

中国百种杰出学术期刊  
中国精品科技期刊  
中国科协优秀期刊  
中国科学院优秀科技期刊  
新中国 60 年有影响力的期刊  
国家期刊奖

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica

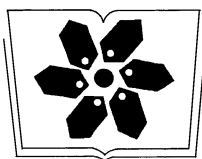
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 23 期  
Vol.30 No.23  
**2010**



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 30 卷 第 23 期      2010 年 12 月    (半月刊)

## 目 次

|                                                                                   |                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 1940—2002 年长江中下游平原乡村景观区域中耕地类型及其土壤氮磷储量的变化 .....                                    | 武俊喜,程 序,焦加国,等 (6309)     |
| 海洋生态资本概念与属性界定 .....                                                               | 陈 尚,任大川,李京梅,等 (6323)     |
| 海洋生态资本价值结构要素与评估指标体系 .....                                                         | 陈 尚,任大川,夏 涛,等 (6331)     |
| 黔中喀斯特山区退化生态系统生物量结构与 N、P 分布格局及其循环特征 .....                                          | 杜有新,潘根兴,李恋卿,等 (6338)     |
| 长白山阔叶红松林样地槭属树木木生真菌的群落组成和分布 .....                                                  | 魏玉莲,戴玉成,袁海生,等 (6348)     |
| 内蒙古退化荒漠草原土壤细菌群落结构特征 .....                                                         | 吴永胜,马万里,李 浩,等 (6355)     |
| 盐度对尖瓣海莲幼苗生长及其生理生态特性的影响 .....                                                      | 廖宝文,邱凤英,张留恩,等 (6363)     |
| 基于树轮火疤塔河蒙克山樟子松林火灾的频度分析 .....                                                      | 胡海清,赵致奎,王晓春,等 (6372)     |
| 不同农业景观结构对麦蚜种群动态的影响 .....                                                          | 赵紫华,石 云,贺达汉,等 (6380)     |
| 黑河中游荒漠灌丛斑块地面甲虫群落分布与微生境的关系 .....                                                   | 刘继亮,李锋瑞,刘七军,等 (6389)     |
| 刺槐树冠光合作用的空间异质性 .....                                                              | 郑 元,赵 忠,周 慧,等 (6399)     |
| 南海北部夏季基础生物生产力分布特征及影响因素 .....                                                      | 宋星宇,刘华雪,黄良民,等 (6409)     |
| 怒江三种裂腹鱼属鱼类种群遗传结构 .....                                                            | 岳兴建,汪登强,刘绍平,等 (6418)     |
| 大型水生植物对重金属的富集与转移 .....                                                            | 潘义宏,王宏镔,谷兆萍,等 (6430)     |
| 依据大规模捕捞统计资料分析东黄渤海白姑鱼种群划分和洄游路线 .....                                               | 徐兆礼,陈佳杰 (6442)           |
| 正交试验法分析环境因子对苦草生长的影响 .....                                                         | 朱丹婷,李铭红,乔宁宁 (6451)       |
| 基于中分辨率 TM 数据的湿地水生植被提取 .....                                                       | 林 川,官兆宁,赵文吉 (6460)       |
| 基于 CVM 的三江平原湿地非使用价值评价 .....                                                       | 敖长林,李一军,冯 磊,等 (6470)     |
| 耕地易地补充经济补偿的生态价值——以江阴市和兴化市为例 .....                                                 | 方 斌,杨 叶,郑前进,等 (6478)     |
| 自然旅游地居民自然保护态度的影响因素——中国九寨沟和英国新森林国家公园的比较 .....                                      | 程绍文,张 捷,徐菲菲 (6487)       |
| 基于 PSR 方法的区域生态安全评价 .....                                                          | 李中才,刘林德,孙玉峰,等 (6495)     |
| 灌浆期高温对水稻光合特性、内源激素和稻米品质的影响 .....                                                   | 滕中华,智 丽,吕 俊,等 (6504)     |
| 秦岭北坡不同生境栓皮栎实生苗生长及其影响因素 .....                                                      | 马莉薇,张文辉,薛瑶芹,等 (6512)     |
| 子午岭三种生境下辽东栎幼苗定居限制 .....                                                           | 郭 华,王孝安,朱志红 (6521)       |
| 温度、盐度对龟足胚胎发育和幼虫生长的联合影响 .....                                                      | 饶小珍,林 岗,张殿彩,等 (6530)     |
| 锡林郭勒盟气候干燥度的时空变化规律 .....                                                           | 王海梅,李政海,韩国栋,等 (6538)     |
| 北京市水足迹及农业用水结构变化特征 .....                                                           | 黄 晶,宋振伟,陈 阜 (6546)       |
| 延安北部丘陵沟壑区退耕还林(草)成效的遥感监测 .....                                                     | 孙智辉,雷延鹏,卓 静,等 (6555)     |
| 冰川前缘土壤微生物原生演替的生态特征——以乌鲁木齐河源 1 号冰川为例 .....                                         | 王晓霞,张 涛,孙 建,等 (6563)     |
| 储藏方式和时间对三峡水库消落区一年生植物种子萌发的影响 .....                                                 | 申建红,曾 波,施美芬,等 (6571)     |
| 云南普洱季风常绿阔叶林演替系列植物和土壤 C、N、P 化学计量特征 .....                                           | 刘万德,苏建荣,李帅锋,等 (6581)     |
| 青藏高原高寒矮嵩草草甸碳增汇潜力估测方法 .....                                                        | 曹广民,龙瑞军,张法伟,等 (6591)     |
| 基于 CEVSA2 模型的亚热带人工针叶林长期碳通量及碳储量模拟 .....                                            | 顾峰雪,陶 波,温学发,等 (6598)     |
| 太原盆地土壤呼吸的空间异质性 .....                                                              | 张义辉,李洪建,荣燕美,等 (6606)     |
| <b>专论与综述</b>                                                                      |                          |
| 热带森林碳汇或碳源之争 .....                                                                 | 祁承经,曹福祥,曹受金 (6613)       |
| 景观对河流生态系统的影响 .....                                                                | 欧 洋,王晓燕 (6624)           |
| 自由空气中臭氧浓度升高对大豆的影响 .....                                                           | 杨连新,王云霞,赵秩鹏,等 (6635)     |
| <b>研究简报</b>                                                                       |                          |
| 基于生态系统服务价值的区域生态补偿——以山东省为例 .....                                                   | 王女杰,刘 建,吴大千,等 (6646)     |
| 鹤伴山国家森林公园土壤甲螨群落结构 .....                                                           | 许士国,付荣恕 (6654)           |
| 栓皮栎人工林树干液流对不同时间尺度气象因子及水面蒸发的响应 .....                                               | 桑玉强,张劲松,孟 平,党宏忠,等 (6661) |
| 赤眼蜂发育速率对梯度恒温的响应 .....                                                             | 陈洪凡,岑冠军,黄寿山 (6669)       |
| <b>学术信息与动态</b>                                                                    |                          |
| GIS 和遥感技术在生态安全评价与生物多样性保护中的应用 .....                                                | 李文杰,张时煌 (6674)           |
| 期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 374 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 42 * 2010-12 |                          |

