

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 19 期 Vol.33 No.19 **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19期

2013年10月 (半月刊)

目次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 生态系统服务研究文献现状及不同研究方向评述 马凤娇, 刘金铜, A. Egrinya Eneji (5963)
- 非人灵长类性打搅行为研究进展 杨 斌, 王程亮, 纪维红, 等 (5973)
- 密度制约效应对啮齿动物繁殖的影响 韩群花, 郭 聪, 张美文 (5981)
- 食物链长度远因与近因研究进展综述 王玉玉, 徐 军, 雷光春 (5990)
- AM 真菌在植物病虫害生物防治中的作用机制 罗巧玉, 王晓娟, 李媛媛, 等 (5997)
- 保护性耕作对农田碳、氮效应的影响研究进展 薛建福, 赵 鑫, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, 等 (6006)
- 圈养大熊猫野化培训期的生境选择特征 张明春, 黄 炎, 李德生, 等 (6014)
- 利用红外照相技术分析野生白冠长尾雉活动节律及时间分配 赵玉泽, 王志臣, 徐基良, 等 (6021)
- 风速和持续时间对树麻雀能量收支的影响 杨志宏, 吴庆明, 董海燕, 等 (6028)
- 白马雪山自然保护区灰头小鼯鼠的巢址特征 李艳红, 关进科, 黎大勇, 等 (6035)
- 生境片段化对千岛湖岛屿上黄足厚结猛蚁遗传多样性的影响 罗媛媛, 刘金亮, 黄杰灵, 等 (6041)
- 基于 28S, COI 和 Cytb 基因序列的薛荔和爱玉子传粉小蜂分子遗传关系研究
..... 吴文珊, 陈友铃, 孙伶俐, 等 (6049)
- 高榕榕果内 *Eupristina* 属两种榕小蜂的遗传进化关系 陈友铃, 孙伶俐, 武蕾蕾, 等 (6058)
- 镉胁迫下杞柳对金属元素的吸收及其根系形态构型特征 王树凤, 施翔, 孙海菁, 等 (6065)
- 邻苯二甲酸对萝卜种子萌发、幼苗叶片膜脂过氧化及渗透调节物质的影响
..... 杨延杰, 王晓伟, 赵 康, 等 (6074)
- 极端干旱区多枝怪柳幼苗对人工水分干扰的形态及生理响应 马晓东, 王明慧, 李卫红, 等 (6081)
- 贝壳砂生境酸枣叶片光合生理参数的水分响应特征 王荣荣, 夏江宝, 杨吉华, 等 (6088)
- 陶粒覆盖对土壤水分、植物光合作用及生长状况的影响 谭雪红, 郭小平, 赵廷宁 (6097)
- 不同林龄短枝木麻黄小枝单宁含量及养分再吸收动态 叶功富, 张尚炬, 张立华, 等 (6107)
- 珠江三角洲不同污染梯度下森林优势种叶片和枝条 S 含量比较 裴男才, 陈步峰, 邹志谨, 等 (6114)
- AM 真菌和磷对小马安羊蹄甲幼苗生长的影响 宋成军, 曲来叶, 马克明, 等 (6121)
- 盐氮处理下盐地碱蓬种子成熟过程中的离子积累和种子萌发特性 周家超, 付婷婷, 赵维维, 等 (6129)
- CO₂ 浓度升高条件下内生真菌感染对宿主植物的生理生态影响 师志冰, 周 勇, 李 夏, 等 (6135)
- 预处理方式对香蒲和芦苇种子萌发的影响 孟 焕, 王雪宏, 佟守正, 等 (6142)
- 镉在土壤-金丝垂柳系统中的迁移特征 张 雯, 魏 虹, 孙晓灿, 等 (6147)
- 马尾松人工林近自然化改造对植物自然更新及物种多样性的影响 罗应华, 孙冬婧, 林建勇, 等 (6154)
- 濒危海草贝克喜盐草的种群动态及土壤种子库——以广西珍珠湾为例
..... 邱广龙, 范航清, 李宗善, 等 (6163)
- 毛乌素沙地南缘沙丘生物结皮对凝结水形成和蒸发的影响 尹瑞平, 吴永胜, 张 欣, 等 (6173)
- 塔里木河上游灰胡杨种群生活史特征与空间分布格局 韩 路, 席琳乔, 王家强, 等 (6181)
- 短期氮素添加和模拟放牧对青藏高原高寒草甸生态系统呼吸的影响 宗 宁, 石培礼, 蒋 婧, 等 (6191)
- 松嫩平原微地形下土壤水盐与植物群落分布的关系 杨 帆, 王志春, 王云贺, 等 (6202)

广州大夫山雨季林内外空气 TSP 和 PM _{2.5} 浓度及水溶性离子特征	肖以华, 李 炯, 旷远文, 等 (6209)
马鞍列岛岩礁生境鱼类群落结构时空格局	汪振华, 赵 静, 王 凯, 等 (6218)
黄海细纹狮子鱼种群特征的年际变化	陈云龙, 单秀娟, 周志鹏, 等 (6227)
三种温带森林大型土壤动物群落结构的时空动态	李 娜, 张雪萍, 张利敏 (6236)
笔管榕榕小蜂的群落结构与物种多样性	陈友铃, 陈晓倩, 吴文珊, 等 (6246)
海洋生态资本理论框架下的生态系统服务评估	陈 尚, 任大川, 夏 涛, 等 (6254)
中国地貌区划系统——以自然保护区体系建设为目标	郭子良, 崔国发 (6264)
生态植被建设对黄土高原农林复合流域景观格局的影响	易 扬, 信忠保, 覃云斌, 等 (6277)
华北农牧交错带农田-草地景观镶嵌体土壤水分空间异质性	王红梅, 王仲良, 王 堃, 等 (6287)
中国北方春小麦生育期变化的区域差异性与气候适应性	俄有浩, 霍治国, 马玉平, 等 (6295)
中国南方喀斯特石漠化演替过程中土壤理化性质的响应	盛茂银, 刘 洋, 熊康宁 (6303)
气候变化对东北沼泽湿地潜在分布的影响	贺 伟, 布仁仓, 刘宏娟, 等 (6314)
内蒙古不同类型草地土壤氮矿化及其温度敏感性	朱剑兴, 王秋风, 何念鹏, 等 (6320)
黑河中游荒漠绿洲区土地利用的土壤养分效应	马志敏, 吕一河, 孙飞翔, 等 (6328)
成都平原北部水稻土重金属含量状况及其潜在生态风险评价	秦鱼生, 喻 华, 冯文强, 等 (6335)
大西洋中部延绳钓黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙, 马军杰, 张 禹, 等 (6345)
夏季台湾海峡南部海域上层水体的生物固氮作用	林 峰, 陈 敏, 杨伟锋, 等 (6354)
北长山岛森林乔木层碳储量及其影响因子	石洪华, 王晓丽, 王 媛, 等 (6363)
植被类型变化对长白山森林土壤碳矿化及其温度敏感性的影响	王 丹, 吕瑜良, 徐 丽, 等 (6373)
油松遗传结构与地理阻隔因素的相关性	孟翔翔, 狄晓艳, 王孟本, 等 (6382)
基于辅助环境变量的土壤有机碳空间插值——以黄土丘陵区小流域为例	文 雯, 周宝同, 汪亚峰, 等 (6389)
基于生命周期视角的产业资源生态管理效益分析——以虚拟共生网络系统为例	施晓清, 李笑诺, 杨建新 (6398)
生态脆弱区贫困与生态环境的博弈分析	祁新华, 叶士琳, 程 煜, 等 (6411)
“世博”背景下上海经济与环境的耦合演化	倪 尧, 岳文泽, 张云堂, 等 (6418)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 464 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 55 * 2013-10



