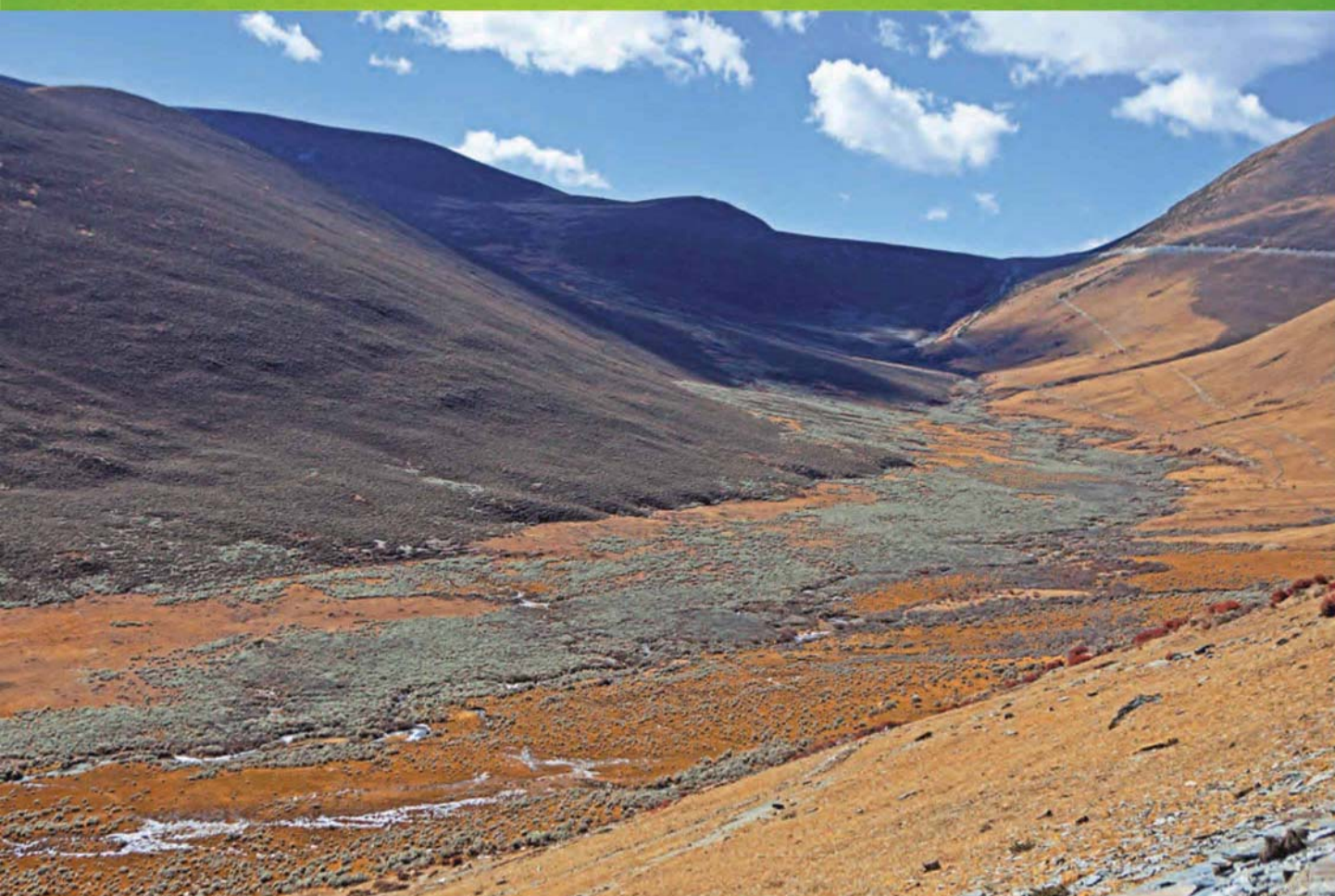


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

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 18 期 Vol.33 No.18 **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 18 期 2013 年 9 月 (半月刊)

目 次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 美国农业生态学发展综述 黄国勤, Patrick E. McCullough (5449)
- 水足迹研究进展 马 晶, 彭 建 (5458)
- 江西省主要作物(稻、棉、油)生态经济系统综合分析评价 孙卫民, 欧一智, 黄国勤 (5467)
- 植物干旱胁迫下水分代谢、碳饥饿与死亡机理 董 蕾, 李吉跃 (5477)
- 生态化学计量学特征及其应用研究进展 曾冬萍, 蒋利玲, 曾从盛, 等 (5484)
- 三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征 王轶浩, 耿养会, 黄仲华 (5493)
- 城市不同地表覆盖类型对土壤呼吸的影响 付芝红, 呼延佼奇, 李 锋, 等 (5500)
- 华南地区 3 种具有不同入侵性的近缘植物对低温胁迫的敏感性 王宇涛, 李春妹, 李韶山 (5509)
- 沙丘稀有种准噶尔无叶豆花部综合特征与传粉适应性 施 翔, 刘会良, 张道远, 等 (5516)
- 水浮莲对水稻竞争效应、产量与土壤养分的影响 申时才, 徐高峰, 张付斗, 等 (5523)
- 珍稀药用植物白及光合与蒸腾生理生态及抗旱特性 吴明开, 刘 海, 沈志君, 等 (5531)
- 不同温度及二氧化碳浓度下培养的龙须菜光合生理特性对阳光紫外辐射的响应 杨雨玲, 李 伟, 陈伟洲, 等 (5538)
- 土壤氧气可获得性对双季稻田温室气体排放通量的影响 秦晓波, 李玉娥, 万运帆, 等 (5546)
- 免耕稻田氮肥运筹对土壤 NH_3 挥发及氮肥利用率的影响 马玉华, 刘 兵, 张枝盛, 等 (5556)
- 香梨两种树形净光合速率特征及影响因素 孙桂丽, 徐 敏, 李 疆, 等 (5565)
- 沙埋对沙米幼苗生长、存活及光合蒸腾特性的影响 赵哈林, 曲 浩, 周瑞莲, 等 (5574)
- 半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响 王红丽, 宋尚有, 张绪成, 等 (5580)
- 基于 Le Bissonnais 法的石漠化区桑树地埂土壤团聚体稳定性研究 汪三树, 黄先智, 史东梅, 等 (5589)
- 不同施肥对雷竹林径流及渗漏水中氮形态流失的影响 陈裴裴, 吴家森, 郑小龙, 等 (5599)
- 黄土丘陵区不同植被土壤氮素转化微生物生理群特征及差异 邢肖毅, 黄懿梅, 安韶山, 等 (5608)
- 黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响 赵 彤, 闫 浩, 蒋跃利, 等 (5615)
- 林地覆盖对雷竹林土壤微生物特征及其与土壤养分制约性关系的影响 郭子武, 俞文仙, 陈双林, 等 (5623)
- 降雨对草地土壤呼吸季节变异性的影响 王 旭, 闫玉春, 闫瑞瑞, 等 (5631)
- 基于土芯法的亚热带常绿阔叶林细根空间变异与取样数量估计 黄超超, 黄锦学, 熊德成, 等 (5636)
- 4 种高大树木的叶片性状及 WUE 随树高的变化 何春霞, 李吉跃, 孟 平, 等 (5644)
- 干旱荒漠区银白杨树干液流动态 张 俊, 李晓飞, 李建贵, 等 (5655)
- 模拟增温和不同凋落物基质质量对凋落物分解速率的影响 刘瑞鹏, 毛子军, 李兴欢, 等 (5661)
- 金沙江干热河谷植物叶片元素含量在地表凋落物周转中的作用 闫帮国, 纪中华, 何光熊, 等 (5668)
- 温带 12 个树种新老树枝非结构性碳水化合物浓度比较 张海燕, 王传宽, 王兴昌 (5675)
- 断根结合生长素和钾肥施用对烤烟生长及糖碱比、有机钾指数的影响 吴彦辉, 薛立新, 许自成, 等 (5686)
- 光周期和高脂食物对雌性高山姬鼠能量代谢和产热的影响 高文荣, 朱万龙, 孟丽华, 等 (5696)
- 绿原酸对凡纳滨对虾抗氧化系统及抗低盐度胁迫的影响 王 芸, 李 正, 李 健, 等 (5704)

