

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第34卷 第10期 Vol.34 No.10 **2014**

中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 10 期      2014 年 5 月 (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 景观可持续性与景观可持续性科学..... 赵文武,房学宁 (2453)
- 生态系统服务付费的诊断框架及案例剖析 ..... 朱文博,王 阳,李双成 (2460)
- 湿地植物根表铁膜研究进展..... 刘春英,陈春丽,弓晓峰,等 (2470)
- 水生生态环境中捕食信息素的生态学效应..... 覃光球,卢豪良,唐振柱,等 (2481)
- 脊椎动物传播植物肉质果中的次生物质及其生态作用 ..... 潘 扬,罗 芳,鲁长虎 (2490)

### 个体与基础生态

- 中亚热带天然林土壤 CH<sub>4</sub>吸收速率对模拟 N 沉降的响应 ..... 陈朝琪,杨智杰,刘小飞,等 (2498)
- 塔里木盆地南缘早生芦苇生态特征与水盐因子关系..... 贡 璐,朱美玲,塔西甫拉提·特依拜,等 (2509)
- 黄刺玫叶片光合生理参数的土壤水分阈值响应及其生产力分级..... 张淑勇,夏江宝,张光灿,等 (2519)
- 亚热带杉木和米老排人工林土壤呼吸对凋落物去除和交换的响应..... 余再鹏,万晓华,胡振宏,等 (2529)
- 施钾提高蚜害诱导的小麦茉莉酸含量和叶片相关防御酶活性..... 王 伟,张月玲,苏建伟,等 (2539)
- 高浓度 O<sub>3</sub>及太阳辐射减弱对冬小麦 PS II 光合活性及光能耗散的影响 .....  
..... 孙 健,郑有飞,吴荣军,等 (2548)
- 蜡样芽孢杆菌 B3-7 在大田小麦根部的定殖动态及其对小麦纹枯病的防治效果 .....  
..... 黄秋斌,张 颖,刘凤英,等 (2559)
- 有限供水下冬小麦全程耗水特征定量研究..... 张兴娟,薛绪掌,郭文忠,等 (2567)
- 抗真菌转基因水稻生态适合度评价..... 李 伟,郭建夫,袁红旭,等 (2581)
- 花生叶片蛋白组对 UV-B 辐射增强的响应 ..... 杜照奎,李钧敏,钟章成,等 (2589)
- 南海南部悬浮颗粒物脂肪酸组成..... 刘华雪,柯常亮,李纯厚,等 (2599)
- 年龄、集群、生境及天气对鄱阳湖白鹤越冬期日间行为模式的影响..... 袁芳凯,李言阔,李凤山,等 (2608)
- [树]麻雀羽再生的能量预算和水代谢散热调节 ..... 杨志宏,吴庆明,杨 渺,等 (2617)
- 低剂量杀虫剂对星豹蛛捕食效应的影响及其机理 ..... 李 锐,李 娜,刘 佳,等 (2629)
- 空心莲子草叶甲对越冬保护的响应与控害效能..... 刘雨芳,王秀秀,李 菲,等 (2638)
- ### 种群、群落和生态系统
- 气候变化对鄱阳湖白鹤越冬种群数量变化的影响..... 李言阔,钱法文,单继红,等 (2645)
- 不同退耕年限下菜子湖湿地土壤磷素组分特征变化..... 刘文静,张平究,董国政,等 (2654)

- 查干湖湿地浮游植物与环境因子关系的多元分析 ..... 李然然,章光新,张 蕾 (2663)
- 闽江河口区淡水和半咸水潮汐沼泽湿地土壤产甲烷菌多样性 ..... 曾志华,杨民和,余晨兴,等 (2674)
- 环境及遗传背景对延河流域植物叶片和细根功能性状变异的影响 ..... 郑 颖,温仲明,宋 光,等 (2682)
- 衡阳紫色土丘陵坡地植被恢复阶段土壤特性的演变 ..... 杨 宁,邹冬生,杨满元,等 (2693)
- 海平面上升影响下广西钦州湾红树林脆弱性评价 ..... 李莎莎,孟宪伟,葛振鸣,等 (2702)
- 中国南方3种主要人工林生物量和生产力的动态变化 ..... 杜 虎,曾馥平,王克林,等 (2712)
- 杉木人工林土壤真菌遗传多样性 ..... 何苑曦,周国英,王圣洁,等 (2725)
- 科尔沁固定沙地植被特征对降雨变化的响应 ..... 张腊梅,刘新平,赵学勇,等 (2737)
- 黄土丘陵区退耕还林地刺槐人工林碳储量及分配规律 ..... 申家朋,张文辉 (2746)

### 景观、区域和全球生态

- 南亚热带森林演替过程中小气候的改变及对气候变化的响应 ..... 刘效东,周国逸,陈修治,等 (2755)
- 黄淮海平原典型站点冬小麦生育阶段的干旱特征及气候趋势的影响 ..... 徐建文,居 辉,刘 勤,等 (2765)

### 资源与产业生态

- 基于 GIS 的山西省矿产资源规划环境影响评价 ..... 刘 伟,杜培军,李永峰 (2775)
- 基于效益分摊的水电水足迹计算方法——以密云水库为例 ..... 赵丹丹,刘俊国,赵 旭 (2787)

### 学术信息与动态

- 全球土地计划第二次开放科学大会 (GLP 2<sup>nd</sup> Open Science Meeting) 会议述评 ..... 段宝玲,卜玉山 (2796)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 348 \* zh \* P \* ¥ 90.00 \* 1510 \* 36 \* 2014-05



**封面图说:** 鄱阳湖越冬的白鹤群——白鹤为国家一级保护动物,世界上白鹤东部种群的迁徙路线是从俄罗斯西伯利亚的雅库特,向南迁飞 5100km 到中国长江下游的鄱阳湖越冬,其中途经俄罗斯的雅纳河、印迪吉尔卡河和科雷马河流域,进入中国后主要停歇地有扎龙、林甸、莫莫格以及双台河口、滦河口、黄河三角洲和升金湖等地。多年的监测表明,世界 90% 以上的白鹤种群都在鄱阳湖越冬。越冬初期和末期是白鹤补充能量的关键阶段,因此,研究鄱阳湖国家级自然保护区越冬白鹤种群数量和当地气候变化的相关性具有重要意义。

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/stxb201307191919

贡璐, 朱美玲, 塔西甫拉提·特依拜, 张雪妮, 韩丽, 解丽娜. 塔里木盆地南缘旱生芦苇生态特征与水盐因子关系. 生态学报, 2014, 34(10): 2509-2518.

Gong L, Zhu M L, Tashpolat · Tiyip, Zhang X N, Han L, Xie L N. Ecological characteristics of *Phragmites australis* and their relationship to water-salt indicators in dry habitats of the southern marginal zones of the Tarim Basin, China. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(10): 2509-2518.