封面图说: 毛乌素沙地南缘沙丘的生物结皮——生物土壤结皮广泛分布于干旱和半干旱区, 它的形成和发育对荒漠生态系统生态修复过程产生重要的影响。组成生物结皮的藻类、苔藓和地衣是常见的先锋植物, 它们不仅能在严重干旱缺水、营养贫瘠恶劣的环境中生长、繁殖, 并且能通过其代谢方式影响并改变环境。其中一个重要的特点是, 生物结皮表面的凝结水显著大于裸沙。研究表明, 凝结水是除降雨之外最重要的水分来源之一, 在水分极度匮乏的荒漠生态系统, 它对荒漠生态系统结构、功能和过程的维持产生着重要的影响。

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/stxb201306051346

杨帆, 王志春, 王云贺, 安丰华, 赵长巍. 松嫩平原微地形下土壤水盐与植物群落分布的关系. 生态学报, 2013, 33(19): 6202–6208.

Yang F, Wang Z C, Wang Y H, An F H, Zhao C W. The correlation between soil water salinity and plant community distribution under micro-topography in Songnen Plain. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(19): 6202–6208.

松嫩平原微地形下土壤水盐与 植物群落分布的关系

杨 帆*, 王志春, 王云贺, 安丰华, 赵长巍

(中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012)

摘要:以微域尺度不同盐渍化程度的盐渍土复区为研究区,利用典范对应分析方法(CCA)分析了不同水文年(丰水年、枯水年)土壤盐碱化指标、地表积水、不同土壤层含水率和相对高程与植物群落之间的关系。结果表明,在枯水年由于水分的减少和盐碱化的加重,稗草向虎尾草群落演替,虎尾草向碱蓬群落演替。而芦苇和碱茅群落相对稳定,只是由湿生向旱生转化,群落间演替较慢。在植物群落演替过程中, Na^+ (991 mg/kg)、 CO_3^{2-} (396 mg/kg)、EC(680 $\mu\text{S}/\text{cm}$), pH 值(10)是稗草、芦苇向虎尾草和碱茅群落演替的驱动值。 Na^+ (1570 mg/kg)、 CO_3^{2-} (576 mg/kg)、EC(879 $\mu\text{S}/\text{cm}$)是虎尾草、碱茅向碱蓬群落演替的驱动值。地表水的积水时间和积水深度是区分稗草和芦苇、虎尾草和碱茅生长分布的重要水文特征值。研究对苏打盐渍土区植被恢复和重建具有重要的意义。

关键词:土壤水盐;地表积水;微地形;植物群落分布;驱动因子

The correlation between soil water salinity and plant community distribution under micro-topography in Songnen Plain

YANG Fan*, WANG Zhichun, WANG Yunhe, AN Fenghua, ZHAO Changwei

Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China

Abstract: In this research, the relationship between soil salinity, sodicity, environment factors, and the plant community distribution under micro-topography were analyzed using canonical correspondence analysis method (CCA) in Songnen Plain of China. The experiment was conducted at the Da'an Sodic Land Ecological Experiment Station of the Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences. A representative saline-sodic area measuring 100×100 m was selected within the experimental station for soil sampling. The experimental area was divided into 10×10 m grid squares, and 40 grids were randomly selected as sampling points. The experiment was conducted during 1 May to 1 October for two different hydrological years (year 2005 is a wet year and year 2007 is a dry year). Soil salinity and sodicity parameters included soil ions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- and SO_4^{2-}), soil salinity content (SC), electrical conductivity (EC), sodium adsorption ratio (SAR), and pH. The environmental factors investigated were ground elevation, surface ponding time, surface ponding depth, and soil moistures at four soil layers (0–10, 10–30, 30–60, and 60–100 cm). Experiment results indicated that micro-topography has significant impacts on the spatial variations of soil water, soil salinity, and plant community distribution. Among the eight soil ions, CO_3^{2-} showed the strongest correlation with the ground elevation. Soil moisture showed negative correlation with the ground elevation. The *Suaeda glauca* community is the highest salt-tolerant species and is distributed in the mound (highest elevation) of the local micro-topography, where the soil has the highest concentrations of CO_3^{2-} , Na^+ , Ca^{2+} , and Mg^{2+} . The *Echinochloa crusgalli*

基金项目:中国科学院西部行动计划重大资助项目(KZCX3-XB3-16);国家自然科学基金资助项目(41071022);国家科技支撑课题资助项目(2009BADA3B04)