基于盐分梯度的荒漠植物多样性与群落、种间联接响应	张雪妮, 吕光辉, 杨晓东, 等 (5714)
广西马山岩溶植被年龄序列的群落特征	温远光, 雷丽群, 朱宏光, 等 (5723)
戴云山黄山松群落与环境的关联	刘金福, 朱德煌, 兰思仁, 等 (5731)
四川盆地亚热带常绿阔叶林不同物候期凋落物分解与土壤动物群落结构的关系	王文君, 杨万勤, 谭 波, 等 (5737)
中亚热带常绿阔叶林不同演替阶段土壤活性有机碳含量及季节动态	范跃新, 杨玉盛, 杨智杰, 等 (5751)
塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及土壤 C N P 的化学计量特征	李从娟, 雷加强, 徐新文, 等 (5760)
鄱阳湖小天鹅越冬种群数量与行为学特征	戴年华, 邵明勤, 蒋丽红, 等 (5768)
营养盐加富和鱼类添加对浮游植物群落演替和多样性的影响	陈 纯, 李思嘉, 肖利娟, 等 (5777)
西藏达则错盐湖沉积背景与有机沉积结构	刘沙沙, 贾沁贤, 刘喜方, 等 (5785)
西藏草地多项供给及调节服务相互作用的时空演变规律	潘 影, 徐增让, 余成群, 等 (5794)
太湖水体溶解性氨基酸的空间分布特征	姚 昕, 朱广伟, 高 光, 等 (5802)
基于遥感和 GIS 的巢湖流域生态功能分区研究	王传辉, 吴 立, 王心源, 等 (5808)
近 20 年来东北三省春玉米物候期变化趋势及其对温度的时空响应	李正国, 杨 鹏, 唐华俊, 等 (5818)
鄱阳湖湿地景观恢复的物种选择及其对环境因子的响应	谢冬明, 金国花, 周杨明, 等 (5828)
珠三角河网浮游植物生物量的时空特征	王 超, 李新辉, 赖子尼, 等 (5835)
南京市景观时空动态变化及其驱动力	贾宝全, 王 成, 邱尔发 (5848)
川西亚高山-高山土壤表层有机碳及活性组分沿海拔梯度的变化	秦纪洪 王 琴 孙 辉 (5858)
城市森林碳汇及其抵消能源碳排放效果——以广州为例	周 健, 肖荣波, 庄长伟, 等 (5865)
基于机器学习模型的沙漠腹地地下水含盐量变化过程及模拟研究	范敬龙, 刘海龙, 雷加强, 等 (5874)
干旱区典型绿洲城市发展与水资源潜力协调度分析	夏富强, 唐 宏, 杨德刚, 等 (5883)
海岸带区域综合承载力评估指标体系的构建与应用——以南通市为例	魏 超, 叶属峰, 过仲阳, 等 (5893)
中街山列岛海洋保护区鱼类物种多样性	梁 君, 徐汉祥, 王伟定 (5905)
丰水期长江感潮河口段网采浮游植物的分布与长期变化	江志兵, 刘晶晶, 李宏亮, 等 (5917)
基于生态网络的城市代谢结构模拟研究——以大连市为例	刘耕源, 杨志峰, 陈 彬, 等 (5926)
保护区及周边居民对野猪容忍性的影响因素——以黑龙江凤凰山国家级自然保护区为例	徐 飞, 蔡体久, 琚存勇, 等 (5935)
三江源牧户参与草地生态保护的意愿	李惠梅, 张安录, 王 珊, 等 (5943)
沈阳市降雨径流初期冲刷效应	李春林, 刘 淼, 胡远满, 等 (5952)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 514 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 59 * 2013-09	



封面图说: 川西高山地带土壤及植被——青藏高原东缘川西的高山地带坡面上为草地, 沟谷地带由于低平且水分较充足, 生长有很多灌丛。川西地区大约在海拔 4000m 左右为林线, 以下则分布有亚高山森林。亚高山森林是以冷、云杉属为建群种或优势种的暗针叶林为主体的森林植被。作为高海拔低温生态系统, 高山-亚高山地带土壤碳被认为是我国重要的土壤碳库。有研究表明, 易氧化有机碳含量与海拔高度呈显著正相关, 显示高海拔有利于土壤碳的固存。因而, 这里的表层土壤总有机碳含量随着海拔的升高而增加。

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/stxb201306071403

张雪妮, 吕光辉, 杨晓东, 贡璐, 秦璐, 何学敏, 刘昊奇. 基于盐分梯度的荒漠植物多样性与群落、种间联接响应. 生态学报, 2013, 33(18): 5714-5722.

Zhang X N, Lü G H, Yang X D, Gong L, Qin L, He X M, Liu H Q. Responses of desert plant diversity, community and interspecific association to soil salinity gradient. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5714-5722.

基于盐分梯度的荒漠植物多样性与 群落、种间联接响应

张雪妮^{1,2}, 吕光辉^{1,2,*}, 杨晓东^{3,4}, 贡璐^{1,2}, 秦璐^{1,2}, 何学敏^{1,2}, 刘昊奇^{1,2}

(1. 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046;
3. 华东师范大学环境科学系, 上海 200062; 4. 浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站, 宁波 315114)

摘要: 土壤盐分是影响干旱区荒漠植物群落动态的决定因素之一。基于样方调查和不同土壤盐分梯度下植物多样性指数及群落与种间关联的计算结果, 分析干旱区荒漠群落植物多样性、群落联接性和种间关联对土壤盐分梯度的响应动态。结果表明, 在土壤盐含量为 0.03%—0.55% (S1)、0.61%—1.24% (S2) 和 1.41%—1.79% (S3) 的盐分梯度上, (1) 随土壤盐含量升高, 群落生活型结构改变, 草本比例减少, 乔木比例增加; (2) 植物多样性指数随土壤盐分增加而下降, 低盐分梯度下, 二者极显著正相关 ($P < 0.01$), 中盐梯度下二者间呈部分显著负相关 ($P < 0.05$), 高盐梯度下则转为以正相关为主 ($P > 0.05$); (3) 群落联接性随土壤盐分梯度转变, 在 0.61%—1.24% 的中度盐含量时正联接性最强 ($VR = 1.89$), 高盐度含量下群落转为不显著的负联接, 稳定性降低; (4) 沿盐分升高梯度, 种间的负相关种对数增加, 正相关种对数减少, 种间关联 (相关) 强度提高, 正负相关种对比 (PNR) 与多样性指数呈显著正相关 ($P < 0.05$)。综上可知, 干旱区荒漠植物多样性在土壤盐含量达到 1.41%—1.79% 水平时总体显著降低; 土壤盐分水平显著影响植物群落和种间联接性, 种间互利性随盐分梯度增加下降, 物种趋于独立分布, 并最终导致荒漠植物多样性降低。

关键词: 盐分梯度; 土壤盐分; 荒漠植物; 植物多样性; 群落联接; 种间关联

Responses of desert plant diversity, community and interspecific association to soil salinity gradient

ZHANG Xueni^{1,2}, LÜ Guanghui^{1,2,*}, YANG Xiaodong^{3,4}, GONG Lu^{1,2}, QIN Lu^{1,2}, HE Xuemin^{1,2}, LIU Haoqi^{1,2}

1 College of Resources and Environmental Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

2 Key Laboratory of Oasis Ecology, Education Ministry, Urumqi 830046, China

3 Department of Environmental Science, East China Normal University Shanghai 200062, China

4 Tiantong National Station of Forest Ecosystem, Chinese National Ecosystem Observation and Research Network, Ningbo 315114, Zhejiang, China

Abstract: Dynamic response of plant diversity, community and interspecific association along environmental gradients is one of the basic issues in community ecology and biodiversity science. Soil salinity is one of the most decisive factors that govern desert plant community dynamics. The Ebinur Lake wetland national nature reserve is located in typical arid desert area. Previous related studies about the reserve had point out that soil salinity influences the desert plant community characteristic significantly, but the specific role of soil salinity in plant community dynamics is still unknown. Based on this, the objective of this study is focused on the responses of desert plant diversity, community overall association and interspecific association to soil salinity gradient.

In this study, altogether 74 sampling plots were investigated; including 22 plots for trees (10 m×10 m), 35 plots for shrubs (5 m×5 m) and 17 plots for herbs (1 m×1 m). At each plot, abundance, height and diameter at breast height of

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (41130531)

收稿日期: 2013-06-07; 修订日期: 2013-07-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ler@xju.edu.cn

trees, abundance of shrubs and herbs were surveyed. According to soil salinity of the corresponding plot, all plots were classified to 3 salinity gradients by cluster analysis, with the salt contents of low (S1), middle (S2) and high (S3) defined as 0.03%—0.55% (S1), 0.61%—1.24% (S2) and 1.41%—1.79% (S3) respectively. A range of different diversity indices including Shannon-Wiener, Simpson, Pielou, Fisher- α of logarithmic series distribution and Margalef were calculated to examine the plant diversity under each salinity gradient. Variance ratio (VR), χ^2 test and Spearman rank correlation were employed to quantitatively analyze the community overall association and interspecific association under different salinity gradient. VR value, proportion of species pairs with positive and negative correlation, Dice index and Spearman rank correlation coefficient were used in exploring response of overall association and interspecific association to different soil salinity. The results indicated that: 42 species (which belong to 39 Genus of 18 Family) were identified in the Ebinur Lake wetland national nature reserve. Along the soil salinity gradient (S1—S3), (1) Life form structure in community was changed, more specifically, proportion of herbaceous decreased while tree proportion increased as salinity increases, and shrubs proportion decreased slightly. (2) Plant diversity indices decreased with increased soil salinity, and showed a very significant positive correlation in low salinity ($P<0.01$), then the correlation turned into partially significant negative ($P<0.05$) in middle salinity and showed positive mainly in high salinity gradient ($P>0.05$). (3) Community overall associations was significant positive in low ($VR=1.42$) and middle ($VR=1.89$) salinity, but converted to negative ($VR=0.62$) in high salinity, which means that high soil salinity lead to the decrease of community stability. (4) Along rising gradient of soil salinity, number of species pairs with a negative correlation increased, while number of species pairs with a positive correlation decreased; both of positive and negative correlation strength (coefficients) was enhanced as soil salinity increases; ratio of positive species pairs to negative species pairs showed a significantly positive correlation with diversity ($P<0.05$). In conclusion, reduced desert plant diversity and shifted community and interspecific association under high salinity threatened plant community stability of arid area, and may lead to retrogressive succession of community. Results of the present study provide a scientific basis for arid area in vegetation management, vegetation restoration and soil salinization prevention.