## 塔里木盆地南缘旱生芦苇生态特征与水盐因子关系

贡璐<sup>1,2,\*</sup>, 朱美玲<sup>1,2</sup>, 塔西甫拉提·特依拜<sup>1,2</sup>, 张雪妮<sup>1,2</sup>, 韩丽<sup>1,2</sup>, 解丽娜<sup>1,2</sup>

(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)

**摘要:** 选择位于塔里木盆地南缘极端干旱区的克里雅河流域于田绿洲为靶区, 结合经典统计学和冗余分析技术, 研究了旱生芦苇生态特征与水盐因子的分布规律及相互关系。统计学分析显示: 芦苇沿河岸至荒漠方向株高、盖度和地上生物量减少、地下生物量增加, 水分与土壤盐分也呈现一定的梯度变化规律。冗余分析结果表明: 水分为芦苇生态特征变化的关键驱动因子, 地下水埋深和土壤水分与芦苇的生态特征呈现极显著的相关关系, 钠吸附比、全盐与芦苇的生态特征呈现显著的相关关系, 其他指标与芦苇生态特征的相关性均不显著。水盐因子对芦苇生态特征影响的重要性排序为地下水埋深 > 土壤水分 > 钠吸附比 > 全盐 >  $\text{HCO}_3^-$  > pH 值 >  $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ 。综合水盐要素, 水分对芦苇生态特征的影响大于盐分。

**关键词:** 芦苇; 冗余分析; 塔里木盆地南缘; 水盐因子; 极端干旱区

## Ecological characteristics of *Phragmites australis* and their relationship to water-salt indicators in dry habitats of the southern marginal zones of the Tarim Basin, China

GONG Lu<sup>1,2,\*</sup>, ZHU Meiling<sup>1,2</sup>, TASHPOLAT · Tiyip<sup>1,2</sup>, ZHANG Xueni<sup>1,2</sup>, HAN Li<sup>1,2</sup>, XIE Lina<sup>1,2</sup>

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

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

**Abstract:** In recent years, ecologists have experienced an increased awareness of the importance of plant-environment interactions. Studies have demonstrated that spatial ecosystem heterogeneity and availability of resources influence plant growth. Understanding the ecological response characteristics of plants and environmental laws influencing arid land vegetation in different water-salt environments should be quite valuable to scientists. To better understand the ecological characteristics of plants and factors that potentially control them such as water availability and salinity in arid regions, we conducted a study in *Phragmites australis* in dry habitats of the Yutian Oasis along the Keriya River, in the southern marginal zones of the Tarim Basin, Xinjiang, China. Using previously collected observational data related to water-salt distribution laws and the natural water-salt gradient caused by distance from the river, four sample regions were established parallel to the river from east to west, extending from the river to the desert. We analyzed the patterns and correlations of ecological characteristics of *Phragmites australis* and water-salt indicators in the field, using traditional statistics and redundancy analysis (RDA) in combination with CANOCO software (version 4.5). The statistical analysis revealed that plant ground cover was as low as less than 10%; the belowground biomass was greater than aboveground because of the way desert vegetation adapted to the arid environment. The sampled region was severely dry and salinated; soil moisture content

基金项目: 国家自然科学基金-新疆联合基金重点资助项目 (U1138303)

收稿日期: 2013-07-19; 网络出版日期: 2014-02-20

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gonglu721@163.com

was low, with a mean value of 7.22%. The average depth to ground water was 4.23m and soil salt content reached as high as 18.24g/kg. *Phragmites australis* has a high tolerance to aridity and salt stress; the average plant height, coverage and aboveground biomass decreased gradually while the belowground biomass increased as distance from the river to the desert increased; there were also concurrent and expected gradient changes in water-salt indicators. Redundancy analysis showed that water was the key environmental factor influencing the growth of *Phragmites australis*. A significant correlation was found between ground water depth/soil moisture and the ecological characteristics of *Phragmites australis* including plant height, coverage, biomass; the sodium adsorption ratio (SAR)/total salt correlation with ecological characteristics was less significant while other indicators had no significant correlation with the plant's ecological characteristics. The importance of water-salt indicators to ecological characteristics of *Phragmites australis* could be arranged as ground water depth > soil moisture > SAR > total salt >  $\text{HCO}_3^-$  > pH >  $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ . The results suggest that water has greater impact on *Phragmites australis* than salt, because water limits the plant's survival, growth and reproduction. When a plant is affected by an arid continental climate for long periods, the plant is usually influenced by both water and salt. Any study of *Phragmites australis* analyzing the effects of different water or soil salinity conditions independently would be fatally flawed; but must be considered together. Our study shows that redundancy analysis of ordination methods can be beneficially used in research into the relationship between plants and environmental factors; when combined with traditional statistics, the two methods can provide comprehensive information. The redundancy analysis can effectively reveal relationships between ecological characteristics of plants and water-salt indicators. The characteristics of *Phragmites australis* deserve more research, especially research related to the microscopic physiological effects of water-salt interaction.

**Key Words:** *Phragmites australis*; redundancy analysis; southern Tarim Basin; water-salt indicators; extremely arid areas

干旱地区降水稀少,蒸发强烈,水文、土壤等环境要素的变化作为影响植被生态特征的主要因素,在一定程度上制约着生物过程的方向<sup>[1]</sup>。作为干旱区重要的限制因子,水盐具有强烈的时空变异性,与植被生态特征差异密切相关。揭示植被生态特征与水盐要素的关系,掌握干旱区荒漠植被对不同水盐环境的生态响应特征和规律,可为荒漠植被的有效恢复与重建提供科学依据,具有重要的科学参考价值。

克里雅河流域位于塔里木盆地南缘,地处极端干旱区,其生态环境十分脆弱,水盐问题突出,盐渍化现象普遍<sup>[2]</sup>。在恶劣的环境背景下,该地区植被种类贫乏、覆盖度低、结构简单,生物多样性低,适应性较强、生态位较宽的旱生芦苇(*Phragmites australis*)成为该地区的建群种。芦苇是隐域性植物,分布广泛,其地下部分具粗壮的匍匐根状茎,通过渗透调节作用,适应不同水盐条件生境,并随水盐背景条件的差异呈现出不同的生态特征。尤其是近年来,在全球变化和人类活动的双重作用下克里雅河流域的水盐过程发生了深刻变化,干旱缺水和盐分聚集对芦苇的生态特征产生了更为深远的影响。

水盐因子对植被的生态特征起着至关重要的作用<sup>[3-6]</sup>,国内外学者针对地下水位及水质、土壤水、盐等因子<sup>[7-12]</sup>研究了植被的生理及生态响应特征,但较少同时考虑水盐因子对植被的影响<sup>[13-14]</sup>,对干旱区荒漠植被和水盐要素关系的综合研究更为少见<sup>[15-16]</sup>,尤其是旱生芦苇对水盐的生态响应尚未见之于文献。诸多研究采用传统的统计学方法开展相关分析<sup>[17-19]</sup>,数量生态学中排序方法<sup>[20-22]</sup>的应用主要集中在植被格局分布。本文以克里雅河流域于田绿洲为靶区,结合约束性排序中的冗余分析技术,研究旱生芦苇生态特征与水盐因子的关系,揭示芦苇对水盐因子变化的生态响应规律,以期进一步探寻荒漠植被对水盐的适应策略和方式,旨在为流域荒漠生态系统保护和绿洲生态环境建设提供理论参考。

## 1 研究区概况

克里雅河流域于田绿洲地处塔里木盆地南缘、昆仑山北麓,流域跨东经 81°9'—82°51',北纬 35°14'—39°29',东西宽约 30—120 km,南北长 466 km,面积  $3.95 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。地势南高北低,海拔最高 5460

m,最低 1180 m。长期受大陆性气候以及山盆相间地貌格局的影响,于田绿洲形成暖温带内陆荒漠气候,热量与光照十分丰富,年均气温 12.4 °C,无霜期为 200 d,年均降水量 44.7 mm,年均蒸发量 2498 mm。绿洲土壤母质以棕漠土为主。主要的植被有胡杨(*Populus euphratica*)、怪柳(*Tamarix chinensis*)、芦苇(*Phragmites australis*)等。

