 月平均气温 17.8 °C;多年平均降水量 407 mm,降水主要集中在 6—9 月,占全年总量的 65%以上;多年平均蒸发量达 1900 mm,为年平均降水量的 4.67 倍;全年多西北风,年均风速 3.4 m/s,冬春季风速均在 4.3 m/s 以上^[14]。

研究区为克氏针茅草原区,主要植物有克氏针茅(*Stipa krylovii* Roshev.)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng)、冷蒿(*Artemisia frigida* Willd.)等。以小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla* Lam.)为主的灌丛呈斑块状或条带状广泛散布在草原上,形成灌丛斑块和草地斑块镶嵌状分布的景观。土壤以栗钙土为主,有机质含量低,土壤较贫瘠^[15]。

1.2 实验设计和数据处理

(1)在研究中将小叶锦鸡儿植株垂直投影所在的范围称为灌丛斑块,灌丛斑块的植物包括小叶锦鸡儿和生长于小叶锦鸡儿植株冠层下的草本植物;将灌丛斑块之间的区域称为草地斑块。

实验观测于 2011 年 7—8 月期间进行,通过对草原放牧和灌丛化样地的野外考察和样方调查,并结合已有草地退化程度划分标准^[16-17],按以放牧为主的人类活动扰动强度设置 3 个实验样地,分别为轻度、中度和重度退化草地。实验观测时,在上述 3 个样地范围内选择位于相似地貌部位、地势平坦处设置观测点,减少地形变化等因素的影响(图 1),每个样地内设置 3 个重复样方。实验样地特征及样方设置如表 1 所示。

(2)实验设计和观测 在轻度、中度和重度退化草地中分别设置 3 个 625 m²(25 m×25 m)重复样方,记录每个样方 4 个顶点的地理位置,对样方中灌丛斑块编号并将其垂直投影形态绘制在带刻度线的坐标纸上,测量并记录每个灌丛斑块中小叶锦鸡儿的植株高度。在每个 625 m²样方的西北角设置 25 m²(5 m×5 m)样方以研究灌丛斑块植物群落特征^[18]:记录样方内灌丛斑块的物种数,测量每个物种的植株高度,齐地剪取样方内

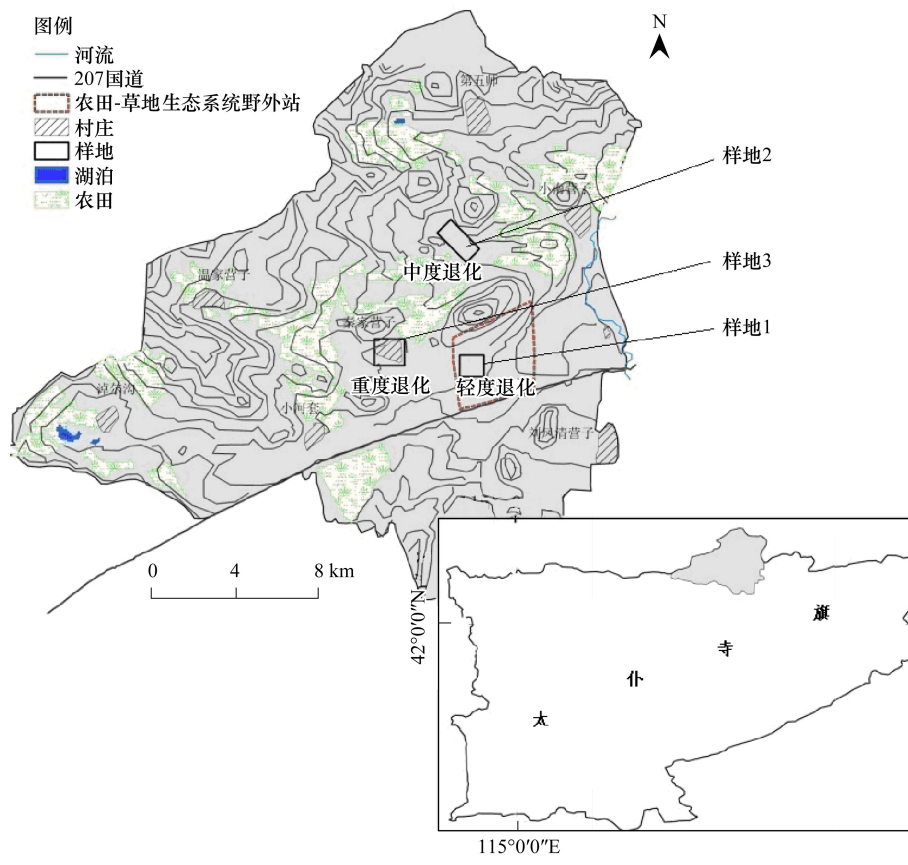


图 1 试验站及样地地理位置

Fig.1 Location of the experiment station and sample sites

灌丛斑块的所有物种地上植株。在上述 25 m²样方的几何中心处,选择 1 m²(1 m×1 m)草地斑块样方,以研究草地斑块植物群落特征^[19];记录样方中植物物种数、植被总盖度和分盖度、植株高度,并齐地分种剪取样方内所有物种地上植株。剪取的地上植株放入烘箱以 65℃ 烘干至恒重以获取地上生物量。

