

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 24 期 Vol.31 No.24 **2011**

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 31 卷 第 24 期

2011 年 12 月 (半月刊)

目 次

柑橘黄龙病株不同部位内生细菌群落结构的多样性	刘 波, 郑雪芳, 孙大光, 等 (7325)
小兴安岭红松径向生长对未来气候变化的响应	尹 红, 王 靖, 刘洪滨, 等 (7343)
污水地下渗透系统脱氮效果及动力学过程	李海波, 李英华, 孙铁珩, 等 (7351)
基于生态系统服务的海南岛自然保护区体系规划	肖 燧, 陈圣宾, 张 路, 等 (7357)
羌塘地区草食性野生动物的生态服务价值评估——以藏羚羊为例	鲁春霞, 刘 铭, 冯 跃, 等 (7370)
湖北省潜江市生态系统服务功能价值空间特征	许倍慎, 周 勇, 徐 理, 等 (7379)
滇西北纳帕海湿地景观格局变化及其对土壤碳库的影响	李宁云, 袁 华, 田 昆, 等 (7388)
基于连接性考虑的湿地生态系统保护多预案分析——以黄淮海地区为例	宋晓龙, 李晓文, 张明祥, 等 (7397)
青藏高原高寒草甸生态系统碳增汇潜力	韩道瑞, 曹广民, 郭小伟, 等 (7408)
影响黄土高原地物光谱反射率的非均匀因子及反照率参数化研究	张 杰, 张 强 (7418)
基于 GIS 的下辽河平原地下水生态敏感性评价	孙才志, 杨 磊, 胡冬玲 (7428)
厦门市土地利用变化下的生态敏感性	黄 静, 崔胜辉, 李方一, 等 (7441)
我国保护地生态旅游发展现状调查分析	钟林生, 王 婧 (7450)
黄腹山鹧鸪稳定的配偶关系限制雄性欺骗者	褚福印, 唐思贤, 潘虎君, 等 (7458)
食物蛋白含量和限食对雌性东方田鼠生理特性的影响	朱俊霞, 王 勇, 张美文, 等 (7464)
具有捕食正效应的捕食-食饵系统	祁 君, 苏志勇 (7471)
桑科中 4 种桑天牛寄主植物的挥发物成分研究	张 琳, WANG Baode, 许志春 (7479)
栗山天牛成虫羽化与温湿度的关系	杨忠岐, 王小艺, 王 宝, 等 (7486)
人工巢箱条件下杂色山雀的巢位选择及其对繁殖成功率的影响	李 乐, 万冬梅, 刘 鹤, 等 (7492)
鸭绿江口湿地鸕鹚类停歇地的生物生态研究	宋 伦, 杨国军, 李 爱, 等 (7500)
锡林郭勒草原区气温的时空变化特征	王海梅, 李政海, 乌 兰, 等 (7511)
UV-B 辐射胁迫对杨桐幼苗生长及光合生理的影响	兰春剑, 江 洪, 黄梅玲, 等 (7516)
小麦和玉米叶片光合-蒸腾日变化耦合机理	赵风华, 王秋凤, 王建林, 等 (7526)
利用稳定氢氧同位素定量区分白刺水分来源的方法比较	巩国丽, 陈 辉, 段德玉 (7533)
2010 年冬季寒冷天气对闽江口 3 种红树植物幼苗的影响	雍石泉, 仝 川, 庄晨辉, 等 (7542)
人参皂苷与生态因子的相关性	谢彩香, 索风梅, 贾光林, 等 (7551)
芑对黑麦草根茎几种低分子量有机分泌物的影响	谢晓梅, 廖 敏, 杨 静 (7564)
盐碱地柠条根围土中黑曲霉的分离鉴定及解磷能力测定	张丽珍, 樊晶晶, 牛 伟, 等 (7571)
不同近地表土壤水文条件下雨滴打击对黑土坡面养分流失的影响	安 娟, 郑粉莉, 李桂芳, 等 (7579)
煤电生产系统的能值分析及新指标体系的构建	楼 波, 徐 毅, 林振冠 (7591)
专论与综述	
东南亚高山森林植被变化对流域产水量的影响	张远东, 刘世荣, 顾峰雪 (7601)
干旱荒漠区斑块状植被空间格局及其防沙效应研究进展	胡广录, 赵文智, 王 岗 (7609)
利用农业生物多样性持续控制有害生物	高 东, 何霞红, 朱书生 (7617)
研究简报	
洪湖湿地生态系统土壤有机碳及养分含量特征	刘 刚, 沈守云, 闫文德, 等 (7625)
氯氰菊酯和溴氰菊酯对蓼花臂尾轮虫生殖的影响	黄 林, 刘昌利, 韦传宝, 等 (7632)
学术信息与动态	
SCOPE-ZHONGYU 环境论坛(2011)暨环境科学与可持续发展国际会议成功举办	(7639)
《生态学报》3 篇文章入选 2010 年中国百篇最具影响国内学术论文 等	(I)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2011-12	



封面图说: 泥炭藓大多生长在多水、寒冷和贫营养的生境, 同时有少数的草本、矮小灌木也生长在其中, 但优势植物仍然是泥炭藓属植物。泥炭藓植物植株死后逐渐堆积形成泥炭。经过若干年的生长演变, 形成了大片的泥炭藓沼泽。这种沼泽地有黑黑的泥炭, 绿绿的草甸和亮晶晶的斑块状水面相间相衬, 远远看去就像大地铺上了锦绣地毯一样美丽壮观。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

雍石泉,全川,庄晨辉,杨渭平,李旭伟,张林海,黄佳芳. 2010 年冬季寒冷天气对闽江口 3 种红树植物幼苗的影响. 生态学报, 2011, 31(24): 7542-7550.

Yong S Q, Tong C, Zhuang C H, Yang W P, Li X W, Zhang L H, Huang J F. Effects of cold weather on seedlings of three mangrove species planted in the Min River estuary during the 2010 winter. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(24): 7542-7550.

2010 年冬季寒冷天气对闽江口 3 种 红树植物幼苗的影响

雍石泉¹, 全 川^{1,*}, 庄晨辉², 杨渭平², 李旭伟¹, 张林海¹, 黄佳芳¹

(1. 湿润亚热带生态-地理过程省部共建教育部重点实验室, 福建师范大学亚热带湿地研究中心, 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007;

2. 闽江河口湿地自然保护区管理处, 长乐 350200)

摘要: 2010 年 10 月 8 日—2011 年 2 月 26 日, 跟踪监测了闽江河口互花米草治理试验区人工种植的秋茄 (*Kandelia candel*)、无瓣海桑 (*Sonneratia apetala*) 和拉关木 (*Leguncularia racemosa*) 1 年生幼苗叶片可溶性物质含量以及活性氧代谢等生理生化指标。结果表明: 可溶性糖和脯氨酸含量均随气温的逐步降低而增加, 秋茄可溶性糖含量最高, 拉关木脯氨酸含量最高; 整个监测期无瓣海桑和拉关木幼苗叶片超氧阴离子 (O_2^-) 产生速率显著高于秋茄 ($P < 0.01$), 而超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化物酶 (POD) 活性显著低于秋茄 ($P < 0.01$); 3 种植物叶片丙二醛 (MDA) 含量及电解质渗透率均随着气温的降低而增加, 其中无瓣海桑和拉关木 MDA 含量及电解质渗透率与日最低气温为显著和极显著的负相关关系。2010 年冬季持续寒冷天气对闽江河口湿地 1 年生土著秋茄幼苗无破坏, 对引进种无瓣海桑和拉关木造成了严重的低温胁迫并使幼苗基本全部死亡。