## 2 研究方法

### 2.1 野外采样

鉴于植被生长季节性和干旱区春秋两季的聚盐高峰及盐分的表聚性特点,采样时间为 2012 年 9 月。采样区域位于于田绿洲北部荒漠区,即塔克拉玛干沙漠南缘、克里雅河流域西侧。区域内分布大面积芦苇,伴生少量骆驼刺、花花柴和怪柳。依照前期对水盐分布规律的观测以及距离河岸远近形成的天然水盐梯度,平行于河岸自东向西依次(河岸至荒漠方向)布设 4 个样区(各样区芦苇生态特征、水盐背景值及差异性分析详见表 2),共采集 124 个样点(样区 1 至样区 4 分别采集 33、30、31、30 个样点)。每个样点设置 5 m×5 m 的样方,现场记录样方内芦苇的数量、株高、盖度等生态指标并采集生物量。具体为:将样方内的芦苇按对角线法选取 10 株齐地面剪下(地上部分),挖掘根系至 1.5 m(地下部分)带回实验室测定。同步采集样方内 0—20 cm 表层土壤样品,去除土样中的植物根系和石块并采用四分法取样 500 g。利用土钻法通过 HOB0 水位自动记录仪获取地下水位。研究区采样前 20 d 无降雨。

### 2.2 实验方法

**芦苇生物量的测定方法** 将采回的芦苇自然风干,放入 85 °C 恒温的烘箱内,直至重量为恒重。

**土壤水盐指标的测定方法** 土壤含水量采用烘干法;pH 值采用电位法;土壤离子  $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^-$  采用双指示剂中和法; $\text{Cl}^-$  采用  $\text{AgNO}_3$  滴定法; $\text{SO}_4^{2-}$  采用 EDTA 间接滴定法; $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  采用 EDTA 络合滴定法; $\text{Na}^+$  和  $\text{K}^+$  采用火焰光度法。土壤全盐由离子含量加和计算得出;总碱度、钠吸附比和氯硫比通过 1:5 土壤浸提液各离子浓度计算得出。其中:总碱度为  $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^-$  之和,研究区土壤中  $\text{CO}_3^{2-}$  含量极低,以  $\text{HCO}_3^-$  代替总碱度;钠吸附比(Sodium Adsorption Ratio, SAR)计算公式为:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}}$$

氯硫比为  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  之比。

### 2.3 数据处理

实验所得数据在 SPSS 17.0 软件中进行统计分析:计算数据平均值和标准差(SD);选择单因素方差分析检验不同样区芦苇生态特征和水盐因子的差异,并采用 LSD(Least significant difference)方法进行显著性多重比较,差异显著性水平为  $\alpha=0.05$ 。

利用国际标准通用软件 CANOCO4.5 分析芦苇生态特征和水盐因子相关关系。首先进行去趋势对应分析(DCA),所得排序轴梯度长度(LGA)能够反映芦苇生态特征的变化程度。理论上,LGA<3 适合线性模型,LGA>4 适合非线性模型,梯度长度介于 3—4 之间,两种模型均适合<sup>[23]</sup>。本研究分析显示 4 个排序轴的 LGA 最大值为 0.636,均小于 3,说明芦苇生态特征对水盐因子有很好的线性响应,因此采用线性模型进行冗余分析(RDA)比较适宜。RDA 是多元线性回归的扩展,属于多变量直接梯度分析法,用来分析两个变量集的线性关系,并将芦苇的生态特征和水盐因子的关系反映在同一坐标轴上,从而直观揭示水盐因子对芦苇生态特征变异性的影响。以芦苇生态指标株数、株高、盖度、地上生物量、地下生物量作为研究对象,以土壤水分、地下水埋深、pH 值、全盐、总碱度、钠吸附比、氯硫比作为影响因子,对水盐因子进行 RDA 筛选,结果显示 7 个水盐因子的变异膨胀因子(某影响因子具有高的变异膨胀因子(>20)表明与其他因子具有高的多重共线性,对模型的贡献很少<sup>[24]</sup>)均小于 10,说明这 7 个因子均有一定的模型贡献,均可作为环境因子变量来进行分析。筛选后完成后续 RDA,同时利用蒙特卡罗置换检验(Monte-Carlo permutation test)定量评价 7 个水盐因子对芦苇生态特征变化的独立解释量。

## 3 结果分析

### 3.1 芦苇生态特征及水盐因子经典统计学分析

对研究区芦苇生态特征及水盐因子进行经典统计学分析,结果如表 1 所示。

采样区域内芦苇株数均值为 9.15 株/m<sup>2</sup>,株高均值为 0.78 m,最小值仅为 0.29 m,最大值达 2.05 m;盖度较低,均值为 8.54%;生物量差异较大,地上

生物量均值为 9.53 g/m<sup>2</sup>,极差达 22.52 g/m<sup>2</sup>,地下生物量均值为 13.72 g/m<sup>2</sup>,极差达 27.20 g/m<sup>2</sup>,且地下生物量大于地上生物量,与干旱生境有关。进一步分析水盐因子表明:土壤水分较低,均值为 7.21%;地下水埋深在 1.14—7.57 m 范围内,均值为 4.23 m;研究区土壤偏碱性,pH 均值为 8.49,最大值高达 9.05;盐渍化程度较高,计算可得全盐均值为 18.26 g/kg,极差可达 68.87 g/kg;作为衡量土壤的碱化程

度的指标,总碱度均值为 0.17 g/kg,钠吸附比均值为 6.03;土壤的氯硫比均值为 3.42,属氯化物型土壤( $Cl^-/SO_4^{2-}>2$ )。变异系数(CV)是描述变量空间变异程度的主要指标,芦苇生态特征和大部分水盐因子变异系数均在 0.1—1.0 之间,属于中等程度变异,土壤水分变异系数大于 1.0,表现为强变异性。

进一步对不同样区的芦苇生态特征及水盐因子进行多重比较,结果如表 2 所示。

表 1 芦苇生态特征及水盐因子的统计学参数

Table 1 Descriptive statistical parameters of the ecological characteristics of *Phragmites australis* and water-salt indicators

变量指标 Indicator	最小值 Min.	最大值 Max.	均值 Mean	标准差 SD	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	变异系数 CV
株数 Plant numbers/(株/m <sup>2</sup> )	4.00	17.00	9.15	2.85	0.90	0.59	0.31
株高 Plant height/m	0.29	2.05	0.78	0.46	1.08	0.26	0.59
盖度 Coverage/%	0.20	31.00	8.41	7.79	1.16	0.51	0.93
地上生物量 Aboveground biomass/(g/m <sup>2</sup> )	2.50	25.02	9.53	5.27	1.14	1.15	0.55
地下生物量 Belowground biomass/(g/m <sup>2</sup> )	3.55	30.75	13.72	7.45	0.71	-0.43	0.54
土壤水分 Soil moisture/%	0.20	29.84	7.21	7.60	1.15	0.43	1.05
地下水埋深 Ground water depth/m	1.14	7.57	4.23	2.00	-0.02	-1.42	0.47
pH	7.92	9.05	8.49	0.24	0.06	0.12	0.03
全盐 Total salt/(g/kg)	0.68	68.44	18.24	16.94	1.38	1.46	0.93
总碱度 Total alkalinity/(g/kg)	0.09	0.35	0.17	0.06	1.65	2.34	0.37
钠吸附比 Sodium adsorption ratio	0.30	18.16	6.03	4.61	0.88	0.04	0.76
氯硫比 $Cl^-$ to $SO_4^{2-}$ ratio	0.43	10.61	3.42	2.72	1.10	0.19	0.80