## 盐度对尖瓣海莲幼苗生长及其 生理生态特性的影响

廖宝文<sup>1,\*</sup>, 邱凤英<sup>2</sup>, 张留恩<sup>1</sup>, 管伟<sup>1</sup>, 李玫<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520; 2. 江西省林业科学研究院, 南昌 330032)

**摘要:**在温室内采用自动潮汐模拟设备对尖瓣海莲幼苗进行为期 160d 的 9 个梯度(0、5、10、15、20、25、30、35、40)的盐胁迫处理,并测定幼苗的生长形态特征、生长量、生物量、光合速率、叶绿素含量、根活力及其它抗逆性生理指标。结果表明:随着盐度的增加,尖瓣海莲幼苗叶片内的超氧化物歧化酶(SOD)活性、游离脯氨酸、丙二醛及质膜透性均先减小后增大;尖瓣海莲幼苗的生长量、各器官生物量及总生物量均呈现出低盐促进生长,高盐抑制生长的现象;盐度为 5 的处理下生长最旺盛,盐度超过 25 后生长明显受到抑制,尖瓣海莲幼苗的总生物量最大值(盐度为 5)比最小值(盐度为 40)大 25 倍。主成分综合分析表明尖瓣海莲幼苗的适合生长盐度在 25 以下,在盐度为 5 时最适生长,当盐度超过 25 后,生长显著受限。

**关键词:**红树植物;尖瓣海莲;盐分胁迫;生长指标;生理指标

## Effect of salinity on the growth and eco-physiological characteristics of *Bruguiera Sexangula* var. *rhynchopetala* seedlings

LIAO Baowen<sup>1,\*</sup>, QIU Fengying<sup>2</sup>, ZHANG Liuen<sup>1</sup>, GUAN Wei<sup>1</sup>, LI Mei<sup>1</sup>

1 The Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China

2 Jiangxi Forestry Research Institute, Nanchang 330032, China

**Abstract:** The influences of different salinity (0、5、10、15、20、25、30、35、40) on the growth of mangrove species, *Bruguiera sexangula* var. *rhynchopetala* (Rhizophoraceae) seedlings were studied using the automatic tidal-simulation device in sand culture of greenhouse. The morphological and eco-physiological characteristics of *B. sexangula* var. *rhynchopetala* seedlings, e. g. biomass increment, biomass allocation, rate of photosynthesis, leaf chlorophyll content, root activity and other resistance physiological indexes, were determined in this study. The results showed the parameters associated with the height, stem base and blade growth of *B. sexangula* var. *rhynchopetala* seedlings varied widely under the treatments with different salinity. With the increase of salinity, the height of seedlings of the *B. sexangula* var. *rhynchopetala* decreased; the thickness of stem changed from thin to thick, then to thin again; the blade changed from slender and greenish to roomy and bottle-green, then to small and blackish green. At the same time, the activity of superoxide dismutase (SOD), the contents of proline and malondialdehyde, and the permeability of membrane in leaves decreased first and then increased. The growth rate, organ and total biomass increased at low salinity, but decreased at high salinity. The leaf area was large when the salinity was less than 25. In contrast, the leaf area decreased remarkably when the salinity was more than 25. The chlorophyll content increased first, then decreased, but increased again with the increase of salinity. The chlorophyll content under the treatment of 5—15 salinity was slightly higher than the treatment with no salt, and decreased slightly with the increase of salinity. In contrast, the chlorophyll content increased remarkably when the salinity was more than 30. The net photosynthetic rate and root activity were highest under 5 salinity, which were

**基金项目:**“十一五”国家林业科技支撑计划专题项目(2009BADB2B0401,2006BAD03A1402);国家自然科学基金项目(40876062);海南东寨港红树林生态站项目

收稿日期:2009-10-26; 修订日期:2010-09-19

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mangro@pub. guangzhou. gd. cn

remarkably higher than other salinity treatments. The growth rate and biomass of *B. sexangula* var. *rhynchopetala* seedlings were all promoted under the treatment of low concentrations of salt, but all inhibited under the treatment of high concentrations of salt. The increment of the height, stem, and the number of the blade were highest when the salinity was 5, which were 10.8 times, 39.5 times and 19.6 times more than the minimum value when the seedlings were treated with 40 salinity respectively. The dry weight of leave, stem and root and the total biomass all increased first and then deceased with the increase of salinity. The dry weight of every organ of *B. sexangula* var. *rhynchopetala* seedlings were the most when the salinity was 5. The maximum of total biomass (5 salinity treatment) was about 25 times more than the minimum value (40 salinity treatment). The reaction of the underground part of *B. sexangula* var. *rhynchopetala* seedlings to salinity was more sensitive than the aboveground part. Analysis of principal component suggested the suitable salinity range for *B. sexangula* var. *rhynchopetala* seedlings are 0—25. The seedlings grew best under the 5 salinity treatment. While treating with >25 salinity, the growth of seedling was inhibited. This study provides a theoretical basis for the introduction, cultivation, genetic optimization and other further research of *B. sexangula* var. *rhynchopetala*.

**Key Words:** mangrove plant; *Bruguiera Sexangula* var. *rhynchopetala*; salt stress; growth index; physiological index

红树林是热带亚热带海岸潮间带的木本植物群落,在防风护岸、净化近海污染、维系海岸湿地和近海生物多样性等方面具有极其重要的作用。红树植物长期生长于滨海盐渍生境,经长期的自然选择和进化适应,在生理生化及形态方面形成了一系列适应机制<sup>[1-3]</sup>,一般将红树植物分为具盐腺的泌盐红树植物和不具盐腺的拒盐红树植物两种。近年来国内外研究学者们在红树植物对盐分的平衡机制及盐度对红树植物生长、发育、生理生化、生理生态等各方面的影响上做了大量研究<sup>[4-18]</sup>,对红树植物的耐盐机理有了进一步的了解和认识。

尖瓣海莲(*Bruguiera Sexangula* var. *rhynchopetala*)是红树科木榄属常绿乔木,高达 15m,天然分布于海南岛东海岸,东寨港、清澜港等地。目前,研究学者们仅在尖瓣海莲的遗传变异、分子分类、化学成分、潮汐淹浸适应性等方面做了少量研究<sup>[19-24]</sup>,但关于盐度对尖瓣海莲生长的影响还未见相关报道。本研究通过对尖瓣海莲幼苗在不同盐胁迫处理下的生长及生理生态特性的分析来了解其耐盐性及对盐胁迫逆境的适应情况,以期对尖瓣海莲的推广、引种栽培、遗传优选提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