Key Words: salinity gradient; soil salinity; desert plant; plant diversity; community association; interspecific association

植物多样性作为群落生态学和生物多样性研究的核心问题之一,是区域生态系统功能和稳定的基础^[1-3]。荒漠区干旱少雨,蒸降比悬殊,生态系统脆弱,是植物多样性受威胁最严重的地区^[4-5],研究这一区域的植物多样性特征,对于生物多样性和荒漠化防治具有重要意义。植物多样性受多种环境因子和生态过程的影响^[6],其中土壤盐分是不容忽视的因素之一^[7-10],尤其是在干旱、半干旱的荒漠区^[11]。已有研究表明,土壤盐分是引起干旱区植物群落多样性变化的关键因子之一^[10,12-13]。然而目前相关研究多集中于盐胁迫下植物的生长、发育^[14-16]及微观生理响应等方面^[17-19],有关干旱区植物群落宏观响应的研究则多关注某一方面,如植物分布和组成^[20-22]、格局^[23-24]和多样性等^[10,25],对荒漠植物多样性各种测度在土壤盐分梯度下的定量分析和动态响应,以及多样性与群落、种间联接的综合研究资料还较缺乏^[26]。

群落和种间联接性是物种间互利和竞争的净平衡结果,如群落总体正联接或种间正相关(关联),表明物种对生境的需求较为一致,种间互利大于种间竞争,反之亦然。种间关系随着环境梯度动态变化,胁迫梯度假说(Stress gradient hypothesis, SGH)认为,随着环境胁迫增加,种间互利作用增强,竞争作用减弱,但目前这一假说仍存在争论^[27-30]。盐渍土在荒漠区的分布广泛,植物生长受到不同程度的盐胁迫,进而影响其分布和动态等^[11,31]。因此,为更好地理解环境梯度对种间联接性的影响,探索荒漠植物多样性维持机制^[26-27],有必要进一步开展相关研究。

艾比湖地区位于典型的干旱荒漠地带,生境极其脆弱,盐渍土分布较广。以往对这一区域植物多样性和群落与种间关联性研究已表明,盐分是影响该区域植物群落特征的决定性因素^[32-33]。基于此,对土壤盐分梯度下的艾比湖荒漠植物多样性和种间联接响应动态展开研究,旨在解决如下科学问题:荒漠区随土壤盐分梯度增加(1)植物多样性的不同测度如何响应?(2)群落总体联接性、种间关联性和种间互益性有何响应?能否解释植物多样性的变化?以上问题的明确将有助于掌握干旱区植被群落沿土壤盐分梯度的变化规律,了解干旱区植被群落对环境梯度的宏观响应,为干旱区植被恢复、植被资源管理和土壤盐渍化治理和修复提供理论依据和参考。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

艾比湖湿地国家级自然保护区位于新疆精河县西北($44^{\circ}30'—45^{\circ}09' N, 82^{\circ}36'—83^{\circ}50' E$),准噶尔盆地西南,为准噶尔盆

地西南缘最低洼地和水盐汇集中心,西北部是著名的风口阿拉山口。艾比湖湿地是我国少见的荒漠—湖泊湿地,特殊的地理位置和生境的脆弱性凸显出该区域植被对防风固沙的重要性,同时也对湖面萎缩、植被退化等变化非常敏感。本区为典型大陆性气候,干燥少雨多风,冬、夏季漫长,春、秋季短暂,年平均气温 5℃。降水量年内分配不均匀,夏多冬少,多年平均降水量为 105.17 mm,蒸发量为 1315 mm。该区典型地带性土壤为灰漠土、灰棕漠土和风沙土,隐域性土壤为盐(盐渍化)土、草甸土和沼泽土。多样化的土壤类型决定了旱生、超旱生、沙生、盐生、湿生和水生等植物群落的形成。艾比湖特殊的湿地—荒漠生态环境分布着数百种动植物,有其独特的生物资源多样性^[34]。

艾比湖植物区系属古北界蒙新区北疆荒漠区准噶尔荒漠小区,主要植物种类有胡杨(*Populus euphratica*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、芦苇(*Phragmites australis*),在平原低地还有柽柳(*Tamarix* spp.)、黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)、甘草(*Glycyrrhiza* spp.)、小蓬毛(*Aeluropus pungens*),湖滨盐沼地有盐穗木(*Halostachys caspica*)、盐节木(*Halocnemum strobilaceum*)、碱蓬(*Suaeda pterantha*)和盐爪爪(*Kalidium foliatum*),山前冲积洪扇有琵琶柴(*Reaumuria soongorica*)等^[34]。

1.2 样方调查和实验分析

根据艾比湖典型群落的分类,沿保护区内阿其克苏河,在东大桥、鸭子湾管护站周边调查植物样方 74 个,其中 10 m×10 m 乔木样方 22 个,5 m×5 m 灌木样方 35 个,1 m×1 m 草本样方 17 个。现场分别鉴定每个样方中的物种类别,并采集标本带回标本室进行重复鉴定,同时记录种数、个体数、胸径、高度、冠幅等植物特征,以及各样地的海拔、经纬度、群落微环境和地貌特征。在调查样方内利用四分法采取 0—15 cm 土壤作为土壤样品,土壤盐分用残渣烘干法测定,土水比为 1:5^[35]。

1.3 数据分析

基于 74 个样方的土壤表层盐分数据,利用聚类分析将样方划分至 3 个盐分梯度,并按新疆盐渍化分级^[36]给出盐渍化程度参考(表 1)。分别计算和分析各盐分梯度下的物种多样性、多样性差异(方差分析)和群落、种间关联性(剔除频率<5%的种后,S1—S3 分别有 20、26、21 个种)。

根据样方多度数据,物种多样性分析选取 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 均匀度指数、Margalef 指数和对数级数参数 Fisher- α 。利用方差比率法(VR)考察群落总体联接性;VR 期望值为 1,若 VR>1,群落表现为正关联,若 VR<1,群落表现为负关联;采用统计量 W(W=VR×N)检验 VR 值的显著程度,若物种间关联性不显著,则 W 以 90% 的概率落入 χ^2 分布界限($\chi^2_{0.95,N} < W < \chi^2_{0.05,N}$)内^[37]。采用 Yates 的连续校正 χ^2 公式和 Spearman 秩相关检验分别计算主要植物种对间的关联性和相关性,其中 χ^2 检验利用 χ^2 与临界值的比较确定显著性水平,选取 Dice 指数表征关联程度(Dice=[0,1],0 表示种间无关联,1 表示关联性最强),选用 AC 值判断关联的正负性($-1 \leq AC \leq 1$,越趋近于两端表示负或正联接越强,AC=0 则种间完全独立)。上述聚类分析和方差分析(Duncan 法多重检验)在 SAS 8.0 中完成,多样性指数和种间关联性分别用 R 语言的 vegan 程序包和 spaa 程序包计算。

(1) 多样性分析

1) 多样性指数

辛普森指数 Simpson

$$D = 1 - \sum P_i^2 \quad (1)$$

香农威纳指数 Shannon-Wiener

$$H' = - \sum P_i \ln P_i \quad (2)$$

费歇尔指数 Fisher- α

$$S = \alpha \ln \left(1 + \frac{N}{\alpha} \right) \quad (3)$$

2) 丰富度指数

马格列夫指数 Margalef

$$Ma = \frac{S - 1}{\ln N} \quad (4)$$

3) 均匀度指数

皮洛指数 Pielou

$$J = \frac{H'}{\ln S} \quad (5)$$

以上各式中,S 为样方中的物种数, P_i 为第 i 个种的多度占总多度的比例,N 为总多度。

(2) 关联性分析

1) 总体关联性

$$VR = S_T^2 / \delta_T^2 \quad (6)$$

其中:

$$\delta_T^2 = \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \left(1 - \frac{n_i}{N} \right) \quad (7)$$

$$S_T^2 = (1/N) \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2 \quad (8)$$

式中, S_T 为所有样方物种数的方差, δ_T 为所有物种出现频度的方差, n_i 为物种 i 出现的样方数,N 为总样方数,S 为总物种数, T_j 为

样方 j 内出现的物种总数, t 为样方中种的平均数。

2) 种对间关联性

$$\chi^2 = \frac{N \left[\left| ad - bc \right| - \frac{1}{2}N \right]^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)} \tag{9}$$

式中, N 为样方总数, a 为物种 A 和 B 同时出现的样方数, b 为物种 A 出现的样方数, c 为物种 A 不出现而物种 B 出现的样方数, d 为物种 A 和 B 均不出现的样方数。

表 1 各土壤盐分梯度的基本统计值
Table 1 Basic statistical vale of each soil salinity gradient

盐分梯度 Salinity gradient	样方数 Number of plot	均值 Mean /%	标准差 Stand deviation	最小值 Min /%	最大值 Max /%	变异系数 Coefficient of variation/%	盐渍化程度 Salinization degree/% ^[36]
S1	37	0.26	0.16	0.03	0.55	61.15	轻度(<0.75)
S2	27	0.87	0.17	0.61	1.24	19.52	中—重度(0.75—1.57)
S3	10	1.59	0.14	1.41	1.79	9.01	盐土(>1.57)

