

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

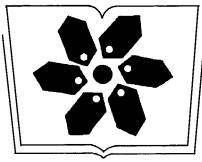
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第2期 Vol.33 No.2 **2013**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 2 期 2013 年 1 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

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

个体与基础生态

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

种群、群落和生态系统

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

景观、区域和全球生态

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

资源与产业生态

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

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

施氮时期对高产夏玉米光合特性的影响 吕 鹏,张吉旺,刘 伟,等 (576)

城乡与社会生态

城市景观组分影响水质退化的阈值研究 刘珍环,李正国,杨 鹏,等 (586)

长株潭地区生态可持续性 戴亚南,贺新光 (595)

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

达里诺尔湖沉积物中无机碳的形态组成 孙园园,何 江,吕昌伟,等 (610)

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

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

研究简报

海州湾生态系统服务价值评估 张秀英,钟太洋,黄贤金,等 (640)

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

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

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



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

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

DOI: 10.5846/stxb201111131723

谭丽萍, 周广胜. 内蒙古羊草群落、功能群、物种变化及其与气候的关系. 生态学报, 2013, 33(2): 0650-0658.

Tan L P, Zhou G S. Variations of *Leymus chinensis* community, functional groups, plant species and their relationships with climate factors. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(2): 0650-0658.

内蒙古羊草群落、功能群、物种变化及其与气候的关系

谭丽萍^{1,3}, 周广胜^{2,1,*}

(1. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093;
2. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 基于 1981—1994 年内蒙古羊草草原的群落学调查数据和同期气象资料, 分析了羊草草原群落、功能群与主要物种变化及其生物量与气候的关系。结果表明, 1981—1994 年 5 月羊草群落多样性指数、优势度指数、丰富度指数、群落高度、群落生物量的年际变异显著高于其他月, 其中羊草群落生物量的变异性自 5—9 月依次降低, 生物量和多样性不存在显著相关性。羊草群落、功能群、物种的年际变异依次增大; 不同功能群中一二年生草本和中生植物的年际波动最大, 不同物种间的均衡效应降低了群落的变异性。羊草群落生物量具有气候累积效应, 主要受上年 10 月至当年 12 月的均温、4—8 月降水、上年 10 月至当年 8 月累积降水的影响, 表明羊草群落生物量变化由不同时段的水热因子协同作用决定。

关键词: 内蒙古; 羊草群落; 功能群; 物种; 气候

Variations of *Leymus chinensis* community, functional groups, plant species and their relationships with climate factors

TAN Liping^{1,3}, ZHOU Guangsheng^{2,1,*}

1 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China
2 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China
3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Inter-annual variations of *Leymus chinensis* community, functional groups, plant species and their relationships with climate factors were analyzed in this paper based on a series of investigation data (1981—1994) together with related meteorological data. The results showed that the main species of *Leymus chinensis* community are perennial grass and xerads, which were mainly induced by the semi-arid climate conditions. During 1981—1994, the variability of the above-ground biomass which is the highest among the indices declined from species, functional group to community level, with the most significant variation in annual and biennial as well as the mesophytes. It was implied that the xerads in this semi-arid area is adaptable to the climate and the biennials could not put remarkable impact on the community because of its low percentage. The results also indicated that when climate fluctuated, the growth characteristics of plant species were more sensitive than community composition. There was a significant relationship between the biomass of community and perennial grass as well as xerads. It should be noted that different responsiveness leveled off the variation. Especially, the obvious compensatory effects in the dynamics of biomass between dominant species *Leymus chinensis* and *Stipa grandis* enhanced community stability. The variability of community biomass decreased from May to September, and there was no significant relationship between biodiversity and biomass. During the whole growing season, grass was more easily influenced on re-

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目 (973 计划) (2010CB951300); 中国科学院战略性先导科技专项资助项目 (XDA05050400)

收稿日期: 2011-11-13; **修订日期:** 2012-08-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gszhou@ibcas.ac.cn

greening stage resulting from the simple community structure; grass with peculiar reproductive strategy was relatively stable in the late period of growing season. In order to reveal the shifts of community, the comprehensive analysis of diversity, biomass, species composition, interference, nutrient and climatic factors is necessary. The shift of biomass is relevant to mean annual temperature during last October- December, precipitation from April to August, and accumulative precipitation during last October to August, indicating that it was related to the comprehensive effect of temperature and precipitation.

Key Words: Inner Mongolia; *Leymus chinensis* community; functional group; plant species; climate

全球气候变化及其影响已经引起了各国政府、科学界与公众的强烈关注。据预测,CO₂ 浓度倍增后的全球平均地面气温可能上升 1.9—5.2 °C,且在中高纬度地区升温最为显著;全球年降水量将增加^[1]。内蒙古草原是全球半干旱地区典型草原生态系统之一,其植被主要为真旱生与广旱生多年生丛生禾草^[2],且该区域是全球气候(降水和温度)变化幅度较大的地区之一^[2-3]。研究表明^[4],1951—2009 年我国及各地区增温显著,其中以内蒙古地区增温速率最快;冬季气温的变幅最大,平均气温上升了 2.3 °C,其中内蒙古地区以 0.63 °C/10 a 的极显著速率位列第一;1951—2009 年全国降水距平不如平均气温变化剧烈,但内蒙古地区四季降水量均呈明显的下降趋势。内蒙古锡林郭勒草原自然保护区占内蒙古天然草地总面积的 1/3,生态系统非常脆弱^[5],气候变化必将严重影响草原生态系统。研究表明,在不同生态系统中,气候变化对草地生态系统的影响尤为显著^[6-9]。生物量作为生态系统功能的重要表现,是草地生态系统物质循环和能量流动不可缺少的环节。研究表明,降水对草地的影响存在明显的时间性和空间性,不同的研究地点、研究时段所得出的结论存在差异^[10-12]。