关键词: 秋茄; 无瓣海桑; 拉关木; 幼苗; 寒冷天气; 闽江口

Effects of cold weather on seedlings of three mangrove species planted in the Min River estuary during the 2010 winter

YONG Shiquan¹, TONG Chuan^{1,*}, ZHUANG Chenhui², YANG Weiping², LI Xuwei¹, ZHANG Linhai¹, HUANG Jiafang¹

1 Centre of Wetlands in Subtropical Regions, Key Laboratory of Humid Sub-tropical Eco-geographical Process of Ministry of Education, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

2 Ministry of Wetland Conservation in Min River Estuary, Changle 350200, China

Abstract: As part of a restoration project to establish new communities on estuarine wetland dominated by the invasive species *Spartina alterniflora*, we investigated the potential to establish mangrove species after *S. alterniflora* removal. In order to achieve good establishment it is essential that the newly planted seedlings can survive their first winter where they may be susceptible to cold temperatures. To investigate this we carried out a comparative study of the cold tolerance response of one-year old seedlings of three mangrove species planed in salt marsh cleared of *S. alterniflora* in the Min River estuary, Southeast China. The species planted included a native species (*Kandelia candel*) and two alien ones, *Leguncularia racemosa* from Mexico and *Sonneratia apetala* from Bangla Desh. We measured a range of physiological attributes in the leaves of seedlings of the three species over winter (early-October 2010 to late-February 2011), the measurements included: soluble sugar and free proline concentrations, SOD, POD and CAT activities, O_2^- generation rate, MDA and relative electrical conductivity.

基金项目: 国家海洋局海洋公益性行业科研专项 (200905009-2); 福建省长乐市科技发展项目; 福建省科技厅社会发展重点项目 (2010Y0019)

收稿日期: 2011-07-09; **修订日期:** 2011-10-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tongch@fjnu.edu.cn

Over the entire monitoring period, the leaf soluble sugar concentrations of all three mangrove species seedlings increased, then decreased; *K. candel* had the greatest concentrations and *L. racemosa* the least. The rate of O_2^- generation from the leaves of *K. candel* showed a similar response to the sugar concentrations; *S. apetala* and *L. racemosa* on the other hand exhibited the same initial increase but the high rates were maintained at significantly greater rates than *K. candel* ($P < 0.01$). However, SOD, POD and CAT activities showed the opposite response ($P < 0.01$), with POD and CAT activities in the leaves of *L. racemosa* and *S. apetala* seedlings declining significantly in late winter. Free proline concentrations of *L. racemosa* were higher than that of *K. candel* and *S. apetala*; all increased as air temperature reduced.

The contents of MDA and relative electrical conductivity of all three plant species increased as minimum daily air temperature decreased. *L. racemosa* and *S. apetala* seedlings had significant higher level of MDA than *K. candel* seedlings ($P < 0.01$), but there was no obvious difference between *L. racemosa* and *S. apetala* seedlings ($P > 0.05$). The relative electrical conductivity of *K. candel* seedlings was significantly lower than that of *L. racemosa* and *S. apetala* seedlings ($P < 0.01$). *K. candel* seedlings did not show symptoms characteristic of freezing injury during the winter of 2010/11 with damage/death caused mainly by biotic factors (ducks and other water fowl). However, serious damage was detected in seedlings of both alien species (*L. racemosa* and *S. apetala* seedlings), indeed all seedlings of these species died in late February 2011.

In short, under current climatic conditions the native species *K. candel* has a competitive advantage in that its seedlings can persist over winter in the Min River estuary and may be suitable for restoration of salt marsh after *Spartina alterniflora* removal. The two alien species, *L. racemosa* and *S. apetala*, cannot colonize at the moment because they cannot survive over winter but may be able to suitable in the Min River estuary if older seedlings were transplanted which had been acclimatized to the colder condition.

Key Words: *Kandelia candel*; *Sonneratia apetala*; *Leguncularia racemosa*; seedling; cold weather; Min River estuary

红树林在维护和改善滨海地区生态环境,保护沿海湿地生物多样性等方面具有不可替代的作用^[1-2]。红树植物作为河口湿地治理外来种互花米草入侵的生态工程中的替代植物具有一定的优势。闽江河口湿地互花米草综合治理试验示范区 2010 年 8 月底种植了 3 种红树植物:秋茄(*Kandelia candel*)、无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)和拉关木(*Leguncularia racemosa*)。大多红树植物对寒潮、霜冻等低温天气敏感,McMillan 指出低温严重影响红树林幼苗在海岸滩涂地的自然定着和存活^[3]。温度是影响红树林分布的重要环境因素,是红树植物引种的一个重要限制因子。秋茄作为一种耐寒广布型红树植物^[4],是东北亚地区分布最广、纬度最靠北的一种红树植物,在浙江温州沿海滩涂也能正常越冬^[5]。无瓣海桑和拉关木则是我国近年来分别从孟加拉湾和墨西哥湾引进的速生红树树种,国内已开展一些无瓣海桑的引种试验,并在海南、广东、广西及福建南部九龙江口和漳江口引种成功^[6-9],对于拉关木引种扩植成功的报道仅见海南岛东寨港自然保护区^[10]和福建南部的漳浦县(<http://www.zptv.com.cn>)。对于地理位置明显偏北的闽江河口,无瓣海桑和拉关木幼苗是否可以存活?如遇冬季天气偏冷,其体内一些生理生化指标(细胞膜渗透性、脯氨酸和可溶性糖含量等)如何变化均未见文献报道。维持细胞膜系统结构和功能的稳定性是维持和发展植物抗寒力的基础^[11-12],植物出现冻害与毒害物质(如氧自由基和过氧化物)在低温下大量积累并引起膜脂过氧化作用增强有关,植物细胞膜脂过氧化的酶促防御系统中,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)都是重要的抗氧化保护酶^[13]。在自然低温胁迫下,无瓣海桑和拉关木的超氧阴离子产生速率如何变化?抗氧化保护酶活性如何?更未见报道。

低温寒害是影响植物正常生长的一个自然致灾因素,关于低温胁迫的影响及植物抗寒性研究是生态学和植物学研究的一个重要领域。近 100a 来,全球飓风、洪水、干旱以及其他极端气象事件发生的频率和强度在增加^[14]。2008 年冬季,我国南方 19 个省市自治区经历了历史上罕见的持续低温雨雪冰冻天气,陈鹭真等^[6]