表 2 不同样区芦苇生态特征及水盐因子的多重比较

Table 2 Results of multiple comparison of the ecological characteristics of *Phragmites australis* and water-salt indicators under different sampling regions

变量指标 Indicator	样区 1 Sampling region 1	样区 2 Sampling region 2	样区 3 Sampling region 3	样区 4 Sampling region 4
株数 Plant Numbers/(株/m <sup>2</sup> )	9.47±3.2 a	9.90±2.92 a	9.00±2.87 a	8.44±2.37 a
株高 Plant height/m	128.82±43.63 a	68.10±28.42 b	55.33±12.95 bc	43.63±12.36 c
盖度 Coverage/%	15.94±7.79 a	7.40±6.47 b	5.33±3.20 bc	2.77±2.51 c
地上生物量 Aboveground biomass/(g/m <sup>2</sup> )	14.81±5.40 a	8.81±2.54 b	7.90±1.71 bc	5.30±2.32 c
地下生物量 belowground biomass/(g/m <sup>2</sup> )	7.67±2.47 c	13.08±6.47 b	14.42±5.43 b	20.16±7.42 a
土壤水分 Soil moisture/%	15.46±7.26 a	5.63±4.85 b	3.92±2.96 bc	1.33±1.24 c
地下水埋深 Ground water depth/m	2.22±1.30 c	4.44±1.75 b	5.38±0.85 b	5.58±1.49 a
pH	8.40±0.23 b	8.56±0.28 b	8.39±0.23 b	8.60±0.19 a
全盐 Total salt/(g/kg)	14.20±11.58 b	12.67±7.96 b	11.49±10.35 b	30.47±18.07 a
总碱度 Total alkalinity/(g/kg)	0.15±0.03 b	0.15±0.06 b	0.15±0.07 b	0.20±0.06 a
钠吸附比 Sodium adsorption ratio	5.14±4.82 b	4.45±2.35 b	3.22±1.99 b	9.84±4.51 a
氯硫比 $Cl^-$ to $SO_4^{2-}$ ratio	4.68±3.03 a	2.71±1.75 b	1.72±1.28 b	3.47±2.95 b

4 个样区的芦苇生态特征与水盐因子表现为不同程度的差异性。芦苇的生态特征中,除株数无显著性差异外,其余指标在不同样区均有显著性差异:

样区芦苇的株高、盖度和地上生物量差异性表现为样区 1>样区 2>样区 3>样区 4,由河岸至荒漠方向呈现递减趋势;而地下生物量的变化趋势完全相反,位

于荒漠腹地的样区 4 的地下生物量显著高于其他各区域。不同样区水盐因子的差异性表明:土壤水分和地下水埋深与芦苇生态特征的规律同步,土壤水分沿靠近河岸的样区 1 向样区 4 递减,地下水埋深递增;盐渍指标中,样区 4 的 pH 值、全盐、总碱度、钠吸附比显著高于其他样区,位于河岸附近样区 1 的土壤盐渍程度也较高,仅次于样区 4,但样区 1、2、3 之间无显著性差异。以上分析表明,4 个样区的生态和水分指标呈现较为显著的规律性梯度变化,而盐渍指标的变化不显著,且其标准差较大,空间变异性高。

### 3.2 芦苇生态特征与水盐因子的 RDA

#### 3.2.1 芦苇生态特征和水盐因子的 RDA 排序

对芦苇生态特征和经过变异膨胀因子筛选后的 7 个水盐因子进行 RDA,首先获得这 7 个水盐因子对芦苇生态特征的解释(表 3)。芦苇生态特征在第 I 轴、第 II 轴的解释量分别为 74.0%和 2.8%,累计解释芦苇生态特征信息量为 76.8%,对芦苇生态特征和水盐因子关系的累计解释量已高达 98.9%,由此可知前两轴能够很好地反映芦苇生态特征变异和水盐环境因子的关系,且主要是由第 I 轴决定。

表 3 芦苇生态特征变化的解释变量冗余分析

Table 3 The RDA (redundancy analysis) of the ecological characteristics of *Phragmites australis*

排序轴 Axis	第 I 轴 Axis I	第 II 轴 Axis II	第 III 轴 Axis III	第 IV 轴 Axis IV
生态特征解释量/% Variance explains of ecological characteristics	74.0	2.8	0.8	0.0
生态特征与水盐因子相关性 Correlations between ecological characteristics and water-salt indicators	0.967	0.644	0.359	0.094
生态特征累计解释量/% Cumulative percentage variance of ecological characteristics	74.0	76.8	77.5	77.6
生态特征-水盐因子关系累计解释量/% Cumulative percentage variance of relation between ecological characteristics and water-salt indicators	95.3	98.9	99.9	100.0
典范特征值 Sum of all canonical eigenvalues	0.776			
总特征值 Sum of all eigenvalues	1.000			

水盐因子与每个排序轴的相关系数见表 4。7 个水盐因子中,地下水埋深与第 I 轴相关系数最大,达-0.929,土壤水分与其呈正相关关系,相关系数为 0.911,说明第 I 轴反映了以水分为主的影响;全盐

与第 II 轴的的相关系数最大,为 0.235,说明第 II 轴是反映以盐分为主的影响;第 III 轴主要反映 pH 和钠吸附比为主的影响;第 IV 轴与 7 个水盐因子的相关性较小。

表 4 水盐因子与排序轴的相关关系

Table 4 Correlation of water-salt indicators with the axes

水盐因子 Water-salt indicator	第 I 轴 Axis I	第 II 轴 Axis II	第 III 轴 Axis III	第 IV 轴 Axis IV
土壤水分 Soil moisture	0.911	-0.148	-0.017	-0.007
地下水埋深 Ground water depth	-0.929	-0.140	0.016	-0.008
pH	-0.232	0.175	0.211	-0.009
全盐 Total salt	-0.272	0.235	-0.187	0.026
总碱度 Total alkalinity	-0.282	0.108	0.072	0.076
钠吸附比 Sodium adsorption ratio	-0.331	0.135	-0.211	0.029
氯硫比 Cl <sup>-</sup> to SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ratio	0.146	-0.012	0.051	0.026

进一步得到芦苇生态特征指标和水盐环境因子二维排序图(图 1)。在排序图中,芦苇生态特征指标用实心箭头连线表示,水盐因子用带空心的箭头

连线表示;箭头的长短表示芦苇生态特征与水盐因子关系的大小,箭头连线越长相关性越大,反之,则越小;箭头与排序轴的夹角表示相关性的大小,夹角



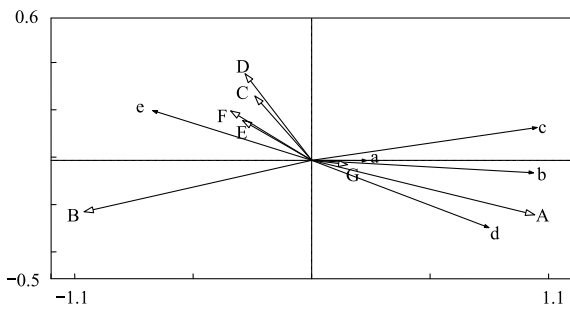


图 1 芦苇生态特征与水盐因子关系的冗余分析排序图

Fig.1 Biplot of the first two axes of the RDA (redundancy analysis) for water-salt indicators associated with ecology characteristics of *Phragmites australis*