收稿日期:2013-06-05; **修订日期:**2013-07-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangfan@neigae.ac.cn

community and *Phragmite Australis* community are distributed in the depression of the micro-topography, where the soil has relatively higher soil moisture and lower soil salinity. The *Chloris virgata* community and *Puccinellia tenuiflora* community are distributed in the areas between mound and depression. Results of CCA analysis also indicated that under dry condition of year 2007 the plant community succeeded from *Echinochloa crusgalli* community to *Chloris virgata* community, and from *Chloris virgata* community to *Suaeda glauca* community due to the fact of decrease in soil moisture and increase in soil salt and alkali. However, the plant community distribution (*Puccinellia tenuiflora* and *Phragmite Australis*) remained relatively stable under the dry condition. The CCA analysis and variance analysis also identified the threshold values of driving the plant community succession from *Echinochloa crusgalli* community, *Phragmite Australis* community to *Chloris virgata* community and *Puccinellia tenuiflora* community were Na^+ (991 mg/kg), CO_3^{2-} (396 mg/kg), EC (680 $\mu\text{s}/\text{cm}$), and pH (10). Threshold values of driving the plant community succession from *Chloris virgata* community, *Puccinellia tenuiflora* community to *Suaeda glauca* community were revealed by CCA analysis and variance analysis to be: Na^+ (1570 mg/kg), CO_3^{2-} (576 mg/kg), and EC (879 $\mu\text{s}/\text{cm}$). Ponding time and ponding depth were identified by CCA analysis and variance analysis to be important hydrological characteristic values of distinguishing plant distribution between *Echinochloa crusgalli* community and *Phragmite australis* community, and plant distribution between *Chloris virgata* community and *Puccinellia tenuiflora* community. Results from this research may serve as the scientific basis for the plant restoration and saline-sodic soil reclamation in Songnen Plain of China, one of the most serious saline-affected areas in the world.

Key Words: soil water; soil saline; surface ponding; micro-topography; plant community distribution; threshold value

松嫩平原西部是世界上三大苏打盐渍土集中分布区之一,生态环境脆弱,是我国北方土地荒漠化最严重的地区之一。松嫩平原植被类型分布与土壤类型和土壤盐渍化程度密切相关,特别是低平原区,由于微地形的存在,导致了水文过程的变化,这种变化使土壤含盐量在很小的区域范围内差异较大,使不同盐渍化程度土壤呈镶嵌分布,土壤盐分空间变异显著^[1]。植物生长受土壤中盐类组分的影响较大,在不同盐渍化土壤中,个体植物生长受到限制,当盐渍化程度超出个体植物生存范围,其他植物种入侵和存活,优势种逐渐失去作用,土壤盐渍化程度的改变促进了植物群落演替^[2]。在松嫩平原微域尺度范围内,以往的研究主要集中于植物个体对水盐的响应^[3-4],对于群落间的演替研究较少^[5-7],而对于群落间演替的环境驱动因子研究,未见报道。因此本研究通过典范对应分析方法(CCA),进一步分析植物与环境之间的关系,以及确定植物群落间演替的驱动因子,为苏打盐渍土区生态保护和重建提供依据。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

试验在中国科学院东北地理与农业生态研究所大安碱地生态试验站进行。地理坐标为东经 123°50′27″—123°51′31″,北纬 45°35′58″—45°36′28″。该区属中温带大陆季风气候,多年平均降水量 413.7 mm,年均蒸发量为 1696.9 mm。试验站周围地区属嫩江古河道低漫滩,目前的演替方向是由中-轻度盐渍土向中-重度盐渍土转化,植物群落也相应的向盐生植物演替,即处于退化过程中。而且区内轻、中、重度盐渍土呈现的复合镶嵌格局,使该区不同的植物群落依据土壤水盐变化呈斑块状分布,松嫩平原是我国土壤盐渍化具有突出特色的地区^[8]。

1.2 方法与试验设计

选择具有微地形特征的不同盐渍化程度盐渍土复区为研究样地。试验小区面积为 10000 m²,南北长 100 m,东西宽 100 m,小区内不同高程的小丘和洼地镶嵌分布,最大相对高差为 36.3 cm。从微域尺度上看,为了满足区域盐碱土复合镶嵌体重复出现的空间要求,将小区分成 10 m×10 m 的网格,从中随机选取 40 个网格作为测量点。具体样点布置如图 1。小区内的主要植物群落为以芦苇、虎尾草、碱蓬、碱茅为优势种的植物群落。

1.3 样品采集与测试方法

试验数据为两年数据,分别为 2005 年(丰水年)和 2007 年(枯水年)。试验从 5 月 1 日开始到 10 月 1 日结束。地表积水时间和地表水深的测量从 5 月 1 日开始到 10 月 1 日结束,每 5d 观测 1 次,降雨后加密观测。土壤含水率分别在 5 月、7 月和 9 月的月末进行采样,含水率为 3 次的平均值。土壤离子测定样品均在每年的 9 月末进行采样,植物群落调查每月 1 次。

土壤水溶性盐测定:试验小区各测点分别取样,取样深度为 0—100 cm,每个样点附近取 3 个土样,将其混合,作为待试样。土样在室内自然风干,过 1 mm 筛后,采用 1:5 土水比例浸提水溶性盐。浸提液在实验室做水溶性盐分析,分析项目包括:pH 值、EC、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 主要离子含量。 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 离子采用原子吸收分光光度法测量, CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 离子采用双指示剂-中和滴定法测量, Cl^- 离子采用硝酸银滴定法测量, SO_4^{2-} 离子采用硫酸钡比浊法测量。钠吸

附比(SAR)是土壤溶液中钠含量的主要参数,反映了钠离子和钙镁离子的相对数量。土壤浸提液钠吸附比(SAR)采用下式计算^[9]:

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])/2}} \quad (1)$$

式中, $[Na^+]$ 、 $[Ca^{2+}]$ 和 $[Mg^{2+}]$ 为 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的浓度 ($mmol/L$)。

土壤含水率:采用烘干称重法测定。

微地形相对高程:采用 DSN232 型水准仪测量。

1.3 数据定量分析方法

典范对应分析方法(CCA)可将研究对象排序和环境因子排序表示在一个图上,可以直观地看出他们之间的关系,并能够结合多个环境因子一起分析,从而更好地反映研究对象与环境以及样方之间的关系^[10-11]。本实验将土壤八大离子(Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^-)和盐碱化参数 EC、pH 值、钠吸附比(SAR)、全盐量(SC)作为研究对象,将地表积水时间(d)、地表积水深度(h)、不同土壤层含水率(W0-10, W10-30, W30-60, W60-100),相对高程(H)7个因子作为环境因子,以植被类型作为样方,分析地形、水文要素变化与土壤盐渍化空间分布的影响,以及上述因子对植物群落分布格局的关系。CCA 分析利用国际通用标准软件 Canoco4.5 进行。其他数据分析采用 SPSS 软件进行。