在本次罕见寒害天气过后对我国南方红树植物受损状况进行了调查,结果是除海口苗圃以外的4个调查苗圃(深圳、湛江高桥、湛江雷州和广西钦州)几乎所有的无瓣海桑幼苗均死亡。2010年冬季,我国东南沿海又经历了自2008年低温雨雪冰冻天气之后又一个较为寒冷的冬季,阶段性的低温天气威胁着南方一些省份^[15],期间我们跟踪监测了本地种秋茄及引进种无瓣海桑和拉关木幼苗的若干生理生化指标、超氧阴离子产生速率、抗氧化保护酶活性的动态变化及幼苗死亡率,以期揭示3种红树植物相关生理生化指标和抗寒性指标对于冬季寒冷天气变化的响应及适应规律,研究成果可为是否可在我国东南沿海纬度偏北部地区的河口湿地引种无瓣海桑和拉关木提供决策依据。

1 材料与方法

1.1 研究区与采样点

鱘鱼滩湿地(119°34'12"—119°40'40"E、26°00'36"—26°03'42"N)位于闽江入海口,是闽江河口区面积最大的砂泥质洲滩天然湿地。年均降水日153 d,年均降水量1346 mm^[16]。潮汐为典型的半日潮。2010年7月初开始在闽江口鱘鱼滩湿地中西部五门闸附近的中潮滩区建设“围堰+刈割+水淹+种植替代植物”的互花米草综合治理试验示范区。示范区土壤为沼泽盐土,土壤含盐量0.5%—1%^[17],经测定土壤(0—30 cm)有机碳含量为(1.93±0.08)%。试验示范区治理前为互花米草生长繁茂的沼泽,经过近2个月的“围堰+刈割+水淹”治理,2010年8月底,互花米草根全部死亡。随后分别种植了3种替代红树植物的1年生幼苗:本地种秋茄(*Kandelia candel*)及外来速生种无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)和拉关木(*Leguncularia racemosa*)。秋茄幼苗采购于闽江口以北的罗源湾,苗高40 cm左右,无瓣海桑和拉关木幼苗采购于广东雷州,苗高80 cm左右。3种红树幼苗种植间距均为1 m。

2010年我国东南沿海(包括闽江口)经历了自2008年罕见持续低温雨雪天气之后又一个寒冷的冬季,试验示范区气温变化如图1,进入12月19日,日最低气温降至2℃左右,在之后的近2个月中一直延续着较低的气温。

1.2 植物叶片取样

2010年9月初,秋茄、无瓣海桑和拉关木3种红树植物各随机选取20株长势一致的幼苗,用黄色胶带缠绕茎部作为标记以便跟踪取样。10月8日15:00第1次取样,之后每经历1次寒潮降温天气过程均在同一时刻取样,共取样6次,分别是2010年10月8日、11月27日、12月19日、2011年1月5日、1月19日和2月26日,无瓣海桑和拉关木2011年2月26日取样时基本全部死亡,故二者共取样5次。每次取样均取从幼苗顶端向下数的第3对叶,叶片长势一致,5个重复(前2次4个重复)。叶片取下后立刻放入液氮罐中,迅速带回实验室放入-70℃超低温冰箱保存备用。

1.3 抗寒性指标等的测定方法

超氧阴离子(O_2^-)产生速率按照王爱国^[18]等方法测定;超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮兰四唑(NBT)光化还原法^[19];过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法^[20];过氧化氢酶(CAT)活性采用过氧化氢还原法^[19];电解质渗透率(用相对电导率表征)用DDS-12A型电导仪测定^[19];丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸(TBA)显色法^[19];可溶性糖含量采用蒽酮法^[19];游离脯氨酸采用磺基水杨酸—茚三酮显色法^[19]。

各阶段3种红树植物幼苗死亡率采用目测法(每次均随机选择3行共计100株幼苗,植株叶片全部枯萎判断为死亡)。试验示范区气温数据读自距试验示范区仅200 m的自动气象站(LSI-LASTEM, Italy)。

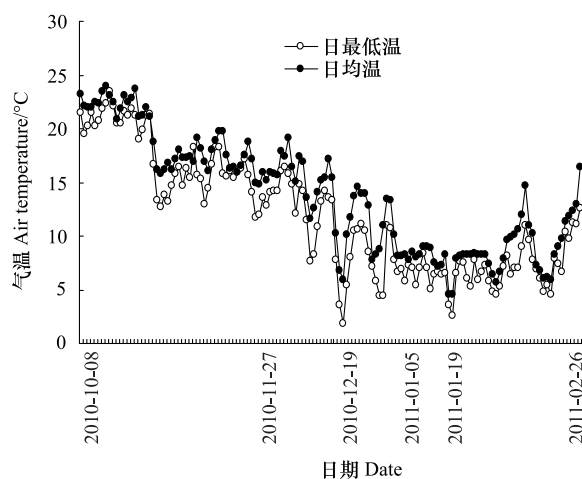


图1 试验区2010年冬季日平均气温和日最低气温变化

Fig. 1 Variations of diurnally average and lowest air temperature at study site during the 2010 winter

1.4 数据处理

整个监测期不同红树植物间的差异性检验采用 SPSS16.0 软件中的重复测量的方差分析 (Repeated measures ANOVA) 进行统计分析;同一红树植物不同取样时刻间差异性检验采用 SPSS16.0 软件中 One-way ANOVA 中的 LSD 检验 (least significant difference test) 进行统计分析;整个监测期各测量指标与温度的相关性分析采用 SPSS16.0 中的 Pearson 相关性分析。

2 结果与分析

2.1 3 种红树植物幼苗越冬生长表现

整个越冬期间,秋茄幼苗死亡率基本保持不变,约为 10% 左右。据观测,秋茄幼苗死亡的主要是生物因素(鸭、越冬水鸟啃食)所致,并未表现出冻害症状。在 2010 年 12 月 19 日取样时,无瓣海桑和拉关木较种植初期明显长高变粗,高度由 80 cm 左右长到超过 1 m,基茎由 0.8 cm 长到 1.3 cm,有的甚至超过 1.5 cm,叶片数几乎翻倍,特别是无瓣海桑从树干中下部生长出较多的新枝和新叶。说明进入冬季前无瓣海桑和拉关木在闽江河口生长良好,这阶段无瓣海桑和拉关木幼苗死亡率很低。2011 年 1 月 5 日之后,2 种红树植物生长放缓,幼苗死亡率急剧上升,叶片冻害症状大面积显现,拉关木死亡率高于无瓣海桑,到最后 1 次取样时无瓣海桑和拉关木幼苗几乎全部冻死(图 2)。拉关木幼苗叶片冻害症状表现为初期叶片出现褐色斑点,随后斑点扩大蔓延至整个叶片;无瓣海桑叶片初始受冻伤面积就较大,表现为慢慢黄化,颜色不断加深。

2.2 3 种红树植物幼苗抗寒性生理响应

2.2.1 叶片渗透调节性物质含量动态

整个跟踪监测期间,3 种红树中秋茄叶片可溶性糖含量差异极显著 ($F(2,66) = 14.86, P < 0.01$),其中,秋茄最高,而无瓣海桑和拉关木无显著性差异。随着温度降低 3 种红树植物幼苗叶片可溶性糖含量大幅度提高,11 月 27 日时秋茄、无瓣海桑和拉关木幼苗叶片可溶性糖含量分别比 10 月 8 日时上升了 213.4%, 103.6% 和 84.6%,差异均极显著 ($P < 0.01$);进入 1 月下旬,3 种红树幼苗叶片可溶性糖含量均迅速下降,1 月 19 日时显著低于 1 月 5 日 ($P < 0.01$) (图 3)。