于 2009 年 02 月 23 日从海南东寨港取尖瓣海莲无病虫害的成熟胚轴(胚轴长( $12.49 \pm 1.14$ ) cm;胚轴粗( $1.65 \pm 0.16$ ) cm;胚轴鲜重( $21.05 \pm 2.22$ ) g),2009 年 02 月 25 日插入装混泥土(黄泥、沙和火烧土按 3:1:1)的塑料瓶(用 1.25 L 的瓶制作,半茎 5 cm,高 10 cm,底部带 4 个小孔)中,并放入玻璃温室人工设置不同盐梯度的潮汐模拟槽(模拟槽规格 1.2m×0.7m×0.4m)内进行培养。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 试验地概况

整个模拟试验在广州市人工玻璃温室内进行。试验时间为 2009 年 2—8 月,历经春夏两季,光热资源丰富、空气湿润,试验期间温室内最高气温达 42℃,最低气温约 10℃,平均气温约 26℃。

#### 1.2.2 试验设置

采用自动潮汐模拟槽装置,分上槽和下槽,上槽为培养槽,下槽为储水槽,用功率 15 W 的水泵连接上下水槽,以定时器控制涨退潮时间,槽内水为人工配置海水,依据先前对尖瓣海莲幼苗的潮汐淹浸适应性研究结果<sup>[24]</sup>,每个半日潮苗木完全被淹没 4 h,每 12 h 循环水淹一个半日潮,各处理每天淹浸两个半日潮;设置 9 个盐度处理,分别为 0、5、10、15、20、25、30、35、40,每星期对槽内人工海水盐度进行测定,每处理各 18 株,即每重复 6 株,3 次重复;试验时间为 160d。

### 1.2.3 植物生长调查分析

从 2009 年 4 月 15 日起每隔 15 d 对尖瓣海莲幼苗的苗高、基径(胚轴以上苗木基部)及叶片数进行调查。于 2009 年 8 月初用叶面积仪(Li-3000)对每株苗木叶片面积进行测定,然后作生物量收获测定,即将全部试验苗木装入信封放入恒温烘箱中,先在 110℃ 下杀青 20min,再在 80℃ 下烘干至恒重,烘干取出后用电子天平分别称量每株苗木的根、茎、叶干重。

### 1.2.4 植物生理分析

于试验结束前 10 d,采取生长一致的叶片或根进行各项生理指标的测定,每处理每项生理指标重复 3 次。叶绿素 a、b 含量及总量采用分光光度法<sup>[25]</sup>;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法<sup>[26]</sup>进行测定;超氧化物歧化酶(SOD)含量采用氮蓝四唑(NBT)法<sup>[27]</sup>进行测定;游离脯氨酸含量采用酸性茚三酮法<sup>[28]</sup>进行测定;质膜透性采用电导仪法<sup>[29]</sup>进行测定;根活力采用 TTC 法<sup>[30]</sup>进行测定。

### 1.2.5 植物光合速率测定

于 2009 年 7 月 7 日—9 日 10:30—11:30,采用 Licor-6400 光合测定仪对不同盐度处理下的尖瓣海莲幼苗叶片的净光合速率进行测定。测定时设置光强为  $1000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,采用开放气路,每处理取 5 株,每株选中上部健康叶 1 片,每片叶重复记录 5 个值,连续测定 3d,每处理测得 75 个值,取其平均值为该处理净光合速率。

## 1.3 数据处理与分析

所有数据在 Excel、SPSS15.0 软件中进行分析,其中方差分析采用单因子方差分析法(One-Way ANOVA),多重比较采用最小显著差异法(LSD)。数据分析采用主成分分析方法<sup>[31]</sup>,基本步骤:① 将样本数据标准化后用 SPSS 分析处理得出主成分贡献率、累积贡献率、相关系数矩阵的特征值( $r$ )、因子负荷矩阵( $A$ );② 根据性状累积贡献率达到 85% 以上,确定主成分个数;③ 根据特征值和因子负载矩阵计算特征向量矩阵  $U(U=A/r^{0.5})$ ;④ 用标准化样本数据计算主成分得分。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同盐度处理对尖瓣海莲幼苗生长特征的影响

一般认为低盐对红树植物的生长发育有一定的促进作用,但高盐度会明显阻碍植物的发育<sup>[32-33]</sup>。随着试验时间的延长,尖瓣海莲幼苗在不同盐度处理下的生长差异越来越明显。如表 1 所示,随盐度的增大尖瓣海莲幼苗生长有先变旺盛,后变差的趋势。尖瓣海莲幼苗在盐度为 0 的处理下,苗木细长,叶片呈淡绿色;在盐度为 5 的处理下生长最好,叶片鲜绿且大而厚,苗木高而粗壮;在盐度为 10—20 的处理下苗木变矮,但粗壮,且叶片呈深绿色;在盐度为 25、30 的处理下开始出现死苗现象,生长明显变差,苗木明显变矮变细,叶片减少且变小,叶片数仅为盐度为 5 处理下的 36%—56%,单片叶面积比盐度为 5 的处理减少了 41%—54%;在盐度为 35、40 的处理下苗木成活率很低,分别为 61% 和 22%,叶极小呈墨绿色多无叶,成活苗木极端矮小,并畸形。

### 2.2 不同盐度处理下的苗高、基径及叶片数增量

受盐胁迫的影响,不同盐度处理下尖瓣海莲的苗高、基径及叶片增量均有显著差异( $P < 0.05$ )。从表 1 可知,盐度 0—20 处理下尖瓣海莲幼苗的苗高、基径及叶片增量均保持较高值,且显著高于盐度  $\geq 25$  处理下的值( $P < 0.05$ )。尖瓣海莲幼苗的苗高、基径及叶片增量最大值均出现在盐度为 5 的处理下,分别为最低值(盐度为 40)的 11.8、40.5、20.6 倍。可见尖瓣海莲幼苗在盐度为 5 的处理下生长最好,盐度超过 25 后,尖瓣海莲幼苗的生长速率明显下降。

### 2.3 不同盐度处理下的生物量

如表 1 所示,随着盐度的增大,尖瓣海莲幼苗的叶干重、茎干重、根干重和总生物量均有先增后降的趋势。尖瓣海莲幼苗的叶干重在盐度为 5 和 10 的处理下显著高于其他处理( $P < 0.05$ ),分别是盐度为 0 处理的 1.7 倍和 1.4 倍,为最小值(盐度为 40)的 73.3 倍和 61.9 倍,可见低盐对尖瓣海莲幼苗的叶片生长有很大的促进

作用,但盐度过高对叶片生长反而起抑制作用。在盐度为 5 的处理下,尖瓣海莲幼苗各器官干重均最大,且显著高于其他处理( $P < 0.05$ ),总生物量最大值是最小值(盐度为 40)的 26 倍。盐度 $\geq 25$ 后,各尖瓣海莲幼苗各器官干重均显著低于盐度 $< 25$ 的处理( $P < 0.05$ )。可见盐度 5 处理最利于尖瓣海莲幼苗的生物量累积,而盐度 $\geq 25$ 后尖瓣海莲幼苗生长明显受限。