A: 土壤水分 Soil moisture; B: 地下水埋深 Ground water depth; C: pH; D: 全盐 Total salt; E: 总碱度  $\text{HCO}_3^-$ ; F: 钠吸附比 Sodium Adsorption Ratio; G: 氯硫比  $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ ; a: 株数 Plant Numbers; b: 株高 Plant height; c: 盖度 Coverage; d: 地上生物量 Aboveground biomass; e: 地下生物量 Belowground biomass

越小,相关性越大。从图 1 中可以看出,土壤水分(A)与地下水埋深(B)的箭头连线最长,可知土壤水分与地下水埋深对芦苇生态特征变异起到很好的解释;土壤水分与地下生物量(e)成反比,与芦苇的其

他生态特征成正比,其中和地上生物量(d)的相关性最大;地下水埋深与地下生物量成正比,与其他生态特征成反比。盐分因子(除氯硫比外)与株数(a)、株高(b)、盖度(c)、地上生物量呈负相关关系,与地下生物量呈正相关关系。

综合上述研究,可以看出水盐环境因子对芦苇生态特征的影响存在差异。对 7 个水盐因子进行蒙特卡洛检验,得到水盐环境变量的重要性排序,结果如表 5 所示。水盐因子对芦苇影响的重要性由大到小依次为地下水埋深、土壤水分、SAR(钠吸附比)、全盐、 $\text{HCO}_3^-$ (总碱度)、pH 值、 $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ (氯硫比),其中地下水埋深和土壤水分对芦苇生态特征影响极显著( $P=0.002<0.01$ ),地下水埋深和土壤水分解量占有环境因子解释量的比例分别为 68.3%和 65.7%,说明地下水埋深和土壤水分是影响芦苇生态特征的最关键的因子;SAR、全盐对芦苇生态特征的影响达到显著水平( $P<0.05$ ); $\text{HCO}_3^-$ 、pH 值、 $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ 对芦苇生态特征的影响较小,没有达到显著水平。

表 5 水盐环境变量解释的重要性排序和显著性检验结果

Table 5 Importance and signification level of water-salt indicators

水盐环境因子 Water-salt indicator	重要性排序 Importance rank	水盐因子所占解释量/% Variance explains of Water-salt indicators	F	P
地下水埋深 Ground water depth	1	68.3	107.871	0.002
土壤水分 Soil moisture	2	65.7	95.665	0.002
钠吸附比 Sodium adsorption ratio	3	9.0	4.975	0.018
全盐 Total salt	4	6.5	3.442	0.048
pH	5	6.4	3.431	0.054
总碱度 Total alkalinity	6	4.7	2.479	0.080
氯硫比 $\text{Cl}^-$ to $\text{SO}_4^{2-}$ ratio	7	1.7	0.874	0.374

### 3.2.2 单一水盐因子对芦苇生态特征的影响

对以上研究中与芦苇生态特征有极显著和显著影响的水盐因子进行逐一分析,进一步确定单一水盐因子对芦苇生态特征的影响,分析采用包含生态特征箭头连线和水盐因子箭头及虚实圆圈的 t-value 双序图。t-value 双序图可以解释芦苇生态特征依赖水盐因子的程度,在 t-value 双序图中如果某生态特征的箭头连线完全落入实线圆圈中,代表该生态特征与研究的单一水盐因子显著正相关,反之如果某生态特征的箭头连线完全在虚线圆圈中,代表该生态特征与研究的单一水盐因子显著负相关。

对地下水埋深进行分析(图 2),可以看出株高和盖度完全落入虚线圈内,说明地下水埋深与芦苇的株高、盖度呈显著负相关,即随地下水埋深的增加芦苇的株高和盖度将会减小;由图 3 可知 5 个芦苇生态特征均落入线圈内(包括虚实圆圈),说明 5 个芦苇生态特征指标均与土壤水分呈显著相关性,其中地下生物量与土壤水分显著负相关,随土壤水分的增加地下生物量有明显减少的趋势,而其余 4 个芦苇生态特征与土壤水分显著正相关,可知土壤水分显著的影响芦苇的生长发育及形态建成;图 4 和图 5 反映了钠吸附比、全盐与芦苇生态特征的相关

性,钠吸附比、全盐仅对盖度呈显著负相关性,与其他水盐因子均未呈现显著相关性,没有显著影响芦苇的生长状态。通过以上分析可以看出水分是驱动芦苇生态特征变异的关键因子。

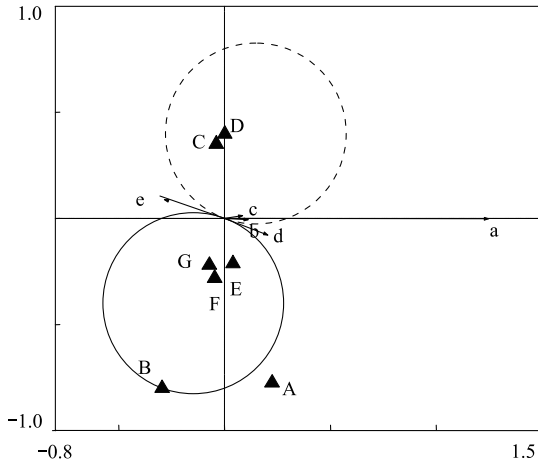


图 2 地下水埋深对芦苇生态特征影响的检验结果

Fig.2 T-test results for Ground water depth influencing ecological characteristics of *Phragmites australis*

实线圈 close circle: 正相关 positive correlation; 虚线圈 dashed circle: 负相关 negative correlation

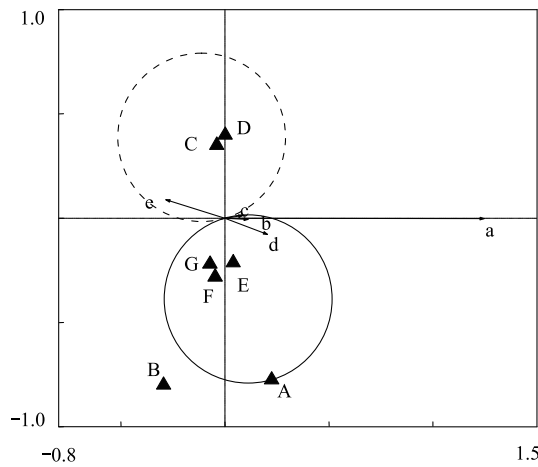


图 3 土壤水分对芦苇生态特征影响的检验结果

Fig.3 T-test results for Soil moisture influencing ecological characteristics of *Phragmites australis*

### 4 结论与讨论

芦苇本是一种典型的浅水植物,在适应干旱生态环境的过程中,芦苇的生存环境由水域演替为陆地,分布在干旱区绿洲农田外围、盐碱地或沙漠地区,成为干旱区特有的早生型芦苇。研究区地处极端干旱区,植被覆盖度低,芦苇平均盖度不足 10%,

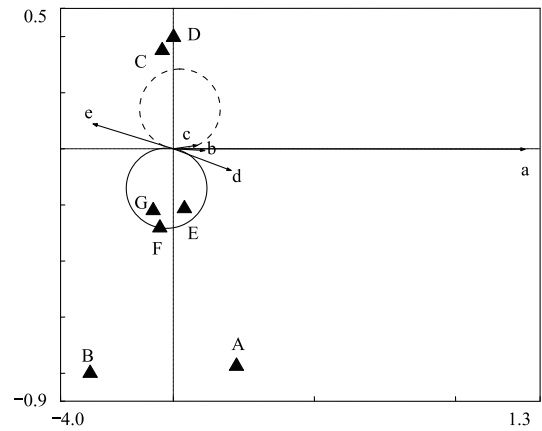


图 4 钠吸附比对芦苇生态特征影响的检验结果

Fig.4 T-test results for SAR influencing ecological characteristics of *Phragmites australis*