2 结果与分析

2.1 降雨变化规律

由图2可知,2005年5月、9月较干旱,降雨量少。降雨主要集中在6、7和8月,其中6月12日和6月22日的两场降雨均在50 mm以上,7月29日一场强降雨高达86 mm。5—10月降水总数为455 mm,较以往降雨平均值高,该年为丰水年。2007年,降雨较少,且降雨频次也少,主要降雨集中在7月,最大一次降雨量为7月15日的34.5 mm,5—10月降雨量为224.5 mm,明显低于多年平均降雨量,为枯水年。

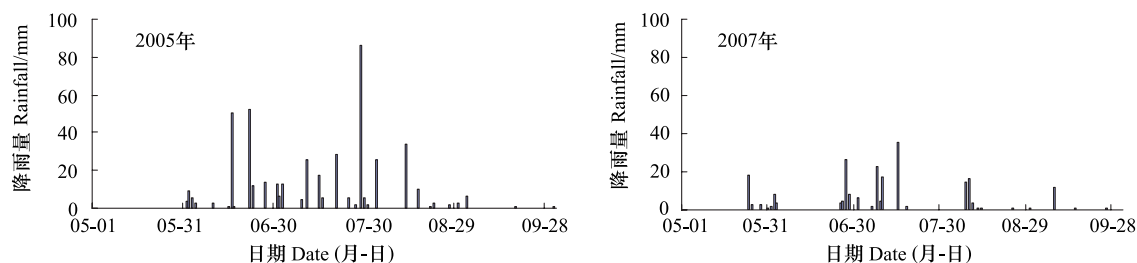


图2 不同年份降雨变化规律

Fig.2 Variation of precipitation in different year

2.2 植物群落与环境因子关系

由图3可知,微地形在土壤水盐空间变异和植物群落分布中具有重要作用。土壤化学指标中 CO_3^{2-} 与相对高程相关性最大,其次为 Na^+ 、EC、 Cl^- 。土壤水分与相对高程呈显著性负相关。其中地表积水深度、0—10 cm、10—30 cm、30—60 cm 土壤含水率与相对高程负相关系数高。说明60 cm以上土壤含水率受微地形影响较大,而60 cm以下土壤含水率受微地形影响较小。植物群落分布和微地形的关系可知,碱蓬分布在微地形高处,随着微地形的下降,植物群落依次改变为虎尾草、碱茅、稗草和芦苇群落。碱蓬适应土壤化学指标 CO_3^{2-} 、 Na^+ 、 Cl^- 、EC 含量最高的土壤类型,而对水分要求不高。虎尾草主要适应以上土壤化学指标稍高, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量也相应较高的土壤类型,对于土壤水分稍高、稍低均能适应。碱茅适合生长在高 Na^+ 、EC、 Cl^- 、SAR 的土壤环境中,对土壤水分要求稍低。稗草分布在微地形的低处,仅稍高于芦苇,与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 相关性高,适应土壤水分含量稍高的土壤环境。芦苇与地表积水深度和土壤含水量呈显著性相关,与 pH 值、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 K^+ 相关性高。因此芦苇适应地表具有积水或土壤含水量较高的环境,同时芦苇能够适应高 SO_4^{2-} 和具有一定的碱性环境,而在高 CO_3^{2-} 和高 Na^+ 、EC、SAR 的环境无法生存。

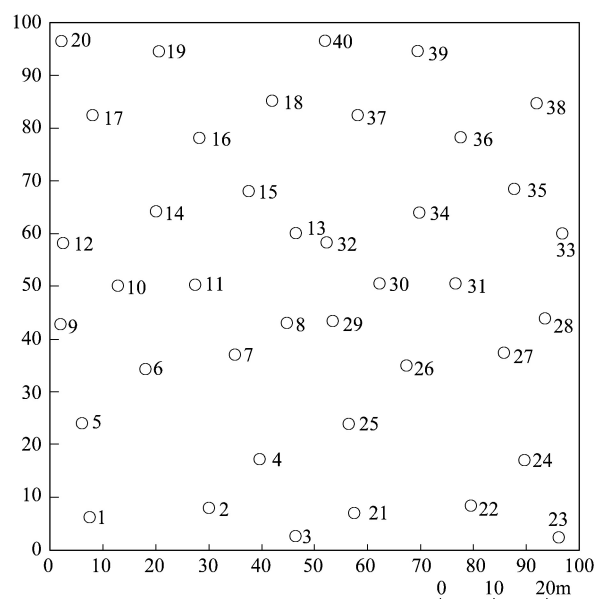


图1 测量点布置图

Fig.1 Distribution of measuring points in the experiment site

枯水年与丰水年比较,枯水年 CO_3^{2-} 、 Na^+ 、SAR、 Cl^- 与相对高程相关系数大于丰水年,说明枯水年微地形高处的小丘以上四种指标均显著增加。枯水年地表积水、土壤含水率与相对高程呈极显著性负相关,地形越高,水分含量越低。不同年型群落比较,枯水年碱蓬增加,虎尾草减少,稗草减少。说明在枯水年由于水分的减少和盐碱化的加重,稗草向虎尾草群落演替,虎尾草向碱蓬群落演替。而芦苇和碱茅群落相对稳定,只是由湿生向旱生转化,群落间演替较慢。

