

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第32卷 第13期 Vol.32 No.13 **2012**

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



# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 32 卷 第 13 期 2012 年 7 月 (半月刊)

## 目 次

|                                                               |                         |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 砂质潮间带自由生活海洋线虫对缺氧的响应——微型受控生态系研究.....                           | 华 尔, 李 佳, 董 洁, 等 (3975) |
| 植物种群自疏过程中构件生物量与密度的关系 .....                                    | 黎 磊, 周道玮, 盛连喜 (3987)    |
| 基于景观感知敏感度的生态旅游地观光线路自动选址.....                                  | 李继峰, 李仁杰 (3998)         |
| 基于能值的沼气农业生态系统可持续发展水平综合评价——以恭城县为例.....                         | 杨 谨, 陈 彬, 刘耕源 (4007)    |
| 内蒙古荒漠草原植被盖度的空间异质性动态分析.....                                    | 颜 亮, 周广胜, 张 峰, 等 (4017) |
| 典型草地的土壤保持价值流量过程比较.....                                        | 裴 厦, 谢高地, 李士美, 等 (4025) |
| 长沙市区马尾松人工林生态系统碳储量及其空间分布.....                                  | 巫 涛, 彭重华, 田大伦, 等 (4034) |
| 厦门市七种药用植物根围 AM 真菌的侵染率和多样性 .....                               | 姜 攀, 王明元 (4043)         |
| Cd、低 Pb/Cd 下冬小麦幼苗根系分泌物酚酸、糖类及与根际土壤微生物活性的关系 .....               | 贾 夏, 董岁明, 周春娟 (4052)    |
| 凉水保护区土壤产类漆酶-多铜氧化酶细菌群落结构 .....                                 | 赵 丹, 谷惠琦, 崔岱宗, 等 (4062) |
| 盐渍化土壤根际微生物群落及土壤因子对 AM 真菌的影响.....                              | 卢鑫萍, 杜 茜, 闫永利, 等 (4071) |
| 菌丝室接种解磷细菌 <i>Bacillus megaterium</i> C4 对土壤有机磷矿化和植物吸收的影响..... | 张 林, 丁效东, 王 菲, 等 (4079) |
| 闽江河口不同河段芦苇湿地土壤碳氮磷生态化学计量学特征.....                               | 王维奇, 王 纯, 曾从盛, 等 (4087) |
| 高山森林三种细根分解初期微生物生物量动态.....                                     | 武志超, 吴福忠, 杨万勤, 等 (4094) |
| 模拟降水对古尔班通古特沙漠生物结皮表观土壤碳通量的影响 .....                             | 吴 林, 苏延桂, 张元明 (4103)    |
| 铁皮石斛组培苗移栽驯化过程中叶片光合特性、超微结构及根系活力的变化 .....                       | 濮晓珍, 尹春英, 周晓波, 等 (4114) |
| 不同产量水平旱地冬小麦品种干物质累积和转移的差异分析.....                               | 周 玲, 王朝辉, 李富翠, 等 (4123) |
| 基于作物模型的低温冷害对我国东北三省玉米产量影响评估.....                               | 张建平, 王春乙, 赵艳霞, 等 (4132) |
| 黄土高原 1961—2009 年参考作物蒸散量的时空变异.....                             | 李 志 (4139)              |
| 莫莫格湿地芦苇对水盐变化的生理生态响应.....                                      | 邓春暖, 章光新, 李红艳, 等 (4146) |
| 不同蚯蚓采样方法对比研究.....                                             | 范如芹, 张晓平, 梁爱珍, 等 (4154) |
| 亚洲玉米螟成虫寿命与繁殖力的地理差异.....                                       | 涂小云, 陈元生, 夏勤雯, 等 (4160) |
| 黑河上游天然草地蝗虫空间异质性与分布格局.....                                     | 赵成章, 李丽丽, 王大为, 等 (4166) |
| 苦瓜叶乙酸乙酯提取物对斜纹夜蛾实验种群的抑制作用.....                                 | 骆 颖, 凌 冰, 谢杰峰, 等 (4173) |
| 长江口中国花鲈食性分析.....                                              | 洪巧巧, 庄 平, 杨 刚, 等 (4181) |
| 基于线粒体控制区序列的黄河上游厚唇裸重唇鱼种群遗传结构.....                              | 苏军虎, 张艳萍, 娄忠玉, 等 (4191) |
| 镉暴露对黑斑蛙精巢 ROS 的诱导及其蛋白质氧化损伤作用机理 .....                          | 曹 慧, 施蔡雷, 贾秀英 (4199)    |
| 北方草地牛粪中金龟子的多样性.....                                           | 樊三龙, 方 红, 高传部, 等 (4207) |
| 合肥秋冬季茶园天敌对假眼小绿叶蝉和茶蚜的空间跟随关系.....                               | 杨 林, 郭 骅, 毕守东, 等 (4215) |
| 植被、海拔、人为干扰对大中型野生动物分布的影响——以九寨沟自然保护区为例.....                     | 张 跃, 雷开明, 张语克, 等 (4228) |
| 基于社会网络分析法的生态工业园典型案例研究.....                                    | 杨丽花, 佟连军 (4236)         |
| 基于生命周期的户用沼气系统可用能核算——以广西恭城瑶族自治县为例.....                         | 齐 静, 陈 彬, 戴 婧, 等 (4246) |
| <b>专论与综述</b>                                                  |                         |
| 水文情势与盐分变化对湿地植被的影响研究综述 .....                                   | 章光新 (4254)              |
| 松嫩碱化草甸土壤种子库格局、动态研究进展 .....                                    | 马红媛, 梁正伟, 吕丙盛, 等 (4261) |
| 一种新的景观扩张指数的定义与实现 .....                                        | 武鹏飞, 周德民, 官辉力 (4270)    |
| <b>研究简报</b>                                                   |                         |
| 华山新麦草光合特性对干旱胁迫的响应.....                                        | 李 倩, 王 明, 王雯雯, 等 (4278) |
| 美丽海绵提取物防污损作用.....                                             | 曹文浩, 严 涛, 刘永宏, 等 (4285) |

期刊基本参数: CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 306 \* zh \* P \* ¥ 70.00 \* 1510 \* 37 \* 2012-07



封面图说: 涵养水源——在长白山南坡的峭壁上, 生长在坡面上的森林所涵养的水源还在汨汨地往下流个不停, 深红色的落叶掉在了苔藓上, 这里已经是长白山的深秋了。虽然雨季已经过去了很久, 但是林下厚厚的枯枝落叶层、腐殖质层、苔藓草本层所涵养的水分还在不间断地流淌, 细细的水线在壁下汇成了溪、汇成了河。涵养水源是森林的主要生态功能之一。

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

DOI: 10.5846/stxb201106130785

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.

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.