表 1 实验样地特征及样方设置

Table 1 General situation of sample sites and quadrats setting

样地号 Sites	样方号 Sample number	样地位置 Location	草地退化程度 Degradation gradients	人类活动扰动程度 Anthropic disturbances	样地植被特征 Plant community
样地 1 Site 1	样地 1-1 样地 1-2 样地 1-3	位于 2000 年开始围封的围栏内	轻度退化	轻微扰动;自 2000 年开始围封以来,禁止一切放牧和农耕活动	草地斑块的植被总盖度为 75.04%;主要植物物种包括克氏针茅、冷蒿、糙隐子草等
样地 2 Site 2	样地 2-1 样地 2-2 样地 2-3	位于距秦家营村 5 km 以上的自由放牧区内	中度退化	中等扰动;以自由放牧绵羊和牛为主	草地斑块的植被总盖度为 68.60%;主要植物物种包括小叶锦鸡儿、冷蒿、糙隐子草等
样地 3 Site 3	样地 3-1 样地 3-2 样地 3-3	位于秦家营村子周围 2 km 范围内	重度退化	强烈扰动;不仅遭受牛羊的啃食和践踏,还有居民散放的家畜、家禽的啃食和刨食;同时受到建筑和交通等多方面的影响	草地斑块的植被总盖度为 50.81%;主要植物物种包括小叶锦鸡儿、茵陈蒿 (<i>Artemisia capillaris</i> Thunb.)、高二裂委陵菜 (<i>Potentilla bifurca</i> L. var. <i>major</i> Ledeb.)、星毛委陵菜 (<i>Potentilla acaulis</i> L.) 等

用 Arcgis 9.3 将野外测量所得的灌丛斑块及其空间分布格局进行空间表达,并计算不同退化程度草地中

灌丛斑块的密度、面积、周长和分维数特征^[20-22]。分别计算灌丛和草地斑块的 α 多样性^[23-24](包括物种丰富度指数、Simpson 生态优势度指数,Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数)和 β 多样性^[25-26],计算过程中选用相对植株高度和物种的相对频度作为计算重要值的指标^[27-28]。实验数据的统计分析采用软件 SPSS13.0(SPSS Inc, Chicago, USA)完成,统计检验的概率显著性水平为 $P=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 灌丛斑块空间分布格局

由表 2、图 2 可知,轻度、中度和重度退化草地中灌丛斑块的面积百分比、灌丛斑块的平均面积和周长呈增加趋势,灌丛斑块的密度和分维数呈先增加后减少的趋势。

表 2 不同退化程度草地灌丛斑块密度、面积、周长和分维数

Table 2 The density, area percentage, average size, average perimeter and fractal dimension of shrub patches at the lightly, moderately and seriously degradation grasslands

位置 Sites	密度/(株/hm ²) Density	面积百分比/% Area percentage	平均面积/m ² Average area	平均周长/m Average perimeter	平均分维数 Average fractal dimension
轻度 Lightly	293.33±46.19a	1.32±0.90a	0.44±0.27a	2.16±0.76a	1.06±0.04a
中度 Moderately	1280.00±647.16b	12.96±2.09b	1.19±0.52a	4.27±1.45b	1.22±0.10a
重度 Seriously	992.00±266.29b	40.12±7.06c	4.34±1.52b	6.44±1.23b	1.10±0.08b

表中数值为平均值±SD,n=3,同一列中不同字母表示差异显著,相同字母表示差异不显著($P<0.05$)

轻度退化草地中灌丛斑块呈零散稀疏分布特征,灌丛斑块数量少、面积小且分维数低,中度退化草地中灌丛斑块数量迅速增加,逐渐扩展成遍布状态,且灌丛斑块分维数增大;重度退化草地中,灌丛斑块面积和周长进一步增大,但灌丛斑块的密度和分维数与中度退化草地相比呈降低趋势(图 2)。

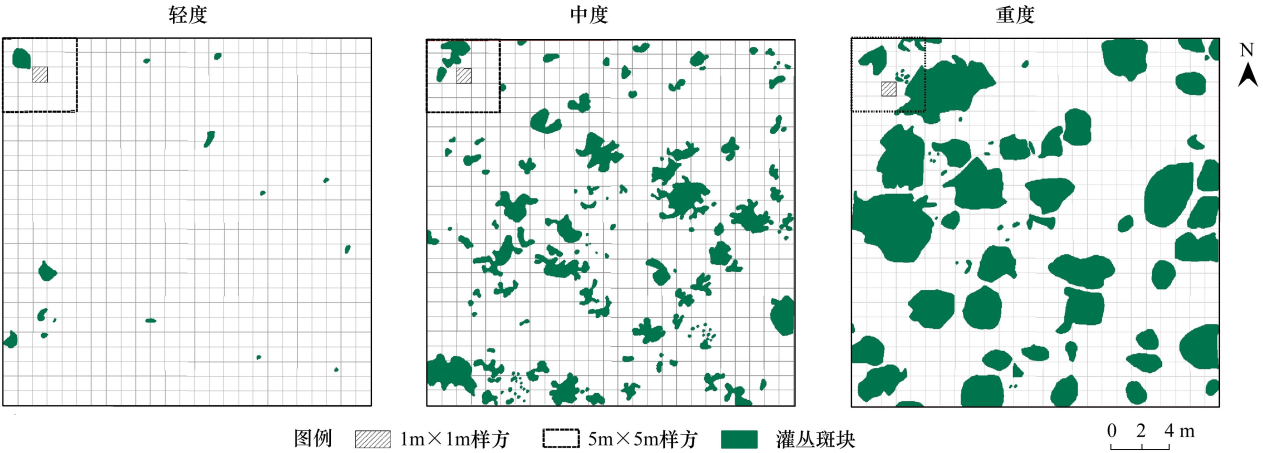


图 2 轻度、中度和重度退化草地小叶锦鸡儿灌丛斑块空间分布格局

Fig.2 Spatial pattern of shrub patches at the lightly, moderately and seriously degradation grasslands