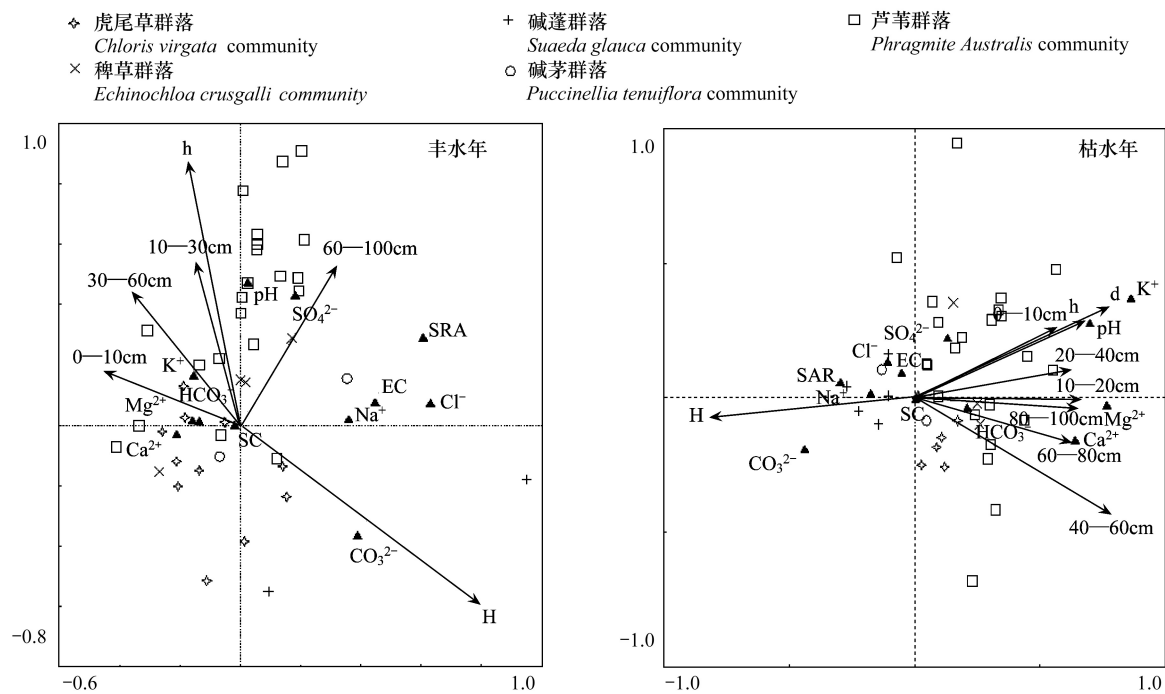


图 3 植物群落与相关因子 CCA 分析

Fig.3 CCA of plant communities and correlation factors

H: 相对高程 relative height; h: 地表积水深度 Ponding depth; d: 地表积水时间 Ponding time 0—10 cm、10—30 cm、30—60 cm、60—100 cm; 不同土壤层含水率 Soil moisture in different soil layer

2.3 不同植物群落适应化学指标范围

由表 1 可知,不同群落适应不同的阳离子含量范围,稗草、芦苇对阳离子的适应范围较接近,各离子之间差异不显著。稗草、芦苇适应 pH 值范围也较相近,均在 8.5—10 之间。虎尾草、碱茅适应阳离子范围较接近,无显著性差异。两种群落对 pH 值适应范围也较接近,均在 10 以上。碱蓬适应高 Na^+ ,低 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ,且适应的 pH 值较高,在 10 以上。

表 1 不同植物群落土壤阳离子比较

Table 1 Comparison of different communities in soil cations

群落类型 Community type	土壤阳离子含量 Soil cations content/(mg/kg)				
	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	pH
稗草群落 <i>Echinochloa crusgalli</i> community	15.5±5.2a	489±85a	207±113a	33.4±19.1a	8.75±0.27a
芦苇群落 <i>Phragmite Australis</i> community	14.3±1.9ac	473±33.4ad	193±42.8ac	37.1±10.2ac	9.07±0.08a
虎尾草群落 <i>Chloris virgata</i> community	28.9±4.2b	991±61ab	670±100b	131.5±33.4b	10.19±0.03b
碱茅群落 <i>Puccinellia tenuiflora</i> community	33.7±16.0ab	1194±138a	443±185ab	115±62ab	10.33±0.05b
碱蓬群落 <i>Suaeda glauca</i> community	6.54±1.86ac	2996±1132c	140±45.2ac	12±5.2ac	10.51±0.05b

同一列中标有不同字母的数据间差异达到显著水平($P < 0.05$)

由表 2 可知,不同群落适应阴离子范围有所不同,碱蓬适应的阴离子含量均高于其他群落,且 EC 也远远高于其他群落。其他植物群落土壤阴离子差异不显著。

表 2 不同植物群落土壤阴离子比较
Table 2 Comparison of different communities in soil anions

群落类型 Community type	土壤阴离子含量 Soil anions content/(mg/kg)				
	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	EC/(Us/cm)
稗草群落 <i>Echinochloa crusgalli</i> community	42.2 ± 35.2a	1673 ± 738a	152 ± 21.2a	47.7 ± 21.4a	289 ± 34.7a
芦苇群落 <i>Phragmite Australis</i> community	56.5 ± 11.9ad	1505 ± 240ac	193 ± 17.6a	62.1 ± 9.8a	128 ± 19.5a
虎尾草群落 <i>Chloris virgata</i> community	323 ± 22.6ab	4263 ± 590ab	244 ± 24a	56.6 ± 15.4a	487 ± 29.6a
碱茅群落 <i>Puccinellia tenuiflora</i> community	454 ± 51ab	2626 ± 810abc	382 ± 102a	98.8 ± 50.3a	653 ± 99a
碱蓬群落 <i>Suaeda glauca</i> community	1661 ± 448c	4308 ± 822b	2010 ± 456b	461 ± 148b	1541 ± 583b

同一列中标有不同字母的数据间差异达到显著水平($P < 0.05$)

通过方差分析,将离子中所占比例较重的指标以及 EC、pH 值的范围列于表 3 中,来分析不同群落演替驱动值。以上方差分析可知,稗草、芦苇适应土壤化学指标较接近,因此将两种群落一起分析。土壤 Na⁺ 含量在 991 mg/kg 以内,CO₃²⁻ 在 396 mg/kg 以内,EC 在 680 μs/cm 以内,pH 值在 10 以内,适合稗草和芦苇群落生长,当以上三种指标超过该值时,群落演替为虎尾草或碱茅。而当土壤 Na⁺ 含量在 1570 mg/kg 以内,CO₃²⁻ 在 576 mg/kg 以内,EC 在 879 μs/cm 以内,适合虎尾草和碱茅生长,当以上指标超过该值时,群落演替为碱蓬。