3 种红树中拉关木幼苗叶片脯氨酸含量最高,秋茄最低(1 月 19 日除外)。12 月 19 日之前,3 种植物叶片脯氨酸含量均较低,之后迅速增加,12 月 19 日时拉关木、无瓣海桑和秋茄叶片脯氨酸含量分别较 11 月 27 日时上升了 140%, 134.5% 和 126.7%,变化均极显著 ($P < 0.01$);1 月 5 日—1 月 19 日期间,气温均在一个较低的范围波动,期间秋茄叶片脯氨酸含量仍平缓地上升,而拉关木和无瓣海桑则下降(图 3)。

2.2.2 叶片超氧阴离子产生速率及抗氧化酶活性

整个跟踪监测期间,3 种红树中秋茄幼苗叶片超氧阴离子 (O_2^-) 产生速率差异极显著 ($F(2,66) = 11.153, P < 0.01$),显著低于其余二者,特别是进入冬季(11 月 27 日后),这种差距更明显,而无瓣海桑和拉关木无显著性差异。在 10 月 8 日—12 月 19 日取样期间,3 种红树幼苗叶片 O_2^- 产生速率均迅速上升 ($P < 0.01$),其中秋茄上升 76.3%,无瓣海桑上升 235.6%,拉关木上升 216.1%;12 月 19 日以后,无瓣海桑和拉关木叶片 O_2^- 产生速率仍维持在一个稳定的高水平,而秋茄叶片 O_2^- 则逐渐下降(图 4)。说明秋茄在越冬过程中逐渐适应了寒冷天气的胁迫,而无瓣海桑和拉关木则对寒冷胁迫敏感且较难适应。

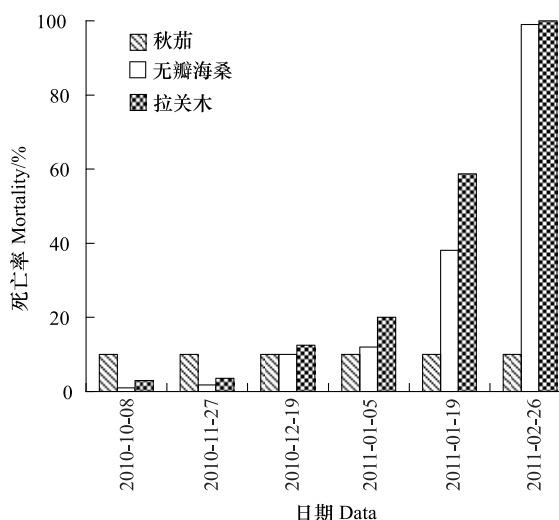


图 2 2010 年冬季 3 种红树植物幼苗死亡率

Fig. 2 Mortality of the seedlings of three mangrove species planted during the 2010 winter

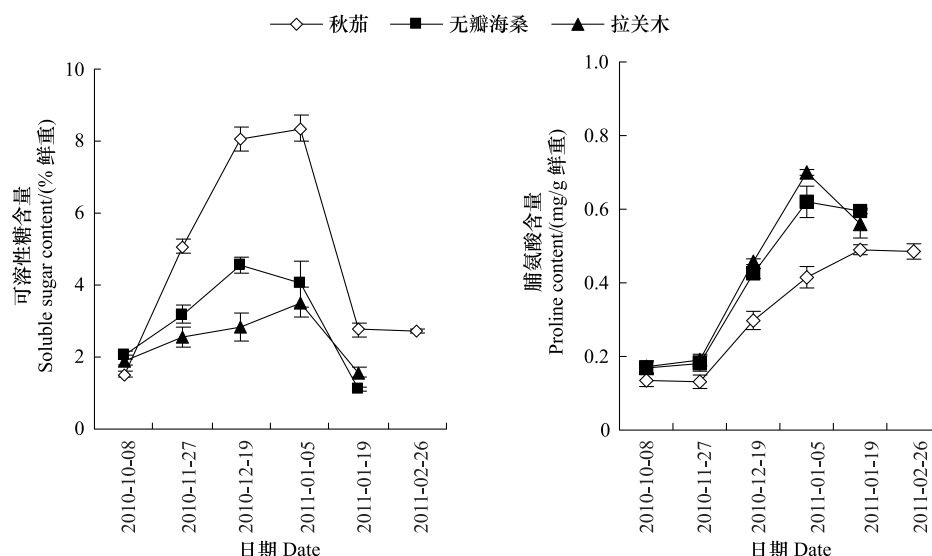


图3 2010年冬季3种红树植物幼苗叶片可溶性糖和脯氨酸含量的动态变化

Fig. 3 Variations of the contents of soluble sugar and free proline in leaves of the seedlings of three mangrove species planted during the 2010 winter

整个跟踪监测期间,3种红树幼苗叶片SOD活性差异均极显著($F(2,66)=49.59, P<0.01$),其中,秋茄最高,拉关木最低。10月8日—11月27日取样期间,3种红树叶片的SOD活性均变化很小;11月27日之后,秋茄叶片SOD活性迅速上升,12月19日时达到最大值,之后缓慢下降,无瓣海桑和拉关木叶片SOD活性在11月27日之后迅速下降,1月19日较11月27日下降明显($P<0.01$)(图4)。

越冬期间(11月27日后),3种红树中秋茄幼苗叶片POD活性差异极显著($F(2,54)=69.55, P<0.01$),其中,秋茄叶片POD活性最高,而无瓣海桑和拉关木无显著性差异。11月27日后,秋茄叶片POD活性迅速上升,1月5日达到最大,随后逐渐下降,但2月26日仍较10月8日高($P<0.01$);无瓣海桑和拉关木叶片POD活性从11月27日开始下降,到1月5日几乎降低为零(图4)。

整个跟踪监测期间,3种红树幼苗叶片CAT活性差异均极显著($F(2,66)=179.954, P<0.01$),其中,秋茄最高,拉关木最低。秋茄叶片CAT活性在波动中上升;无瓣海桑叶片CAT活性在11月27日时便迅速达到最大值,之后不断下降,1月19日较10月8日下降明显($P<0.01$);拉关木叶片CAT活性在整个越冬期间一直处于快速下降过程,1月5日时降至最低值,较10月8日下降显著($P<0.01$)(图4)。

2.2.3 叶片丙二醛含量和电解质渗透率的动态

整个跟踪监测期间,3种红树中秋茄幼苗叶片MDA含量差异极显著($F(2,66)=16.738, P<0.01$),其中,秋茄最低,而拉关木与无瓣海桑无显著性差异。秋茄和拉关木叶片MDA含量在12月19日达到最大值,分别较10月8日时上升了75.1%和202.6%,差异均极显著($P<0.01$);无瓣海桑叶片MDA含量在1月5日达到最大值,较10月8日时上升了142.5%($P<0.01$)(图5)。

越冬期间(11月27日后),3种红树中秋茄幼苗叶片电解质渗透率差异极显著($F(2,54)=45.01, P<0.01$),其中,秋茄最低,拉关木与无瓣海桑差异也达显著水平($P<0.05$)(图5)。秋茄叶片电解质渗透率在整个监测期间变化不大;无瓣海桑和拉关木幼苗叶片电解质渗透率迅速上升,1月19日与10月8日相比,无瓣海桑上升2.23倍,拉关木上升2.52倍,差异均极显著($P<0.01$)。细胞电解质外渗是细胞膜脂过氧化的必然结果,可见,秋茄细胞受寒冷天气伤害的程度远小于无瓣海桑和拉关木,而无瓣海桑幼苗又稍好于拉关木幼苗。