2.2 生物量特征

不同退化程度草地生物量特征如表 3 所示。由表可知:轻度、中度和重度退化草地中草地斑块单位面积地上生物量均低于灌丛斑块范围内的草本植物生物量,低于灌丛斑块中小叶锦鸡儿和草本植物的总生物量,且草地斑块植被总盖度和地上生物量随草地退化程度增加呈降低趋势。其中草地斑块中原始建群种克氏针茅的分盖度、植株高度和地上生物量随草地退化程度增加呈降低趋势,草地斑块中克氏针茅生物量占草地斑块总生物量的比例也呈降低趋势(轻度、中度和重度退化草地分别为 24.10%、17.19%和 10.30%);灌丛斑块单位面积地上总生物量随草地退化程度增加呈先减少后增加的趋势,其中灌丛斑块中草本植物生物量呈降低趋势,但小叶锦鸡儿生物量呈先减少后增加的趋势,且小叶锦鸡儿生物量占灌丛斑块总生物量的比例呈增加趋势(轻度、中度和重度退化草地分别为 49.28%、66.31%和 72.62%)。

表 3 不同退化程度草地生物量特征

Table 3 Biomass of shrub patches and grass patches at the lightly, moderately and seriously degradation grasslands

样方 Sample quadrats	项目 Item	轻度 Lightly	中度 Moderately	重度 Seriously
草地斑块(1m ² 样方) Grass patches (1m ²)	植被总盖度 Total coverage /%	75.04±4.69a	68.60±1.17a	50.81±7.12b
	克氏针茅盖度 Coverage of <i>Stipa krylovii</i> /%	24.63±12.36a	15.37±6.20b	5.79±6.35b
	克氏针茅高度 Height of <i>Stipa krylovii</i> /cm	26.65±7.78a	13.73±2.65b	10.61±5.23b
	克氏针茅生物量 Biomass of <i>Stipa krylovii</i> /(g/m ²)	32.81±20.79a	13.01±5.07b	6.36±5.87b
	草地斑块总生物量 Total biomass /(g/m ²)	136.16±24.71a	75.69±11.41b	61.77±13.04b
	灌丛斑块总生物量 Biomass of shrub patches /(g/m ²)	468.07±149.54a	277.47±77.45b	341.24±154.73b
灌丛斑块(25m ² 样方) Shrub patches (25m ²)	小叶锦鸡儿生物量 Biomass of <i>Caragana microphylla</i> /(g/m ²)	230.68±139.66a	184.00±27.47a	247.80±141.10a
	草本植物生物量 Biomass of grasses /(g/m ²)	237.39±37.37a	93.47±49.21b	93.44±17.73b
	灌丛斑块面积百分比 Area percentage of Shrub patches /%	1.32±0.90a	12.96±2.09b	40.12±7.06c
	小叶锦鸡儿高度 Height of <i>Caragana microphylla</i> /cm	22.59±1.69a	18.94±0.35a	39.73±7.72b
625m ² (草地+灌丛)样方 625m ² quadrats (Grass patches + shrub patches)	小叶锦鸡儿生物量 Biomass of <i>Caragana microphylla</i> /(g/m ²)	3.05±2.55a	23.85±4.72a	99.43±21.43b
	草本植物总生物量 Biomass of grasses /(g/m ²)	137.50±1.12a	77.99±0.46b	74.48±2.74c
	所有植物总生物量 Biomass of all plants /(g/m ²)	140.56±3.67a	101.84±5.17b	173.90±24.17c

表中数值为平均值±SD, n=3; 同一行中不同字母表示差异显著, 相同字母表示差异不显著 (P≤0.05)

将实验观测得到的轻度、中度和重度退化草地中灌丛斑块和草地斑块单位面积地上生物量数据, 结合灌丛斑块空间分布格局控制下的灌丛斑块和草地斑块的面积, 计算得到 625 m²样方中小叶锦鸡儿和草本植物的生物量特征(表 3), 结果显示: 轻度和中度退化草地中小叶锦鸡儿生物量低于草本植物生物量, 重度退化草地中小叶锦鸡儿生物量高于草本植物生物量; 小叶锦鸡儿生物量随草地退化程度增加呈增加趋势, 草本植物生物量随草地退化程度增加呈降低趋势; 小叶锦鸡儿和草本植物的总生物量和小叶锦鸡儿植株高度呈先减少后增加的趋势; 小叶锦鸡儿生物量占总生物量的比例呈逐渐增加趋势(轻度、中度和重度退化草地分别为 2.18%、23.42%和 57.17%)。