表 1 各处理盐度下尖瓣海莲幼苗的生长情况

Table1 Growth of *B. sexangula* var. *rhynchoptala* seedlings with different salinity treatments

| 盐度<br>Salinity | 成活率/%<br>Survival | 苗高/cm<br>Seedling height | 基径/cm<br>Stem | 叶片数/片<br>Blade number | 单片叶面/cm <sup>2</sup><br>Area each leaf |
|----------------|-------------------|--------------------------|---------------|-----------------------|----------------------------------------|
| 0              | 100               | 26.26 ± 2.96b            | 0.53 ± 0.08ab | 8.53 ± 1.36bc         | 24.03 ± 2.68bc                         |
| 5              | 100               | 31.20 ± 3.96a            | 0.59 ± 0.05a  | 9.67 ± 1.18a          | 29.68 ± 2.95a                          |
| 10             | 100               | 23.30 ± 1.84c            | 0.55 ± 0.07a  | 8.73 ± 0.88ab         | 26.58 ± 2.37b                          |
| 15             | 100               | 21.57 ± 1.18cd           | 0.51 ± 0.05ab | 8.47 ± 0.99bc         | 22.79 ± 2.06c                          |
| 20             | 100               | 19.50 ± 1.54d            | 0.47 ± 0.06b  | 7.53 ± 1.06c          | 20.58 ± 2.16d                          |
| 25             | 94                | 13.73 ± 3.90e            | 0.40 ± 0.11c  | 5.40 ± 1.72d          | 17.59 ± 1.97e                          |
| 30             | 83                | 6.50 ± 4.14f             | 0.25 ± 0.16d  | 3.53 ± 2.26e          | 13.60 ± 1.83e                          |
| 35             | 61                | 2.97 ± 2.89g             | 0.16 ± 0.15e  | 2.07 ± 2.09f          | 6.28 ± 2.56e                           |
| 40             | 22                | 0.77 ± 1.35h             | 0.05 ± 0.08f  | 0.47 ± 0.83g          | 4.68 ± 2.79e                           |

| 盐度<br>Salinity | 叶干重/g<br>Dry weight of leave | 茎干重/g<br>Dry weight of stem | 根干重/g<br>Dry weight of root | 总生物量/g<br>Total biomass |
|----------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 0              | 1.24 ± 0.33cd                | 0.70 ± 0.14b                | 0.69 ± 0.14b                | 2.63 ± 0.42c            |
| 5              | 2.12 ± 0.64a                 | 1.01 ± 0.13a                | 1.09 ± 0.31a                | 4.21 ± 0.85a            |
| 10             | 1.79 ± 0.79b                 | 0.70 ± 0.21b                | 0.71 ± 0.21b                | 3.20 ± 0.90b            |
| 15             | 1.35 ± 0.51c                 | 0.68 ± 0.22b                | 0.68 ± 0.24b                | 2.71 ± 0.87bc           |
| 20             | 0.97 ± 0.46d                 | 0.49 ± 0.21c                | 0.53 ± 0.19c                | 1.99 ± 0.71d            |
| 25             | 0.62 ± 0.61e                 | 0.36 ± 0.36d                | 0.37 ± 0.37d                | 1.35 ± 0.70e            |
| 30             | 0.28 ± 0.29f                 | 0.24 ± 0.24d                | 0.19 ± 0.16e                | 0.70 ± 0.68f            |
| 35             | 0.06 ± 0.09f                 | 0.07 ± 0.07e                | 0.16 ± 0.06e                | 0.29 ± 0.21fg           |
| 40             | 0.03 ± 0.07f                 | 0.03 ± 0.06e                | 0.10 ± 0.08e                | 0.16 ± 0.18g            |

1)同一列数据的不同字母表示多重检验结果差异显著,  $P < 0.05$

## 2.4 不同盐度处理下的抗逆性生理指标

尖瓣海莲幼苗在盐胁迫逆境中不仅表现出生长特征上的差异,在生理指标上也表现出明显的差异。如表 2 所示,随着处理盐度的不断增大,尖瓣海莲幼苗叶片内的超氧化物歧化酶(SOD)活性、游离脯氨酸含量、丙二醛含量和质膜透性均有先减后增的趋势,这是植物对盐逆境的一种生理反应,随着这些生理指标的不断增大,表明尖瓣海莲幼苗受盐逆境伤害程度越来越严重。在盐度为 5、10 的处理下,尖瓣海莲幼苗叶片内的 SOD、游离脯氨酸含量、丙二醛含量和质膜透性与盐度为 0 处理均无显著差异( $P > 0.05$ ),且均保持较低值,表明尖瓣海莲幼苗在盐度 $\leq 10$ 的处理下生长不受影响或影响极小。当盐度 $\geq 25$ 后,尖瓣海莲幼苗叶片内的 SOD 活性、游离脯氨酸含量和丙二醛含量均显著高于盐度 $< 25$ 处理下的值( $P < 0.05$ ),表明尖瓣海莲幼苗受逆境影响程度加大。

## 2.5 不同盐度处理下尖瓣海莲幼苗 10 项生长信息指标主成分分析

### 2.5.1 不同盐度处理下尖瓣海莲幼苗的 10 项生长信息指标

表 3 为不同盐度处理下尖瓣海莲幼苗的 10 项生长信息指标。为了探索盐度对尖瓣海莲幼苗各器官生长量分配影响的规律,试验中对不同盐度处理下尖瓣海莲幼苗的叶干重、茎干重和根干重分开进行了测定。如表 3 所示,在低盐(盐度为 5—15)处理下尖瓣海莲幼苗的地上部分单株生物量(单株叶干重与单株茎干重之和)是不加盐处理的 1.05—1.61 倍,而地下部分(单株根干重)是不加盐处理的 0.99—1.58 倍;在中盐(盐度

为 20—30) 处理下尖瓣海莲幼苗的地上部分单株生物量(单株叶干重与单株茎干重之和)比不加盐处理下降了 0.25—0.73 倍,而地下部分(单株根干重)比不加盐处理下降了 0.23—0.72 倍;在高盐(盐度为 35,40)处理下尖瓣海莲幼苗的地上部分单株生物量(单株叶干重与单株茎干重之和)比不加盐处理下降了 0.93—0.97 倍,而地下部分(单株根干重)比不加盐处理下降了 0.77—0.86 倍。可见低盐那尖瓣海莲幼苗地上部分生长的促进作用比地下部分大,而中盐和高盐对地上部分生长的抑制作用也比地下部分大,即尖瓣海莲幼苗地上部分对盐分胁迫反应比地下部分敏感。