2.2.4 各测定指标与日最低气温的相关性

表1为整个监测期各测定指标数据与测定日最低气温的相关性分析结果,从整个监测期看,作为植物叶

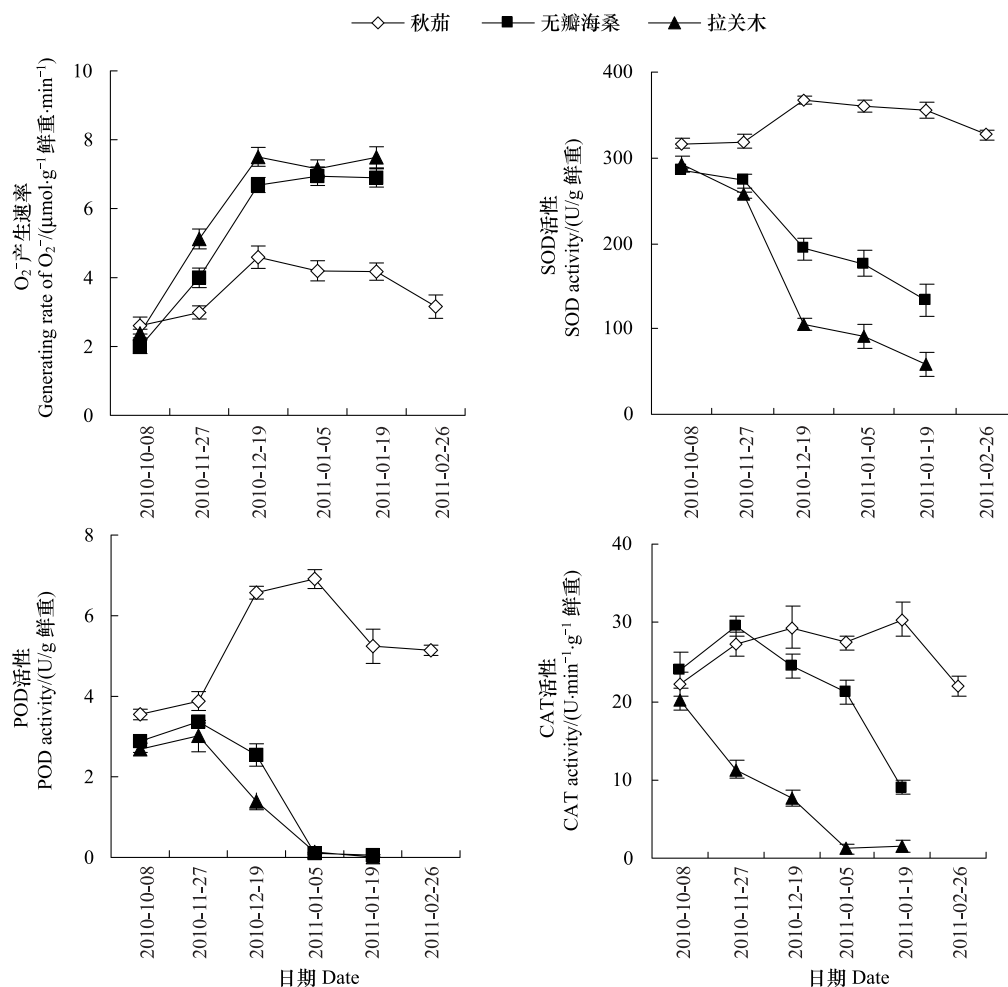


图 4 2010 年冬季 3 种红树植物幼苗叶片超氧阴离子产生速率和抗氧化酶活性的动态变化

Fig. 4 Variations of the O_2^- generating rate and the activity of SOD, POD and CAT in the leaves of the seedlings of three mangrove species planted during the 2010 winter

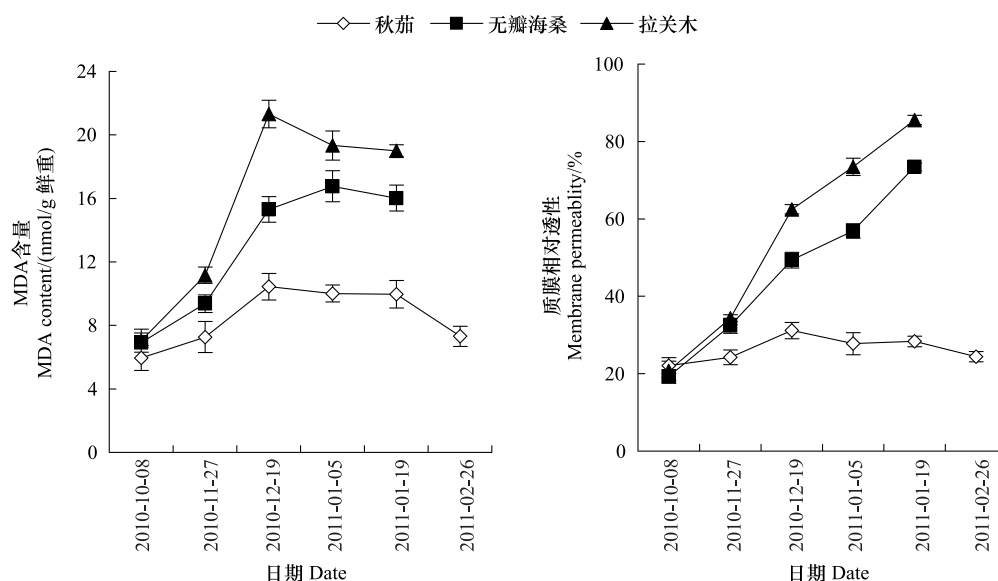


图 5 2010 年冬季 3 种红树植物幼苗叶片丙二醛含量和相对电导率的动态变化

Fig. 5 Variations of MDA content and relative electrical conductivity in the leaves of the seedlings of three mangrove species planted during the 2010 winter

片渗透调节性物质,3种植物幼苗叶片可溶性糖含量和脯氨酸含量均与温度呈负相关关系,前者相关性不显著($P>0.05$),后者相关性显著($P<0.05$);3种植物幼苗叶片 O_2^- 产生速率均随着温度的下降而增加,其中无瓣海桑和拉关木幼苗叶片 O_2^- 产生速率与温度呈显著的负相关关系,二者 O_2^- 产生速率对于温度降低的响应更为强烈;作为植物叶片重要的抗氧化保护酶系统,无瓣海桑和拉关木幼苗叶片的 SOD、POD 和 CAT 活性均随着温度的下降而降低,其中拉关木 3 种酶活性均与温度呈显著或极显著的正相关关系,而秋茄幼苗叶片的抗氧化保护酶系统活性与温度呈负相关关系,这说明随着气温的降低,秋茄幼苗叶片抗氧化保护酶系统活性也在不断的增强,以能有效地清除 O_2^- ;作为叶片膜脂过氧化的最终产物,3种植物幼苗叶片 MDA 含量以及叶片电解质渗透率均随着温度的降低而增加,特别是无瓣海桑和拉关木分别表现为显著和极显著的负相关关系,说明持续降低的气温对无瓣海桑和拉关木幼苗的危害十分明显,特别是对拉关木。