2.3 生物多样性特征

2.3.1 α 多样性指数

图 3 是轻度、中度和重度退化草地中灌丛斑块和草地斑块的物种丰富度指数、Simpson 生态优势度指数、Shannon-Winner 生物多样性指数和 Pielou 物种均匀度指数(图 3)。由图 3 可知, 灌丛斑块的物种丰富度指数、Simpson 生态优势度指数和 Shannon-Wiener 生物多样性指数均表现出随草地退化程度增加而增加的趋势, 草地斑块的物种丰富度指数、Simpson 生态优势度指数和 Shannon-Wiener 生物多样性指数随草地退化程度增加呈现先减少后增加的趋势。其中轻度退化草地中草地斑块的物种丰富度指数、Simpson 生态优势度指数和 Shannon-Wiener 生物多样性指数大于灌丛斑块, 而中度和重度退化草地中草地斑块的物种丰富度指数、Simpson 生态优势度指数和 Shannon-Wiener 生物多样性指数小于灌丛斑块。

灌丛斑块的物种均匀度指数随草地退化程度增加呈先减少后增加的趋势, 草地斑块的物种均匀度指数呈随草地退化程度增加而增加的趋势, 且草地斑块的物种均匀度指数低于灌丛斑块。

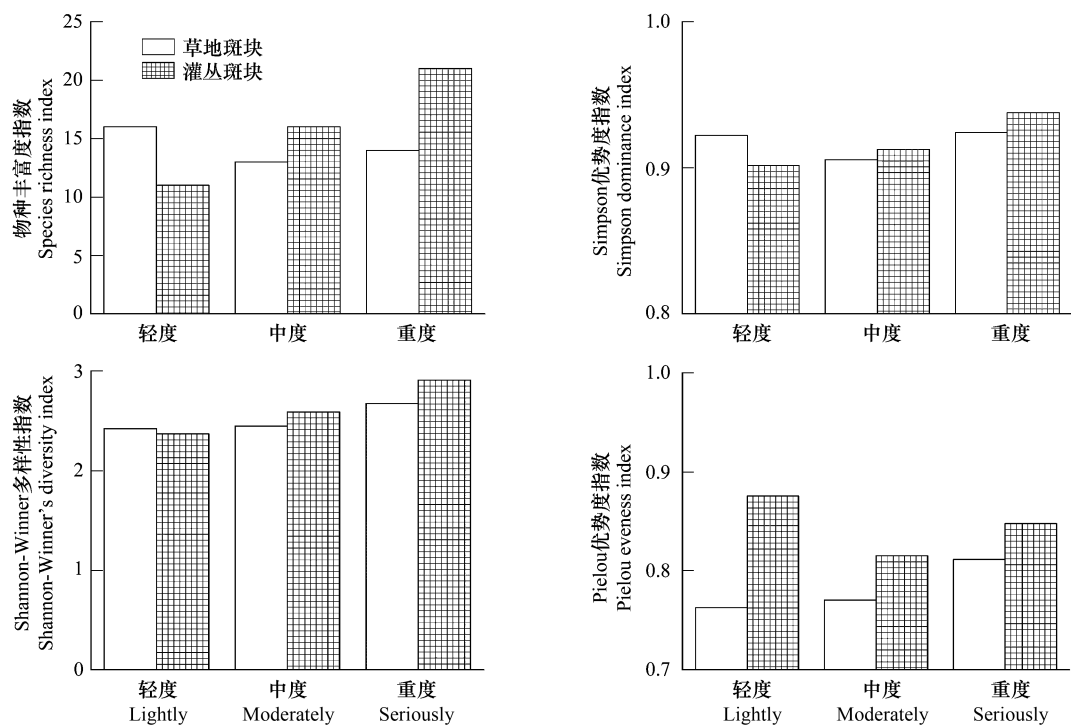


图3 不同退化程度草地α多样性指数

Fig.3 α diversity of inter-patches and shrub patches at the lightly, moderately and seriously degradation grasslands

表4 不同退化程度草地中灌丛斑块面积与物种数相关系数

Table 4 Correlation coefficient of species and area of shrub patches at the lightly, moderately and seriously degradation grasslands			
	轻度 Lightly	中度 Moderately	重度 Seriously
相关系数 Correlation coefficient	-0.337	0.831	-0.248

灌丛斑块范围内植物物种数与灌丛斑块面积的相关系数如表4所示。由表4可知,轻度和重度退化草地中灌丛斑块物种数与灌丛斑块面积呈不显著($P>0.05$)负相关关系,中度退化草地中灌丛斑块物种数与灌丛斑块面积呈不显著($P>0.05$)正相关关系,说明灌丛斑块的生物多样性受灌丛斑块的面积影响较小。

2.3.2 β多样性指数

表5是轻度退化草地中草地斑块与其他群落之间的β多样性测度矩阵。由表5可知,β多样性在0.294—0.500之间变动,总体波动性较大,指示群落间生境差异性较大。就草地斑块而言,轻度退化草地与中度和重度退化草地中草地斑块之间的β多样性表现出增加的趋势,说明轻度和中度、重度退化草地中草地斑块间的植被类型差异性呈增加趋势;就灌丛斑块而言,轻度退化草地与中度、重度退化草地中灌丛斑块的β多样性表现出增加趋势,说明轻度和中度、重度退化草地中灌丛斑块间的植被类型差异性呈增加趋势;就同一退化梯度草地而言,中度退化草地中灌丛斑块和草地斑块之间的β多样性最低,而轻度退化草地中灌丛斑块和草地斑块之间的β多样性较高,说明中度退化草地中灌丛斑块和草地斑块间的小生境差异最小,而轻度退化草地中灌丛斑块和草地斑块间的小生境差异最大。