S1、S2 和 S3 分别代表文中低、中、高土壤盐分梯度,表中统计数据均为土壤盐分含量值

2 结果与分析

2.1 不同盐分梯度下的植物组成和生活型分析

样方调查结果表明,研究样地内共出现 42 个种,分属 18 科 39 属,其中植物种较多的有藜科 11 种、禾本科 5 种、菊科 4 种、豆科 3 种、蒺藜科 3 种,其他科属均为 1—2 种;盐分梯度下,从 S1 至 S3 出现的种数分别为 31、34 和 21 种;按植物生活型统计(图 1),发现随着土壤盐分含量增加,草本植物的比例减小,灌木比例有轻微下降,乔木数量未变,但其比例增加。各盐分梯度下的具体生活型比例(物种数量比例,忽略 1 种藤本)分别为:S1 草本、灌木(含小/半灌木)和乔木(含小乔木)分别为 51.6%、38.7%和 9.7%;S2 分别为 61.8%、29.4%和 8.8%;S3 分别为 47.6%、38.1%和 14.3%。

2.2 盐分梯度下植物多样性变化

依据 5 个多样性指数的计算结果可以看出(图 2),在艾比湖地区,植物多样性随土壤盐分含量增加呈一定程度的显著下降趋势。具体来讲,从 S1 到 S2, Pielou 指数极显著降低,其他指数无显著差异(Shannon)或差异不显著(Simpson, Margalef 和 Fisher- α ; $P>0.05$);至 S3 梯度, Pielou 和 Shannon 指数分别呈极显著($P<0.01$)和显著降低($P<0.05$), Simpson 指数近乎显著($P<0.15$, 字母下划线表示)降低, Margalef 和 Fisher- α 指数差异不显著($P>0.15$);上述可说明多样性指数在 S3 梯度下整体显著降低,即土壤盐分含量为 1.41%—1.79%时对荒漠植物多样性的影响较大。

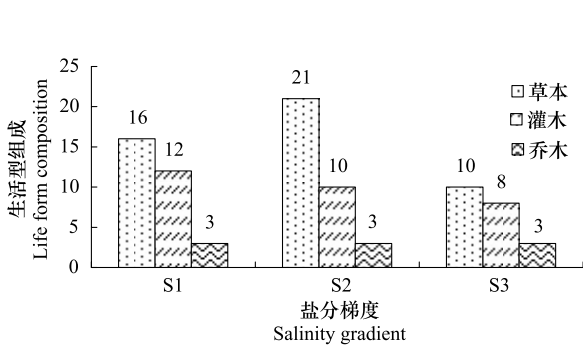


图 1 3 个土壤盐分梯度下的生活型组成

Fig.1 Community diversity of three soil salinity gradients

图中数据为各盐分梯度下对应生活型的物种数

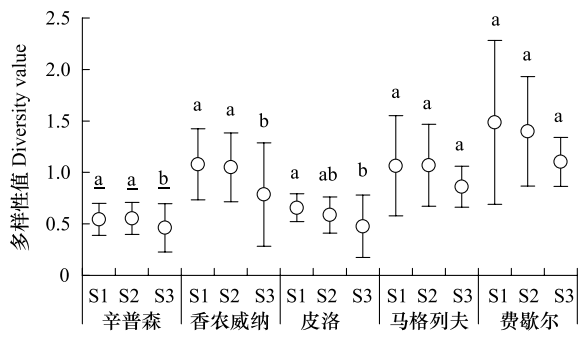


图 2 3 个土壤盐分梯度下的群落多样性

Fig.2 Community diversity of three soil salinity gradients

图中误差线为标准差,不同字母表示差异极显著($P<0.01$)、显著($P<0.05$)或近乎显著($P<0.15$)

2.3 盐分梯度下群落联接性及关联/相关强度

利用方差比率法分析各土壤盐分梯度下的群落总体联接性(表 2),结果表明,随盐分浓度增加,群落总体联接性由显著正关联(S1 和 S2)转变为不显著负关联(S3)。主要种对间关系的 χ^2 和 Spearman 秩检验表明(表 2),随着盐分梯度增加,正相关种对比例下降,负相关种对比例增加, χ^2 检验的独立种对比例亦随着土壤盐分浓度升高而增加;主要种对间联接性的变化趋势与群落总体联接性一致。

另外,在群落和种间联接强度方面可以发现,沿盐分梯度 VR 值($VR>1$ 时其值越高,群落越稳定, $VR<1$ 时反之)在 $S2$ 时最大(表 2),说明土壤盐含量在中度水平时(0.61%—1.24%)群落总体正联接性达到最强、稳定性最高,而过高的土壤盐分浓度则导致植物群落稳定性降低。

χ^2 检验的 Dice 指数和 Spearman 秩相关系数沿盐分梯度的变化显示(表 3),各梯度 Dice <0.6 的种对比比例均达到 90% 以上,说明种间关联强度总体偏弱;沿盐分梯度, Dice 低值(0—0.3)比例降低,高值(0.6—1)比例升高,极显著和显著的 Spearman 秩相关系数(绝对值)升高,说明种间关联强度随土壤盐分增加而增强。

表 2 群落联接性和种间正/负关系比例沿土壤盐分梯度的变化

Table 2 Variations in community associations and proportion of positive/negative interspecies correlation along soil salinity gradient

盐梯度 Salinity gradient	方差比率 Variance ratio	检验统计量 Statistic W	χ^2 临界值 ($\chi^2_{0.95,N}$, $\chi^2_{0.05,N}$)	关联性 Association	χ^2 检验和 Spearman 秩检验 χ^2 test and Spearman rank test				
					极显著/显著/% Most significant/ significant		不显著/% No significant		独立/% Independent
					正关系 Positive	负关系 Negative	正关系 Positive	负关系 Negative	
S1	1.42	52.49	(24.07, 52.19)	显著正	4.21/7.37	0.53/2.63	45.79/41.05	49.47/48.95	0.00
S2	1.89	51.03	(16.15, 40.11)	显著正	2.15/8.00	0.00/0.62	45.85/42.15	50.15/49.23	1.85
S3	0.62	6.20	(3.94, 18.31)	不显著负	0.48/8.10	0.95/0.95	34.76/29.05	58.57/61.90	5.24

“/” 后为 Spearman 秩检验结果

表 3 种间关联强度沿土壤盐分梯度的变化

Table 3 Variation of species pairs correlation intensity along soil salinity

项目 Item	Dice 指数比例/% Proportion of Dice index			Spearman 系数 Spearman coefficient	
	0—0.3	0.3—0.6	0.6—1.0	正关系 Positive	负关系 Negative
S1	70.00	27.37	2.63	0.48	-0.37
S2	67.08	30.46	2.46	0.47	-0.39
S3	65.24	29.05	5.71	0.76	-0.81

2.4 多样性与土壤盐分、正负相关种对比 (PNR) 的相关性

多样性指数与低盐度间均极显著正相关($P<0.01$),当土壤盐分含量为中度时, Margalef 和 Fisher- α 指数与多样性指数间显著负相关($P<0.05$),其他指数与中盐度间负相关,高盐度下二者间关系则呈以正相关为主($P>0.05$)的趋势(表 4);不同盐分梯度上各多样性指数与正负相关种对比 (PNR) 的相关分析显示,二者间有较高的显著正相关关系($P<0.05$) (表 4);多样性与土壤盐分间关系减弱(相关系数绝对值多递减)以及多样性与 PNR 的关系说明,植物种间关系可能间接影响多样性动态,种间负相关(关联)导致群落多样性水平降低。

表 4 多样性指数与土壤盐分和正负相关种对比相关性

Table 4 Correlation of diversity index with soil salinity and with positive and negative correlated species pairs ratio

项目 Items	多样性指数 Diversity index				
	辛普森	香农威纳	皮洛	马格列夫	费歇尔
S1	0.52 ***	0.53 ***	0.60 ***	0.47 **	0.56 ***
S2	-0.34	-0.37	-0.10	-0.40 *	-0.39 *
S3	0.04	0.15	-0.08	0.50	0.41
PNR	0.99 **	0.99 *	0.94	0.83	0.99

*** $P<0.001$ ** $P<0.01$ * $P<0.05$

3 讨论

3.1 盐分梯度下荒漠植物生活型转变与多样性变化

不同生活型体现了植物对环境的适应性差异,因此生活型组成转变能反映植物对环境变化的适应性调整^[38-39],环境条件改变后,能进入局域群落的物种数量改变。对于艾比湖荒漠区高土壤盐分下的局域群落,筛入物种需具有更高耐盐性,植物生活型随着盐分升高的转变表明,高盐分梯度下地区物种库中可供筛入的物种数量减少,如土壤盐分维度上,生态位较宽、耐盐性