表 1 各测量指标与日最低气温的相关性分析

Table 1 Correlation coefficients between the indicators measured and daily lowest air temperature

	可溶性糖含量 Soluble sugar /%鲜重	脯氨酸含量 Free proline /(mg/g 鲜重)	O_2^- 产生速率 O_2^- generation /(μ mol/g 鲜重)	SOD 活性 SOD activity /(U/g 鲜重)	POD 活性 POD activity /(U/min·g 鲜重)	CAT 活性 CAT activity /(U/min·g 鲜重)	丙二醛含量 MDA /(nmol 鲜重)	相对电导率 relative electrical conductivity/%
秋茄 <i>K. candel</i>	-0.533	-0.913 *	-0.877	-0.851	-0.797	-0.874	-0.830	-0.807
无瓣海桑 <i>S. apetala</i>	-0.257	-0.933 *	-0.975 *	0.936 *	0.808	0.599	-0.912 *	-0.958 *
拉关木 <i>L. racemosa</i>	-0.476	-0.912 *	-0.957 *	0.954 *	0.890 *	0.994 **	-0.968 **	-0.974 **

* 代表相关性达到 0.05 显著水平, * * 代表相关性达到 0.01 极显著水平

3 讨论

无瓣海桑原产于南亚沿海低盐泥质滩涂湿地,拉关木原产于南美,盐生态幅极广(0—50),两者均最早成功引入我国海南东寨港。表 2 为我国成功引种无瓣海桑和拉关木的地点与闽江河口种植点的气候及其他环境因子的比较,由表 2 可知,闽江河口土壤、海水盐度等环境因子均适合两者生长,1 月份平均气温和极端低温均低于其他已成功引种的地区,可见,低温是引种能否成功的关键因子。2010 年冬季闽江河口区最低气温虽然没有降至零下,但是,持续近 2 个月的 2—7℃ 的寒冷天气也造成无瓣海桑和拉关木大面积死亡。

表 2 无瓣海桑和拉关木引种地的气候和环境因子的比较^[8,17,21]

Table 2 Comparison on climate and environmental conditions among *S. apetala* and *L. racemosa* planted sites^[8,17,21]

地点 Location	气候带 Climate zone	纬度 Latitude /(° N)	年均温度 Mean annual temperature /°C	1 月均温 Mean January temperature /°C	极端低温 Extreme cold temperature /°C	年均雨量 Mean annual precipitation /mm	年均日照数 Mean annual sunshine time /h	盐度 Salinity	土壤 Soil
海南琼山	热带季风气候	19°56′	23.8	17.2	2.8	1685	2240	21.9	红树林盐土
广东深圳	南亚热带季风气候	22°32′	22.0	14.1	0.2	1927	2209	<15.0	红树林盐土
九龙江口	南亚热带季风气候	24°24′	21	—	-0.4	1365	—	—	红树林盐土
闽江河口	中亚热带和南亚热带气候过渡区	26°02′	19.7	12.1	-2.5	1346	1755.4	17.5	沼泽盐土

可溶性糖和脯氨酸作为重要的渗透调节物质,可以增加植物细胞的渗透性,维持水的代谢平衡^[22],维持细胞膜系统在逆境中的稳定性^[23]。本研究中 3 种红树植物幼苗叶片渗透调节性物质(可溶性糖和脯氨酸)的变化规律说明低温胁迫初期其都能通过提高叶片细胞内可溶性物质含量来维持细胞的渗透平衡,但低温环境

的持续导致植物叶片严重损伤、细胞结构遭到破坏,光合作用受到抑制,有机物合成受阻,可溶性物质含量越冬后期有所下降。可溶性糖也是构成新组织成分和产生能量的原料^[24],秋茄可溶性糖含量越冬后期虽有所下降,但依然高于无瓣海桑和拉关木,加之其生长较慢的特性,可溶性糖可更多地作为能量来源抵御低温的伤害,反之,无瓣海桑和拉关木叶片可溶性糖含量降低和其速生性不利于其对寒冷天气的有效防御。脯氨酸一般被认为是低温下植物细胞重要的保护物质,但针对不同植物也存在不同的看法^[25],本研究中拉关木和无瓣海桑幼苗叶片脯氨酸积累量显著高于秋茄,但其反而未能成功越冬,这表明脯氨酸含量的上升是红树植物在低温胁迫下的被动表现,而非适应性反应,这与其它相关研究结论一致^[24]。同时也有研究指出超量的脯氨酸积累会对 N 源和能量造成浪费,影响叶片 CO₂ 的固定,减少叶片细胞内有机物的合成量^[27],降低植物在低温逆境中的生长能力。无瓣海桑和拉关木幼苗叶片在越冬期间大量积累脯氨酸,生长受限,在低温长时间持续的情况下大面积死亡。此外,还有研究表明,多醇(松醇、甘露醇等)才是红树植物体内最重要的可溶性物质^[28-29],研究低温环境下其含量的变化有助于揭示不同红树植物的低温逆境适应能力。

低温胁迫下植物的光合作用和呼吸作用受到抑制,体内产生大量的活性氧自由基,导致细胞膜脂过氧化^[30]和破坏膜结构^[22],同时植物体内也存在抗氧化酶系统,SOD 能歧化 O₂⁻,CAT 可清除 H₂O₂,POD 也能解除细胞内的有害自由基。在本研究的整个跟踪监测期内,无瓣海桑和拉关木幼苗叶片超氧阴离子(O₂⁻)产生速率显著高于秋茄,而 SOD 和 POD 活性显著低于秋茄,这说明越冬后期持续的寒冷天气破坏了无瓣海桑和拉关木幼苗叶片抗氧化酶系统,降低了抗氧化酶的活性,导致其叶片产生的大量活性氧不能被及时清除。活性氧大量积累导致膜脂过氧化产生较多的丙二醛(MDA),细胞膜受到伤害,丧失选择性透过能力,电解质渗透率增大,细胞内溶质大量外渗,无瓣海桑和拉关木幼苗叶片电解质外渗率快速上升就是其细胞受到伤害的直接证明。可见,活性氧代谢失调是无瓣海桑和拉关木未能成功越冬的最主要原因。越冬后期,秋茄叶片抗氧化酶活性的增强则有效地抑制了其体内活性氧的大量爆发,维持了活性氧与防御系统间的平衡,叶片细胞未受到明显伤害并成功越冬。这也说明 2010 年冬季持续寒冷天气对秋茄并不会造成低温胁迫危害,而对从热带地区引种的无瓣海桑和拉关木 1 年生幼苗,冬季 2℃ 左右的持续寒冷天气即可造成低温胁迫危害并使幼苗死亡。