因此 Na⁺(991 mg/kg)、CO₃²⁻(396 mg/kg)、EC(680 μs/cm)、pH 值(10)是稗草、芦苇向虎尾草和碱茅群落演替的驱动值。Na⁺(1570 mg/kg)、CO₃²⁻(576 mg/kg)、EC(879 μs/cm)是虎尾草、碱茅向碱蓬演替的驱动值。

表 3 不同植物群落适应盐碱化指标范围
Table 3 The range of saline-sodic in different plant communities

群落类型 Community type	土壤离子含量与盐碱指标/(mg/kg)					
	Soil ions and parameters of saline-sodic soil					
	Na ⁺	Ca ²⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	EC(μs/cm)	pH
稗草群落 <i>Echinochloa crusgalli</i> community	255—942	63.0—880	0—252	622—6075	171—415	7.87—10.0
芦苇群落 <i>Phragmite Australis</i> community	83.6—991	42.4—1515	0—396	366—8610	82.8—679	8.08—10.0
虎尾草群落 <i>Chloris virgata</i> community	470—1570	54.3—1455	108—540	805—9699	260—767	9.92—10.4
碱茅群落 <i>Puccinellia tenuiflora</i> community	875—1427	80.5—852	324—576	1500—5014	398—879	10.3—10.5
碱蓬群落 <i>Suaeda glauca</i> community	1126—8499	52.3—380	486—3240	1317—6880	631—4730	10.2—10.7

2.4 不同群落适应水文指标范围

由表 4 可知,不同水文指标下不同群落之间比较,不同群落之间在 60—100 cm 土壤层含水率无显著性差异,在 30—60 cm 土壤层含水率呈显著性差异,0—30 cm 土壤含水率和地表积水深度、积水时间均呈极显著性差异。因此植物群落之间的差异主要集中在地表水、表层土壤含水率,随着土壤剖面的加深,群落间差异减小,60—100 cm 土壤含水率对于地表植物的生长分布作用不大。

表 4 不同植物群落水文指标方差分析
Table 4 The Analysis of variance for hydrological data in different plant communities

一元方差检验 Variance test	积水深度 Ponding depth	积水时间 Ponding time	土壤含水率 Soil moisture			
			0—10 cm	10—30 cm	30—60 cm	6—100 cm
F	15.086	13.937	5.555	5.102	3.113	1.983
显著度 Sig.	0.00	0.00	0.001	0.001	0.02	0.106

由表 5 可知,表层积水时间和积水深度对群落之间影响较大,与其他植物群落相比,芦苇地表水深最高,积水时间最长。碱茅和芦苇之间差异性不显著。稗草和芦苇尽管在土壤化学指标适应范围相似,但他们对于水分适应范围明显不同,当地表积水深度大、积水时间长时,适应芦苇生长,却不适合稗草生长。碱茅和芦苇在地表水方面差异不显著。说明碱茅适合于地表较湿的环境,虎尾草适合于地表较干的环境。因此地表水的积水时间和积水深度是区分稗草和芦苇、虎尾草和碱茅生长分布的重要水文特征值。

表 5 不同植物群落水文数据方差分析

Table 5 Comparison of hydrological data in different plant communities

	积水深度 Ponding depth	积水时间 Ponding time	土壤含水率 Soil moisture		
			0—10 cm	10—30 cm	30—60 cm
稗草群落 <i>Echinochloa crusgalli</i> community	1.3±0.5a	8±1.4a	0.18±0.03a	0.30±0.05a	0.26±0.03a
虎尾草群落 <i>Chloris virgata</i> community	1.8±0.3a	10±1.4a	0.10±0.01ac	0.21±0.01b	0.25±0.01a
碱茅群落 <i>Puccinellia tenuiflora</i> community	4.3±1.5ab	18±4.8ab	0.15±0.03a	0.18±0.01b	0.24±0.02ac
碱蓬群落 <i>Suaeda glauca</i> community	0.39±0.3a	2±0.9a	0.08±0.01b	0.18±0.03b	0.20±0.01bc
苇群落 <i>Phragmites Australis</i> community	6.6±0.6b	30±1.9b	0.20±0.01ad	0.26±0.01a	0.26±0.01a

3 结论

(1)微地形在土壤水盐空间变异和植物群落分布中具有重要位置。土壤化学指标中 CO_3^{2-} 与微地形相关性最大,其次为 Na^+ 、 EC 、 Cl^- 。水分与微地貌的关系中,地表积水和 60 cm 以上土壤含水率受微地形影响较高,而 60 cm 以下土壤含水率受微地形影响较小。

(2)由植物群落分布和微地形的关系可知,碱蓬分布在微地形高处,随着微地形的下降,植物群落依次改变为虎尾草、碱茅、稗草和芦苇群落。

(3)在枯水年由于水分的减少和盐碱化的加重,稗草向虎尾草群落演替,虎尾草向碱蓬群落演替。而芦苇和碱茅群落相对稳定,只是由湿生向旱生转化,群落间演替较慢。

(4)在植物群落演替过程中, Na^+ (991 mg/kg)、 CO_3^{2-} (396 mg/kg)、 EC (680 $\mu\text{s}/\text{cm}$)、pH 值 (10) 是稗草、芦苇向虎尾草和碱茅群落演替的驱动值。 Na^+ (1570 mg/kg)、 CO_3^{2-} (576 mg/kg)、 EC (879 $\mu\text{s}/\text{cm}$) 是虎尾草、碱茅向碱蓬群落演替的驱动值。地表水的积水时间和积水深度是区分稗草和芦苇、虎尾草和碱茅生长分布的重要水文特征值。

References:

- [1] Liu X T. Management on Degraded Land and Agricultural Development in Songnen Plain. Beijing: Science Press, 2001.
- [2] Yang Y F, Zheng H Y. Comparison analysis on the experimental communities during progressive succession on alkaline patches in the Songnen plain of China. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(3): 214-221.
- [3] Li H Y, Yang Y F. The mutual dynamics of clonal populations of two species: *Leymus chinensis* and *Carex duriuscula* in the process of restoration succession after the flooded meadow in the Songnen Plains of China. *Acta Prataculturae Sinica*, 2004, 13(6): 21-25.
- [4] Liu P Y, Yang Y F. Quantitative analysis on the relationship between the above-ground biomass and density in the population of *Puccinellia chinampoensis* in the alkalized meadow in the Songnen plain of China. *Journal of Northeast Normal University: Natural Science Edition*, 2000, 32(1): 60-66.
- [5] Yang F, Deng W, Zhang G X, Yang J F, Li X J. Spatial variation of soil saline ions and its relations with vegetation community of *Phragmites australis* in a saline-sodic soil. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(4): 594-600.
- [6] Yang F, Zhang G X, Yin X R, Gu B, Sun G Y. Spatial variability of soil salinity and sodicity and its correlation with the succession of *Phragmites Australis* community in degraded salt marsh. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(10): 5291-5298.
- [7] Zheng H Y, Li J D. A preliminary study on the formation of saline-alkali plant communities in the Song-Nen plain. *Acta Phytocological Sinica*, 1995, 19(1): 1-12.
- [8] Deng W, Qiu S W, Liang Z W. Region Eco-Environment Background of the China Da'an Sodic Land Experiment Station. Beijing: Science Press, 2005.
- [9] Chappell N A, Ternan J L, Bidin K. Correlation of physicochemical properties and sub-erosional landforms with aggregate stability variations in a tropical Ultisol disturbed by forestry operations. *Soil and Tillage Research*, 1999, 50(1): 55-71.

- [10] Ter Braak C J F. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 1986, 67(5): 1167-1179.
- [11] Zhang J T. *Quantitative Ecology*. Beijing: Science Press, 2004: 157-164.

参考文献:

- [1] 刘兴土. 松嫩平原退化土地整治与农业发展. 北京: 科学出版社, 2001.
- [2] 杨允菲, 郑慧莹. 松嫩平原碱斑进展演替实验群落的比较分析. *植物生态学报*, 1998, 22(3): 214-221.
- [3] 李海燕, 杨允菲. 松嫩草甸水淹恢复演替过程中羊草和寸草苔无性系种群的相互动态. *草业学报*, 2004, 13(6): 21-25.
- [4] 刘佩勇, 杨允菲. 松嫩平原碱化草甸朝鲜碱茅种群地上生物量与密度关系的定量分析. *东北师大学报: 自然科学版*, 2000, 32(1): 60-66.
- [5] 杨帆, 邓伟, 章光新, 杨建峰, 李秀军. 苏打盐渍土地地区芦苇地土壤盐分离子空间变异与群落关系研究. *土壤学报*, 2008, 45(4): 594-600.
- [6] 杨帆, 章光新, 尹雄锐, 顾斌, 孙广友. 退化盐沼湿地盐碱化空间变异与芦苇群落的演替关系. *生态学报*, 2009, 29(10): 5291-5298.
- [7] 郑慧莹, 李建东. 松嫩平原盐碱植物群落形成过程的探讨. *植物生态学报*, 1995, 19(1): 1-12.
- [8] 邓伟, 裴善文, 梁正伟. 中国大安碱地生态试验站区域生态环境背景. 北京: 科学出版社, 2005.
- [11] 张金屯. *数量生态学*. 北京: 科学出版社, 2004: 157-164.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.19 Oct., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

A review of ecosystem services and research perspectives	MA Fengjiao, LIU Jintong, A. Egrinya Eneji (5963)
Sexual interference in non-human primates	YANG Bin, WANG Chengliang, JI Weihong, et al (5973)
Density-dependent effect on reproduction of rodents; a review	HAN Qunhua, GUO Cong, ZHANG Meiwen (5981)
Proximate and ultimate determinants of food chain length	WANG Yuyu, XU Jun, LEI Guangchun (5990)
Mechanism of biological control to plant diseases using arbuscular mycorrhizal fungi	LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LI Yuanyuan, et al (5997)
Advances in effects of conservation tillage on soil organic carbon and nitrogen	XUE Jianfu, ZHAO Xin, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, et al (6006)
Habitat selection of the pre-released giant panda in Wolong Nature Reserve	ZHANG Mingchun, HUANG Yan, LI Desheng, et al (6014)
Activity rhythm and behavioral time budgets of wild Reeves's Pheasant (<i>Syrnaticus reevesii</i>) using infrared camera	ZHAO Yuze, WANG Zhichen, XU Jiliang, et al (6021)
The energy budget of tree sparrows <i>Passer montanus</i> in wind different speed and duration	YANG Zhihong, WU Qingming, DONG Haiyan, et al (6028)
Nest site characteristics of <i>Petaurista caniceps</i> in Baima Snow Mountain Nature Reserve	LI Yanhong, GUAN Jinke, LI Dayong, HU Jie (6035)
Effects of habitat fragmentation on the genetic diversity of <i>Pachycondyla luteipes</i> on islands in the Thousand Island Lake, East China	LUO Yuanyuan, LIU Jinliang, HUANG Jiuling, et al (6041)
The molecular genetic relationship between the pollinators of <i>Ficus pumila</i> var. <i>pumila</i> and <i>Ficus pumila</i> var. <i>aukeotsang</i>	WU Wenshan, CHEN Youling, SUN Lingli, et al (6049)
The genetic evolutionary relationships of two <i>Eupristina</i> species on <i>Ficus altissima</i>	CHEN Youling, SUN Lingli, WU Leilei, et al (6058)
Metal uptake and root morphological changes for two varieties of <i>Salix integra</i> under cadmium stress	WANG Shufeng, SHI Xiang, SUN Haijing, et al (6065)
Effects of phthalic acid on seed germination, membrane lipid peroxidation and osmoregulation substance of radish seedlings	YANG Yanjie, WANG Xiaowei, ZHAO Kang, et al (6074)
The morphological and physiological responses of <i>Tamarix ramosissima</i> seedling to different irrigation methods in the extremely arid area	MA Xiaodong, WANG Minghui, LI Weihong, et al (6081)
Response characteristics of photosynthetic and physiological parameters in <i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i> seedling leaves to soil water in sand habitat formed from seashells	WANG Rongrong, XIA Jiangbao, YANG Jihua, et al (6088)
Effects of ceramsite mulching on soil water content, photosynthetic physiological characteristics and growth of plants	TAN Xuehong, GUO Xiaoping, ZHAO Tingning (6097)
Dynamics of tannin concentration and nutrient resorption for branchlets of <i>Casuarina equisetifolia</i> plantations at different ages	YE Gongfu, ZHANG Shangju, ZHANG Lihua, et al (6107)
Sulfur contents in leaves and branches of dominant species among the three forest types in the Pearl River Delta	PEI Nancai, CHEN Bufeng, ZOU Zhijin, et al (6114)
Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus on growth dynamics of <i>Bauhinia faberi</i> seedlings	SONG Chengjun, QU Laiye, MA Keming, et al (6121)
Characteristics of ion accumulation and seed germination for seeds from plants cultured at different concentrations of nitrate nitrogen and salinity	ZHOU Jiachao, FU Tingting, ZHAO Weiwei, et al (6129)
Physio-ecological effects of endophyte infection on the host grass with elevated CO ₂	SHI Zhibing, ZHOU Yong, LI Xia, et al (6135)
Effects of pretreatment on germination of <i>Typha domingensis</i> and <i>Phragmites australis</i>	MENG Huan, WANG Xuehong, TONG Shouzheng, et al (6142)
Transfer characteristics of cadmium from soil to <i>Salix × aureo-pendula</i>	ZHANG Wen, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (6147)
Effect of Close-to-Nature management on the natural regeneration and species diversity in a masson pine plantation	LUO Yinghua, SUN Dongjing, LIN Jianyong, et al (6154)
Population dynamics and seed banks of the threatened seagrass <i>Halophila beccarii</i> in Pearl Bay, Guangxi	QIU Guanglong, FAN Hangqing, LI Zongshan, et al (6163)
Effects of biological crusts on dew deposition and evaporation in the Southern Edge of the Mu Us Sandy Land, Northern China	YIN Ruiping, WU Yongsheng, ZHANG Xin, et al (6173)
Life history characteristics and spatial distribution of <i>Populus pruinosa</i> population at the upper reaches of Tarim River	HAN Lu, XI Linqiao, WANG Jiaqiang, et al (6181)
Interactive effects of short-term nitrogen enrichment and simulated grazing on ecosystem respiration in an alpine meadow on the Tibetan Plateau	ZONG Ning, SHI Peili, JIANG Jing, et al (6191)