较强的怪柳和胡杨等(小)乔木更易生存,而琵琶柴、盐穗木和白刺等(小/半)灌木,以及白麻、猪毛菜和芦苇等草本则因生态位较窄^[40-44],无法进入高盐分的局域群落,即物种数量比例下降,因而影响局域群落多样性过程,导致群落多样性降低。植物生活型组成和多样性随盐分的这种变化在同类地区也得到了近似结论^[13,45-47]。另外,从各多样性指数所反映的生态学意义来看,Shannon-Wiener 和 Simpson 指数对富集种较敏感,Pielou 指数测度群落均匀度^[48],Margalef 和 Fisher- α 指数则对稀疏种较敏感^[49]。高土壤盐分梯度下,研究区荒漠植物 Shannon-Wiener、Simpson 和 Pielou 指数均有不同显著程度的降低,而 Margalef 和 Fisher- α 指数差异不显著,这说明该地区土壤盐分对植物多样性的影响主要通过富集种或常见种产生,如上述几种不同生活型植物(平均频度 32.26%);高盐分梯度下草本比例减少,植物种组成趋于单一,因而均匀度(Pielou 指数)极显著下降;而稀疏种由于数量较有限,在不同土壤盐分梯度的局域群落多样性中贡献较小,因此其测度指数差异不显著。

植物生活型的上述转变体现了植物分布对盐分的宏观响应,艾比湖荒漠植物多样性随盐分增加的变化及其与盐分的关系本质上是植物生长对盐分的响应。植物多样性由低(S1)至中盐(S2)梯度下变化较小(图 1,仅 Pielou 指数极显著降低),但二者间关系从低盐时的极显著正相关转为中盐时的部分显著负相关,说明在艾比湖地区,低盐分梯度下植物生长不受抑制。一般土壤盐分<3 g/kg(即<0.3%)时作物能正常生长^[13],而研究区耐盐性强的藜科、禾本科等植物种分布较多,因此在地盐梯度内(0.03%—0.55%)其生长不受影响。但随着盐分升高至中度盐分(0.61%—1.24%),植物生长开始受限,当土壤盐分继续升高时,大多数植物开始遭受盐分胁迫,生长受限^[13],对此相关研究也有近似观点^[12-13,47]。目前该地区植被分布与土壤含盐量的定量关系仍不明确^[50],精确地定量分析仍需要进一步的实验研究。此外,研究区植物多样性与土壤盐分关系在高盐度下又呈向正相关转变的趋势,这可能预示着其他因素或生态过程(如种间互利)对多样性的正向影响强于盐分对该梯度下植物生长的限制作用。

3.2 盐分梯度下群落和种间联接性与多样性、群落演替方向

群落总体联接性是种间关系的总体格局,能够反映群落的稳定性和演替方向^[39]。总体联接强度(VR)越大,表明种间互利(如肥岛效应、水分再分配等)作用越强,群落越稳定;反之则竞争越强,不利于植物生存^[39,51-52]。艾比湖植物群落的总体联接强度在低、中度盐分下增强,说明低、中盐分下物种的互利作用更明显,群落稳定性提高,有利于维持或提高植物多样性^[53]。高盐分下群落总体联接性的负向转变,以及种间负相关种对比例的增加,对应高盐分下多样性的降低,并且正负相关种对比例与多样性存在显著地高度相关(表 4),说明群落和种间联接性沿盐分梯度的转变可间接影响植物多样性变化,即互利性(正联接)提高群落多样性^[54],竞争(负联接)反之,因为在更严峻的胁迫条件下(如高土壤盐分),局域群内可筛入的物种减少,且高胁迫条件下被筛入物种间竞争加剧,可利用资源受限,施利种对受利种的互利效应变得不足,因此种间正、负关系的净效应从互利向竞争转变,物种趋于独立分布,多样性降低^[55-57]。并且这一观点也在其他研究中有所体现^[26,57-59]。

研究发现,艾比湖植物种间联接或相关(正/负)强度(表 3 Dice 指数比例以及 Spearman 秩相关系数绝对值)均随着土壤盐分提高而增强。一般认为,同一生态种组的植物具有较大正关联性,资源需求和利用能力相近,而不同生态种组的植物多为负关联,生态习性差异大^[34]。艾比湖植物种间关联强度增强表明互利种间的关联更加紧密,而竞争种间排斥增强,说明随着土壤盐分增加,生态种组内部更加聚合,种组间则分化越强,因此上述种间关系对多样性的影响可能以生态种组为作用单位。进一步对研究中呈极显著、显著正相关的植物种对进行统计发现,胡杨、怪柳、大果泡泡刺(*Nitraria roborowskii*)、小叶碱蓬(*Suaeda microphylla*)、梭梭、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、白麻(*Poa cynosuroides*)、绢蒿(*Seriphidium*)、花花柴(*Karelinia caspica*)、琵琶柴、芦苇和盐爪爪是出现最多的 12 种植物,其中后 8 种属于杨晓东等^[34]和王合玲等^[33]有关研究区植物关联性分类中的第 3 种组(类),该类植物多分布于荒漠盐碱地和盐土沙地,相互影响依从性大,对盐沼地表现出趋同适应。胡杨、怪柳、大果泡泡刺和小叶碱蓬均属于小半灌木和乔木,对冠下或周围植物可能通过“护理”效应而产生正关系^[27-28]。因此认为,种间正关系是以具有相同生态习性的生态种组为单位来提高植物多样性。同一生态种组的种,对环境的适应能力,对群落的贡献作用等均具有一致性。鉴于此,在盐渍化土壤的植物修复过程中,依据盐渍化程度的不同,选择同一生态种组的植物进行修复将有助于提高盐渍化治理的科学性和有效性。

艾比湖群落和种间关联格局对土壤盐分梯度的响应还说明,该区荒漠植物群落总体联接性并非始终呈不显著负联结^[33,60],过高的土壤含盐量将引起种间关系格局的转变。相关研究认为,随着群落的进展演替,植物种间的总体相关性呈现由负相关或无关向正相关转变的趋势^[26,39]。由此,我们推测艾比湖植被联接性在高土壤盐度下的转变可能预示植被的退化或群落的逆行演替^[39]。然而,在气候变化和土壤盐渍化日益严重的背景下,植被的逆行演替对于原本脆弱的干旱区荒漠生态系统将十分不利,因此在该地区土壤盐渍化治理和植被资源管理过程中应对此予以重视。

4 结论

综上所述,从艾比湖植物多样性和联接性对土壤盐分梯度的响应研究得出以下结论:

(1) 艾比湖荒漠植物多样性在低土壤盐分梯度下(0.03%—1.24%)不受影响,但当土壤盐分增至 1.41%—1.79%的高水平时,荒漠植物多样性显著降低,且土壤盐分主要通过富集种影响多样性响应动态。

(2) 沿土壤盐分梯度,艾比湖荒漠植物群落总体联接性呈正联接向负联接转变的趋势,种间相关呈正相关种对减少,负相

关种对增加的趋势,说明艾比湖物种间的互益性降低,种间竞争加剧,物种趋于独立。

(3) 种间关系格局沿土壤盐分梯度的变化是植物多样性动态的一个重要驱动机制,并且种间是以生态种组为作用单位影响多样性动态。

References:

- [1] Maestre F T, Quero J L, Gotelli N J, Escudero A, Ochoa V, Baquerizo M D, Gómez M G, Bowker M A, Soliveres S, Escolar C, Palacios P G, Berdugo M, Valencia E, Gozalo B, Gallardo A, Aguilera L, Arredondo T, Blones J, Boeken B, Bran D, Conceição A A, Cabrera O, Chaieb M, Derak M, Eldridge D J, Espinosa C I, Florentino A, Gaitán J, Gatica M G, Ghiloufi W, González S G, Gutiérrez J R, Hernández R M, Huang X W, Sannwald E H, Jankju M, Miriti M, Moneris J, Mau R L, Morici E, Naseri K, Ospina A, Polo V, Prina A, Pucheta E, Collantes D A R, Romão R, Tighe M, Díaz C T, Val J, Veiga J P, Wang D L, Zaady E. Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands. *Science*, 2012, 335(6065): 214-218.
- [2] Jucker T, Coomes D A. Response to comment on "Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands". *Science*, 2012, 337(6091): 155-157.
- [3] Thibaut L M, Sean R C. Understanding diversity-stability relationships: towards a unified model of portfolio effects. *Ecology Letters*, 2013, 16(2): 140-150.
- [4] Ma M, Li B, Chen J K. Convergent adaptation of desert plants to their arid habitats. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11): 3861-3869.
- [5] Yin L K. Diversity and ex-situ conservation of plants in the desert region of temperate zone in China. *Biodiversity Science*, 1997, 5(1): 40-48.
- [6] Chen J, Guo Y L, Lu X L, Ding S Y, Su S, Guo J J, Li Q X. Species diversity of herbaceous communities in the Yiluo River Basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(10): 3021-3030.
- [7] Danin A. Plant species diversity under desert conditions I. annual species diversity in the Dead Sea Valley. *Oecologia*, 1976, 22(3): 251-259.
- [8] Pamela J L, Leonard G P, Wiley M K. Species association changes across a gradient of freshwater, oligohaline, and mesohaline tidal marshes along the lower savannah river. *Wetlands*, 1994, 14(3): 174-183.
- [9] Gong Z N, Zhao W J, Hu D. Plant community characteristics and ecological succession model in Yeyahu Wetland under water and salt gradients. *Progress in Natural Science*, 2009, 19(11): 1272-1280.
- [10] Wang S X, Dong X G, Liu L. Natural vegetation diversity differentiation under water and salt gradients in the oasis of Yanqi Basin, Xinjiang. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2010, 32(5): 999-1006.
- [11] Bui E N. Soil salinity: A neglected factor in plant ecology and biogeography. *Journal of Arid Environments*, 2013, 92: 14-25.
- [12] Gu F X, Zhang Y D, Pan X L, Chu Y, Zhang L J. Correlation between soil salinisation and community diversity: the case of Fukang oasis. *Resources Science*, 2002, 24(3): 42-48.
- [13] Shi R H, Li X, Dong X G, Yang P N, Liu L. Research on the relationship between natural vegetation growth and groundwater in Yanqi Basin. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(12): 2096-2103.
- [14] Yi L P, Wang Z W. Root system characters in growth and distribution among three littoral halophytes. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(5): 1195-1202.
- [15] You J, Wang W R, Lu J, Jia P X, Miao J S, Yang Y L. Effects of salinity on seed germination and seedling growth in halophyte *Limonium aureum* (L.) Hill. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(12): 3825-3833.
- [16] Dong L P, Cao J, Li X T, Dai L L, Su Y B. Dynamic change of salt contents in rhizosphere soil of salt-tolerant plants. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(10): 2813-2821.
- [17] Zhang H, Zheng B H, Song B H, Wang S N, Dai S J. Salt-responsive proteomics in plants. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(22): 6936-6946.
- [18] Wang X Y, Shi J H, Liu M X. Effect of NaCl stress on K⁺, Na⁺ and Cl⁻ allocation in different organs of *Populus euphratica* and *Populus bolleana* Lauche Seedlings. *Journal of Desert Research*, 2013, 33(1): 126-132.
- [19] Zhu J F, Lu Z H, Xia J B, Chen X, Zhang M, Liu J T. Changes of osmotic adjusting substances in leaves of *Tamarix chinensis* seedlings under salt and drought stress. *Acta Botanica Boreali Occidentalia Sinica*, 2013, 33(2): 357-363.
- [20] Zhao Z Y, Wang R H, Yin C H, Wang L. Influence of spatial heterogeneity of soil salinity on plant community structure and composition of plain at south piedmont of Tianshan Mountains. *Arid Land Geography*, 2007, 30(6): 839-845.
- [21] Naz N, Hameed M, Ahmad M S A, Ashraf M, Arshad M. Is soil salinity one of the major determinants of community structure under arid environments? *Community Ecology*, 2010, 11(1): 84-90.
- [22] Naz N, Hameed M, Nawaz T, Ahmad M S A, Ashraf M. Soil-plant relationships in the arid saline desert of Cholistan. *Arid Land Research and Management*, 2013, 27(2): 140-152.
- [23] Li C J, Lü G H, Gong L, Zhang H F, Liu X X. Spatial point pattern and response of clonal plant communities to high drought and salt stress in the Ebinur Lake. *Arid Zone Research*, 2013, 30(1): 122-128.
- [24] Da Cruz C C, Mendoza U N, Queiroz J B, Berrêdo J F, Da Costa Neto S V, Lara R J. Distribution of mangrove vegetation along inundation, phosphorus, and salinity gradients on the Bragança Peninsula in Northern Brazil. *Plant and Soil*, 2013, doi: 10.1007/s11104-013-1619-y.
- [25] Du Q Y, Li Z, Liu S R, Liu H Y. Dynamics of species diversity and characteristics of halophytic plant communities around saline lakes in arid and semi-arid regions of Inner Mongolia. *Biodiversity Science*, 2007, 15(3): 271-281.
- [26] Han D Y, Yang Y X, Yang Y. Changes of plant species diversity and interspecific correlation in a degraded swamp community along drainage gradients on the Zoigê Plateau of China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2012, 36(5): 411-419.
- [27] García-Cervigón A I, Gazol A, Sanz V, Camarero J J, Olano J M. Intraspecific competition replaces interspecific facilitation as abiotic stress

- decreases: The shifting nature of plant-plant interactions. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2013, 15(4): 226-236.
- [28] Samuel B S C, Xavier C, Yves B. The role of facilitation and competition in the development and resilience of aspen forests. *Forest Ecology and Management*, 2013, 299: 91-99.
- [29] Wang J, Zhang C B, Chen T, Li W H. From selection to complementarity: the shift along the abiotic stress gradient in a controlled biodiversity experiment. *Oecologia*, 2013, 171(1): 227-235.
- [30] He Q, Bertness M D, Altieri A H, Vila M. Global shifts towards positive species interactions with increasing environmental stress. *Ecology Letters*, 2013, 16(5): 695-706.
- [31] Gilbert A A, Fraser L H. Effects of salinity and clipping on biomass and competition between a halophyte and a glycophyte. *Plant Ecology*, 2013, 214(3): 433-442.
- [32] Qian Y B, Jiang J, Wu Z N. Soil heterogeneity and its impact on ecological distribution of plant community in the Aibei Lake Area. *Arid Land Geography*, 2003, 26(3): 217-222.
- [33] Wang H L, Lü G H, Yang X D. Interspecific associations of main plants in Ebinur Lake wetland of Xinjiang, Northwest, China. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(12): 2713-2718.
- [34] Yang X D, Lü G H, Tian Y H, Yang J, Zhang X M. Ecological groups of plants in Ebinur Lake Wetland Nature Reserve of Xinjiang. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(12): 2489-2494.
- [35] Nanjing Agricultural University. *Soil Agricultural Chemistry Analysis*. Beijing: Agricultural Press, 1996: 126-128.
- [36] Zhang W Z. Flushing improvement and drainage of salinized soil (2. 3 section). (2004-10-16) [2013-7-1]. <http://www.watertech.cn/Expert/ZWZ%20Yantu%20chuxi%20Mulu.htm>.
- [37] Wang N J, Zhang W H, Lü Y C, Fan S H, Wang Y. Interspecific association among the plants communities in the forest at Ziuling Area in Shanxi Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(1): 67-78.
- [38] Yan Z C. Ecotype and life-form. *Bulletin of Biology*, 2001, 36(5): 4-5.
- [39] Fang F, Hu Y K, Zhang W, Gong Y M, Liu Y Y, Yang X J. Numerical analysis of inter-specific relationships in alpine steppe community in Bayanbulak. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(6): 1898-1907.
- [40] Fu D P. The Study on Species Diversity and Dominant Populations Niche of Different Communities in Ebinur Lake Wetland [D]. Urumqi: Xinjiang University, 2008.
- [41] Wu Z F, Zhao S L, Zhang X L. Studies on interrelation between salt vegetation and soil salinity in the yellow river delta. *Acta Phytocologica Sinica*, 1994, 18(2): 184-193.
- [42] He Q, Cui B S, Zhao X S, Fu H L. Niches of plant species in wetlands of the Yellow River Delta under gradients of water table depth and soil salinity. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(5): 969-975.
- [43] Wang X M, Chai Z P, Tashpolat T. Study on vegetation community characteristics and species diversity of halophytic vegetation in typical oasis of northwest arid area. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2011, 24(1): 258-262.
- [44] Qi Y L, Zhu Y J, Jia Z Q, Shi J H. Salt tolerance comparison of two typical plants in desert riparian forest. *Forest Research*, 2011, 24(3): 327-333.
- [45] Xi J B, Zhang F S, Mao D R, Tian C Y, Dong Z C, Wang K. Species diversity and distribution of halophytic vegetation in Xinjiang. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(10): 6-12.
- [46] Qian Y B, Wu Z N, Zhang L Y, Zhao R F, Wang X Y, Li Y M. Vegetation-environment relationships in Gurbantunggut Desert. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 2802-2811.
- [47] Shi R H, Li X, Yin Y B, Dong X G. The relationship between plant diversity and groundwater in the Kongquehe River Basin. *Resources Science*, 2009, 31(9): 1553-1560.
- [48] Ma K P. Measure methods of biological community diversity I—Measure method of α diversity (volume1). *Biodiversity Science*, 1994, 2(3): 162-168.
- [49] Ma K P, Liu Y M. Measure methods of biological community diversity I—Measure method of α diversity (volume2). *Biodiversity Science*, 1994, 2(4): 231-239.
- [50] Zhang L. Effects of soil salinity on lakeshore vegetation distribution pattern in Ebinur region. *Arid Zone Research*, 1990, 7(4): 52-55.
- [51] Qi K, Zhang C Y, Hou J H, Zhao X H. Dynamics of species diversity and interspecific associations of herbaceous plants in a *Pinus Tabulaeformis* forest on a sandy site in Chifeng, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(18): 5106-5112.
- [52] Yang X D, Lü G H, Zhang X M, Sun L J, He S L. Analysis on spatial distribution pattern of eight arbor-shrub populations in Ebinur Lake Wetland Nature Reserve. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2010, 19(4): 37-42.
- [53] Zhang J Y, Zhao H L. Review on the study of vegetation stability. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(4): 42-48.
- [54] Xiao S, Zhao L, Zhang J L, Wang X T, Chen S Y. The integration of facilitation into the neutral theory of community assembly. *Ecological Modelling*, 2013, 251: 127-134.
- [55] Tielbörger K, Kadmon R. Temporal environmental variation tips the balance between facilitation and interference in desert plants. *Ecology*, 2000, 81(6): 1544-1553.
- [56] Fernando T M, Cortina J. Do positive interactions increase with abiotic stress? A test from a semi-arid steppe. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2004, 271(S5): S331-S333.
- [57] Cavieres L A, Badano E I. Do facilitative interactions increase species richness at the entire community level?. *Journal of Ecology*, 2009, 97(6): 1181-1191.
- [58] Alfonso V B, Miguel V. Facilitation can increase the phylogenetic diversity of plant communities. *Ecology Letters*, 2007, 10(11): 1029-1036.