群落变化过程中可能存在多个功能群、物种之间的补偿作用,功能相似而环境敏感性不同的物种稳定了生态系统的过程^[13-15]。研究指出,种群多度的长期变异性依赖于物种对环境波动的敏感性和种间相互作用对环境波动的放大效应^[16]。物种对环境波动响应的多样性增加可使群落的变异性降低,稳定性增强。为此,本研究试图基于 1981—1994 年内蒙古羊草草原的群落学调查数据和同期气象资料,分析羊草(*Leymus chinensis*)群落、功能群与主要物种变化及其生物量与气候的关系,揭示内蒙古典型草原对气候变化的响应机制及适应规律,为半干旱典型草原的可持续发展与管理提供依据。

1 研究区域概况和研究方法

1.1 研究区域概况

研究区域为内蒙古锡林郭勒草原自然保护区,位于内蒙古高原中部与大兴安岭南段西侧山地遥相接触的地带,在自然地理上属于温带内蒙古草原区典型草原栗钙土亚区。地理位置为 43°26′—44°39′N,115°32′—117°12′E。研究区域地势东南高西北低,属大陆性温带气候,冬季寒冷干燥,夏季温暖湿润,年均温为-1.4—2.0 °C,年降水量为 240—360 mm,该地区生长季干燥指数在 2 以上,3—5 月份常有大风。草原是以多年生根茎禾草羊草为主要优势种的温带典型草原,植物群落通常在每年的 4 月中旬开始萌发,4 月下旬返青,5 月初分蘖拔节,6 月下旬抽穗,7 月初开花,8 月上旬种子成熟,其中 6—8 月份是其旺盛生长期,9 月下旬至 10 月日均温低于 0°C 以后,其地上部分停止生长,逐渐枯黄,进入休眠期,生长期长达 150—160 d 左右^[17-18]。

1.2 研究方法

该样地^[19-20]自 1979 年围封后未加利用,本研究资料为 1981—1994 年在中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站的羊草草原样地观测数据^[21]。每年 5 月中旬到 9 月中旬,每半个月做 1 次植被调查,包括 20 个样方的植物种类、分种密度、频度、分种地上生物量。样方面积为 1 m×1 m。同期气象资料(月尺度上的降水、温度)由锡林浩特市气象站提供^[20]。

(1) 变异系数与多样性指数

变异系数(CV)=标准差/平均值×100

多样性指数计算如下:

Shannon-Wiener 多样性指数

$$H' = - \sum P_i / \ln P_i$$

Simpson 优势度指数

$$D = 1 - \sum P_i^2$$

Margalef 丰富度指数

$$D = (S-1) / \ln N$$

式中, $P_i = N_i / N$, P_i 为第 i 个物种的个体 (或生物量、重要值等) 所占样方总个体数 (或生物量、重要值等) 比值, S 为物种数目^[22-23]。本研究依据个体数进行多样性计算, 生物多样性指数计算运用 Biodiversity Pro 软件, 相关数据分析运用 Excel 2007, SPSS16.0 软件, Sigmaplot10.0 作图软件。

(2) 植物功能群划分

根据羊草草原植物的生活型和水分生态类型组成进行功能群的划分。生活型功能群包括多年生草本、灌木、一二年生草本; 生态型功能群主要包括旱生植物和中生植物。

(3) Mann-Kendall 方法^[24-25]可以用于变量的趋势检验及突变分析, 具体方法如下。

假设所检验数据序列 $x_1, x_2, \dots, x_n (n \geq 10)$, Mann-Kendall 统计量 (S_k) 计算如下:

$$S_k = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i) \quad (i = 2, 3, 4, \dots) \quad (1)$$

$$\text{sign}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1, & x_j - x_i > 0 \\ 0, & \text{若 } x_j - x_i = 0 \\ -1, & \text{若 } x_j - x_i < 0 \end{cases}$$

趋势变化由式(2)计算的 UF_k 检验值判断。

$$UF_k = \frac{[S_k - E(S_k)]}{[Var(S_k)]^{1/2}}, \quad (k = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

式中, $UF_1 = 0$, $E(S_k)$ 和 $Var(S_k)$ 分别是 S_k 的均值和方差。

对计算的 UF_k 值做图, 将得到对应的变化曲线。给定显著水平 α , 在正态分布表查临界值 $UF_\alpha/2$ 。若 $|UF_k| < UF_\alpha/2$ 时, 变化趋势不显著; 反之, 变化趋势显著。若 $UF_k > 0$, 表明序列具有上升趋势; $UF_k < 0$, 则表明序列具有下降趋势。