- The correlation between soil water salinity and plant community distribution under micro-topography in Songnen Plain YANG Fan, WANG Zhichun, WANG Yunhe, et al (6202)
- Comparison of TSP, PM_{2.5} and their water-soluble ions from both inside and outside of Dafushan forest park in Guangzhou during rainy season XIAO Yihua, LI Jiong, KUANG Yuanwen, et al (6209)
- Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago II. Spatio-temporal patterns of community structure WANG Zhenhua, ZHAO Jing, WANG Kai, et al (6218)
- Interannual variation in the population dynamics of snailfish *Liparis tanakae* in the Yellow Sea CHEN Yunlong, SHAN Xiujuan, ZHOU Zhipeng, et al (6227)
- Spatial and temporal variation of soil macro-fauna community structure in three temperate forests LI Na, ZHANG Xueping, ZHANG Limin (6236)
- Community structure and species biodiversity of fig wasps in syconia of *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq. in Fuzhou CHEN Youling, CHEN Xiaoqian, WU Wenshan, et al (6246)
- Marine ecological capital: valuation methods of marine ecosystem services CHEN Shang, REN Dachuan, XIA Tao, et al (6254)
- Geomorphologic regionalization of China aimed at construction of nature reserve system GUO Ziliang, CUI Guofa (6264)
- Impact of ecological vegetation construction on the landscape pattern of a Loess Plateau Watershed YI Yang, XIN Zhongbao, QIN Yunbin, et al (6277)
- Spatial heterogeneity of soil moisture across a cropland-grassland mosaic: a case study for agro-pastoral transition in north of China WANG Hongmei, WANG Zhongliang, WANG Kun, et al (6287)
- The regional diversity of changes in growing duration of spring wheat and its correlation with climatic adaptation in Northern China E Youhao, HUO Zhiguo, MA Yuping, et al (6295)
- Response of soil physical-chemical properties to rocky desertification succession in South China Karst SHENG Maoyin, LIU Yang, XIONG Kangning (6303)
- Prediction of the effects of climate change on the potential distribution of mire in Northeastern China HE Wei, BU Rencang, LIU Hongjuan, et al (6314)
- Soil nitrogen mineralization and associated temperature sensitivity of different Inner Mongolian grasslands ZHU Jianxing, WANG Qiufeng, HE Nianpeng, et al (6320)
- Effects of land use on soil nutrient in oasis-desert ecotone in the middle reach of the Heihe River MA Zhimin, LÜ Yihe, SUN Feixiang, et al (6328)
- Assessment on heavy metal pollution status in paddy soils in the northern Chengdu Plain and their potential ecological risk QIN Yusheng, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (6335)
- Relationship between the temporal-spatial distribution of longline fishing grounds of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and the thermocline characteristics in the Central Atlantic Ocean YANG Shenglong, MA Junjie, ZHANG Yu, et al (6345)
- Biological nitrogen fixation in the upper water column in the south Taiwan Strait during summer 2011 LIN Feng, CHEN Min, YANG Weifeng, et al (6354)
- Storage and drivers of forests carbon on the Beichangshan Island of Miaodao Archipelago SHI Honghua, WANG Xiaoli, WANG Ai, et al (6363)
- Impact of changes in vegetation types on soil C mineralization and associated temperature sensitivity in the Changbai Mountain forests of China WANG Dan, LÜ Yuliang, XU Li, et al (6373)
- Analysis of relationship between genetic structure of Chinese Pine and mountain barriers MENG Xiangxiang, DI Xiaoyan, WANG Mengben, et al (6382)
- Soil organic carbon interpolation based on auxiliary environmental covariates: a case study at small watershed scale in Loess Hilly region WEN Wen, ZHOU Baotong, WANG Yafeng, et al (6389)
- Eco-management benefit analysis of industrial resources from life cycle perspective: a case study of a virtual symbiosis network SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, YANG Jianxin (6398)
- The game analysis between poverty and environment in ecologically fragile zones QI Xinhua, YE Shilin, CHENG Yu, et al (6411)
- The coupling development of economy and environment under the background of World Expo in Shanghai NI Yao, YUE Wenzhe, ZHANG Yuntang, et al (6418)

《生态学报》2013 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,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

本期责任副主编 陈利顶

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 19 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 19 (October, 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