本研究中互花米草综合治理试验示范区无瓣海桑和拉关木 1 年生幼苗种植时间偏后(8 月底才种植)可能是其幼苗没有成功抵御 2010 年冬季寒冷天气而死亡的原因之一。无瓣海桑和拉关木是否能在闽江口地区成功引种定居还需进一步的抗寒锻炼和研究尝试,包括采取提早种植(如 5 月份种植),或者直接种植 2 年生或 2 年生以上苗木等措施,此外,越冬期间采取相应保护措施(如覆盖塑料薄膜)也可能有助于无瓣海桑和拉关木幼苗成功越冬。本研究的初步结论是无瓣海桑和拉关木在我国东南沿海闽江口及其以北地区的滨海河口湿地引种定居还存在困难,秋茄等乡土红树树种当前仍具有明显的造林优势。

References:

- [1] Zhang Z H, Hu G, Liang S C. The distribution, protection and ecological value of mangrove forests in China. *Bulletin of Biology*, 2006, 41(4): 9-11.
- [2] Zhang Q M, Sui S Z. The mangrove wetland resources and their conservation in China. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(1): 28-36.
- [3] McMillan C. Environmental factors affecting seedling establishment of the black mangrove on the central Texas coast. *Ecology*, 1971, 52(5): 927-930.
- [4] Yang S C, Lin P. Ecological studies on the resistance and adaptation to cold of some tidal mangrove species in China. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(1): 60-67.
- [5] Chi W, Chen S B, Qiu J B, Zeng G Q, Zheng J H, Zhong W, Hu L H, Xie Q L, Li S L. The ecological adaptability of mangroves under low temperature stress. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 2008, 35(4): 146-148.
- [6] Chen L Z, Wang W Q, Zhang Y H, Huang L, Zhao C L, Yang S C, Yang Z W, Chen Y C, Xu H L, Zhong C R, Su B, Fang B Z, Chen N M, Zeng C Z, Lin G H. Damage to mangroves from extreme cold in early 2008 in southern China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(2): 186-194.
- [7] Gao X M, Han W D, Zhang X Z. Studies on adaptability of *Sonneratia caseolaris* (L) Engl and *S. apetala* Buch-Ham through its introduction and acclimatization. *Journal of Anhui Agricultural University*, 1998, 25(4): 413-416.
- [8] Chen Y J, Liao B W, Peng Y Q, Xu S K, Zheng S F, Zheng D Z. Researches on the northern introduction of mangrove species *Sonneratia apetala* Buch-Ham. *Guangdong Forestry Science and Technology*, 2003, 19(2): 9-12.
- [9] Liao B W, Zheng S F, Chen Y J, Zheng D Z, Zan Q J. Introduction and domestication of several superior mangroves in Shenzhen bay. *Scientia*

- Silvae Sinicae, 2004, 40(2): 178-182.
- [10] 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.
- [11] Steponkus P L. Role of the plasma membrane in freezing in jury and cold acclimation. Annual Review of Plant Physiology, 1984, 5: 543-584.
- [12] Jian L C. Advances of the studies on the mechanism of plant cold hardiness. Chinese Bulletin of Botany, 1992, 9(3): 17-22.
- [13] Li J, Yan X F, Zu Y G. Generation of activated oxygen and change of cell defense enzyme activity in leaves of Korean Pine seedling under low temperature. Acta Botanica Sinica, 2000, 42(2): 148-152.
- [14] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). IPCC fourth assessment report // Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K B, Tignor M, Miller H L, eds. Climate Change in 2007: the Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 996-996.
- [15] China Meteorological Administration. China's Climate Bulletin 2010. Beijing: China Meteorological Newspaper, 2011.
- [16] Zheng C H, Zeng C S, Chen Z Q, Lin M C. A study on the changes of landscape pattern of estuary wetlands of the Minjiang river. Wetland Science, 2006, 4(1): 29-34.
- [17] Liu J Q, Zeng C S, Chen N. Study on the Min River Estuarine Wetland. Beijing: Science Press, 2006: 53-53.
- [18] Wang A G, Luo G H. Quantitative relation between the reaction of Hydroxylamine and Superoxide Anion Radicals in plants. Plant Physiology Communications, 1990, (6): 55-57.
- [19] Wang J Y, Ao H, Zhang J, Qu G Q. Technique and Principle of Plant Anatomical and Physiological Experiment. Harbin: Northeast Forestry University Press, 2003: 11-138.
- [20] Zhang Z L, Qu W J. Instruction of Plant Physiology Experiment. Beijing: Higher Education Press, 2003: 67-69, 268-269.
- [21] Li Y, Zheng D Z, Chen H X, Liao B W, Zheng S F, Chen X R. Preliminary study on introduction of mangrove *Sonneratia apetala* Buch-Ham. Forest Research, 1998, 11(1): 39-44.
- [22] Zheng W J, Lin P. The physiological characteristics of salt tolerance for *Kandelia candel* seedlings. Journal of Xiamen University: Natural Science, 1993, 32(4): 113-118.
- [23] Jian L C, Wang H. Cell Biology of Plant in Stress. Beijing: Science Press, 2009: 240-240.
- [24] Shi W, Xu H L, Zhao X F, Ling H B, Li Y. Physiological and biochemical responses to drought stress during seed germination of *Glycyrrhiza inflata*. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(8): 2112-2117.
- [25] Wanner L A, Junttila O. Cold-induced freezing tolerance in Arabidopsis. Plant Physiology, 1999, 120(7): 391-399.
- [26] Zheng J, Wang J W, Chen Q X, Xu J Y, Li X W, Lu X, Lei H Q, Xia H T, Zheng S F. Preliminary report on north-ward introduction experiment of several mangrove plants along the southern coast of Zhejiang Province. Journal of Southwest Forestry College, 2010, 30(5): 11-17.
- [27] Chen Y H, Yan C L, Li Y H, Hu J, Liang J, Xue B. Study on the characteristic of proline accumulation and active oxygen metabolism in *Rhizophora stylosa* under salt stress. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2004, 43(3): 402-405.
- [28] Liao Y, Chen G Z. Review on influence of salinity on Mangrove. Wetland Science, 2007, 5(3): 266-273.
- [29] Popp M, Larher F, Weigel P. Osmotic adaptation in Australian mangroves. Vegetation, 1985, 61(1/3): 247-253.
- [30] Hu L X, Zhang A Y, Zhang J H, Jiang M Y. Absciscic acid is a key inducer of hydrogen peroxide production in leaves of maize plants exposed to water stress. Plant Cell Physiology, 2006, 47(11): 1484-1495.