(4) 多元逐步回归分析方法^[26]是在多元线性回归分析基础上派生的一种算法, 它从大量可供选择的变量中选择建立回归方程的重要变量。在逐个因子选入回归方程的过程中, 如果发现先前被引入的因子在气候由于某些因子的引入而失去其重要性时, 可以在回归方程中随时予以剔除, 直到最后被选入的因子对因变量都有显著的影响为止。

2 结果与分析

2.1 羊草群落的结构特征

样方调查记录表明, 羊草群落以多年生根茎禾草羊草 (*Leymus chinensis*) 和多年生丛生禾草大针茅 (*Stipa grandis*) 为建群种和优势种, 1981—1994 年间共出现了 93 种植物, 分属于 28 科 66 属。其中, 禾本科 (10 属 12 种), 豆科 (6 属 7 种), 菊科 (8 属 12 种), 藜科 (4 属 7 种), 百合科 (3 属 9 种), 蔷薇科 (3 属 9 种) 这 6 个科的物种数占群落物种数的 60.2%, 且这些科多年间一直存在于羊草群落, 并是主要组成物种。

在 93 种植物中, 多年生植物有 79 种, 占总物种数的 84.9%, 包含多年生灌木半灌木 4 种; 旱生植物占总物种数的 74.2%, 而中生植物 24 个, 占总种数的 25.9%。在 6 大科 56 个物种中, 仅有 7 个物种属于中生。这

表明,羊草群落以多年生/旱生植物为主。

2.2 羊草群落结构与生物量变化

(1)1981—1994 年间,8 月中旬羊草群落的多样性(Shannon-wiener)指数、优势度指数、丰富度指数、平均高度、生物量均呈波动变化,没有显著的升高或降低的趋势,变异系数分别为 9.6%、20.35%、14.95%、16.81% 和 26.1%。14a 间羊草群落结构和功能变异性相对较小,主要变化体现在生物量方面。

进一步对生长季中其他月份的多样性、群落高度、群落生物量的年际间变异分析表明(表 1):14a 间生长季各月均以生物量变异最高,其次为优势度指数,变异性较低的有丰富度指数和多样性指数;各指数在 5 月的年际间变异明显高于其他月份,其中群落生物量的变异从 5 月到 9 月依次降低;不同月份的群落高度年际间变异相差不大,丰富度指数的变异在 8 月份明显高于 6、7 和 9 月。

表 1 1981—1994 年不同月份羊草群落的多样性、高度、生物量的年际间变异

Table 1 Annual variation of diversity indices, height, aboveground biomass of *Leymus Chineseis* community during the growing season from 1981 to 1994

	月份 Month				
	5	6	7	8	9
多样性指数 Diversity Index/%	24.83	13.88	11.38	9.6	10.69
优势度指数 Dominance Index/%	36.19	24.00	26.89	20.35	23.16
丰富度指数 Richness Index/%	17.45	9.67	7.49	14.95	8.64
群落高度 Community Height/%	19.18	18.20	18.40	16.81	18.79
群落生物量 Community Biomass/%	41.15	34.44	27.20	26.1	24.99

(2)植物生活型功能群组成中(以 8 月中旬数据进行分析),多年生草本,一二年生草本,灌木生物量的变异系数分别为 27.9%、64% 和 44.2%。一二年生草本生物量年际间变异系数最高,灌木生物量年际间变异系数次之,分别为群落高度年际间变异系数的 2.45 倍和 1.69 倍。

在群落植物的生态类功能群中,旱生植物占很大成分,其生物量的年际间变异系数为 23.1%,而中生植物生物量年际间变异极其显著,变异系数达 100%,为群落生物量年际间变异系数的 3.83 倍。这反映出气候变化导致的草原水分亏缺使得草原中生植物发生重大变化。

相关分析表明,羊草群落生物量及其年度动态与多年生草本的生物量、旱生植物生物量有着极显著的正相关关系,相关系数分别为 0.980($P<0.005$)和 0.986($P<0.005$)。这表明,羊草群落生物量的变异主要由多年生草本及旱生植物决定,反映出了羊草群落生物量的稳定性。

1981—1994 年观测数据表明,围封样地中羊草平均相对地上生物量为 27.9%,大针茅平均相对地上生物量为 21.9%,两者绝对生物量之和与群落地上生物量的相关性为 0.882($P<0.005$),反映出羊草和大针茅的优势地位。进一步分析羊草与大针茅植物绝对生物量变化的相关性(图 1)表明,相关系数达 -0.767($P<0.001$),反映出羊草与大针茅存在生物量补偿作用,即在羊草地上生物量降低时,大针茅地上生物量增加,两者之间存在显著的补偿性,这种优势种之间的补偿性很好地维持了羊草群落地上生物量的稳定性。

这种波动性不仅发生在羊草-大针茅草原的优势种

与亚优势种之间,还存在于群落的其他组成物种之间。1981—1994 年的 8 月中旬共出现 77 种植物,其中前 37 种植物的平均相对生物量为 94%,变异系数从 32% 到 202%,仅 4 个物种的变异系数在 50% 以下,物种生