## 莫莫格湿地芦苇对水盐变化的生理生态响应

邓春暖<sup>1,2</sup>, 章光新<sup>1,\*</sup>, 李红艳<sup>1,3</sup>, 李然然<sup>1</sup>

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所湿地生态与环境重点实验室, 长春 130012;

2. 云南师范大学旅游与地理科学学院高原湖泊生态与全球变化实验室, 昆明 650500; 3. 吉林省地质环境监测总站, 长春 130012)

**摘要:**认识湿地植物对不同水盐环境的生理生态响应特征和规律,是确定湿地生态需水阈值的关键,为湿地生态需水量计算及生态恢复提供科学依据。通过对莫莫格湿地水盐环境因子与芦苇生理生态特征指标进行调查,并利用国际通用植被数量分析软件 CANOCO4.5 对其关系进行了冗余度分析(RDA)。结果表明:湿地水深、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$  含量 3 个环境因子组合对芦苇生理生态特征变异的解释量达到 54.7%,说明这 3 个变量是影响芦苇生理生态特征变异的重要因子,水深是关键驱动因子。水深与芦苇株高、生物量、叶绿素含量、最大光化学效率  $F_v/F_m$  以及光化学性能指数  $PI_{\text{ABS}}$  成显著正相关,随着水深的增加,芦苇株高、生物量以及叶绿素含量等逐渐增加。 $\text{Na}^+$  含量、 $\text{HCO}_3^-$  含量与芦苇生理生态特征的相关性没有达到显著水平。因此,中轻度盐碱湿地生态恢复需要重点考虑水深条件对湿地生态的影响,其次是水质( $\text{Na}^+/\text{HCO}_3^-$ )因素的影响作用,确保适宜生态水位,满足生态恢复需要。

**关键词:**芦苇;水盐梯度;生理生态;莫莫格湿地

## Eco-physiological responses of *Phragmites australis* to different water-salt conditions in Momoge Wetland

DENG Chunnuan<sup>1,2</sup>, ZHANG Guangxin<sup>1,\*</sup>, LI Hongyan<sup>1,3</sup>, LI Ranran<sup>1</sup>

1 Chinese Academy of Sciences, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Key Laboratory of Wetland Ecology and Environment, Changchun 130012, China

2 Yunnan Normal University, School of Tourism and Geographic Science, Key Lab. Plateau Lake Ecology & Global Change, Kunming 650500, China

3 Geological Environment Monitoring Station of Jilin Province, Changchun 130012, China

**Abstract:** Understanding the eco-physiological response characteristics of *Phragmites australis* to water-salt condition is the key of determining the threshold of wetland ecological water requirement, in order to supply a feasible method for calculating the wetland ecological water requirement and scientific base for wetland restoration. By field investigation of *Phragmites australis* in Momoge wetland, we analyzed the relationship between eco-physiological characteristics of *Phragmites australis* and water-salt gradient with method of redundancy analysis (RDA) by using CANOCO software in Version 4.5. The results showed that the combination of three environmental factors including water depth,  $\text{Na}^+$  and  $\text{HCO}_3^-$ , explained 54.7% of the variation of eco-physiological responses of *Phragmites australis*, suggesting that the three environmental factors led to great changes in eco-physiological responses of *Phragmites australis*. Water depth was the key environmental factor influencing the growth of *Phragmites australis*. There was a significant positive correlation between water depth and the eco-physiological characteristics including plant height, biomass, chlorophyll content, maximum photosynthesis efficient ( $F_v/F_m$ ) and maximum photosynthesis performance index ( $PI_{\text{ABS}}$ ). There was no significant correlation between  $\text{Na}^+/\text{HCO}_3^-$

**基金项目:**中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX2-YW-Q06-2);国家重点基础研究发展计划(2010CB428404)

**收稿日期:**2011-06-13; **修订日期:**2011-11-15

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

and the characteristics of *Phragmites australis*. The results suggested that it is the key point in the process of wetland restoration in mild or moderate saline-alkaline wetland to consider the influence of water depth on the growth of *Phragmites australis*, and secondly consider the effect of  $\text{Na}^+/\text{HCO}_3^-$ , and determining the ecological water depth and fulfilling the ecological water requirement.

**Key Words:** *Phragmites australis*; water-salt gradient; eco-physiological characteristics; Momoge wetland

近年来,湿地生态需水研究已成为生态水资源研究的热点问题,湿地植物生长需水规律和需水量是湿地生态需水研究的重要组成部分。湿地植物生长需水与生理生态过程受到水盐环境的影响<sup>[1-3]</sup>。因此,认识湿地植物对不同水盐环境的生理生态响应特征和规律,揭示湿地水盐条件变化与植物生理生态响应的关系,是估算湿地生态需水的关键<sup>[3-4]</sup>,为湿地水环境保护与生态恢复提供科学依据,具有重要的理论意义和实践价值。

莫莫格国家级湿地自然保护区位于松嫩平原的西部边缘,是以白鹤等珍稀水禽栖息地为主要保护对象的内陆湿地与水域生态系统保护区,也是阻止松嫩平原西部盐碱荒漠化的生态屏障<sup>[5]</sup>。目前,在全球气候变化和人类活动影响下莫莫格湿地水文情势发生了深刻变化,干旱缺水 and 盐分聚集导致典型芦苇植被严重退化,丹顶鹤等珍稀水禽的生境受到严重威胁,湿地生态补水已成当务之急。但补多少水,以维持合理的湿地水深条件是当前急需解决的关键科学问题。因此,本文通过对莫莫格湿地水盐环境因子与芦苇生理生态特征指标进行调查,应用数量生态学的冗余分析技术(RDA),分析湿地水盐环境因子与芦苇生理生态特征之间的关系,为确定湿地适宜生态水位提供科学依据,进而为莫莫格湿地生态补水提供决策支持,维护湿地生态系统的稳定和健康。

## 1 实验设计及研究方法

### 1.1 研究区概况

莫莫格湿地位于吉林省镇赉县境内,地理坐标为北纬  $45^{\circ}42'25''$ — $46^{\circ}18'0''$ ,东经  $123^{\circ}27'0''$ — $124^{\circ}4'33.7''$ (图1)。湿地地势平坦,一般坡降为  $5^{\circ}$ 。年平均降水量为 394 mm,年平均蒸发量达 1553 mm。芦苇沼泽面积近  $6 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,占莫莫格湿地总面积的 41.7%,是莫莫格湿地的主要生境类型,也是珍稀水禽的繁殖栖息地。根据莫莫格湿地保护对象特点、分布特征以及生态功能的不同,以及实施有效保护的可行性,莫莫格湿地保护区分为核心区、缓冲区和试验区 3 部分。核心区植被状态保持良好,而缓冲区与试验区的植被逐渐趋于退化,因此研究区选择在缓冲区与试验区(图1)。

### 1.2 采样方法

于 2010 年 6 月对莫莫格湿地不同水深和盐分梯度下的芦苇生理生态特征进行测定。考虑到水深梯度(0、5、15、25、35、45 cm)以及水体盐分不同,于保护区内随机选取  $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$  样方,重复样方 3 个。用直尺测量水深,并取水样带回实验室分析。由于莫莫格湿地盐