表 2 不同盐度处理下尖瓣海莲幼苗的抗逆性生理指标

Table 2 Resistance physiological indexes of *B. sexangula* var. *rhynchoptala* seedlings with different salinity treatments

| 盐度/<br>Salinity | SOD 活性/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )<br>SOD activity | 游离脯氨酸/( $\mu\text{g}/\text{g}$ )<br>Proline | 丙二醛/( $\mu\text{mol}/\text{g}$ )<br>MDA | 质膜透性/%<br>Membrane permeability |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|
| 0               | 1364a                                                                        | 183ab                                       | 10.02a                                  | 6.90a                           |
| 5               | 1302a                                                                        | 148a                                        | 9.26a                                   | 6.10a                           |
| 10              | 1383a                                                                        | 178ab                                       | 11.47ab                                 | 7.70ab                          |
| 15              | 1482b                                                                        | 202bc                                       | 14.14b                                  | 10.70bc                         |
| 20              | 1578c                                                                        | 233c                                        | 18.15c                                  | 12.10cd                         |
| 25              | 1676d                                                                        | 295d                                        | 26.20d                                  | 14.80d                          |
| 30              | 1704d                                                                        | 319d                                        | 31.88e                                  | 24.60e                          |
| 35              | 2208e                                                                        | 472e                                        | 36.59f                                  | 44.60f                          |
| 40              | 2239e                                                                        | 511e                                        | 41.38g                                  | 50.10g                          |

1) 同一列数据的不同字母表示多重检验结果差异显著,  $P < 0.05$

表 3 尖瓣海莲幼苗不同盐度处理下的 10 项生长信息指标

Table 3 Ten growth information indexes of *B. Sexangula* var. *rhynchoptala* seedlings with different salinity treatments

| 盐度<br>Salinity | 单株叶干重/g<br>Dry weight of leave<br>each plant | 单株茎干重/g<br>Dry weight of stem<br>each plant | 单株根干重/g<br>Dry weight of root<br>each plant | 总生物量/g<br>Total biomass | 苗高/cm<br>Increment of<br>seedling height |
|----------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|
| 0              | 1.24cd                                       | 0.70b                                       | 0.69b                                       | 2.63c                   | 26.26b                                   |
| 5              | 2.12a                                        | 1.01a                                       | 1.09a                                       | 4.21a                   | 31.20a                                   |
| 10             | 1.79b                                        | 0.70b                                       | 0.71b                                       | 3.20b                   | 23.30c                                   |
| 15             | 1.35c                                        | 0.68b                                       | 0.68b                                       | 2.71bc                  | 21.57cd                                  |
| 20             | 0.97d                                        | 0.49c                                       | 0.53c                                       | 1.99d                   | 19.50d                                   |
| 25             | 0.62e                                        | 0.36d                                       | 0.37d                                       | 1.35e                   | 13.73e                                   |
| 30             | 0.28f                                        | 0.24d                                       | 0.19e                                       | 0.70f                   | 6.50f                                    |
| 35             | 0.06f                                        | 0.07e                                       | 0.16e                                       | 0.29fg                  | 2.97g                                    |
| 40             | 0.03f                                        | 0.03e                                       | 0.10e                                       | 0.16g                   | 0.77h                                    |

| 盐度/<br>Salinity | 基径/cm<br>Increment<br>of stem | 单株叶面积/ $\text{cm}^2$<br>Leaves area<br>each plant | 净光合速率<br>( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ )<br>Net photosynthetic rate | 叶绿素总量<br>( $\text{mg}/\text{g}$ )<br>Chlorophyll | 根活力/<br>( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )<br>Root activity |
|-----------------|-------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 0               | 0.53ab                        | 205bc                                             | 7.15cd                                                                                   | 1.20bc                                           | 461b                                                                           |
| 5               | 0.59a                         | 287a                                              | 9.04a                                                                                    | 1.38b                                            | 727a                                                                           |
| 10              | 0.55a                         | 232b                                              | 7.47bc                                                                                   | 1.23bc                                           | 479b                                                                           |
| 15              | 0.51ab                        | 193c                                              | 7.13cd                                                                                   | 1.21bc                                           | 420bc                                                                          |
| 20              | 0.47b                         | 155d                                              | 6.86d                                                                                    | 1.01c                                            | 342cd                                                                          |
| 25              | 0.40c                         | 95e                                               | 5.31e                                                                                    | 1.19bc                                           | 261de                                                                          |
| 30              | 0.25d                         | 48e                                               | 3.10f                                                                                    | 1.38b                                            | 216e                                                                           |
| 35              | 0.16e                         | 13e                                               | 0.19g                                                                                    | 1.72a                                            | 153ef                                                                          |
| 40              | 0.05f                         | 2.2e                                              | -0.24g                                                                                   | 1.82a                                            | 99f                                                                            |

1) 同一列数据的不同字母表示多重检验结果差异显著,  $P < 0.05$

在盐度 <25 的处理下尖瓣海莲幼苗单株叶面积保持较大值,当盐度超过 25 后,叶面积显著下降 ( $P < 0.05$ ) 叶片生长受抑制。随着盐度的增大,尖瓣海莲幼苗叶片内的叶绿素总量呈先增后减再增的趋势,在盐度为 5—15 处理下的叶绿素总量相对盐度为 0 的处理稍有增大,但不显著 ( $P > 0.05$ ),随盐度继续增加,叶绿素含量呈不显著下降,但当盐度  $\geq 30$  后,叶绿素总量显著上升。净光合速率和根活力均在盐度为 5 的处理下最大,并显著高于其他处理,表明尖瓣海莲幼苗在盐度为 5 的处理下生长最旺盛。

2.5.2 不同盐度处理下尖瓣海莲幼苗 10 项生长信息指标主成分分析

植物对逆境的耐受能力是受生长情况、生理生化等多因素综合作用影响的结果,单个因素无法准确的表現植物对逆境的耐受能力,为了准确评价尖瓣海莲幼苗耐盐能力,本研究选用尖瓣海莲幼苗不同盐度处理下的 10 项生长信息指标进行主成分分析(表 4—表 6)。由表 4 可知,尖瓣海莲的第一主成分( $F_1$ )的方差累积贡献率为 91.84%, >85%,所以第一主成分能反应不同盐度处理下尖瓣海莲幼苗各生长指标之间的关系,用这个主成分对尖瓣海莲幼苗耐盐能力进行评价是可行的、合理的。

表 4 尖瓣海莲幼苗不同盐度处理下的生长信息主成分分析

Table 4 Principal component analysis of the growth information indices of *B. Sexangula* var. *rhynchopetala* seedlings with different salinity treatments

| 项目 Item                         | 第一主成分 F1 The first principal component |
|---------------------------------|----------------------------------------|
| 特征根 Eigenvalue                  | 9.184                                  |
| 方差贡献率/% Variance contribution   | 91.84                                  |
| 累积贡献率/% Cumulative contribution | 91.84                                  |

如表 5 所示,尖瓣海莲幼苗的第一主成分主要综合了苗高、基径、单株叶面积、单株茎干重和总生物量等生长指标的信息,它们的权重系数分别为 0.3234、0.3204、0.3257、0.3274、0.3224。

由表 4 可得尖瓣海莲第一主成分表达式:

$$F_1 = 0.3234 \times X_1 + 0.3204 \times X_2 + 0.3257 \times X_3 + 0.3174 \times X_4 + 0.3274 \times X_5 + 0.3167 \times X_6 + 0.3224 \times X_7 + 0.3151 \times X_8 + 0.1557 \times X_9 + 0.3098 \times X_{10}$$