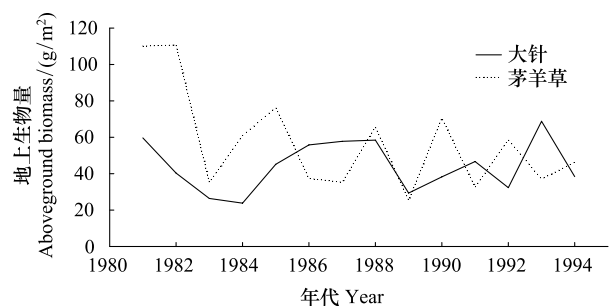


图 1 羊草和大针茅植物的生物量变化

Fig. 1 Variation of aboveground biomass of *Leymus chinensis* and *Stipa grandis* plants

物量的变异远高于群落及功能群生物量的变异。对这 37 种植物的生物量进行 pearson 相关分析表明,植物种对之间没有相关关系的占 90.4%,也就是大部分物种的生产力之间不存在显著的关系;存在正相关关系的物种有 58 种对,占总对数的 8.7%;负相关关系仅仅在少数种之间存在,共 6 种对,占总对数的 0.9%。这些种对间可能存在生物量升降的互补关系,共包含冰草(*Agropyron*)、黄囊苔草(*Carex korshinskyi*)、早熟禾(*Poa sphondy lodes*)等 13 个物种,且这种负相关关系在生活型上主要存在于多年生草本,生态型上主要存在于旱生植物中。这些非优势种植物虽然相对生物量较低,但是其地上生物量间的相互补充与优势种间的补偿作用共同减少群落生物量的强烈波动,使羊草群落更为稳定。

2.3 群落结构和生物量的关系

相关分析表明,群落生物量和多样性指数、优势度指数、丰富度指数之间 pearson 相关系数分别为 -0.354、0.350、0.038,且都不显著,而与群落的优势种(羊草、大针茅)的生物量之和的变化有着密切的关系。因此群落的稳定性并非主要受多样性的影响,而群落优势度和羊草大针茅的生物量之和有很高的正相关关系,相关系数为 0.644($P < 0.01$)。

2.4 羊草群落生物量与气候的关系

研究表明^[27],1982—1998 年中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站所在地区的年均温、 $>0^{\circ}\text{C}$ 积温均呈显著的增加趋势,且主要表现为冬季增温,冬季增温使该地区的春季干旱进一步加剧;降水虽有增加,但波动较大,除 1986、1990、1992 年水分略有盈余外,其余年份的水分亏缺都较严重。利用 1981—1994 年内蒙古锡林浩特市气象站的气象数据,结合 Mann-Kendall 方法^[24-25]分析表明^[28],除 1986、1987 年外,上年 10 月至当年 8 月的均温呈不显著的增加趋势,而期间的年累积降水在 1986 年前呈不显著的减少趋势,1986 年开始呈不显著的增加趋势(图 2);1 月至 8 月的降水和生长季(4—8 月)降水与上年 10 月至当年 8 月的累积降水变化趋势基本一致,但 1986—1988 年的 1 月至 8 月降水和生长季(4—8 月)降水呈下降趋势,而上年 10 月至当年 8 月的累积降水呈增长趋势,表明上年 10 月至当年 1 月降水在 1986—1988 年呈增长趋势;1—8 月均温的变化趋势和上年 10 月至当年 8 月均温变化趋势一致,但前者相对剧烈,生长季(4—8 月)均温在 1983—1989 年先呈不显著的上升趋势,而后开始下降。

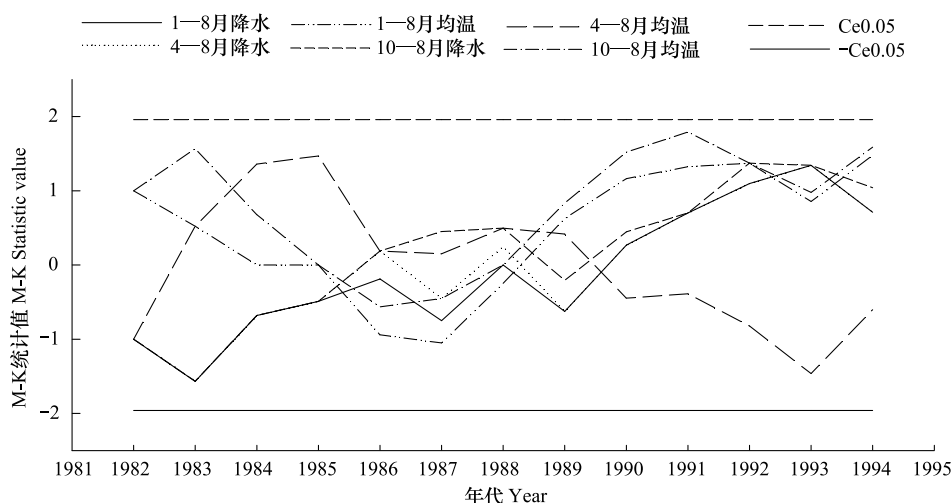


图 2 不同时段均温和降水的 M-K 法趋势分析

Fig. 2 Mann-Kendall measure curve of precipitation and average temperature in different periods