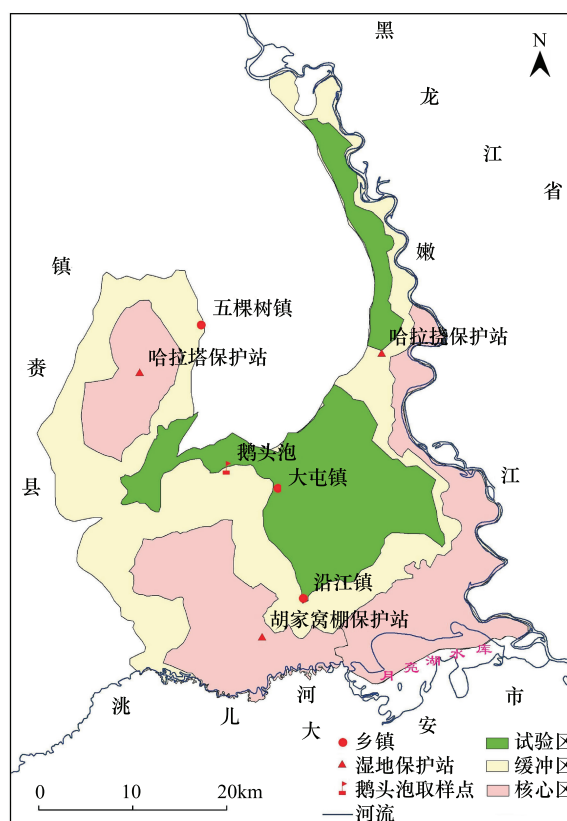


图1 莫莫格湿地地理位置、功能区划及采样区域

Fig. 1 The location, function zoning and sampling area of Momoge wetland

功能区划:绿色区域为试验区,浅黄色区域为缓冲区,粉红色区域为核心区,采样区域位于试验区与缓冲区

碱离子成分以  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  为主,因此重点分析  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  离子含量、电导率(EC)值和 pH 值的环境影响作用。测定  $\text{Na}^+$ (用 ICP 测定),  $\text{HCO}_3^-$  离子含量(用滴定法测定)、电导率(EC)值(用电导率仪测定)和 pH 值(用 pH 计测定)。测量芦苇盖度,记录芦苇株数,测定芦苇株高。每个样方随机选择 3 片芦苇叶(第 3 片完全展开叶)用叶绿素仪(Opti-Sciences, Tyngsboro, MA, USA)随机测定叶片叶绿素相对含量。将芦苇叶片进行 3min 的暗适应,用叶绿素荧光仪(FP100, PSI, Brno, Czech Republic)测定快速叶绿素荧光重要指标  $F_V/F_M$ (最大光化学效率)、 $PI_{\text{ABS}}$ (光化学性能指数)。最后将样方内芦苇齐根割下带回实验室进行生物量(干重)测定(80℃下恒温烘干)。样地芦苇生理生态特征值以及样地水样的平均  $\text{Na}^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$  离子含量、电导率和 pH 值结果如表 1。

表 1 芦苇生理生态特征与样点盐碱程度的平均值、标准差、最小值及最大值

Table 1 Statistics results (mean, SD, Min, Max) of eco-physiological characteristics the reeds and salt gradient in sample sites

| 变量指标<br>Index           | 平均<br>Mean | SD      | 最小<br>Min | 最大<br>Max | 变量指标<br>index              | 平均<br>Mean | SD      | 最小<br>Min | 最大<br>Max |
|-------------------------|------------|---------|-----------|-----------|----------------------------|------------|---------|-----------|-----------|
| 株高/cm                   | 125.816    | 48.907  | 60.670    | 233.000   | $PI_{\text{ABS}}$          | 1.281      | 0.875   | 0.032     | 3.093     |
| 盖度/%                    | 48.222     | 12.596  | 30.000    | 70.000    | $\text{Na}^+$ 含量/(mg/L)    | 50.106     | 28.932  | 27.200    | 107.700   |
| 株数/(株/m <sup>2</sup> )  | 378.389    | 135.507 | 140.000   | 744.000   | EC/(μs/cm)                 | 256.844    | 141.672 | 144.000   | 512.000   |
| 生物量/(g/m <sup>2</sup> ) | 886.071    | 524.535 | 271.920   | 2135.440  | $\text{HCO}_3^-$ 含量/(mg/L) | 234.341    | 130.749 | 124.440   | 475.800   |
| 叶绿素含量                   | 23.024     | 5.984   | 7.270     | 29.400    | pH                         | 7.157      | 0.326   | 6.760     | 7.650     |
| $F_V/F_M$               | 0.726      | 0.055   | 0.578     | 0.794     |                            |            |         |           |           |

芦苇生理生态特征值:株高、盖度、株数、生物量、叶绿素含量(相对值)、 $F_V/F_M$ (最大光化学效率)、 $PI_{\text{ABS}}$ (光化学性能指数);样点水盐环境梯度特征值: $\text{Na}^+$  含量、电导率 EC 值、 $\text{HCO}_3^-$  含量、pH 值

### 1.3 数据处理

本研究将芦苇生理生态指标作为研究对象,将水深梯度、电导率(EC)值、水体  $\text{Na}^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$  含量和 pH 作为环境因子,水深梯度包括 0、5、15、25、35cm 和 45cm。研究对象包括芦苇株高、株数、盖度、生物量、叶绿素含量以及叶绿素荧光指标的最大光化学效率  $F_V/F_M$  和光化学性能指数  $PI_{\text{ABS}}$ 。鉴于去趋势对应分析(DCA)其排序轴反映了芦苇生理生态变化的程度,用 DCA 估计排序轴梯度长度(Lengths of gradient, LGA)比较适宜。理论上讲,梯度长度(LGA) < 3 适合线性排序法, LGA > 3 适合采用非线性排序方法<sup>[6]</sup>。通过对研究中因变量数据文件进行 DCA 分析,结果表明排序轴最大的梯度长度均小于 3,表明该数据文件均具有较好的线性反应,也即芦苇生理生态指标对环境梯度的响应是线性的,对此利用线性响应模型分析(如 RDA 和 partial RDA)比较适宜。该分析方法是一种多变量直接梯度分析方法,它是多元线性回归的扩展,采用 2 个变量集的线性关系模型,得到数值矩阵并对特征值进行分解,能将表征芦苇生理生态指标及水盐环境因子之间的关系反映在坐标轴上。本文利用直接梯度分析方法 RDA 通过分析芦苇生理生态指标,提取其受影响的控制性因素,进一步揭示水盐环境因子对芦苇生理生态指标的影响。

如果某环境因子具有高的变异膨胀因子(大于 20)意味着它与其它因子具有高的多重共线性,对模型的贡献很少<sup>[7]</sup>。对以上 5 个环境因子变量分别进行 RDA 分析筛选,结果表明,  $\text{Na}^+$  与 EC,  $\text{HCO}_3^-$  与 pH 分别具有高膨胀因子,因此重新评估了水深、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$  3 个环境因子的组合的变异膨胀因子,它们能够保证所有变量的膨胀因子均小于 20,因此选择了这 3 个指标作为环境因子变量来进行分析。各环境因子对不同条件下芦苇生理生态指标的重要性,由 CANOCO 4.5 软件的自动向前选择程序完成,利用 Monte Carlo 检验判断其重要性是否显著<sup>[8]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 芦苇生理生态指标变异的解释变量典范分析