3 讨论

长期高强度放牧过程中,一方面家畜对植物的过度啃食导致地表植被盖度降低,裸地面积增加,可能引起土壤侵蚀强度增大^[29-30];另一方面家畜的对地表的踩踏使土壤变得更加紧实,土壤孔隙尤其是大孔隙数量减少,土壤水分入渗速率降低^[31],草地生态系统捕获水分和维持土壤养分的能力降低。在气候干旱和过度放牧等自然和人类活动等因素的综合影响下,适口性好的优良牧草的种类和数量优先减少甚至消失,草本植物群落中优势种的盖度和生物量降低,为适口性差、耐旱、耐贫瘠的草本植物和灌木等提供生长空间,导致草原灌丛化。

表 5 不同退化程度草地 β 多样性测度矩阵Table 5 β diversity of inter-patches and shrub patches at the lightly, moderately and seriously degradation grasslands

		草地斑块 Grass patches		灌丛斑块 Shrub patches		
		中度 Moderately	重度 Seriously	轻度 Lightly	中度 Moderately	重度 Seriously
草地斑块	轻度 Lightly	0.333	0.412	0.333	0.500	0.418
Grass patches	中度 Moderately		0.294	0.436	0.208	0.309
	重度 Seriously			0.429	0.373	0.276
灌丛斑块	轻度 Lightly				0.385	0.478
Shrub patches	中度 Moderately					0.382

内蒙古典型草原灌丛化过程中,群落中草本植物盖度和生物量减少,小叶锦鸡儿在群落中定居,并对系统中水分和养分的捕获和利用展开竞争,小叶锦鸡儿凭借其发达的根系在竞争中尤其是较深层土壤水分的利用方面占据优势地位^[32-33];此外,小叶锦鸡儿的强抗牧性能有效保护其逐年扩大丛径^[34],促使其盖度和生物量逐渐增加,最终在群落中占据优势地位,地表景观实现从草本植物占优势状态向小叶锦鸡儿占优势状态的转换。Zhang 等的观测证明,与草地斑块相比,灌丛斑块中小叶锦鸡儿植株冠层下方土壤的持水能力较强,土壤容重较低,地上、地下生物量和枯落物质量较高,土壤有机碳和全氮含量比草地斑块分别高 23%—31.6% 和 14%—27.2%^[35],形成了性质和特征迥异于草地斑块的“肥力岛”,在水分、养分等相对富足的前提下,灌丛斑块能获取较高的生物量,因此轻度、中度和重度退化草地中,灌丛斑块生物量均高于草地斑块。

轻度退化草地受围封保护,植物较少受到家畜取食,群落中草本植物占绝对优势,灌丛斑块数量少、面积小,灌丛斑块对系统的影响较小,群落结构稳定,因而能维持较高的生物多样性;中度退化草地中草地斑块遭到家畜啃食,生物多样性降低;重度退化草地中草地斑块受到家畜强烈啃食和践踏,克氏针茅等原始建群种急剧减少,高二裂委陵菜、星毛委陵菜等强耐牧性植物出现在群落中^[36],提高了生物多样性。灌丛斑块的物种多样性受灌丛斑块面积的影响不显著,但在放牧压力增加的情形下,小叶锦鸡儿的强抗牧性增加了家畜的取食难度^[34],同时也减少了小叶锦鸡儿植株冠层下方草本植物被取食和践踏的强度,小叶锦鸡儿灌丛成为草本植物的庇护所和重要的种子库储存地^[37],有利于保护和发展灌丛斑块的生物多样性,随着灌丛化程度的深入,灌丛斑块对草本植物的庇护效应逐渐加强,因此灌丛斑块的生物多样性随草地退化程度增加而增大。

轻度、中度和重度退化草地中,灌丛斑块的分维数呈现先增加后减少的特征,说明中度退化草地中灌丛斑块边界最复杂,灌丛斑块和与周围草地斑块的物质和能量交换最频繁、相互作用最强烈^[22],根据 Okin 等和 D'Odorico 等的灌丛竞争模型,当这种相互作用以及放牧、气候变化等的干扰达到某一关键临界值时,系统将发生状态转换,即地表景观呈现由草本植物占优势转向灌木植物占优势的突变,且这种转换很难逆转^[38-39]。本研究通过实验观测证实了内蒙古典型草原灌丛化过程中,地表景观由草本植物占优势向小叶锦鸡儿占优势转换的存在,并发现这种转换过程中,系统生物量和生物多样性呈现先减少后增加的特征,这可能是因为转换过程中,草本植物和小叶锦鸡儿之间激烈的竞争及放牧等的干扰导致系统中水分和养分等的利用效率较低引起的,而在草本植物占优势或小叶锦鸡儿占优势的轻度和重度退化草地中,群落结构和功能比较稳定,对水分和养分的利用效率较高,因此能维持较高的生物量和生物多样性。

4 结论

内蒙古典型草原灌丛化过程中,地表景观由草本植物占优势的状态逐渐转化为小叶锦鸡儿占优势的状态,草本植物或小叶锦鸡儿占优势时,系统比较稳定,能维持较高生物量和生物多样性,而在由草本植物占优势向小叶锦鸡儿占优势转化的过渡阶段,灌丛斑块和草地斑块之间的相互作用和影响最强烈,系统不稳定,仅能维持较低生物量和生物多样性。

从观测结果来看,随着以放牧为主的人类活动对草原扰动程度加强,以小叶锦鸡儿为主的灌丛斑块经历了小叶锦鸡儿的定居、扩展和稳定的过程,在此过程中小叶锦鸡儿在群落中逐渐占据竞争优势,并逐渐影响草