Ce0.05 为 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平

围栏样地的羊草草地地上生物量变化主要由气候决定。多元逐步回归分析表明(表 2):上年 10 月至当年 8 月均温对群落总生物量和旱生植物生物量有显著的负效应,中生植物生物量与 4 月至 8 月的降水呈显著正相关;多年生草本生物量与上年 10 月至当年 8 月降水呈显著正相关,而灌木和一二年生植物与气候因子不

存在显著关系。研究表明^[12],群落地上初级生产力与上年 10 月至当年 8 月累积降水呈显著的二次曲线关系。本研究表明,群落生物量与上年 10 月至当年 8 月均温呈显著的负相关,说明羊草群落的生物量由水热条件共同决定。

表 2 羊草群落及功能群的生物量与气候的关系

Table 2 Relationships between climate factors and the biomass of *Leymus chinensis* community and functional groups

生物量 Biomass	回归关系 Regression
群落 Community	$Y=217.781-2.854X_1$ ($R^2=0.299$, $F=5.118$, $P=0.043$)
多年生草本 Perennial herb	$Y=55.601+3.48X_2$ ($R^2=0.298$, $F=5.105$, $P=0.043$)
灌木 Shrub	与气候因子无显著相关关系
一二年生植物 Annual or biennial plant	与气候因子无显著相关关系
旱生植物 Xerophytes	$Y=209.876-2.466X_1$ ($R^2=0.301$, $F=5.167$, $P=0.042$)
中生植物 Mesophytes	$Y=-3.509+0.216X_3$ ($R^2=0.312$, $F=5.432$, $P=0.038$)

* X_1 表示上年 10 月至当年 8 月均温, X_2 表示上年 10 月至当年 8 月降水, X_3 当年 4 月至 8 月累积降水

3 讨论

3.1 羊草群落变化

1981—1994 年羊草群落结构和生物量变异性相对较小,与群落多样性及高度的变化相比,生物量变化较大。因此,气候影响更多地反映在羊草生长特性的变化方面,而非物种数量的变化。当温度与降水格局发生变化时,物种的分布范围会发生变化^[29],但 1981—1994 年 14a 的气候变异还不足以解释物种组成的变化,因而可能使得羊草群落多样性的年际变异较群落生物量的变异低。羊草群落的多样性指数、优势度指数、丰富度指数、群落高度、群落生物量在 5 月的年际间变异性整体高于其他月份,且 8、9 月份的变异性相对较低,说明气候、种间竞争等干扰因子最易影响植物的萌发及返青,而当植物进入成熟期时,羊草群落已经适应了各种干扰,从而使得群落相对稳定^[18]。

不同生活型中,且多年生草本相对较为稳定,一二年生草本、灌木的变异系数相对很高,因为一二年生植物通常在遇到适宜条件时能凭借高的结种量迅速占领生境并繁衍后代^[30]。羊草草原已经处于高多样性、相对稳定、以多年生草本为主的群落状态,对干扰有较高的抵抗力。不同生态型中,中生植物变异系数相对很高,旱生植物相对稳定,这是由于内蒙古典型草原属于干旱半干旱地区,多数旱生物种已经适应该地区的气候条件,且多年生草本和旱生植物中存在的补偿效应,增强了群落的稳定性^[31]。

生物量的相关分析表明,相对生物量之和接近群落一半的优势种(羊草和大针茅),两者的生物量变化呈显著负相关,这些有补偿关系的物种对应着不同的敏感因子,且对干扰的敏感性及响应的趋势不同,部分物种生物量减少,因为种间关系的作用,其他物种个体数或生物量可能会有不同的变化,这种均衡效应使得群落变异性明显降低。

研究指出,羊草群落多样性的变化并不明显。因此,不是所有多样性的变化都能很好地代表群落的结构变化,而且这种由物种丰富度或多样性、优势度指数所衡量的方法在一定程度上忽略了物种组成等更具体更复杂的因素,可能不能全面反映群落的变化。同时,任何生态系统的组成物种,其功能特征在维持具有决定性的生态系统过程和生态系统服务功能上,至少和物种的量有同样重要的作用,特定的功能群及其成分较多样性本身更能决定生物产量。多样性本身既是生态系统中某些物种存在可能性的测度,又是生态系统中物种特征变异的度量。因此,植物多样性研究必须与生产力、物种组成、干扰、养分供应动态和气候综合考虑才能反映生态系统的结构和动态^[32]。

3.2 羊草群落结构和生物量的关系

群落生物量与多样性的关系一直存在争议。本研究表明,羊草群落生物量和多样性没有明显的相关关系,而与优势种(羊草、大针茅)的生物量相关性显著,这两个优势物种在群落中长期占有充足有利的资源,维持着优势地位,且生物量的变化存在显著的负相关,因此优势种之间的补偿效应维持了群落的稳定性^[33-34]。

这并非表明多样性不重要,或许在更长的时间尺度上,非优势种及多样性的变化可能会对群落生物量及其变化产生影响。有研究表明,凋落物的累积也会影响草地生产力^[35],而气候、土壤环境的变化都会影响凋落物作用,因此羊草群落的变化是多个因子综合作用的结果。