表 5 尖瓣海莲幼苗不同盐度处理下的生长特征向量分析

Table 5 Analyses of growth features vectors of *B. Sexangula* var. *rhynchopetala* seedlings with different salinity treatments

| 项目 Item                                                                                     | $X_1$  | $X_2$  | $X_3$  | $X_4$  | $X_5$  | $X_6$  | $X_7$  | $X_8$  | $X_9$  | $X_{10}$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| 尖瓣海莲第一主成分<br>The first principal component of <i>B. Sexangula</i> var. <i>rhynchopetala</i> | 0.3234 | 0.3204 | 0.3257 | 0.3174 | 0.3274 | 0.3167 | 0.3224 | 0.3151 | 0.1557 | 0.3098   |

$x_1$ — $x_{10}$  分别代表苗高、基径、单株叶面积、单株根干重、单株茎干重、单株叶干重、总生物量、净光合速率、叶绿素总量和根活力

由表 6 可知,尖瓣海莲主成分得分从高到低的处理盐度分别为 5、10、0、15、20、25、30、35、40,尖瓣海莲幼苗在盐度为 5 的处理下主成分得分最高,在盐度为 0、10、15 和 20 处理下的主成分得分值较高,盐度  $\geq 25$  处理下的主成分得分值较低。主成分分析结果表明尖瓣海莲在盐度 <25 处理下均能正常生长,在盐度为 5 下最适生长,当盐度超过 25 后,呈不适生长。

表 6 不同盐度处理下尖瓣海莲的主成分值

Table 6 Values of the principal components of *B. Sexangula* var. *rhynchopetala* with different salinity treatments

| 盐度 Salinity | 主成分得分 Principal component value | 盐度 Salinity | 主成分得分 Principal component value | 盐度 Salinity | 主成分得分 Principal component value |
|-------------|---------------------------------|-------------|---------------------------------|-------------|---------------------------------|
| 0           | 1.6065                          | 15          | 1.4925                          | 30          | -2.3093                         |
| 5           | 4.5910                          | 20          | 0.3093                          | 35          | -3.1778                         |
| 10          | 2.2854                          | 25          | -0.9333                         | 40          | -3.8777                         |



### 3 结论与讨论

(1) 尖瓣海莲幼苗生长特征在不同盐度处理下有明显差异。盐度对红树植物生长影响较大, 过高或过低的盐度都会抑制红树植物的生长发育, 甚至导致死亡。尖瓣海莲受到盐分胁迫后会引一系列形态特征、生长和生理生化上的变化, 在不同的盐度处理下, 尖瓣海莲幼苗的高度、粗度及叶片生长相差很大。随着盐度的增大尖瓣海莲幼苗由高变矮, 茎秆由细变粗再变细, 叶片由细长淡绿变宽厚深绿再变窄小墨绿。高盐对尖瓣海莲幼苗形态上的影响将限制其总叶面积和光合能力, 进而影响生长速率。

(2) 随着盐度的不断增大, 尖瓣海莲幼苗叶片内 SOD 活性、游离脯氨酸含量、丙二醛含量及质膜透性均呈先降低后升高的趋势。植物体内的抗逆性生理指标随逆境程度的变化而变化, 一方面是细胞结构和功能遭受伤害的反应, 另一方面是植物在逆境下的适应表现<sup>[34]</sup>。植物体内广泛存在的抗氧化酶系统能有效清除活性氧, SOD 活性和植物的抗逆性呈正相关, 是反映植物抗逆性的重要指标之一, 在正常情况下, 当植物遇到胁迫时(如水涝、盐碱化等)会通过 SOD 活性来增强抗逆性<sup>[35-36]</sup>。尖瓣海莲幼苗叶片内的 SOD 活性在低盐度(<15)处理下保持稳定, 随着盐度继续增加, SOD 含量显著上升, 这与孙海菁等<sup>[37]</sup>对旱柳等 6 种陆生植物的耐盐性研究吻合, 但与郑海雷等<sup>[38]</sup>对海莲和木榄幼苗膜保护系统的研究中得出的海莲幼叶中 SOD 活性中盐上升, 高盐下降, 木榄幼叶内的 SOD 活性则低盐上升, 高盐稳定的结果不同。游离脯氨酸含量的高低是植物在逆境条件下的一种生理响应, 大多数植物在逆境条件下脯氨酸含量会成倍增加<sup>[34]</sup>, 尖瓣海莲幼苗在高盐(40)处理下叶片内游离脯氨酸的含量是中低盐(<25)处理下的 2—3 倍, 表明其受逆境伤害程度加深。丙二醛(MDA)是膜脂氧化的最终产物, 其含量可以反映植物遭受逆境伤害的程度, 本研究中尖瓣海莲幼苗叶片内丙二醛含量呈现低盐(5)下降, 较高盐度或高盐上升的趋势, 这与郑海雷等对海莲和木榄及廖岩等对无瓣海桑、海桑和红海榄的研究结果类似<sup>[14, 38]</sup>。逆境条件首先影响细胞膜, 造成细胞膜透性的改变或丧失, 膜透性的测定常作为植物抗逆性研究的一个重要生理指标<sup>[39]</sup>。尖瓣海莲幼苗在高盐( $\geq 35$ )下叶片质膜透性是中低盐(<25)处理下的 3—8 倍, 表明不同的盐度对尖瓣海莲细胞膜透性的影响或破坏截然不同。

(3) 盐度对尖瓣海莲幼苗的茎高、茎粗、根茎叶干重及叶面积均有显著影响, 并都存在低盐促进生长, 高盐抑制生长的现象, 这与王文卿等<sup>[15]</sup>对木榄的研究结果相同, 但与郑文教等<sup>[40]</sup>对秋茄的研究中得出的叶片叶面积随盐度的提高一直下降的结果有所不同。尖瓣海莲幼苗地上部分对盐度的反应比地下部分灵敏。不同盐度下尖瓣海莲幼苗的生长量和生物量情况都表明了尖瓣海莲生长需要一定的低盐, 在盐度为 5 下生长最好, 但盐度过大对其生长将产生抑制作用。

(4) 主成分分析结果表明尖瓣海莲在盐度 <25 处理下均能正常生长, 在盐度为 5 下生长最好, 当盐度超过 25 后, 生长显著受限。王文卿等<sup>[15]</sup>对红树植物木榄的研究中表明盐度为 30 时, 木榄的每苗叶片重量及叶面积均达到最大, 且茎生长与不加盐的对照相近, 盐度到 50 表现出高盐抑制现象; 郑文教等<sup>[13]</sup>对海莲的研究中表明海莲幼苗最适生长盐度在 15 以下, 更高盐度表现为生态抗盐适应性生长; 而本研究的尖瓣海莲幼苗在 <25 的盐度下适应生长, 盐度超过 25 后生长受限, 可见这 3 种红树植物的耐盐性能力强弱为木榄最强, 尖瓣海莲介于二者之间, 海莲最弱。但由于研究中所采用的试验设置, 培养时间等各方面均有差异, 各红树植物具体的耐盐性仍需更加深入研究, 以为红树林的引种、造林、恢复及保护提供更加科学合理的理论依据和技术支持。