原生态系统的景观格局及其群落组成,促使草原生态系统从以草本植物占优势的状态过渡到以小叶锦鸡儿占优势的状态,并获取较高的生物量和生物多样性,草原灌丛化可能是退化草地生态系统的自我重建和恢复过程。

致谢:感谢北京师范大学李广泳、张志华、张思毅、李柳、赵国琴、蒋志云、张景慧在野外工作期间给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Van Auken O W. Causes and consequences of woody plant encroachment into western North American grasslands. *Journal of Arid Environments*, 2009, 90: 2931-2942.
- [2] Wiegand K, Saltz D, Ward D. A patch-dynamics approach to savanna dynamics and woody plant encroachment-Insights from an arid savanna. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2006, 7: 229-242.
- [3] Haase R, Haase P. Above-ground biomass estimates for invasive trees and shrubs in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 1995, 73: 29-35.
- [4] Dunkerley D L, Brown K J. Banded vegetation near Broken Hill, Australia; significance of surface roughness and soil physical properties. *Catena*, 1999, 37: 75-88.
- [5] Xiong X G, Han X G, Bai Y F, Pan Q M. Increased distribution of *Caragana microphylla* in rangelands and its causes and consequences in Xilin River basin. *Acta prataculturae Sinica*, 2003, 12(3): 27-32.
- [6] Maestre F T, Bowker M A, Puche M D, Hinojosa M B, Martínez I, García-Palacios P, Castillo A P, Soliveres S, Luzuriaga A L, Sánchez A, Carreira J A, Gallardo A, Escudero A. Shrub encroachment can reverse desertification in semi-arid Mediterranean grasslands. *Ecology letter*, 2009, 12: 930-941.
- [7] Lett M S, Knapp A K. Woody plant encroachment and removal in mesic grasslands: production and composition responses of herbaceous vegetation. *American Midland Naturalist*, 2005, 153: 217-231.
- [8] Briggs J M, Knapp A K, Blair J M, Heisler J L, Hoch G A, Lett M S, Mccarron J K. An ecosystem in transition: causes and consequences of the conversion of mesic grassland to shrubland. *BioScience*, 2005, 55: 243-254.
- [9] Reynolds J F, Kemp P R, Ogle K, Fernández R J. Modifying the "pulse-reserve" paradigm for deserts of North America: precipitation pulses, soil water, and plant responses. *Oecologia*, 2004, 141: 194-210.
- [10] Wilson T B, Witjowski E T F. Water requirements for germination and early seeding establishment in four African savanna woody plant species. *Journal of Arid Environments*, 1998, 38: 541-550.
- [11] Maestre F T, Puche M D, Guerrero C, Escudero A. Shrub encroachment does not reduce the activity of some soil enzymes in Mediterranean semiarid grasslands. *Soil Biology & Biochemistry*, 2011, 43: 1746-1749.
- [12] Ratajczak Z, Nippert J B, Collins S L. Woody encroachment decreases diversity across North American grasslands and savannas. *Ecology*, 2012, 93: 697-703.
- [13] Thompson W A, Eldridge D J. Plant cover and composition in relation to density of *Callitris glaucophylla* (white cypress pine) along a rainfall gradient in eastern Australia. *Australian Journal of Botany*, 2005, 53:545-554.
- [14] Hu X, Liu L Y, Yan P, Meng X L. The effect of different soil surface on wind erosion in Taipusi county, Inner Mongolia. *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13(4): 116-119.
- [15] Gao Q C, Yao Y F, Lv Y H, Wang X D, Sun J. The temporal and spatial change of landscape pattern in the northern foot of Yinshan mountain. *Journal of Arid Resources and Environment*, 2005, 19(1): 33-37.
- [16] Wei W, Gao W, Shi S L, Tian Q S, Yu F C. Ecosystem change analysis of agriculture and animal husbandary regions in last ten years: a case study in Taipusi, Inner Mongolia. *Acta Agrestia Sinica*, 2012, 1: 31-38.
- [17] Li B. The range land degradation in north China and its preventive strategy. *Scientia Aricultura Sinica*, 1997, 6: 1-9.
- [18] Estornell J, Ruiz L A, Velázquez-Martí B, Fernández-Sarría A. Estimation of shrub biomass by airborne LiDAR data in small forest stands. *Forest Ecology and Management*, 2011, 262: 1697-1730.
- [19] Castro H, Freitas H. Above-ground biomass and productivity in the Montado: From herbaceous to shrub dominated communities. *Journal of Arid Environment*, 2009, 73: 506-511.
- [20] Fu B J. The Spatial pattern analysis of agricultural landscape in the Loess area. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(2): 113-120.
- [21] Chang X L, Lu C X, Gao Y B, Mao A H. Relationship between desertification and patches dynamics of mobile-dune in Kerqin sandy land. *Journal of Natural Disasters*, 2003, 12(3):54-63.
- [22] Wu J G. Landscape ecology — pattern, process, scale and hierarchy. 2nd ed. Beijing: Higher Education press, 2007.
- [23] Ma K P. Measurement of biotic community diversity I: α diversity (part 1). *Chinese Biodiversity*, 1994, 2(3): 162-168.