- [59] van Zonneveld M J, Gutiérrez J R, Holmgren M. Shrub facilitation increases plant diversity along an arid scrubland-temperate rain forest boundary in South America. *Journal of Vegetation Science*, 2012, 23(3): 541-551.
- [60] Yang X D, Fu D P, Yuan Y, Yang J, Lü G H. Analysis on interspecific relationship of the dominant plant species in the Ebinur Lake Wetland Nature Reserve, Xinjiang. *Arid Zone Research*, 2010, 27(2): 249-256.

参考文献:

- [4] 马森, 李博, 陈家宽. 植物对荒漠生境的趋同适应. *生态学报*, 2006, 26(11): 3861-3869.
- [5] 尹林克. 中国温带荒漠区的植物多样性及其易地保护. *生物多样性*, 1997, 5(1): 40-48.
- [6] 陈杰, 郭屹立, 卢训令, 丁圣彦, 苏思, 郭静静, 李乾玺. 伊洛河流域草本植物群落物种多样性. *生态学报*, 2012, 32(10): 3021-3030.
- [9] 宫兆宁, 赵文吉, 胡东. 水盐环境梯度下野鸭湖湿地植物群落特征及其生态演替模式. *自然科学进展*, 2009, 19(11): 1272-1280.
- [10] 王水献, 董新光, 刘磊. 新疆焉耆盆地绿洲水盐双梯度下天然植被多样性分异特征. *冰川冻土*, 2010, 32(5): 999-1006.
- [12] 顾峰雪, 张远东, 潘晓玲, 初雨, 张林静. 阜康绿洲土壤盐渍化与植物群落多样性的相关性分析. *资源科学*, 2002, 24(3): 42-48.
- [13] 石瑞花, 李霞, 董新光, 杨鹏年, 刘磊. 焉耆盆地天然植被与地下水关系研究. *自然资源学报*, 2009, 24(12): 2096-2103.
- [14] 弋良朋, 王祖伟. 盐胁迫下3种滨海盐生植物的根系生长和分布. *生态学报*, 2011, 31(5): 1195-1202.
- [15] 尤佳, 王文瑞, 卢金, 贾鹏翔, 缪建顺, 杨颖丽. 盐胁迫对盐生植物黄花补血草种子萌发和幼苗生长的影响. *生态学报*, 2012, 32(12): 3825-3833.
- [16] 董利苹, 曹靖, 李先婷, 代立兰, 苏怡兵. 不同耐盐植物根际土壤盐分的动态变化. *生态学报*, 2011, 31(10): 2813-2821.
- [17] 张恒, 郑宝江, 宋保华, 王思宁, 戴绍军. 植物盐胁迫应答蛋白质组学分析. *生态学报*, 2011, 31(22): 6936-6946.
- [18] 王新英, 史军辉, 刘茂秀. NaCl 胁迫对胡杨和新疆杨幼苗体内 K⁺、Na⁺和 Cl⁻分布的影响. *中国沙漠*, 2013, 33(1): 126-132.
- [19] 朱金方, 陆兆华, 夏江宝, 陈曦, 张萌, 刘京涛. 盐旱交叉胁迫对柽柳幼苗渗透调节物质含量的影响. *西北植物学报*, 2013, 33(2): 357-363.
- [20] 赵振勇, 王让会, 尹传华, 王雷. 天山南麓山前平原土壤盐分空间异质性对植物群落组成及结构的影响. *干旱区地理*, 2007, 30(6): 839-845.
- [23] 李尝君, 吕光辉, 贡璐, 张海峰, 刘晓星. 艾比湖湿地自然保护区克隆植物群落空间格局及其对水盐胁迫的响应. *干旱区研究*, 2013, 30(1): 122-128.
- [25] 杜泉滢, 李智, 刘书润, 刘鸿雁. 干旱、半干旱区湖泊周围盐生植物群落的多样性格局及特点. *生物多样性*, 2007, 15(3): 271-281.
- [26] 韩大勇, 杨永兴, 杨杨. 若尔盖高原退化沼泽群落植物多样性及种间相关性沿排水梯度的变化. *植物生态学报*, 2012, 36(5): 411-419.
- [32] 钱亦兵, 蒋进, 吴兆宁. 艾比湖地区土壤异质性及其对植物群落生态分布的影响. *干旱区地理*, 2003, 26(3): 217-222.
- [33] 王合玲, 吕光辉, 杨晓东. 新疆艾比湖湿地主要植物的种间关联分析. *生态学杂志*, 2011, 30(12): 2713-2718.
- [34] 杨晓东, 吕光辉, 田幼华, 杨军, 张雪梅. 新疆艾比湖湿地自然保护区植物的生态分组. *生态学杂志*, 2009, 28(12): 2489-2494.
- [35] 南京农业大学主编. 土壤农化分析. 北京: 农业出版社, 1996: 126-128.
- [36] 张蔚榛. 盐渍化土壤的冲洗改良与排水(2.3 节). (2004-10-16) [2013-7-1]. <http://www.watertech.cn/Expert/ZWZ%20Yantu%20chuxi%20Mulu.htm>.
- [37] 王乃江, 张文辉, 陆元昌, 范少辉, 王勇. 陕西子午岭森林植物群落种间联结性. *生态学报*, 2010, 30(1): 67-78.
- [38] 颜忠诚. 生态型与生活型. *生物学通报*, 2001, 36(5): 4-5.
- [39] 房飞, 胡玉昆, 张伟, 公延明, 柳妍妍, 杨秀娟. 高寒草原植物群落种间关系的数量分析. *生态学报*, 2012, 32(6): 1898-1907.
- [40] 傅德平. 艾比湖湿地典型植物群落物种多样性及其优势种群生态位研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2008.
- [41] 吴志芬, 赵善伦, 张学雷. 黄河三角洲盐生植被与土壤盐分的相关性研究. *植物生态学报*, 1994, 18(2): 184-193.
- [42] 贺强, 崔保山, 赵欣胜, 付华龄. 水、盐梯度下黄河三角洲湿地植物种的生态位. *应用生态学报*, 2008, 19(5): 969-975.
- [43] 王雪梅, 柴仲平, 塔西甫拉提·特依拜. 西北干旱区典型绿洲盐生植被群落特征及多样性研究. *西南农业学报*, 2011, 24(1): 258-262.
- [44] 綦艳林, 朱雅娟, 贾志清, 史军辉. 荒漠河岸林2种典型植物的耐盐性比较. *林业科学研究*, 2011, 24(3): 327-333.
- [45] 郝金标, 张福锁, 毛达如, 田长彦, 董振成, 王开芳. 新疆盐生植物群落物种多样性及其分布规律的初步研究. *林业科学*, 2006, 42(10): 6-12.
- [46] 钱亦兵, 吴兆宁, 张立运, 赵锐锋, 王小燕, 李有民. 古尔班通古特沙漠植被与环境的关系. *生态学报*, 2007, 27(7): 2802-2811.
- [47] 石瑞花, 李霞, 尹业彪, 董新光. 孔雀河流域天然植物多样性与地下水关系. *资源科学*, 2009, 31(9): 1553-1560.
- [48] 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.
- [49] 马克平, 刘玉明. 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.
- [50] 张莉. 艾比湖地区土壤盐分对湖岸植被分布格局的影响. *干旱区研究*, 1990, 7(4): 52-55.
- [51] 奇凯, 张春雨, 侯继华, 赵秀海. 赤峰市沙地油松林草本植物多样性及种间关联动态. *生态学报*, 2010, 30(18): 5106-5112.
- [52] 杨晓东, 吕光辉, 张雪梅, 孙丽君, 何书林. 艾比湖湿地自然保护区8个乔灌木种群空间分布格局分析. *植物资源与环境学报*, 2010, 19(4): 37-42.
- [53] 张继义, 赵哈林. 植被(植物群落)稳定性研究评述. *生态学杂志*, 2003, 22(4): 42-48.
- [60] 杨晓东, 傅德平, 袁月, 杨军, 吕光辉. 新疆艾比湖湿地自然保护区主要植物的种间关系. *干旱区研究*, 2010, 27(2): 249-256.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.18 Sep. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Development of agroecology in USA	HUANG Guoqin, McCullough Patrick E. (5449)
Research progress on water footprint	MA Jing, PENG Jian (5458)
Analysis and evaluation of the eco-economic systems of the main crops (rice, cotton and rapeseed) in Jiangxi Province, China	SUN Weimin, OU Yizhi, HUANG Guoqin (5467)
Relationship among drought, hydraulic metabolic, carbon starvation and vegetation mortality	DONG Lei, LI Jiyue (5477)
Reviews on the ecological stoichiometry characteristics and its applications	ZENG Dongping, JIANG Liling, ZENG Congsheng, et al (5484)
Composition and fractal features of purple soil aggregates during the vegetation restoration processes in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Yihao, GENG Yanghui, HUANG Zhonghua (5493)
Impacts of different surface covers on soil respiration in urban areas	FU Zhihong, HUYAN Jiaoqi, LI Feng, et al (5500)
Chilling sensitivities of three closely related plants with different invasiveness in South China	WANG Yutao, LI Chunmei, LI Shaoshan (5509)
The flower syndrome and pollination adaptation of desert rare species <i>Eremosparton songoricum</i> (litv.) Vass.(Fabaceae)	SHI Xiang, LIU Huiliang, ZHANG Daoyuan, et al (5516)
Competitive effect of <i>Pistia stratiotes</i> to rice and its impacts on rice yield and soil nutrients	SHEN Shicai, XU Gaofeng, ZHANG Fudou, et al (5523)
Photosynthetic physiological ecology characteristics of rare medicinal plants <i>Bletilla striata</i>	WU Mingkai, LIU Hai, SHEN Zhijun, et al (5531)
Photosynthetic responses to Solar UV radiation of <i>Gracilaria lemaneiformis</i> cultured under different temperatures and CO ₂ concentrations	YANG Yuling, LI Wei, CHEN Weizhou, et al (5538)
The effect of soil oxygen availability on greenhouse gases emission in a double rice field	QIN Xiaobo, LI Yu'e, WAN Yunfan, et al (5546)
Effects of nitrogen management on NH ₃ volatilization and nitrogen use efficiency under no-tillage paddy fields	MA Yuhua, LIU Bing, ZHANG Zhisheng, et al (5556)
Study on characteristics of net photosynthetic rate of two kinds of tree shape and Impact Factors in Korla fragrant pear	SUN Guili, XU Min, LI Jiang, et al (5565)
Effects of sand burial on growth, survival, photosynthetic and transpiration properties of <i>Agriophyllum squarrosum</i> seedlings	ZHAO Halin, QU Hao, ZHOU Ruilian, et al (5574)
Effects of using plastic film as mulch combined with bunch planting on soil temperature, moisture and yield of spring wheat in a semi-arid area in drylands of Gansu, China	WANG Hongli, SONG Shangyou, ZHANG Xucheng, et al (5580)
Study on soil aggregates stability of mulberry ridge in Rocky Desertification based on Le Bissonnais method	WANG Sanshu, HUANG Xianzhi, SHI Dongmei, et al (5589)
Effects of fertilization on nitrogen loss with different forms via runoff and seepage under <i>Phyllostachy praecox</i> stands	CHEN Peipei, WU Jiasen, ZHENG Xiaolong, et al (5599)
Characteristics of physiological groups of soil nitrogen-transforming microbes in different vegetation types in the Loess Gully region, China	XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (5608)
Effects of vegetation types on soil microbial biomass C, N, P on the Loess Hilly Area	ZHAO Tong, YAN Hao, JIANG Yueli, et al (5615)
Influence of mulching management on soil microbe and its relationship with soil nutrient in <i>Phyllostachys praecox</i> stand	GUO Ziwu, YU Wenxian, CHEN Shuanglin, et al (5623)
Effect of rainfall on the seasonal variation of soil respiration in Hulunber Meadow Steppe	WANG Xu, YAN Yuchun, YAN Ruirui, et al (5631)
Spatial heterogeneity of fine roots in a subtropical evergreen broad-leaved forest and their sampling strategy based on soil coring method	HUANG Chaochao, HUANG Jinxue, XIONG Decheng, et al (5636)
Changes of leaf traits and WUE with crown height of four tall tree species	HE Chunxia, LI Jiyue, MENG Ping, et al (5644)
Sap flow dynamics of <i>Populus alba</i> L.× <i>P.talassica</i> plantation in arid desert area	ZHANG Jun, LI Xiaofei, LI Jiangui, et al (5655)
Effects of simulated temperature increase and vary little quality on litter decomposition	LIU Ruipeng, MAO Zijun, LI Xinghuan, et al (5661)
The effects of leaf stoichiometric characters on litter turnover in an arid-hot valley of Jinsha River, China	YAN Bangguo, JI Zhonghua, HE Guangxiong, et al (5668)
Comparison of concentrations of non-structural carbohydrates between new twigs and old branches for 12 temperate species	ZHANG Haiyan, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (5675)
Combined effects of root cutting, auxin application, and potassium fertilizer on growth, sugar:nicotine ratio, and organic potassium index of flue-cured tobacco	WU Yanhui, XUE Lixin, XU Zicheng, et al (5686)
Effects of photoperiod and high fat diet on energy intake and thermogenesis in female <i>Apodemus chevrieri</i>	GAO Wenrong, ZHU Wanlong, MENG Lihua, et al (5696)
Effects of dietary chlorogenic acid supplementation on antioxidant system and anti-low salinity of <i>Litopenaeus vannamei</i>	WANG Yun, LI Zheng, LI Jian, et al (5704)