3.3 气候对羊草群落生物量的影响

在空间尺度上,降水被认为是影响生物量变化的主要因素^[36-37]。但在时间尺度上,有关植物群落生物量的年际变化与降水的相关性研究仍存在争论^[38-40],降水量变化对于干旱半干旱区草原群落地上生物量的影响机制十分复杂。本研究表明,羊草群落生物量只与上年10月至当年8月的均温呈负相关。也有研究表明^[12],群落生物量和上年10月至当年8月的降水呈显著的二次曲线关系。这说明,羊草群落生物量的变化是由该地区不同时段水热因子的累积影响所致。回归分析还表明:不仅是生长季降水,包括非生长季在内的累积降水和均温对植物的生物量均有显著作用,对中生植物,生长季的降水较其他气候因子作用更明显。实验表明,温度升高引起的N释放的增加,虽然在短期内刺激了植物生长和植物净第一性生产力(NPP)的积累,长期来看却对NPP不利,因为它将引起低产的杂草和非本地物种的入侵和繁茂,这些物种固碳能力低,分解速率快(因组织中含N多),对土壤有机物的贡献小,导致土壤贫瘠和养分的流失,从而导致生物量降低^[41]。也有研究认为,温度升高可以使草原趋于干旱,从而对其群落生物量产生负效应^[42-43],当然并非所有的变暖效应都是负面的^[44-45]。

对影响羊草群落功能群的气候因子分析表明,降水波动主要影响中生植物的变化,旱生植物对其抗性较高,其生物量变化并不明显。温度,尤其是上年10月至当年8月均温的波动主要影响群落及旱生植物生物量的变化。一二年生植物及灌木生物量的变异系数相对很高,但回归分析表明它们的生物量变化与气候因子无直接的相关性,且由于两者相对生物量较低,更易受到干扰,因此其变化可能是水热条件变化所引起的土壤条件、物种选择、资源竞争、种间作用及其他生境因子变化引起,这些变化将影响物种多样性和生产力^[46],其机理有待进一步研究。

研究表明,群落多样性和生物量间不存在显著的相关性,因为气候对群落生物量有着显著的影响,且对多样性也有不同程度的影响。自然群落中,多样性与生物量之间的关系将会受到各种干扰(生物因素和非生物因素)的综合影响^[47]。

4 结论

对1981—1994年间内蒙古羊草群落的调查数据和同期气象资料的分析表明,羊草群落的多样性指数、优势度指数、丰富度指数、群落高度、群落生物量在5月份的年际间变异明显高于其他月份,其中羊草群落生物量的变异从5月到9月逐渐降低,生物量和多样性之间没有显著的相关关系。羊草群落、功能群、物种的生物量年际变异依次增加。不同功能群中一二年生草本和中生植物的年际波动最大,物种间尤其是优势物种间的均衡效应降低了群落的变异性,使得羊草群落能更好地适应气候。

羊草群落生物量具有气候累积效应,主要受上年10月至当年8月的均温、1—8月的降水、上年10月至当年8月的累积降水影响,表明羊草群落生物量的变化由该地区不同时间段水热因子的综合作用决定。

References:

- [1] Parry M L. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability // Canziani O F, Palutikof J P, van der Linden P J, Hanson C E, eds. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 146-160.
- [2] Cui X Y, Chen Z Z, Du Z C. Study on light and water use characteristics of main plants in semiarid Steppe. Acta Pratacultural Science, 2001, 10 (2): 14-21.
- [3] Li J H, Li Z Q, Ren J Z. The effects of grazing on grassland plants. Acta Pratacultural Sinica, 2002, 11(1): 4-11.
- [4] Yu H Y, Liu S H, Zhao N, Li D, Yu Y T. Characteristics of air temperature and precipitation in different regions of China from 1951 to 2009. Journal of Meteorology and Environment, 2011, 27(4): 1-11.
- [5] Peters D P C. Plant species dominance at a grassland-shrubland ecotone: an individual-based gap dynamics model of herbaceous and woody