- [24] Ma K P. Measurement of biotic community diversity I: α diversity (part 2). Chinese Biodiversity, 1994, 2(4): 231-239.
- [25] Gao X M, Ma K P, Huang J H, Liu C R. Studies on plant community diversity in Donglingshan mountain, Beijing China: XI. the β diversity of Mountain meadow. Acta ecologica Sinica, 1998, 18(1): 24-32.
- [26] Ma K P, Liu C R, Liu Y M. Measurement of biotic community diversity II: β diversity. Chinese Biodiversity, 1995, 3(1): 38-43.
- [27] Li R, Zhang K B, Liu Y F, Wang B T, Yang Y H, Hou R P. Plant community spatial distribution pattern of wetland ecosystem in a semi-arid of northwestern China. Journal of Beijing Forestry University, 2008, 30(1): 6-13.
- [28] Wang Y S, Shangguan T L. Discussion on calculating method of important values. Journal of Shanxi University (Nat. Sci. Ed.), 2010, 33(2): 312-316.
- [29] Yates C J, Norton D A, Hobbs R J. Grazing effects on plant cover, soil and microclimate in fragmented woodlands in south-western Australia: implications for restoration. Austral Ecology, 2000, 25(1): 36-47.
- [30] Li B, Zhang J T. Soil erosion characteristics under different vegetation coverage in the Loess Plateau. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(2): 241-244.
- [31] Villamil M B, Amioti N M, Peinemann N. Soil Degradation Related to Overgrazing in the Semi-Arid Southern Caldenal Area of Argentina. Soil Science, 2001, 166(7): 441-452.
- [32] Walker B H, Ludwig D, Holling C S, Peterman R M. Stability of semi-arid savanna grazing systems. The Journal of Ecology, 1981, 69(2): 473-498.
- [33] van de Koppel J, Rietkerk M, Weissing F J. Catastrophic vegetation shifts and soil degradation in the terrestrial grazing systems. Trends in Ecology & Evolution, 1997, 12(9): 352-356.
- [34] Zhang Z, Wang S P, Nyren P, Jiang G M. Morphological and reproductive response of *Caragana Microphylla* to different stocking rates. Journal of Arid Environments, 2006, 67: 671-677.
- [35] Zhang T H, Su Y Z, Cui J Y, Zhang Z H, Chang X X. A Leguminous Shrub (*Caragana Microhylla*) in semiarid sandy soils of north China. Pedosphere, 2006, 16(3): 319-325.
- [36] Li Y H, Wang S P. Response of plant and plant community to different Rates. Grassland of China, 1999, 3: 11-19.
- [37] Howard K S C, Eldridge D J, Soloveres S. Positive effects of shrubs on plant species diversity do not change along a gradient in grazing pressure in an arid shrubland. Basic and Applied Ecology, 2012, 13: 159-168.
- [38] Okin G S, D'Odorico P, Archer S R. Impact of feedbacks on Chihuahuan desert grasslands: Transience and metastability. Journal of Geophysical Research, 2009, 114, G01004, doi: 10.1029 / 2008JG000833.
- [39] D'Odorico P, Okin G S, Bestelmeyer B T. A synthetic review of feedbacks and drivers of shrub encroachment in arid grasslands. Ecohydrology, 2012, 5(5): 520-530.

参考文献:

- [5] 熊小刚, 韩兴国, 白永飞, 潘庆民. 锡林河流域草原小叶锦鸡儿分布增加的趋势、原因和结局. 草业学报, 2003, 12(3): 27-32.
- [14] 胡霞, 刘连友, 严平, 孟祥亮. 不同地表状况对土壤风蚀的影响. 水土保持研究, 2006, 13(4): 116-119.
- [15] 高启晨, 姚云峰, 吕一河, 王学东, 孙君. 阴山北麓地区景观格局变化研究. 干旱区资源与环境, 2005, 19(1): 33-37.
- [16] 魏雯, 高娃, 师尚礼, 田青松, 于凤春. 近 10 年农牧交错区生态环境变化分析——以内蒙古太仆寺旗为例. 草地学报, 2012, 1: 31-38.
- [17] 李博. 中国北方草地退化及其防治对策. 中国农业科学, 1997, 6: 1-9.
- [20] 傅伯杰. 黄土区农业景观空间格局分析. 生态学报, 1995, 15(2): 113-120.
- [21] 常学礼, 鲁春霞, 高玉葆, 毛爱华. 科尔沁沙地流动沙丘斑块动态与沙漠化关系. 自然灾害学报, 2003, 12(3): 54-63.
- [22] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 第 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [23] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 I: α 多样性的测度方法(上). 生物多样性, 1994, 2(3): 162-168.
- [24] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 I: α 多样性的测度方法(下). 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.
- [25] 高贤明, 马克平, 黄建辉, 刘灿然. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 XI: 山地草甸 β 多样性. 生态学报, 1998, 18(1): 24-32.
- [26] 马克平, 刘灿然, 刘玉明. 生物群落生物多样性的测度方法 II: β 多样性的测度方法. 生物多样性, 1995, 3(1): 38-43.
- [27] 李瑞, 张克斌, 刘云芳, 王百田, 杨晓辉, 侯瑞萍. 西北半干旱区湿地生态系统植物群落空间分布特征研究. 北京林业大学学报, 2008, 30(1): 6-13.
- [28] 王玉松, 上官铁梁. 关于重要值计算方法的若干问题. 山西大学学报(自然科学版), 2010, 33(2): 312-316.
- [30] 李斌, 张金屯. 不同植被盖度下的黄土高原土壤侵蚀特征分析. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 241-244.
- [36] 李永宏, 汪诗平. 放牧对草原植物的影响. 中国草地, 1999, 3: 11-19.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.22 Nov., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The review of methods for mapping species spatial distribution using presence/absence data LIU Fang, LI Sheng, LI Diqiang (7047)
- A research review of landscape service LIU Wenping, YU Zhenrong (7058)
- Progress on techniques for partitioning soil respiration components and their application in cropland ecosystem CHEN Minpeng, XIA Xu, LI Yinkun, MEI Xurong (7067)