对筛选后的水深、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$  3 个环境因子组成的变量组合进行 RDA 分析,得到该环境因子组合对芦苇生理生态特征的解释(表 2)。由表 2 可知,环境因子组合对芦苇生理生态特征变异有 54.7% 的解释率,达到

显著水平 ( $P < 0.01$ )。芦苇生理生态指标特征(物种信息)在第一个排序轴上的百分比已达 50.6%,在第Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ轴上的百分比分别为 2.6%、1.5% 和 18.5%,累积百分比达到 73.2%。由此可见,本文筛选的 3 个环境因子能在很大程度上解释芦苇生理生态特征的变异,可以推断湿地水盐变化是影响芦苇生理生态特征变异的重要原因,并且这种变异基本由排序轴第Ⅰ轴来决定,其次受到第Ⅳ排序轴的影响。

表 2 芦苇生理生态特征变化的解释变量典范分析

Table 2 The RDA analysis of the eco-physiological characteristics of *Phragmites australis*

| $P$   | 典范特征值<br>Sum of all<br>canonical eigenvalues | 总特征值<br>Sum of all<br>engenvalues | 解释量/%<br>Variance explains | 前四轴贡献百分比/%<br>percentage variance of species data on axis |     |     |      |
|-------|----------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------|-----|-----|------|
|       |                                              |                                   |                            | I                                                         | II  | III | IV   |
| 0.002 | 0.547                                        | 1                                 | 54.7                       | 50.6                                                      | 2.6 | 1.5 | 18.5 |

参与分析的包括了 3 个水盐梯度变量(水深、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$  离子含量)以及 7 个芦苇生理生态特征变量(株高、盖度、株数、生物量、叶绿素含量、 $F_v/F_m$  最大光化学效率、 $PI_{\text{ABS}}$  光化学性能指数);  $P = 0.002$ ;表明通过 499 次运算,典范排序轴达到了显著水平

## 2.2 芦苇生理生态指标变异的关键驱动因子

在 RDA 分析中,利用 CANOCO 4.5 的自动向前选择程序对主要环境因子进行了筛选,从而进一步确定影响芦苇生理生态指标的关键环境因子。各个环境因子的重要性及显著性水平如表 3 所示。

表 3 水深、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$  离子含量 3 个水盐环境变量解释的重要性和显著性检验结果

Table 3 Importance and signification level of individual water-salt environment variable

| 水盐环境因子<br>Water-salt environmental factor          | 重要性排序<br>Importance rank | 重要性检验<br>Importance | 显著性检验<br>$P$ | 解释量/%<br>Variance explains |
|----------------------------------------------------|--------------------------|---------------------|--------------|----------------------------|
| 水深 Water depth                                     | 1                        | 0.47                | 0.002        | 85.9                       |
| $\text{Na}^+$ 含量 $\text{Na}^+$ concentration       | 2                        | 0.05                | 0.222        | 9.1                        |
| $\text{HCO}_3^-$ 含量 $\text{HCO}_3^-$ concentration | 3                        | 0.03                | 0.432        | 5.5                        |

结果表明,各个环境因子对芦苇生理生态特征影响的贡献有差异,3 个环境因子对芦苇影响的重要性排序依次为水深 $>\text{Na}^+>\text{HCO}_3^-$ 。水深对芦苇生理生态特征影响显著 ( $P < 0.01$ ),对芦苇生理生态特征变异的解释占到了总信息量的 85.9%,说明水深是影响芦苇生理生态特征变异的关键因子,而  $\text{Na}^+$  与  $\text{HCO}_3^-$  对芦苇生理生态特征变异影响较小,没有达到显著性水平。汪洋等<sup>[9]</sup>对水盐与芦苇关系进行灰色关联度分析,也发现水深梯度与芦苇增产关系比盐度更密切。而本研究中出现上述结果的原因是由于莫莫格湿地盐碱非常严重的泡沼水深均较浅,在分析时需要予以区别考虑,重点分析轻度和中度盐碱对芦苇的影响,可见中轻度盐碱对芦苇生长的胁迫作用不大。

## 2.3 水深、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 单一因子对芦苇生理生态特征的影响

为进一步确定水深、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$  单一因子对芦苇生理生态特征整体的影响,计算了水盐环境因子与排序轴的相关系数,结果如表 4。由表 4 可知,RDA 排序的前两轴分别反映了不同环境因子的影响,RDA 排序第Ⅰ轴主要反映了水深为主的影响;第Ⅱ轴则地反映了  $\text{Na}^+$  为主的影响,第Ⅲ轴主要反映了  $\text{HCO}_3^-$  和  $\text{Na}^+$  的影响,而第Ⅳ轴与研究中筛选的 3 个环境因子均没有关系。而根据表 2 的研究结果,可见第Ⅳ轴对芦苇生理生态变异的影响次于第Ⅰ轴,可见其他方面的因素对芦苇生理生态特征也具有仅次于水深的重要作用。根据表 1,芦苇生理生态特征变异基本由排序轴第Ⅰ轴来决定,而表 2 进一步证明影响芦苇生理生态特征变异的关键因子是水深,水深与第Ⅰ轴的相关系数高达 0.8566(表 3)表明水深在第Ⅰ轴上的影响起主要作用。

为进一步了解环境因子与芦苇生理生态指标与第Ⅰ轴、第Ⅱ轴的相关关系,将环境因子与芦苇生理生态指标进行冗余度分析。结果如图 2 所示,水深与第Ⅰ轴夹角非常小,说明水深主要与第Ⅰ轴成正相关关系; $\text{Na}^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$  与第Ⅱ轴夹角较小,说明  $\text{Na}^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$  主要与第Ⅱ轴成正相关关系,但它们对芦苇生理生态特征影响较小。所有芦苇生理生态指标中芦苇株高(A)、盖度(B)、生物量(D)、叶绿素含量(E)、最大光化学效率

$F_v/F_m(F)$  都比较靠近第 I 轴,与第 I 轴成正相关关系,而株数(C)与第 I 轴成负相关关系。最大光化学性能指数  $PI_{ABS}(G)$  与第 II 轴相对夹角小于第 I 轴,说明其与第 II 轴成负相关关系。以上结果说明芦苇株高、盖度、生物量、叶绿素含量以及最大光化学效率这些指标很大程度上表征芦苇生长状态。

表 4 水深、 $Na^+$ 、 $HCO_3^-$  离子含量 3 个水盐环境变量与排序轴的相关系数  
Table 4 Correlation of individual water-salt environment variable with the axes by RDA analysis

| 水盐环境因子<br>Water-salt environmental factor | 第 I 轴<br>Axis I | 第 II 轴<br>Axis II | 第 III 轴<br>Axis III | 第 IV 轴<br>Axis IV |
|-------------------------------------------|-----------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| 水深 Water depth                            | 0.8566          | 0.0333            | -0.145              | 0                 |
| $Na^+$ 含量 $Na^+$ concentration            | 0.2295          | 0.3061            | 0.393               | 0                 |
| $HCO_3^-$ 含量 $HCO_3^-$ concentration      | 0.0392          | 0.0983            | 0.517               | 0                 |