### References:

- [1] Lin P. Mangrove Vegetation. Beijing: China Ocean Press, 1984:1-104.
- [2] Hutchings P, Saenger P. Ecology of Mangroves. St Lucia: University of Queensland Press, 1987:1-388.
- [3] Tomlinson P B. The Botany of Mangroves. Cambridge: Cambridge University Press, 1994:1-419.
- [4] Kawana Y, Sasamoto H. Stimulation effects of salts on growth in suspension culture of a mangrove plant, *Sonneratia alba*, compared with another mangrove, *Bruguiera sexangula* and non-mangrove tobacco BY-2 cells. Plant Biotechnology, 2008, 25(2):151-155.
- [5] Suzuki M, Mimura T, Ashihara, H. Effect of short-term salt stress on the metabolic profiles of pyrimidine, purine and pyridine nucleotides in

- cultured cells of the mangrove tree, *Bruguiera sexangula*. *Physiologia Plantarum*, 2006, 128 (3):405-414.
- [ 6 ] Mimura T, Mimura M, Washitani Nemoto S, Siripatanadilok S. NaCl-dependent growth, ion content and regeneration of calluses initiated from the mangrove plant, *Bruguiera sexangula*. *Journal of Plant Research*, 1997, 110(1097):31-36.
- [ 7 ] Suzuki M, Hashioka A, Mimura T, Ashihara H. Salt stress and glycolytic regulation in suspension-cultured cells of the mangrove tree, *Bruguiera sexangula*. *Physiologia Plantarum*, 2005, 123 (3):246-253.
- [ 8 ] Krauss K W, Allen J. Influences of salinity and shade on seedling photosynthesis and growth of two mangrove species, *Rhizophora mangle* and *Bruguiera sexangula*, introduced to Hawaii. *Aquatic Botany*, 2003, 77(4):311-324.
- [ 9 ] Akiyo YAMADA; Asami NOZAKI; Emiko SANO; Tetsuro MJMURA; Yoshihiro OZEKI. Expression of mangrove eEF1A enhances tolerance to salt and osmotic stress in *Escherichia coli*. *Plant Biotechnology*, 2003, 20(1):81-85.
- [ 10 ] Yamada A, Saitoh T, Mimura T, Ozeki Y. Expression of mangrove allene oxide cyclase enhances salt tolerance in *Escherichia coli*, yeast, and tobacco cells. *Plant and Cell Physiology*, 2002, 43(8):903-910.
- [ 11 ] Zhang Y H, Wang W Q, Lin P. Salt balance mechanism in mangroves. *Marine Sciences*, 2007, 31(11):86-90.
- [ 12 ] Huang W, Lin X F, Li G Y, Zhao W M. Effect of salinity on some physiological characteristics of *Kandelia candel*. *Natural Science Journal of Hainan University*, 2002, 20(4):328-331.
- [ 13 ] Zheng W J, Lin P. Effect of salinity on growth and some eco-physiological characteristic of mangrove *Bruguiera sexangula* seedlings. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1992, 3(1):9-14.
- [ 14 ] Liao Y, Chen G Z. Research on physiological adaptability of three mangrove species to salt stress. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6):2208-2214.
- [ 15 ] Wang W Q, Lin P. Influence of substrate salinity on the growth of mangrove species of *Bruguiera gymnorrhiza* Seedling. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 1999, 38(2):273-279.
- [ 16 ] Ye Y, Lu C Y, Hu H Y, Tan F Y. Comparison s of tolerances to salt stress among three salt- secreting mangrove species. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11):2444-2450.
- [ 17 ] Lu C Y, Lin S. Effect of salinity on seed germination of *Laguncularia racemosa*(L. ) Gaertn. F. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2008, 47(6):887-890.
- [ 18 ] Liao Y, Chen G Z. Review on influence of salinity on mangrove. *Wetland Science*, 2007, 5(3):266-273.
- [ 19 ] Pan W, Zhou H T, Chen P, Lin P. Genetic variation and relationship of 3 *Bruguiera* species by RAPD and ISSR. *Marine Sciences*, 2005, 29(5):23-28.
- [ 20 ] Zhou H T, Lin P, Sun S. Molecular phylogeny of seven species of mangroves in Jiulong river in Hujian. *Marine Sciences*, 2001, 25(8):42-46.
- [ 21 ] Bao S Y, Lin W H. Compounds from marine mangrove plant *Bruguiera sexangula* var. *rhynchopetala*. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2006, 31(14):1168-1171.
- [ 22 ] Bao S Y, Ding Y, Deng Z W. Rhyncosides A-F, phenolic constituents from the Chinese mangrove plant *Bruguiera sexangula* var. *rhynchopetala*. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 2007, 55(8):1175-1180.
- [ 23 ] Shuyun Bao, Zhiwei Deng, Hongzheng Fu, Peter Proksch, Wenhan Lin. Diterpenes and disulfides from the marine mangrove plant *Bruguiera sexangula* var. *rhynchopetala*. *Helvetica Chimica Acta*, 2005, 88(10):2757-2763.
- [ 24 ] Liao B W, Qiu F Y, Guan W. Zeng W J. Han J. Study on the adaptability of *Bruguiera sexangula* var. *rhynchopetala* seedlings to simulated tidal inundation. *Forest Research*, 2009, 22(1):42-47.
- [ 25 ] Li H S. *Experimental Principle and Technology of Plant Physiology and Piochemistry*. Beijing: Higher Education Press, 2000:134-137.
- [ 26 ] Wang J Y, Ao H, Zhang J, Qu G Q. *Experimental Technology and Principle of Plant Physiology and Biochemistry*. Haerbing: Northeast Forestry University Press, 2003:135-136.
- [ 27 ] Stewert R C, Bewley J D. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant Physiology*, 1980, 65:245-248.
- [ 28 ] Li H S. *Experimental principle and technology of plant physiology and biochemistry*. Beijing: Higher Education Press, 2000:121-123.
- [ 29 ] Wang J Y, Ao H, Zhang J, Qu G Q. *The technology and theory of plant's physiological and biochemical experiment*. Haerbing: Northeast Forestry University Press, 2003:132-133.
- [ 30 ] Wang J Y, Ao H, Zhang J, Qu G Q. *The technology and theory of plant's physiological and biochemical experiment*. Haerbing: Northeast Forestry University Press, 2003. 101-104.
- [ 31 ] Yuan Z F, Zhou J Y. *Multivariate statistical analysis*. Beijing: Science Press, 2002:188-189.
- [ 32 ] Hernandez J A, Olmos E, Corpas FJ, Sevilla F, Delrio L A. Salt-induced oxidative stress in chlorop lasts of pea plants. *Plant Science*, 1995, 105:151-167.
- [ 33 ] Takemura T, Hanagata N, Sugihara K, Baba S, Karube I, Dubinsky Z. Physiological and biochemical responses to salt stress in the mangrove,

*Bruguiera gym norrhiza*. Aquatic Botany, 2000, 68(1): 15-28.