- Responses of desert plant diversity, community and interspecific association to soil salinity gradient ZHANG Xueni, LÜ Guanghui, YANG Xiaodong, et al (5714)
- Community characteristics in a chronosequence of karst vegetation in Mashan county, Guangxi WEN Yuanguang, LEI Liquan, ZHU Hongguang, et al (5723)
- Association between environment and community of *Pinus taiwanensis* in Daiyun Mountain LIU Jinfu, ZHU Dehuang, LAN Siren, et al (5731)
- The dynamics of soil fauna community during litter decomposition at different phenological stages in the subtropical evergreen broad-leaved forests in Sichuan basin WANG Wenjun, YANG Wanqin, TAN Bo, et al (5737)
- Seasonal dynamics and content of soil labile organic carbon of mid-subtropical evergreen broadleaved forest during natural succession FAN Yuexin, YANG Yusheng, YANG Zhijie, et al (5751)
- The stoichiometric characteristics of C, N, P for artificial plants and soil in the hinterland of Taklimakan Desert LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (5760)
- A preliminary investigation on the population and behavior of the Tundra Swan (*Cygnus columbianus*) in Poyang Lake DAI Nianhua, SHAO Mingqin, JIANG Lihong, et al (5768)
- Effects of nutrient enrichment and fish stocking on succession and diversity of phytoplankton community CHEN Chun, LI Sijia, XIAO Lijuan, HAN Boping (5777)
- The depositional environment and organic sediment component of Dagze Co, a saline lake in Tibet, China LIU Shasha, JIA Qinxian, LIU Xifang, et al (5785)
- Spatiotemporal variation of interacting relationships among multiple provisioning and regulating services of Tibet grassland ecosystem PAN Ying, XU Zengrang, YU Chengqun, et al (5794)
- Spatial distribution of dissolved amino acids in Lake Taihu, China YAO Xin, ZHU Guangwei, GAO Guang, et al (5802)
- RS- and GIS-based study on ecological function regionalization in the Chaohu Lake Basin, Anhui Province, China WANG Chuanhui, WU Li, WANG Xinyuan, et al (5808)
- Trends of spring maize phenophases and spatio-temporal responses to temperature in three provinces of Northeast China during the past 20 years LI Zhengguo, YANG Peng, TANG Huaqun, et al (5818)
- Species selection for landscape rehabilitation and their response to environmental factors in Poyang Lake wetlands XIE Dongming, JIN Guohua, ZHOU Yangming, et al (5828)
- Temporal and spatial pattern of the phytoplankton biomass in the Pearl River Delta WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (5835)
- Spatio-temporal dynamics of land use/land cover and its driving forces in Nanjing from 1995 to 2008 JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa (5848)
- Changes of organic carbon and its labile fractions in topsoil with altitude in subalpine-alpine area of southwestern China QIN Jihong, WANG Qin, SUN Hui (5858)
- The carbon sink of urban forests and efficacy on offsetting energy carbon emissions from city in Guangzhou ZHOU Jian, XIAO Rongbo, ZHUANG Changwei, et al (5865)
- Groundwater salt content change and its simulation based on machine learning model in hinterlands of Taklimakan Desert FAN Jinglong, LIU Hailong, LEI Jiaqiang, et al (5874)
- Analysis of coordination degree between urban development and water resources potentials in arid oasis city XIA Fuqiang, TANG Hong, YANG Degang, et al (5883)
- Constructing an assessment indices system to analyze integrated regional carrying capacity in the coastal zones: a case in Nantong WEI Chao, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (5893)
- Fish species diversity in Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA) LIANG Jun, XU Hanxiang, WANG Weiding (5905)
- Distribution and long-term changes of net-phytoplankton in the tidal freshwater estuary of Changjiang during wet season JIANG Zhibing, LIU Jingjing, LI Hongliang, et al (5917)
- Study of urban metabolic structure based on ecological network: a case study of Dalian LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin, et al (5926)
- Factors influencing of residents' tolerance towards wild boar in and near nature reserve: Taking the Heilongjiang Fenghuangshan Nature Reserve as the example XU Fei, CAI Tiju, JU Cunyong, et al (5935)
- Herdsmen's willingness to participate in ecological protection in Sanjiangyuan Region, China LI Huimei, ZHANG Anlu, WANG Shan, et al (5943)
- Analysis of first flush in rainfall runoff in Shenyang urban city LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (5952)

《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 18 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 18 (September, 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