2.4 水深、 $Na^+$ 、 $HCO_3^-$  各因子对芦苇生理生态各指标的影响

通过对环境因子影响研究对象的排序图分析可以进一步明确水盐环境因子各量与芦苇生理生态指标各量之间的关系。采用的  $t$ -value 双序图是包含了物种的箭头和环境因子的箭头和圆圈符号的排序图(图 3)。 $t$ -value 双序图可以揭示物种与环境因子的统计显著关系(比如物种依赖环境因子的程度)。在 RDA 排序图中(图 3),实线圆圈表示关键环境因子与研究对象呈显著性正相关,虚线圆圈表示关键环境因子与研究对象呈显著性负相关。图中的箭头长度与方向代表物种与此环境因子的典范相关关系。如果某物种的箭头完全掉在某一环境因子的实线圆圈内,就意味着此物种与此环境因子显著正相关,即物种指标随环境因子指标量增大而增加;如果物种的箭头完全掉在环境因子负相关的区域内,就意味着物种与此环境因子显著负相关,即物种特征量随环境因子量增大而减少。据此,对水盐环境因子各量对芦苇生理生态特征的影响进行分析。

2.4.1 水深对芦苇生理生态特征各指标的影响

从图 3 可以看出,水深主要在第 I 轴上影响芦苇生理生态特征,株高(A)、生物量(D)、叶绿素含量(E)、 $F_v/F_m(F)$ 、 $PI_{ABS}(G)$ 的箭头完全落在水深的实线圆圈内。这表明,水深与株高、生物量、叶绿素含量、 $F_v/F_m$ 以及  $PI_{ABS}$  成显著正相关,说明随着水深梯度增加,芦苇株高、生物量、叶绿素含量以及光化学效率等相应增加。 $F_v/F_m(F)$  与水深的正相关关系最显著,说明  $F_v/F_m(F)$  能敏感地反映芦苇对水深的生理响应。这一研究结果与崔保山<sup>[4]</sup>的结果比较一致,芦苇的平均株高和茎粗与平均水深呈显著相关。彭玉兰等<sup>[10]</sup>对不同水深梯度下芦苇的生物量等进行研究发现芦苇茎的生物量分配百分比和生长速率随水深增加而增加。淹水过深则会限制光资源的获取,而且也限制植物体内部  $O_2$  的运输,而  $O_2$  浓度会制约营养吸收,从而降低生长速率<sup>[11-12]</sup>,并导致湿地植物生物量分配到地下的比例会随着水深增加而减少<sup>[13]</sup>。株数(C)箭头与水深方向相同,但没有落入圆圈内,表明株数与水深成正相关,但相关不显著。崔保山等<sup>[4]</sup>认为芦苇株数与水深的变化实际上更倾向于成非线性变化趋势,在平均水深为 30cm 时,芦苇平均密度与平均盖度出现明显的峰,随水深变化向两侧递减。芦苇盖度(B)与水深成负相关关系,但没有达到显著水平。毕作林等<sup>[14]</sup>的研究亦表明,当水深为 14cm 时,芦苇盖度达到最大值,当水深低于 14cm 时,盖度随水深的增大而增大,当水深超过 14cm 时,芦苇盖度则随水深的增加而逐渐减少。而株数(B)与水深方向相反,说明水深与株数有负相关关系,且相关

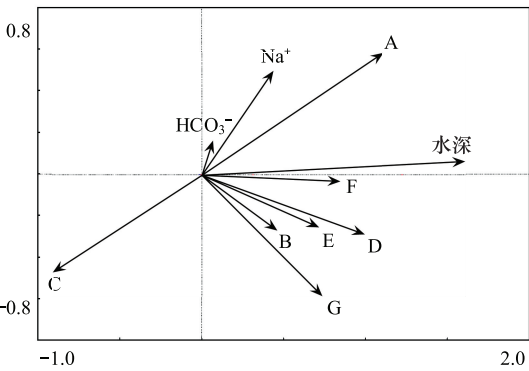


图 2 水盐环境因子和芦苇生理生态指标的冗余度分析(RDA)  
Fig. 2 Redundancy analysis results for water-salt environmental factors and the eco-physiological characteristics of *Phragmites australis*

A: 株高, B: 盖度, C: 株数, D: 生物量, E: 叶绿素含量, F:  $F_v/F_m$ , G:  $PI_{ABS}$

不显著。以上结果说明,水深是影响芦苇生理生态指标变异的主要驱动因子,水深单一因子对芦苇生理生态特征单个指标影响比较大。这一结论与前人的研究结果一致<sup>[4,9,15]</sup>。

#### 2.4.2 $\text{Na}^+$ 含量对芦苇生理生态指标的影响

从图 4 可以看出, $\text{Na}^+$  含量主要在第 II 轴上影响芦苇生理生态特征,但芦苇生理生态的各项指标都没有落入  $\text{Na}^+$  含量的实线或者虚线圆圈内。其中,株数(C)、盖度(B)、生物量(D)、叶绿素含量(E)以及  $PI_{\text{ABS}}$ (G)靠近  $\text{Na}^+$  含量的虚线圈,说明它们与  $\text{Na}^+$  含量成负相关关系,表明  $\text{Na}^+$  含量的增加将导致这些指标一定程度的下降。但  $\text{Na}^+$  含量与株高(A)、水深、 $F_V/F_M$  以及  $PI_{\text{ABS}}$  并没有完全落入虚线圈内,说明它们的负相关关系没有达到显著水平。前人的研究如裴艳<sup>[16]</sup>对不同盐分条件芦苇的生长进行研究发现,芦苇是一种比较耐盐的植物,它能在灌溉水中含氯离子达到 10‰的情况下生存,只有当氯离子达到 12‰时,对芦苇生长有明显的抑制作用,土壤盐分含量越重,芦苇受抑制作用越明显。氯离子含量达到 4‰时,芦苇高度仅为 105cm,而氯离子含量为 0.2‰时,芦苇高度为 420cm。张爽等<sup>[17]</sup>报道,芦苇可以用盐度低于 0.3‰的盐水来灌溉,与淡水灌溉下的芦苇相比,在生物量、产量和品质等方面的变化并不显著。赵可夫等<sup>[18]</sup>的研究认为芦苇是一种假盐生植物,具有一定的抗盐能力。芦苇的多度、盖度、植物高度随盐度增加而降低。本研究出现以上结果是由于分析样点为中轻度盐碱湿地, $\text{Na}^+$  含量本身对芦苇生理生态特征单个指标影响不大, $\text{Na}^+$  含量尚未显著影响芦苇生长。