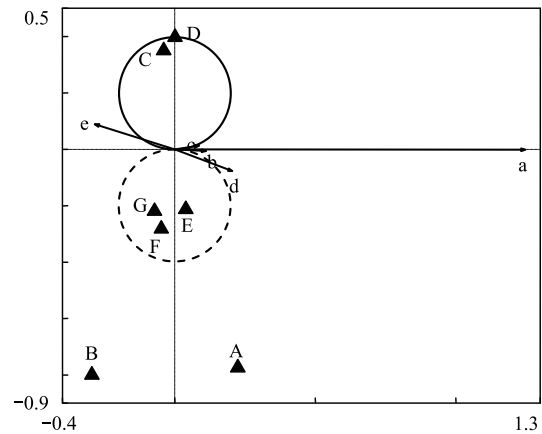


图 5 全盐对芦苇生态特征影响的检验结果

Fig.5 T-test results for Total salt influencing ecological characteristics of *Phragmites australis*

且地下生物量大于地上生物量,这是荒漠植被对干旱环境适应的结果,与其特殊的水文、土壤环境条件密切相关。样区中生境严酷,干旱缺水,盐渍化程度高;土壤含水量低,均值仅为 7.22%;地下水埋深较大,平均为 4.23 m;土壤盐分含量高达 18.24 g/kg,远超过重度盐渍土的标准。水分与土壤盐分随河岸至沙漠方向呈现一定的梯度变化规律,同时芦苇群落也表现出相应的生态特征。

进一步解析芦苇生态特征与水盐因子的关系发现:水分是研究芦苇生长最重要的驱动因子,其中地下水埋深和土壤水分与芦苇的生态特征呈现极显著的相关关系,随地下水埋深加大、土壤水分含量下降,芦苇的株高、盖度和地上生物量均有不同程度的减少,地下生物量增加。地下水埋深影响了土壤水

分、空气和土壤的生物、物理、化学过程,引起植被生长环境的改变,进而对植被空间分布和植被生态特征产生影响。这与有关学者对塔里木盆地北缘荒漠植被与水分关系的研究结论相一致<sup>[25]</sup>。此外,李修仓等<sup>[26]</sup>研究了荒漠-绿洲区旱生芦苇根系特征与土壤水分的关系,结果表明根系的生长状况与根系吸水对土壤水分变化的影响关系密切;赵文智<sup>[27]</sup>、李卫红等<sup>[28]</sup>均对荒漠区芦苇生物量与地下水埋深的关系展开了分析,结果表明地下水埋深对荒漠区芦苇生物量的影响明显。以上结论均表明水分对芦苇生态特征起到的重要作用。

研究区芦苇生长发育过程中另外一个关键环境因子是土壤盐分。钠吸附比、全盐与芦苇生态特征呈现显著的负相关性,但其余盐渍属性指标即总碱度、pH 值、氯硫比等与芦苇生态特征的相关性均不显著。以上结论表明土壤的盐渍化程度会对对芦苇生态特征产生一定影响,但芦苇在逆境胁迫下对盐渍环境的适应性也在不断增强,其耐盐阈值大,因此盐因子对芦苇生态特征所占解释量较小。已有学者对本研究区芦苇与盐渍属性的关系展开了研究,认为芦苇生态指标不同程度受到 pH 影响<sup>[29]</sup>,比较了不同盐分条件下芦苇生理生态特性的差异<sup>[30]</sup>。Thevs 等<sup>[31]</sup>研究了塔里木河中游自然保护区中芦苇生物量对土壤、地下水中含盐量以及利用方式的响应,发现芦苇的生态特征并未随盐分增加而有显著变化。以上研究仅考虑了单个要素对芦苇的影响,因而与本研究所得结论有所不同。

单独研究讨论旱生芦苇在不同水分或土壤盐碱条件下的分异规律是存在缺陷的。受到干旱的大陆性气候长期作用,干旱区生态系统形成和发育的关键制约因素包括了水分和土壤盐分因子,干旱区植被生态特征通常受水盐因子的双重影响。本研究综合水盐要素,发现水分对芦苇生态特征的影响大于盐分。

随着数量生态学在生态学中的应用,排序作为一种多元分析方法被广泛用于植被的结构与格局研究,并在其他领域逐渐得到应用。本研究利用排序方法中的冗余分析技术研究了对象(植被的生态特征)与环境因子(水盐要素)之间的关系,直观的解析了多变量的相互作用,是对该方法应用的有益尝试。研究选择的对象为芦苇的生态指标,对于水盐

相互作用的微观生理响应是值得进一步深入研究的课题。

#### References:

- [ 1 ] 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.
- [ 2 ] Ha X P, Ding J L, Tashpolat · Tiyp, Luo J Y, Zhang F. SI-Albedo space-based extraction of salinization information in arid area. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(3): 381-390.
- [ 3 ] Koepke D F, Kole T E, Adams H D. Variation in woody plant mortality and dieback from severe drought among soils, plant groups, and species within a northern Arizona ecotone. *Oecologia*, 2010, 163(4): 1079-1090.
- [ 4 ] Shen Y J, Chen Y N. Global perspective on hydrology, water balance, and water resources management in arid basins. *Hydrological Processes*, 2010, 24(2): 129-135.
- [ 5 ] Antonellini M, Mollema P N. Impact of groundwater salinity on vegetation species richness in the coastal pine forests and wetlands of Ravenna, Italy. *Ecological Engineering*, 2010, 36 ( 9 ): 1201-1211.
- [ 6 ] Cui B S, Yang Q C, Zhang K J, Zhao X S, You Z Y. Responses of saltcedar (*Tamarix chinensis*) to water table depth and soil salinity in the yellow River Delta, China. *Plant Ecology*, 2010, 209(2): 279-290.
- [ 7 ] Zhou H H, Chen Y N, Li W H, Chen Y P. Photosynthesis of *Populus euphratica* in relation to groundwater depths and high temperature in arid environment, northwest China. *Photosynthetica*, 2010, 48(2): 257-268.
- [ 8 ] Zeng X L, Liu T, Zhang W B, Sun Q M, Shen X Y, Si L M. Variations in groundwater levels and quality and their effects on vegetation in the western Grubantonggut Desert. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(5): 1490-1501.
- [ 9 ] Ravita B, Ehenfeldb J G, Häggbloma M M. Effects of vegetation on root-associated microbial communities: A comparison of disturbed versus undisturbed estuarine sediments. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38(8): 2359-2371.
- [ 10 ] Ma X D, Chen Y N, Zhu C G, Li W H. The variation in soil moisture and the appropriate groundwater table for desert riparian forest along the Lower Tarim River. *Journal of Geographical Sciences*, 2011, 21(1): 150-162.
- [ 11 ] Jiang J, Gao D, DeAngelis D L. Towards a theory of ecotone resilience: coastal vegetation on a salinity gradient. *Theoretical Population Biology*, 2012, 82(1): 29-37.
- [ 12 ] Yu T F, Feng Q, Liu W, Si J H, Xi H Y, Chen L J. Soil water and salinity in response to water deliveries and the relationship with plant growth at the lower reaches of Heihe River,