Autecology & Fundamentals

- Effect of different stubble height treatments on the annual growth index and physiological characteristics of *Tetraena mongolica* in two growing seasons WANG Zhen, ZHANG Liwen, YU Yi, et al (7078)
- Photosynthetic characteristics of an endangered species *Tetrameles nudiflora* under different light and water conditions DENG Yun, CHEN Hui, YANG Xiaofei, et al (7088)
- The compensation capacity of tillering and production of main stem nodes in rice WEI Ming, LI Dongxia (7098)
- Simulation of leaf area and dry matter production of tobacco leaves based on product of thermal effectiveness and photosynthetically active radiation ZHANG Mingda, LI Meng, HU Xueqiong, et al (7108)
- Effects of different tillage and straw systems on soil water-stable aggregate distribution and stability in the North China Plain TIAN Shenzhong, WANG Yu, LI Na, et al (7116)
- Effects of the *Larix gmelinii* grown under different light intensities on the development and defensive enzyme activities of *Lymantria dispar* larvae LU Yifang, YAN Junxin, LI Shuangwen, et al (7125)
- Biological control efficiency of *Orius similis* Zheng (Hemiptera: Anthocoridae) on *Frankliniella occidentalis* (Pergande) under different spatial and caged conditions MO Lifeng, ZHI Junrui, TIAN Tian (7132)
- Preliminary study on scavenging mechanism of dissolved aluminum by phytoplankton WANG Zhaowei, REN Jingling, YAN Li, et al (7140)
- Leaf-form characteristics of plants in *Quercus aquifolioides* community along an elevational gradient on the Balang Mountain in Wolong Nature Reserve, Sichuan, China LIU Xingliang, HE Fei, FAN Hua, et al (7148)
- Comparison of shrimp density between the Minjiang estuary and Xinhua bay during spring and summer XU Zhaoli, SUN Yue (7157)
- The feeding selectivity of an herbivorous amphipod *Ampithoe valida* on three dominant macroalgal species of Yundang Lagoon ZHENG Xinqing, HUANG Lingfeng, LI Yuanchao, et al (7166)

Population, Community and Ecosystem

- Effects of four different agricultural prevention and control measures on rice yellow stem borer *Tryporyza incertulas* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) ZHANG Zhenfei, HUANG Bingchao, XIAO Hanxiang, et al (7173)
- Soil nitrogen concentrations and transformations under different vegetation types in forested zones of the Loess Gully Region XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (7181)
- Ecosystem health assessment based on diagnosis CAI Xia, XU Songjun, CHEN Shanhao, et al (7190)
- The production and accumulation of phytoliths in rice ecosystems: a case study to Jiaxing Paddy Field LI Zimin, SONG Zhaoliang, JIANG Peikun (7197)
- Application of a free search-based projection pursuit model in investigating reed in wetlands LI Xinhua, ZHAO Chengyi (7204)

- Soil microbial diversity under typical vegetation zones along an elevation gradient in Helan Mountains
..... LIU Bingru, ZHANG Xiuzhen, HU Tianhua, et al (7211)
- Effects of shrub encroachment on biomass and biodiversity in the typical steppe of Inner Mongolia
..... PENG Haiying, LI Xiaoyan, TONG Shaoyu (7221)
- Research on diaspore morphology and species distribution of 80 plants in the hill-gully Loess Plateau
..... WANG Dongli, ZHANG Xiaoyan, JIAO Juying, et al (7230)
- Habitat suitability assessment of blue sheep in Helan Mountain based on MAXENT modeling
..... LIU Zhensheng, GAO Hui, TENG Liwei, et al (7243)
- Characteristic of phytoplankton primary productivity and influencing factors in littoral zone of Lake Taihu
..... CAI Linlin, ZHU Guangwei, LI Xiangyang (7250)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Responses of soil respiration to changes in depth of seasonal frozen soil in Ebinur Lake area, arid area of Northwest China
..... QIN Lu, LV Guanghui, HE Xuemin, et al (7259)
- Seasonal and annual variation characteristic in basal soil respiration of black loam under the condition of farmland field
..... ZHANG Yanjun, GUO Shengli, LIU Qingfang, et al (7270)
- Resource and Industrial Ecology**
- Economic evaluation and protection of *Amygdalus mira* genetic resource ZHANG Lirong, MENG Rui, LU Guobin (7277)
- Meteorological grading indexes of water-saving irrigation for cotton XIAO Jingjing, HUO Zhiguo, YAO Yiping, et al (7288)
- Research Notes**
- Sprouts characteristic structure of *Taxus yunnanensis* plantation SU Lei, SU Jianrong, LIU Wande, et al (7300)
- The effects of forest conversion on soil N mineralization and its availability in central jiangxi subtropical region
..... SONG Qingni, YANG Qingpei, YU Dingkun, et al (7309)

《生态学报》2014 年征订启事

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

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 杨志峰

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 22 期 (2013 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 22 (November, 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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元