- [34] Tang Z C. Proline accumulation and its possible significance in stress condition. Plant Physiology Communications, 1984, (1):15-21.
- [35] Wang B, Song F B. Responses and adaptation on the Saline-alkali stress of Oats. Environment, 2006,15(3):625-629.
- [36] Du X M, Yin W X, Zhao Y X, Zhang H. The generation and cleaning mechanisms of reactive oxygen in plants. Journal of Biological Engineering, 2001,17(2):121-125.
- [37] Sun H J, Wang S F, Chen Y T. Effects of salt stress on growth and physiological Index of 6 Tree Species. Forest Research, 2009,22(3): 315-324.
- [38] Zheng H L, Lin P. Effect of salinity on membrane protection system for *B. sexangula* and *B. gymnorhiza* seedling. Journal of Xiamen University (Natural Science), 1998,37(2):278-282.
- [39] Yang C P, Jiao X C, Liu W X, Liang J Y, Sheng H, Liu G F. Membrane permeability and salt resistance in trees. Journal of Northeast Forestry University, 1997,25(1):1-3.
- [40] Zheng W J, Lin P. Effect of salinity on growth and water metabolism of *Kandelia candel*. Journal of Xiamen University (Natural Science), 1990, 29(5):575-579.

#### 参考文献:

- [1] 林鹏. 红树林. 北京:海洋出版社,1984:1-104.
- [11] 张宜辉, 王文卿, 林 鹏. 红树植物的盐分平衡机制. 海洋科学,2007,31(11):86-90.
- [12] 黄薇, 林栖凤, 李冠一, 赵文明. 盐分对红树植物秋茄某些生理特性的影响. 海南大学学报(自然科学版),2002,20(4):328-331.
- [13] 郑文教, 林鹏. 盐度对红树植物海莲幼苗的生长和某些生理生态特性的影响. 应用生态学报,1992,3(1):9-14.
- [14] 廖岩, 陈桂珠. 三种红树植物对盐胁迫的生理适应. 生态学报,2007,27(6):2208-2214.
- [15] 王文卿, 林鹏. 盐度对红树植物木榄生长的影响. 厦门大学学报(自然科学版),1999,38(2):273-279.
- [16] 叶勇, 卢昌义, 胡宏友, 谭凤仪. 三种泌盐红树植物对盐胁迫的耐受性比较. 生态学报,2004,24(11):2444-2450.
- [17] 卢昌义, 林松. 盐度对拉贡木种子发芽的影响. 厦门大学学报(自然科学版),2008,47(6):887-890.
- [18] 廖岩, 陈桂珠. 盐度对红树植物影响研究. 湿地科学,2007,5(3):266-273.
- [19] 潘文, 周涵韬, 陈攀, 林鹏. 木榄属 3 种红树植物的遗传变异和亲缘关系分析. 海洋科学,2005,29(5):23-28.
- [20] 周涵涛, 林鹏, 孙晟. 福建九龙江口红树植物分子分类的研究. 海洋科学,2001,25(8):42-46.
- [21] 包淑云, 林文翰. 红树植物尖瓣海莲的化学成分研究. 中国中药杂志,2006,31(14):1168-1171.
- [24] 廖宝文 邱凤英 管伟 曾雯珺 韩静. 尖瓣海莲幼苗对模拟潮汐淹没时间的适应性研究. 林业科学研究,2009,22(1):42-47.
- [25] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术. 北京:高等教育出版社,2000:134-137.
- [26] 王晶英, 敖红, 张杰, 曲桂琴. 植物生理生化实验技术与原理. 哈尔滨:东北林业大学出版社,2003:135-136.
- [28] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术. 北京:高等教育出版社,2000:121-123.
- [29] 王晶英, 敖红, 张杰, 曲桂琴. 植物生理生化实验技术与原理. 哈尔滨:东北林业大学出版社,2003:132-133.
- [30] 王晶英, 敖红, 张杰, 曲桂琴. 植物生理生化实验技术与原理. 哈尔滨:东北林业大学出版社,2003:101-104.
- [31] 袁志发, 周静芋. 多元统计分析. 北京:科学出版社,2002:188-189.
- [36] 杜秀敏, 殷文璇, 赵彦修, 张慧. 植物中活性氧的产生及清除机制. 生物工程学报,2001,17(2):121-125.
- [37] 孙海菁, 王树凤, 陈益泰. 盐胁迫对 6 个树种的生长及生理指标的影响. 林业科学研究, 2009, 22(3): 315-324
- [38] 郑海雷, 林鹏. 培养盐度对海莲和木榄幼苗膜保护系统的影响. 厦门大学学报(自然科学版), 1998,37(2):278-282.
- [39] 杨传平, 焦喜才, 刘文祥, 梁晶苑, 盛华, 刘桂丰. 树木的细胞膜透性与抗盐性. 东北林业大学学报, 1997,25(1):1-3.
- [40] 郑文教, 林鹏. 盐度对秋茄幼苗的生长和水分代谢的效应. 厦门大学学报(自然科学版), 1990, 29(5):575-579.

# 2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

| 排序<br>Order | 期刊 Journal                              | 总被引频次<br>Total citation | 排序<br>Order | 期刊 Journal    | 影响因子<br>Impact factor |
|-------------|-----------------------------------------|-------------------------|-------------|---------------|-----------------------|
| 1           | 生态学报                                    | 11764                   | 1           | 生态学报          | 1.812                 |
| 2           | 应用生态学报                                  | 9430                    | 2           | 植物生态学报        | 1.771                 |
| 3           | 植物生态学报                                  | 4384                    | 3           | 应用生态学报        | 1.733                 |
| 4           | 西北植物学报                                  | 4177                    | 4           | 生物多样性         | 1.553                 |
| 5           | 生态学杂志                                   | 4048                    | 5           | 生态学杂志         | 1.396                 |
| 6           | 植物生理学通讯                                 | 3362                    | 6           | 西北植物学报        | 0.986                 |
| 7           | JOURNAL OF INTEGRATIVE<br>PLANT BIOLOGY | 3327                    | 7           | 兽类学报          | 0.894                 |
| 8           | MOLECULAR PLANT                         | 1788                    | 8           | CELL RESEARCH | 0.873                 |
| 9           | 水生生物学报                                  | 1773                    | 9           | 植物学报          | 0.841                 |
| 10          | 遗传学报                                    | 1667                    | 10          | 植物研究          | 0.809                 |

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 30 卷 第 23 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 30 No. 23 2010

|               |                                                                                                                    |                 |                                                                                                                                                                                 |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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:100717                                                                       | 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