- Northwestern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (22): 7009-7017.
- [13] Cui B S, He Q, Zhao X S. Researches on the ecological thresholds of *Suaeda salsa* the environmental gradients of water table depth and soil salinity. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (4): 1408-1418.
- [14] Deng C N, Zhang G X, Li H Y, Li R R. Eco-physiological responses of *Phragmites australis* to different water-salt conditions in Momoge Wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (13): 4146-4153.
- [15] Zhuang L, Chen Y N, Li W H, Lü X. Responses of *Tamarix ramosissima* ABA Accumulation to groundwater level and soil salt changes in the lower reaches of Tarim River. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(10): 4247-4251.
- [16] Shi R H, Li X, Dong X G, Yang P N, Liu L. Research on the relationship between natural vegetation growth and ground water in Yanqi Basin. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24 (12): 2097-2103.
- [17] Liu H J, Liu S Z, Li Y, Yang Z H, Li Y K, Zhang Y H, Guo C X, Liu S J. Response of riparian vegetation to the change of groundwater level at middle and lower reaches of the Shiyang River. *Arid Zone Research*, 2012, 29(2): 335-341.
- [18] Mansuer · Shabiti, Hu J L. Effects of groundwater characteristics on vegetation in the oasis on the Ugan-Kuqa River Delta, Xinjiang Region, China. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2010, 32 (2): 422-428.
- [19] Yin C H, Feng G, Tian C Y, Bai D S, Zhang F S. Influence of tamarisk shrub on the distribution of soil salinity and moisture on the edge of Taklamakan desert. *China Environmental Science*, 2007, 27(5): 670-675.
- [20] Zhang Y M, Chen Y N, Zhang D Y. Quantitative classification and analysis on plant communities in the middle reaches of the Tarim River. *Journal of Geographical Sciences*, 2003, 13 (2): 225-232.
- [21] Li Y X, Zhou H R. Relationship between wetland landscape plant communities and environment factors in arid zone. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2011, 27(6): 43-49.
- [22] Yang X H, Li C S, Yu C T, Ci L J. Distribution pattern of natural vegetation along moisture gradient at north edge of Ordos Plateau: A preliminary study. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(4): 572-576.
- [23] Lepš J, Šmilauer P. *Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [24] Beyene A, Addis T, Kifle D, Legesse W, Kloos H, Triest L. Comparative study of diatoms and macroinvertebrates as indicators of severe water pollution: case study of the Kebena and Akaki rivers in Addis Ababa, Ethiopia. *Ecological Indicators*, 2009, 9 (2): 381-392.
- [25] Hao X M, Li W H, Huang X, Zhu C G, Ma J X. Assessment of the groundwater threshold of desert riparian forest vegetation along the middle and lower reaches of the Tarim River, China. *Hydrological Processes*, 2010, 24(2): 178-186.
- [26] Li X C, Hu S J, Li Y T, Li X M. Study on the root distribution and soil water dynamics under *Phragmites* arid area. *Acta Prataculturae Sinica*, 2008, 17(2): 97-101.
- [27] Zhao W Z, Chang X L, Li Q S, He Z B. Relationship between structural component biomass of reed population and ground water depth in desert oasis. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23 (6): 1138-1146.
- [28] Li W H, Zhou H H, Yang X M, Ding H. Temporal and spatial distribution characteristics of aboveground biomass of grassland plant communities in an arid area. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 19(5): 186-195.
- [29] Saydigul · Haxim, Hamid · Yimit. Spatial variability of soil pH value and its effects on the growth of *Phragmites Australis* in Keriga Oasis. *Journal of Xinjiang Normal University: Natural Sciences Edition*, 2012, 31(2): 9-15.
- [30] Gulinar · Halik. The Soil Salinity Effects on the Growth of *Phragmites Australis* in Yu Tian Oasis [D]. Urumqi: Xinjiang University, 2012.
- [31] Thevs N, Zerbe S, Gahlert F, Mijit M, Succow M. Productivity of reed (*Phragmites australis* Trin. ex Steud.) in continental-arid NW China in relation to soil, groundwater, and land-use. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 2007, 81: 62-68.

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 哈学萍,丁建丽,塔西甫拉提·特依拜,罗江燕,张飞.基于SI-Albedo 特征空间的干旱区盐渍化土壤信息提取研究——以克里雅河流域绿洲为例. *土壤学报*, 2009, 46(3): 381-390.
- [8] 曾晓玲,刘彤,张卫宾,孙钦明,沈雪莹,司朗明.古尔班通古特沙漠西部地下水位和水质变化对植被的影响. *生态学报*, 2012, 32(5): 1490-1501.
- [12] 鱼腾飞,冯起,刘蔚,司建华,席海洋,陈丽娟.黑河下游土壤水盐对生态输水的响应及其与植被生长的关系. *生态学报*, 2012, 32(22): 7009-7017.
- [13] 崔保山,贺强,赵欣胜.水盐环境梯度下翅碱蓬 (*Suaeda salsa*) 的生态阈值. *生态学报*, 2008, 28(4): 1408-1418.
- [14] 邓春暖,章光新,李红艳,李然然.莫莫格湿地芦苇对水盐变化的生理生态响应. *生态学报*, 2012, 32(13): 4146-4153.
- [15] 庄丽,陈亚宁,李卫红,吕新.塔里木河下游怪柳 ABA 累积对地下水位和土壤盐分的响应. *生态学报*, 2007, 27(10): 4247-4251.
- [16] 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): 2097-2103.
- [17] 刘虎俊,刘世增,李毅,杨自辉,李银科,张莹花,郭春秀,刘淑娟.石羊河中下游河岸带植被对地下水位变化的响应.

- 干旱区研究, 2012, 29(2): 335-341.
- [18] 满苏尔·沙比提, 胡江玲. 新疆渭干河—库车河三角洲绿洲地下水特征对天然植被的影响分析. 冰川冻土, 2010, 32(2): 422-428.
- [19] 尹传华, 冯固, 田长彦, 白灯莎, 张福锁. 塔克拉玛干沙漠边缘怪柳对土壤水盐分布的影响. 中国环境科学, 2007, 27(5): 670-675.
- [21] 李玉霞, 周华荣. 干旱区湿地景观植物群落与环境因子的关系. 生态与农村环境学报, 2011, 27(6): 43-49.
- [22] 杨晓晖, 李朝生, 于春堂, 慈龙骏. 鄂尔多斯高原北缘水分梯度下天然植被分布格局初探. 应用生态学报, 2006, 17(4): 572-576.
- [26] 李修仓, 胡顺军, 李岳坦, 李雪梅. 干旱区旱生芦苇根系分布及土壤水分动态. 草业学报, 2008, 17(2): 97-101.
- [27] 赵文智, 常学礼, 李启森, 何志斌. 荒漠绿洲区芦苇种群构件生物量与地下水埋深关系. 生态学报, 2003, 23(6): 1138-1146.
- [28] 李卫红, 周洪华, 杨晓明, 丁辉. 干旱荒漠区草地植物群落地上生物量时空分布对地下水的响应. 草业学报, 2010, 19(5): 186-195.
- [29] 赛迪古丽·哈西木, 海米提·依米提. 于田绿洲土壤 pH 值的空间异质性及其对芦苇生长的影响研究——以喀尔克乡为例. 新疆师范大学学报: 自然科学版, 2012, 31(2): 9-15.
- [30] 古丽娜尔·哈里别克. 于田绿洲土壤盐分对芦苇生长的影响研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2012.