- species. *Ecological Modelling*, 2002, 152(1): 5-32.
- [6] Li D F, Fu T, Hu Z Z, Wang C Z, Yan X B, Jiang Y B, Guo Y X. Response of relationship between biodiversity and productivity to precipitation change. *Acta Agrestia Sinica*, 2010, 18(9): 651-655.
- [7] Qian S, Fu Y, Pan F F. Climate change tendency and grassland vegetation response during the growth season in Three-River Source Region. *Science China: Earth Sciences*, 2010, 53(10): 1506-1512.
- [8] Felix S, Schmid B. Ecosystem effects of biodiversity: a classification of hypotheses and exploration of empirical results. *Ecological Applications*, 1999, 9(3): 893-912.
- [9] Nippert J B, Knapp A K, Briggs J M. Intra-annual rainfall variability and grassland productivity: can the past predict the future. *Plant Ecology*, 2006, 184(1): 65-74.
- [10] Robinson T M P, Gross K L. The impact of altered precipitation variability on annual weed species. *American Journal of Botany*, 2010, 97(10): 1625-1629.
- [11] Bai Y F. Influence of seasonal distribution of precipitation on primary productivity of *Stipa Krylovii* community. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(2): 155-160.
- [12] Wang Y H, Zhou G S. Responses of temporal dynamics of aboveground net primary productivity of *Leymus chinensis* community to precipitation fluctuation in Inner Mongolia. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(6): 1140-1145.
- [13] Chapin F S, Walker B H, Hobbs R J, Hooper D U, Lawton J H, Sala O E, Tilman D. Biotic control over the functioning of ecosystems. *Science*, 1997, 277(5235): 500-504.
- [14] Perner V W, Davis A J, Eggers T, Schumacher J, Bährmann R, Fabian B, Heinrich W, Köhler G, Lichter D, Marstaller R, Sander F W. Trophic levels are differentially sensitive to climate. *Ecology*, 2003, 84(9): 2444-2453.
- [15] Li S Y, Li X B, Liu Z L, Wang D D, Long H L, Liang C Z, Wang W. Stability and compensation of the aboveground biomass in the *Leymus Chinensis* and *Stipa Grandis* grassland of Inner Mongolia. *Resources Science*, 2007, 29(3): 152-157.
- [16] Ives A R, Gross K, Klug J L. Stability and variability in competitive communities. *Science*, 1999, 286(5439): 542-544.
- [17] Wang H, Li X B, Yu H J. Monitoring growing season of typical steppe in northern China based on NOAA/AVHRR NDVI data. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(3): 365-374.
- [18] Zhang C Q, Yang C. Simulation of growth dynamics of four plants in the typical steppe of Inner Mongolia in growing season. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(9): 3618-3629.
- [19] Li B, Yong S P, Li Z H. The vegetation of the Xilin river basin and its utilization // Inner Mongolia Grassland Ecosystem Research Station, eds. *Research on Grassland Ecosystem (Vol. 3)*. Beijing: Science Press, 1988: 84-183.
- [20] Wang Y H, Zhou G S. Response of *leymus chinensis* grassland vegetation in Inner Mongolia to temperature change. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(4): 507-514.
- [21] Ren T, Hao D Y, Shi X, Liu Z L, Wang W, Liang C Z. The analysis of regression on the typical steppe in Inner Mongolia. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2001, 15(3): 80-84.
- [22] Veech J A, Summerville K S, Crist T O, Gering J C. The additive partitioning of species diversity: recent revival of an old idea. *Oikos*, 2002, 99(1): 3-9.
- [23] Lou J. Partitioning diversity into independent alpha and beta components. *Ecology*, 2007, 88(10): 2427-2439.
- [24] Mann H B. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 1945, 13(3): 245-259.
- [25] Li C L, Li W J. Tendency analysis and spatial pattern of aboveground vegetation biomass based on NDVI in Sunite Left Banner, Xilingole. *Journal of A rid Land Resources and Environment*, 2010, 3(3): 147-152.
- [26] Johnson R A, Wichern D W. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. London: Prentice Hall, 1989, 9: 308-328.
- [27] Li Z Q, Liu Z G, Chen Z Z, Yang Z G. The effects of climate changes on the productivity in the Inner Mongolia steppe of China. *Acta Pratacultural Science*, 2003, 12(1): 4-10.
- [28] Bai Y F, Han X G, Wu J G, Chen Z Z, Li L H. Ecosystem stability and compensatory effects in the Inner Mongolia grassland. *Nature*, 2004, 431(7005): 181-184.
- [29] Peters R L. Effects of global warming on forests. *Forest Ecology and Management*, 1990, 35(1/2): 13-33.
- [30] Yan Q L, Liu Z M, Li R P, Luo Y M, Wang H M. Relationship of seed production, seed morphology and life form of plant species. *Acta Pratacultural Science*, 2005, 14(4): 21-28.
- [31] Wu J G, Bai Y F, Han X G, Li L H, Chen Z Z. Ecosystem stability in Inner Mongolia (reply). *Nature*, 2005, 435(7045): E6-E7.
- [32] Lauenroth W. Grassland primary production; North American grasslands in perspective // French N. *Perspectives in Grassland Ecology*. New York: Springer-Verlag, 1979, 22(11): 3-24.
- [33] Polley H W, Wilsey B J, Derner J D. Dominant species constrain effects of species diversity on temporal variability in biomass production of tallgrass prairie. *Oikos*, 2007, 116(12): 2044-2052.
- [34] Lepš J. Variability in population and community biomass in a grassland community affected by environmental productivity and diversity. *Oikos*,

2004, 107(1): 64-71.