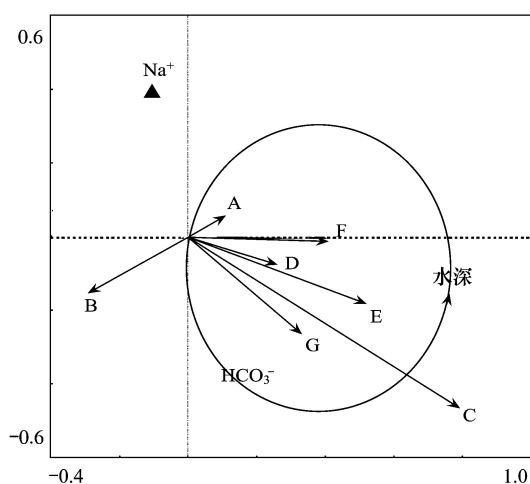


图 3 水深对芦苇生理生态指标影响的检验结果

Fig. 3 T-test results for water depth influencing eco-physiological characteristics of *Phragmites australis* (close circle: positive correlation)

A: 株高, B: 盖度, C: 株数, D: 生物量, E: 叶绿素含量, F:  $F_V/F_M$ , G:  $PI_{\text{ABS}}$ ; 实线圈表示正相关

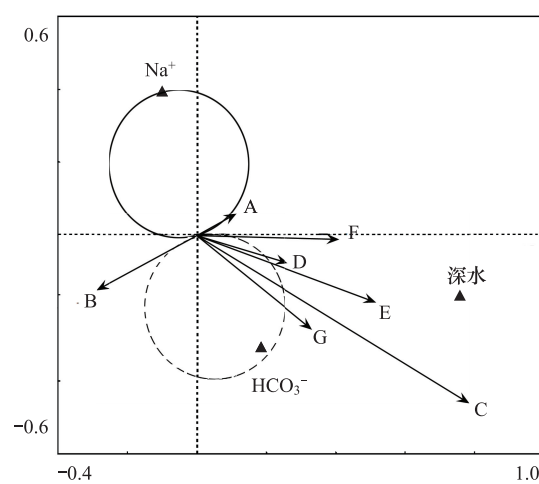


图 4  $\text{Na}^+$  对芦苇生理生态指标影响的检验结果

Fig. 4 T-test results for  $\text{Na}^+$  influencing eco-physiological characteristics of *Phragmites australis* (close circle: positive correlation; dashed circle: negative correlation)

实线圈为正相关,虚线圈为负相关

#### 2.4.3 $\text{HCO}_3^-$ 对芦苇生理生态指标影响

从图 5 可以看出, $\text{HCO}_3^-$  含量对芦苇生理生态特征的影响与  $\text{Na}^+$  含量的影响相似。 $\text{HCO}_3^-$  主要在第 II 轴上影响芦苇生理生态特征,生物量(D)完全落在  $\text{HCO}_3^-$  的虚线圆圈内。这表明, $\text{HCO}_3^-$  含量与芦苇生物量成显著负相关,随着  $\text{HCO}_3^-$  含量的增加,芦苇生物量逐渐降低。但芦苇生理生态的各项指标如株高(A)、盖度(B)、株数(C)、叶绿素含量(E)、 $F_V/F_M$ (F)以及  $PI_{\text{ABS}}$ (G)都没有落入  $\text{HCO}_3^-$  含量的实线或者虚线圆圈内,说明  $\text{HCO}_3^-$  与其他指标无显著的相关关系。以上结果说明, $\text{HCO}_3^-$  是影响芦苇生物量的次要驱动因子,而  $\text{HCO}_3^-$  本身对芦苇生理生态特征其他指标影响不大。与此相一致的有杨帆等<sup>[19-20]</sup>对松嫩平原盐渍土地地区芦苇与土壤离子的关系研究表明,土壤中  $\text{Na}^+$  或者  $\text{CO}_3^{2-}$  含量过高能显著抑制芦苇的株高、盖度以及生物量等,但  $\text{HCO}_3^-$  含

量对芦苇的影响还没有达到显著水平。

### 3 结论

莫莫格湿地水盐变化是芦苇生理生态特征变异的重要原因。芦苇株高、生物量、叶绿素含量以及最大光化学效率等特征是芦苇的重要生理生态指标。水深是影响芦苇生长的最重要驱动因子,适宜水深有利于芦苇生长发育。本研究中的  $\text{Na}^+$  含量与  $\text{HCO}_3^-$  含量对芦苇生理生态特征影响较小,出现该结论的原因是由于中轻度盐碱湿地的  $\text{Na}^+$  含量与  $\text{HCO}_3^-$  含量没有超过芦苇耐盐碱的阈值。研究结果表明,对于中轻度盐碱湿地,水质对芦苇生长影响较小,要重点考虑水深对芦苇生长的限制作用,可根据适宜水深确定芦苇湿地适宜生态需水量,为芦苇湿地生态恢复和保护提供水文学依据。

### References:

- [ 1 ] Cui B S, Yang Z F. Water consumption for eco-environmental aspect on wetlands. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2002, 22(2): 213-218.
- [ 2 ] Gries D, Zeng F, Foetzki A, Arndt S K, Bruelheide H, Thomas F M, Zhang X, Runge M. Growth and water relations of *Tamarix ramosissima* and *Populus euphratica* on Taklamakan desert dunes in relation to depth to a permanent water table. *Plant, Cell Environment*, 2003, 26(5): 725-736.
- [ 3 ] 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.
- [ 4 ] Cui B S, Zhao X S, Yang Z F, Tang N, Tan X J. The response of reed community to the environment gradient of water depth in the Yellow River Delta. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1533-1542.
- [ 5 ] Pan X L, Zhang D Y, Quan L. Interactive factors leading to dying-off *Carex tato* in Momoge wetland polluted by crude oil, Western Jilin, China. *Chemosphere*, 2006, 65(10): 1772-1777.
- [ 6 ] Lepš J, Šmilauer P. *Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [ 7 ] 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.
- [ 8 ] Ter Braak C J F, Šmilauer P. *CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (Version 4. 5)*. New York: Microcomputer Power, 2002.
- [ 9 ] Wang Y, Guo C J, Su F L, Wang T L, Song L. Analysis of grey correlations between salinity & depth of irrigation and production of reed. *China Rural Water and Hydropower*, 2007, (8): 22-24.
- [ 10 ] Peng Y L, Tu W G, Bao W K, Gao X F, Wu N, Luo P, Xiao W Y. Aboveground biomass allocation and growth of *Phragmites australis* ramets at four water depths in the Jiuzhaigou Nature Reserve, China. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2008, 14(2): 153-157.
- [ 11 ] Vretare V, Weisner S E B. Influence of pressurized ventilation on performance of an emergent macrophyte (*Phragmites australis*). *Journal of Ecology*, 2000, 88(6): 978-987.
- [ 12 ] Capon S J, James C S, Williams L, Quinn G P. Responses to flooding and drying in seedlings of a common Australian desert floodplain shrub: *Muehlenbeckia florulenta* Meisn. (tangled lignum). *Environmental and Experimental Botany*, 2009, 66(2): 178-185.
- [ 13 ] Blanch S J, Ganf G C, Walker K F. Growth and resource allocation in response to flooding in the emergent sedge *Bolboschoenus medianus*. *Aquatic Botany*, 1999, 63(2): 145-160.
- [ 14 ] Bi Z L, Xiong X, Lu F, He Q, Zhao X S. Studies on ecological amplitude of reed to the environmental gradient of water depth. *Journal of Shandong Forestry Science and Technology*, 2007, (4): 1-3.
- [ 15 ] Wang D, Zhang Y L, Pang B, Xu M X, Su Y Y. Study on dynamic characteristics between the biomass of *Phragmites communis* and water depth at Taihu wetland in Suzhou. *Environmental Pollution and Control*, 2010, 32(7): 49-54.
- [ 16 ] Pei Y. Coast saline soil affects the *Phragmites australis* Fertility. *Modern Agriculture*, 2010, (4): 6-8.
- [ 17 ] Zhang S, Guo C J, Su F L, Wang T L, Wang Y, Wang L Y. Effect of salinity on the growth of reed. *Journal of Shenyang Agricultural University*,