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.10 May, 2014 (Semimonthly)**  
**CONTENTS**

**Frontiers and Comprehensive Review**

- Landscape sustainability and landscape sustainability science ..... ZHAO Wenwu, FANG Xuening (2453)
- A diagnostic framework of payments for ecosystem services and associated case studies .....  
..... ZHU Wenbo, WANG Yang, LI Shuangcheng (2460)
- Progress in research of iron plaque on root surface of wetland plants .....  
..... LIU Chunying, CHEN Chunli, GONG Xiaofeng, et al (2470)
- Ecological effects of predator chemical cues in aquatic ecosystem ..... QIN Guangqiu, LU Haoliang, TANG Zhenzhu, et al (2481)
- Secondary substances and their ecological effects on seed dispersal in vertebrate-dispersed fleshy fruit plants .....  
..... PAN Yang, LUO Fang, LU Changhu (2490)

**Autecology & Fundamentals**

- Responses of CH<sub>4</sub> uptake rates to simulated N deposition in a nature forest in mid-subtropical China .....  
..... CHEN Chaoqi, YANG Zhijie, LIU Xiaofei, et al (2498)
- Ecological characteristics of *Phragmites australis* and their relationship to water-salt indicators in dry habitats of the southern  
marginal zones of the Tarim Basin, China ..... GONG Lu, ZHU Meiling, TASHPOLAT · Tiyp, et al (2509)
- Threshold effect of soil moisture on photosynthetic and physiological parameters in *Rosa xanthina* L. and its photosynthetic  
productivity classification ..... ZHANG Shuyong, XIANG Jiangbao, ZHANG Guangcan, et al (2519)
- Contrasting responses of soil respiration to litter manipulation in subtropical *Mytilaria laosensis* and *Cunninghamia lanceolata*  
plantations ..... YU Zaipeng, WAN Xiaohua, HU Zhenhong, et al (2529)
- Potassium application for increased jasmonic acid content and defense enzyme activities of wheat leaves infested by aphids .....  
..... WANG Yi, ZHANG Yueling, SU Janwei, et al (2539)
- Combined effects of elevated O<sub>3</sub> concentration and reduced solar irradiance on photosynthetic activity and energy dissipation  
of winter wheat ..... SUN Jian, ZHENG Youfei, et al (2548)
- Colonization dynamics of *Bacillus cereus* B3-7 on wheat roots and control efficiency against sharp eyespot of wheat .....  
..... HUANG Qiubin, ZHANG Ying, LIU Fengying, et al (2559)
- Quantitative study of water consumption characteristics of winter wheat under deficit irrigation .....  
..... ZHANG Xingjuan, XUE Xuzhang, GUO Wenzhong, et al (2567)
- Assessment on the ecological fitness of anti-fungal transgenic rice ..... LI Wei, GUO Jianfu, YUAN Hongxu, et al (2581)
- A proteomic analysis of *Arachis hypogaea* leaf in responses to enhanced ultraviolet-B radiation .....  
..... DU Zhaokui, LI Junmin, ZHONG Zhangcheng, et al (2589)
- Composition of fatty acids from suspended particulate matter in southern South China Sea .....  
..... LIU Huaxue, KE Changliang, LI Chunhou, et al (2599)
- The influence of age, flock size, habitat, and weather on the time budget and the daily rhythm of wintering Siberian Cranes  
in Poyang Lake ..... YUAN Fangkai, LI Yankuo, LI Fengshan, et al (2608)
- The energy budget and water metabolism heat regulation of tree sparrows *Passer montanus* of toba compensatory regeneration .....  
..... YANG Zhihong, WU Qingming, YANG Miao, et al (2617)
- The effect of low-dose of pesticide on predation of spider and its preliminary mechanisms ..... LI Rui, LI Na, LIU Jia, et al (2629)
- Response of the alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae) to overwintering protection and  
its controlling effect on alligator weed *Alternanthera philoxeroides* (Amaranthaceae: Alternanthera) .....  
..... LIU Yufang, WANG Xiuxiu, LI Fei, et al (2638)

**Population, Community and Ecosystem**

- The effect of climate change on the population fluctuation of the Siberian crane in Poyang Lake ..... LI Yankuo, QIAN Fawen, SHAN Jihong, et al (2645)
- Characteristics of soil phosphorus fractions in wetlands with various restoration age in caizi lake, Anhui Province ..... LIU Wenjing, ZHANG Pingjiu, DONG Guozheng, et al (2654)
- Multivariate analysis of the relations between phytoplankton assemblages and environmental factors in Chagan Lake Wetland ..... LI Ranran, ZHANG Guangxin, ZHANG Lei (2663)
- Diversity of methanogen communities in tidal freshwater and brackish marsh soil in the Min River estuary ..... ZENG Zhihua, YANG Minhe, SHE Chenxing, et al (2674)
- The influence of environment and phylogenetic background on variation in leaf and fine root traits in the Yanhe River catchment, Shaanxi, China ..... ZHENG Ying, WEN Zhongming, SONG Guang, et al (2682)
- Changes of soil properties in re-vegetation stages on sloping-land with purple soils in hengyang of Hunan Province, South-central China ..... YANG Ning, ZOU Dongsheng, YANG Manyuan, et al (2693)
- Vulnerability assessment on the mangrove ecosystems in qinzhou bay under sea level rise ..... LI Shasha, MENG Xianwei, GE Zhenming, et al (2702)
- Dynamics of biomass and productivity of three major plantation types in southern China ..... DU Hu, ZENG Fuping, WANG Kelin, et al (2712)
- Fungal diversity in *Cunninghamia lanceolata* plantation soil ..... HE Yuanhao, ZHOU Guoying, WANG Shenjie, et al (2725)
- Response of sandy vegetation characteristics to precipitation change in Horqin Sandy Land ..... ZHANG Lamei, LIU Xiping, ZHAO Xueyong, et al (2737)
- Characteristics of carbon storage and sequestration of *Robinia pseudoacacia* forest land converted by farmland in the Hilly Loess Plateau Region ..... SHEN Jiapeng, ZHANG Wenhui (2746)

**Landscape, Regional and Global Ecology**

- Forest microclimate change along with the succession and response to climate change in south subtropical region ..... LIU Xiaodong, ZHOU Guoyi, CHEN Xiuzhi, et al (2755)
- Drought variations of winter wheat in different growth stages and effects of climate trend in Huang-Huai-Hai Plain, China ..... XU Jianwen, JU Hui, LIU Qin, et al (2765)

**Resource and Industrial Ecology**

- A method of environment assessment of mineral resources planning for shanxi provinces base on GIS ..... LIU Wei, DU Peijun, LI Yongfeng (2775)
- A new approach to assess the water footprint of hydropower: a case study of the Miyun reservoir in China ..... ZHAO Dandan, LIU Junguo, ZHAO Xu (2787)

# 《生态学报》2014 年征订启事

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

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

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

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

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

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

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

本期责任副主编 祖元刚 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 34 卷 第 10 期 (2014 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 34 No. 10 (May, 2014)

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

主 编 王如松  
主 管 中国科学技术协会  
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

出 版 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂  
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

订 购 全国各地邮局  
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

广告经营 京海工商广字第 8013 号  
许 可 证

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

Editor-in-chief WANG Rusong  
Supervised by China Association for Science and Technology  
Sponsored by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel: (010)64034563  
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China  
Foreign China International Book Trading  
Corporation  
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



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