- [35] Wang J, Zhao M L, Walter W, Wang Z W, Han G D. Productivity responses of different functional groups to litter addition in typical grassland of Inner Mongolia. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(8): 907-914.
- [36] McNaughton S J. Ecology of a grazing ecosystem: the Serengeti. *Ecological Monographs*, 1985, 55(3): 259-294.
- [37] Lauenroth W K, Sala O E. Long-term forage production of North American shortgrass Steppe. *Ecological Applications*, 1992, 2(4): 397-403.
- [38] Sims P L, Singh J S. The structure and function of ten Western North American grasslands. III. Net primary production, turnover and efficiencies of energy capture and water use. *Journal of Ecology*, 1976, 66(2): 573-597.
- [39] Abrams M D, Knapp A K, Hulbert L C. A ten year record of aboveground biomass in a Kansas tallgrass prairie: effects of fire and topographic position. *American Journal Botany*, 1986, 73(10): 1509-1515.
- [40] Esteban H M, Moore D I, Collins S L, Wetherill K R, Lightfoot D C. Aboveground net primary production dynamics in a northern Chihuahuan Desert ecosystem. *Oecologia*, 2008, 155(1): 123-132.
- [41] Kaiser J. Environment: green grass cool climate. *Science*, 1996, 274(5293): 1610-1611.
- [42] Xiao X M, Wang Y F, Chen Z Z. Dynamics of primary productivity and soil organic matter of typical steppe in the Xilin river basin of Inner Mongolia and their response to climate change. *Acta Botanica Sinica*, 1996, 38(1): 45-52.
- [43] Eagles C F. The effect of temperature on vegetative growth in climatic races of *Dactylis glomerata* in controlled environments. *Annals of Botany*, 1967, 31(1): 31-39.
- [44] Hollister R D, Flaherty K J. Above-and below-ground plant biomass response to experimental warming in northern Alaska. *Applied Vegetation Science*, 2010, 13(3): 378-387.
- [45] Kudo G, Suzuki S. Warming effects on growth, production, and vegetation structure of alpine shrubs: a five-year experiment in northern Japan. *Ecosystem Ecology*, 2003, 135(2): 280-287.
- [46] Song L L, Fan J W, Zhong H P, Wang N. Changes of biomass and species richness of grassland community along an altitude gradient in Hongchiba, Chongqing. *Acta Agrestia Sinica*, 2010, 18(2): 160-166.
- [47] Tilman D, Reich P B, Knops J M H. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature*, 2006, 441(1): 629-632.

参考文献:

- [2] 崔晓勇, 陈佐忠, 杜占池. 半干旱草原主要植物光能和水利用特征的研究. *草业学报*, 2001, 10(2): 14-21.
- [3] 李金花, 李镇清, 任继周. 放牧对草原植物的影响. *草业学报*, 2002, 11(1): 4-11.
- [4] 虞海燕, 刘树华, 赵娜, 李栋, 于永涛. 1951—2009 年中国不同区域气温和降水量变化特征. *气象与环境学报*, 2011, 27(4): 1-11.
- [6] 李德峰, 傅彤, 胡自治, 王成章, 严学冰, 姜义宝, 郭玉霞. 生物多样性与生产力间的关系及对降水变化的响应. *草地学报*, 2010, 18(5): 651-655.
- [11] 白永飞. 降水量季节分配对克氏针茅草原群落初级生产力的影响. *植物生态学报*, 1999, 23(2): 155-160.
- [12] 王玉辉, 周广胜. 内蒙古羊草草原植物群落地上初级生产力时间动态对降水变化的响应. *生态学报*, 2004, 24(6): 1140-1145.
- [15] 李素英, 李晓兵, 刘忠龄, 王丹丹, 龙惠灵, 梁存柱, 王伟. 内蒙古羊草大针茅草原的地上生物量稳定性与补偿性研究. *资源科学*, 2007, 29(3): 152-157.
- [17] 王宏, 李晓兵, 余弘婧. 基于 NOAA/AVHRR NDVI 监测中国北方典型草原的生长季及变化. *植物生态学报*, 2006, 30(3): 365-374.
- [18] 张彩琴, 杨持. 内蒙古典型草原生长季内不同植物生长动态的模拟. *生态学报*, 2007, 27(9): 3618-3629.
- [19] 李博, 雍世鹏. 锡林河流域植被及其利用 // 草原生态系统研究 (第三集). 北京: 科学出版社, 1988: 84-183.
- [20] 王玉辉, 周广胜. 内蒙古地区羊草草原植被对温度变化的动态响应. *植物生态学报*, 2004, 28(4): 507-514.
- [21] 任涛, 郝敦元, 石霞, 刘钟龄, 王伟, 梁存柱. 内蒙古典型草原原生群落植物种群动态趋势分析. *干旱区资源与环境*, 2001, 15(3): 80-84.
- [25] 李昌凌, 李文军. 基于 NDVI 的锡盟苏尼特左旗地表植被生物量的趋势分析和空间格局. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(3): 147-152.
- [27] 李振清, 刘振国, 陈佐忠, 杨宗贵. 中国典型草原区气候变化及其对生产力的影响. *草业学报*, 2003, 12(1): 4-10.
- [30] 闫巧玲, 刘志民, 李荣平, 骆永明, 王红梅. 科尔沁沙地 75 种植物结种量种子形态和植物生活型关系研究. *草业学报*, 2005, 14(4): 21-28.
- [35] 王静, 赵萌莉, Walter W 王忠武, 韩国栋. 内蒙古典型草原不同功能群生产力对凋落物添加的响应. *植物生态学报*, 2010, 34(8): 907-914.
- [42] 肖向明, 王义凤, 陈佐忠. 内蒙古锡林河流域典型草原初级生产力和土壤有机质的动态及其对气候变化的反应. *植物学报*, 1996, 38(1): 45-52.
- [46] 宋璐璐, 樊江文, 钟华平, 王宁. 重庆红池坝地区草地群落生物量及物种丰富度沿海拔梯度格局变化. *草地学报*, 2010, 18(2): 160-166.

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

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

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

Autecology & Fundamentals

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

Population, Community and Ecosystem

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

Landscape, Regional and Global Ecology

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

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

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

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

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

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

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 2 期 (2013 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 2 (January, 2013)

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



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元