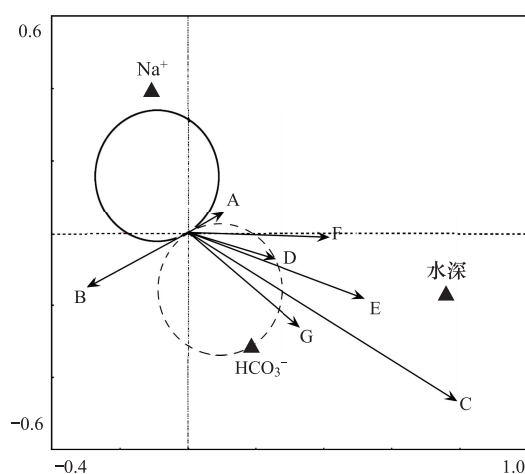


图5  $\text{HCO}_3^-$  对芦苇生理生态指标影响的检验结果

Fig. 5 T-test results for  $\text{HCO}_3^-$  influencing eco-physiological characteristics of *Phragmites australis* (close circle: positive correlation; dashed circle: negative correlation)

2008, 39(1): 65-68.

- [18] Zhao K F, Feng L T, Zhang S Q. Adaptive physiology of different ecotypes of *Phragmites communis* to salinity in the yellow river delta I. osmotica and their contributions to the osmotic adjustment. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(5): 463-469.
- [19] 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): 594-603.
- [20] 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.

#### 参考文献:

- [1] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态环境需水量研究. *环境科学学报*, 2002, 22(2): 213-218.
- [4] 崔保山, 赵欣胜, 杨志峰, 唐娜, 谭学界. 黄河三角洲芦苇种群特征对水深环境梯度的响应. *生态学报*, 2006, 26(5): 1533-1542.
- [9] 汪洋, 郭成久, 苏芳莉, 王铁良, 宋丽. 灌溉水盐度及水层深度与芦苇产量的灰色关联度分析. *中国农村水利水电*, 2007, (8): 22-24.
- [10] 彭玉兰, 涂卫国, 包维楷, 高信芬, 吴宁, 罗鹏, 肖维阳. 九寨沟自然保护区4种水深梯度下芦苇分株地上生物量的分配与生长. *应用与环境生物学报*, 2008, 14(2): 153-157.
- [14] 毕作林, 熊雄, 路峰, 贺强, 赵欣胜. 黄河三角洲湿地芦苇种群水深生态幅研究. *山东林业科技*, 2007, (4): 1-3.
- [15] 王丹, 张银龙, 庞博, 徐明喜, 苏莹莹. 苏州太湖湿地芦苇生物量与水深的动态特征研究. *环境污染与防治*, 2010, 32(7): 49-54.
- [16] 裴艳. 浅析滨海盐渍土壤对芦苇生育的影响. *现代农业*, 2010, (4): 6-8.
- [17] 张爽, 郭成久, 苏芳莉, 王铁良, 汪洋, 王立业. 不同盐度水灌溉对芦苇生长的影响. *沈阳农业大学学报*, 2008, 39(1): 65-68.
- [18] 赵可夫, 冯立田, 张圣强. 黄河三角洲不同生态型芦苇对盐度适应生理的研究 I. 渗透调节物质及其贡献. *生态学报*, 1998, 18(5): 463-469.
- [19] 杨帆, 邓伟, 章光新, 杨建锋, 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): 594-603.
- [20] 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.

CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                                      |                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Responses of sandy beach nematodes to oxygen deficiency: microcosm experiments .....                                                                                                                                 | HUA Er, LI Jia, DONG Jie, et al (3975)                  |
| Allometric relationship between mean component biomass and density during the course of self-thinning for <i>Fagopyrum esculentum</i> populations .....                                                              | LI Lei, ZHOU Daowei, SHENG Lianxi (3987)                |
| Automatic site selection of sight-seeing route in ecotourism destinations based on landscape perception sensitivity .....                                                                                            | LI Jifeng, LI Renjie (3998)                             |
| Emergy evaluation for sustainability of Biogas-linked agriculture ecosystem: a case study of Gongcheng county .....                                                                                                  | YANG Jin, CHEN Bin, LIU Gengyuan (4007)                 |
| Spatial heterogeneity of vegetation coverage and its temporal dynamics in desert steppe, Inner Mongolia .....                                                                                                        | YAN Liang, ZHOU Guangsheng, ZHANG Feng, et al (4017)    |
| Soil conservation value flow processes of two typical grasslands .....                                                                                                                                               | PEI Sha, XIE Gadi, LI Shimei, et al (4025)              |
| Spatial distribution of carbon storage in a 13-year-old <i>Pinus massoniana</i> forest ecosystem in Changsha City, China .....                                                                                       | WU Tao, PENG Chonghua, TIAN Dalun, et al (4034)         |
| Colonization rate and diversity of AM fungi in the rhizosphere of seven medicinal plants in Xiamen .....                                                                                                             | JIANG Pan, WANG Mingyuan (4043)                         |
| Effects of Cd, Low Concentration Pb/Cd on the contents of phenolic acid and simple glucides exuding from winter wheat seedlings root and the relationship between them and rhizosphere soil microbial activity ..... | JIA Xia, DONG Suiming, ZHOU Chunjuan (4052)             |
| The community structure of laccase-like multicopper oxidase-producing bacteria in soil of Liangshui Nature Reserve .....                                                                                             | ZHAO Dan, GU Huiqi, CUI Daizong, et al (4062)           |
| Effects of soil rhizosphere microbial community and soil factors on arbuscular mycorrhizal fungi in different salinized soils .....                                                                                  | LU Xinping, DU Qian, YAN Yongli, et al (4071)           |
| The effects of inoculation with phosphate solubilizing bacteria <i>Bacillus megaterium</i> C4 in the AM fungal hyphosphere on soil organic phosphorus mineralization and plant uptake .....                          | ZHANG Lin, DING Xiaodong, WANG Fei, et al (4079)        |
| Soil carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometry of <i>Phragmites australis</i> wetlands in different reaches in Minjiang River estuary .....                                                           | WANG Weiqi, WANG Chun, ZENG Congsheng, et al (4087)     |
| Dynamics of soil microbial biomass during early fine roots decomposition of three species in alpine region .....                                                                                                     | WU Zhichao, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4094)       |
| Effects of simulated precipitation on apparent carbon flux of biologically crusted soils in the Gurbantunggut Desert in Xinjiang, Northwestern China .....                                                           | WU Lin, SU Yangui, ZHANG Yuanming (4103)                |
| Changes in photosynthetic properties, ultrastructure and root vigor of <i>Dendrobium candidum</i> tissue culture seedlings during transplantation .....                                                              | PU Xiaozhen, YIN Chunying, ZHOU Xiaobo, et al (4114)    |
| Analysis of dry matter accumulation and translocation for winter wheat cultivars with different yields on dryland .....                                                                                              | ZHOU Ling, WANG Zhaohui, LI Fucui, et al (4123)         |
| Impact evaluation of low temperature to yields of maize in Northeast China based on crop growth model .....                                                                                                          | ZHANG Jianping, WANG Chunyi, ZHAO Yanxia, et al (4132)  |
| Spatiotemporal variations in the reference crop evapotranspiration on the Loess Plateau during 1961—2009 .....                                                                                                       | LI Zhi (4139)                                           |
| Eco-physiological responses of <i>Phragmites australis</i> to different water-salt conditions in Momoge Wetland .....                                                                                                | DENG Chunnuan, ZHANG Guangxin, LI Hongyan, et al (4146) |
| Comparative study of different earthworm sampling methods .....                                                                                                                                                      | FAN Ruqin, ZHANG Xiaoping, LIANG Aizhen, et al (4154)   |
| Geographic variation in longevity and fecundity of the Asian corn borer, <i>Ostrinia furnacalis</i> Guenée (Lepidoptera: Crambidae) .....                                                                            | TU Xiaoyun, CHEN Yuansheng, XIA Qinwen, et al (4160)    |
| Analysis on grasshopper spatial heterogeneity and pattern of natural grass in upper reaches of Heihe .....                                                                                                           | ZHAO Chengzhang, LI Lili, WANG Dawei, et al (4166)      |
| Inhibition effects of ethyl acetate extracts of <i>Momordica charantia</i> leaves on the experimental population of <i>Spodoptera litura</i> .....                                                                   | LOU Ying, LING Bing, XIE Jiefeng, et al (4173)          |
| Feeding habits of <i>Lateolabrax maculatus</i> in Yangtze River estuary .....                                                                                                                                        | HONG Qiaoqiao, ZHUANG Ping, YANG Gang, et al (4181)     |
| Genetic structure of <i>Gymnodontichus pachycheilus</i> from the upper reaches of the Yellow River as inferred from mtDNA control region .....                                                                       | SU Junhu, ZHANG Yanping, LOU Zhongyu, et al (4191)      |
| Toxicity mechanism of Cadmium-induced reactive oxygen species and protein oxidation in testes of the frog <i>Rana nigromaculata</i> .....                                                                            | CAO Hui, SHI Cailei, JIA Xiuying (4199)                 |
| The diversity of scarab beetles in grassland cattle dung from North China .....                                                                                                                                      | FAN Sanlong, FANG Hong, GAO Chuanbu, et al (4207)       |
| Spatial relationships among <i>Empoasca vitis</i> (Gothé) and <i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer) and natural enemies in tea gardens of autumn-winter season in Hefei suburban .....                                   | YANG Lin, GUO Hua, BI Shoudong, et al (4215)            |
| Effects of vegetation, elevation and human disturbance on the distribution of large- and medium-sized wildlife: a case study in Jiuzhaigou Nature Reserve .....                                                      | ZHANG Yue, LEI Kaiming, ZHANG Yuke, et al (4228)        |
| Research of typical EIPs based on the social network analysis .....                                                                                                                                                  | YANG Lihua, TONG Lianjun (4236)                         |
| Exergy-based life cycle accounting of household biogas system: a case study of Gongcheng, Guangxi .....                                                                                                              | QI Jing, CHEN Bin, DAI Jing, et al (4246)               |
| <b>Review and Monograph</b>                                                                                                                                                                                          |                                                         |
| The effects of changes in hydrological regimes and salinity on wetland vegetation: a review .....                                                                                                                    | ZHANG Guangxin (4254)                                   |
| Advances in research on the seed bank of a saline-alkali meadow in the Songnen Plain .....                                                                                                                           | MA Hongyuan, LIANG Zhengwei, LÜ Bingsheng, et al (4261) |
| A new landscape expansion index: definition and quantification .....                                                                                                                                                 | WU Pengfei, ZHOU Demin, GONG Huili (4270)               |
| <b>Scientific Note</b>                                                                                                                                                                                               |                                                         |
| Response of photosynthetic characteristics of <i>Psathyrostachys huashanica</i> Keng to drought stress .....                                                                                                         | LI Qian, WANG Ming, WANG Wenwen, et al (4278)           |
| The antifouling activities of <i>Callyspongia</i> sponge extracts .....                                                                                                                                              | CAO Wenhao, YAN Tao, LIU Yonghong, et al (4285)         |

# 《生态学报》2012 年征订启事

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

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

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

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

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

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报  
(SHENGTAI XUEBAO)  
(半月刊 1981 年 3 月创刊)  
第 32 卷 第 13 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 32 No. 13 (July, 2012)

|               |                                                                                                                    |                 |                                                                                                                                                                                 |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 编 辑           | 《生态学报》编辑部<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085<br>电话:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>shengtaixuebao@rcees.ac.cn | Edited by       | Editorial board of<br>ACTA ECOLOGICA SINICA<br>Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China<br>Tel:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>Shengtaixuebao@rcees.ac.cn |
| 主 编           | 冯宗炜                                                                                                                | Editor-in-chief | FENG Zong-Wei                                                                                                                                                                   |
| 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<br>中国科学院生态环境研究中心<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085                                                        | Sponsored by    | Ecological Society of China<br>Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS<br>Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China                                 |
| 出 版           | 科 学 出 版 社<br>地址:北京东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:1000717                                                                      | Published by    | Science Press<br>Add:16 Donghuangchenggen North Street,<br>Beijing 100717, China                                                                                                |
| 印 刷           | 北京北林印刷厂                                                                                                            | Printed by      | Beijing Bei Lin Printing House,<br>Beijing 100083, China                                                                                                                        |
| 发 行           | 科 学 出 版 社<br>地址:东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717<br>电话:(010)64034563<br>E-mail:journal@cspg.net                          | Distributed by  | Science Press<br>Add:16 Donghuangchenggen North<br>Street, Beijing 100717, China<br>Tel:(010)64034563<br>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<br>地址:北京 399 信箱<br>邮政编码:100044                                                                         | Foreign         | China International Book Trading<br>Corporation<br>Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China                                                                                      |
| 广告经营<br>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 70.00 元