参考文献:

- [1] 张忠华, 胡刚, 梁士楚. 我国红树林的分布现状、保护及生态价值. 生物学通报, 2006, 41(4): 9-11.
- [2] 张乔民, 隋淑珍. 中国红树林湿地资源及其保护. 自然资源学报, 2001, 16(1): 28-36.
- [4] 杨盛昌, 林鹏. 潮滩红树植物抗低温适应的生态学研究. 植物生态学报, 1998, 22(1): 60-67.
- [5] 池伟, 陈少波, 仇建标, 曾国权, 郑经和, 仲伟, 胡利华, 谢起浪, 李尚鲁. 红树林在低温胁迫下的生态适应性. 福建林业科技, 2008, 35(4): 146-148.
- [6] 陈鹭真, 王文卿, 张宜辉, 黄丽, 赵春磊, 杨盛昌, 杨志伟, 陈粤超, 徐华林, 钟才荣, 苏博, 方柏州, 陈乃明, 曾传志, 林光辉. 2008 年南方低温对我国红树植物的破坏作用. 植物生态学报, 2010, 34(2): 186-194.
- [7] 高秀梅, 韩维栋, 张秀枝. 海桑及无瓣海桑引种驯化中的适应性研究. 安徽农业大学学报(自然科学版), 1998, 25(4): 413-416.
- [8] 陈玉军, 廖宝文, 彭耀强, 许松葵, 郑松发, 郑德璋. 红树植物无瓣海桑北移引种的研究. 广东林业科技, 2003, 19(2): 9-12.
- [9] 廖宝文, 郑松发, 陈玉军, 郑德璋, 咎启杰. 几种红树林植物在深圳湾的引种驯化试验. 林业科学, 2004, 40(2): 178-182.
- [10] 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.
- [12] 简令成. 植物抗寒机理研究的新进展. 植物学通报, 1992, 9(3): 17-22.
- [13] 李晶, 阎秀峰, 祖元刚. 低温胁迫下红松幼苗活性氧的产生及保护酶的变化. 植物学报, 2000, 42(2): 148-152.
- [15] 中国气象局. 2010 年中国气候公报. 北京: 中国气象报社, 2011.
- [16] 郑彩红, 曾从盛, 陈志强, 林茂昌. 闽江河口区湿地景观格局演变研究. 湿地科学, 2006, 4(1): 29-34.
- [17] 刘剑秋, 曾从盛, 陈宁. 闽江河口湿地研究. 北京: 科学出版社, 2006: 53-53.
- [18] 王爱国, 罗广华. 植物的超氧物自由基与羟胺反应的定量关系. 植物生理学通讯, 1990, (6): 55-57.
- [19] 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: 11-138.
- [20] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 2003: 67-69, 268-269.
- [21] 李云, 郑德璋, 陈焕雄, 廖宝文, 郑松发, 陈相如. 红树植物无瓣海桑引种的初步研究. 林业科学研究, 1998, 11(1): 39-44.
- [23] 简令成, 王红. 逆境植物细胞生物学. 北京: 科学出版社, 2009: 240-240.
- [24] 史薇, 徐海量, 赵新风, 凌红波, 李媛. 盐果甘草种子萌发对干旱胁迫的生理响应. 生态学报, 2010, 30(8): 2112-2117.
- [26] 郑坚, 王金旺, 陈秋夏, 许加意, 李效文, 卢翔, 雷海清, 夏海涛, 郑松发. 几种红树林植物在浙南沿海北移引种试验. 西南林学院学报, 2010, 30(5): 11-17.
- [27] 陈英华, 严重玲, 李裕红, 胡俊, 梁洁, 薛博. 盐胁迫下红海榄脯氨酸与活性氧代谢特征研究. 厦门大学学报(自然科学版), 2004, 43(3): 402-405.
- [28] 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.

CONTENTS

The community structure of endophytic bacteria in different parts of huanglongbing-affected citrus plants	LIU Bo, ZHENG Xuefang, SUN Daguang, et al (7325)
A research on the response of the radial growth of <i>Pinus koraiensis</i> to future climate change in the XiaoXing'AnLing	YIN Hong, WANG Jing, LIU Hongbin, et al (7343)
Efficiency and kinetic process of nitrogen removal in a subsurface wastewater infiltration system (SWIS)	LI Haibo, LI Yinghua, SUN Tieheng, et al (7351)
Designing nature reserve systems based on ecosystem services in Hainan Island	XIAO Yi, CHEN Shengbin, ZHANG Lu, et al (7357)
Assessing ecological services value of herbivorous wild animals in Changtang grassland: a case study of Tibetan antelope	LU Chunxia, LIU Ming, FENG Yue, et al (7370)
Spatial characteristics analysis of ecological system service value in QianJiang City of Hubei Province	XU Beishen, ZHOU Yong, XU Li, et al (7379)
Landscape pattern change and its influence on soil carbon pool in Napahai wetland of Northwestern Yunnan	LI Ningyun, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (7388)
Multi-scenarios analysis for wetlands ecosystem conservation based on connectivity: a case study on HuangHuaiHai Region, China ...	SONG Xiaolong, LI Xiaowen, ZHANG Mingxiang, et al (7397)
The potential of carbon sink in alpine meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau	HAN Daorui, CAO Guangmin, GUO Xiaowei, et al (7408)
The relations of spectrum reflectance with inhomogeneous factors and albedo parameterization ...	ZHANG Jie, ZHANG Qiang (7418)
Groundwater ecological sensitivity assessment in the lower Liaohe River Plain based on GIS technique	SUN Caizhi, YANG Lei, HU Dongling (7428)
Ecological sensitivity of Xiamen City to land use changes	HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (7441)
Investigation and analysis on situation of ecotourism development in protected areas of China	ZHONG Linsheng, WANG Jing (7450)
Handicapping male-cheaters by stable mate relationship in yellow-bellied prinia, <i>Prinia flaviiventris</i>	CHU Fuyin, TANG Sixian, PAN Hujun, et al (7458)
Effects of dietary protein content and food restriction on the physiological characteristics of female <i>Microtus fortis</i>	ZHU Junxia, WANG Yong, ZHANG Meiwen, et al (7464)
Predator-prey system with positive effect for prey	QI Jun, SU Zhiyong (7471)
Volatile constituents of four moraceous host plants of <i>Apriona germari</i>	ZHANG Lin, WANG Baode, XU Zhichun (7479)
Relationship between adult emergence of <i>Massicus raddei</i> (Coleoptera: Cerambycidae) and temperature and relative humidity	YANG Zhongqi, WANG Xiaoyi, WANG Bao, et al (7486)
Nest site selection and reproductive success of <i>Parus varius</i> in man-made nest boxes	LI Le, WAN Dongmei, LIU He, et al (7492)
A study on bio-ecology of the stopover site of waders within China's Yalu River estuary wetlands	SONG Lun, YANG Guojun, LI Ai, et al (7500)
The spatial-temporal change variations of temperature in Xilinguole steppe zone	WANG Haimei, LI Zhenghai, WU Lan, et al (7511)
The growth and photosynthetic responses of <i>Cleyera japonica</i> Thunb. seedlings to UV-B radiation stress	LAN Chunjian, JIANG Hong, HUANG Meiling, et al (7516)
Photosynthesis-transpiration coupling mechanism of wheat and maize during daily variation	ZHAO Fenghua, WANG Qiufeng, WANG Jianlin, et al (7526)
Comparison of the methods using stable hydrogen and oxygen isotope to distinguish the water source of <i>Nitratia Tangutorum</i>	GONG Guoli, CHEN Hui, DUAN Deyu (7533)
Effects of cold weather on seedlings of three mangrove species planted in the Min River estuary during the 2010 winter	YONG Shiquan, TONG Chuan, ZHUANG Chenhui, et al (7542)
Correlation between ecological factors and ginsenosides	XIE Caixiang, SUO Fengmei, JIA Guanglin, et al (7551)
Effects of pyrene on low molecule weight organic compounds in the root exudates of ryegrass (<i>Lolium perenne</i> L.)	XIE Xiaomei, LIAO Min, YANG Jing (7564)
Isolation of phosphate solubilizing fungus (<i>Aspergillus niger</i>) from <i>Caragana</i> rhizosphere and its potential for phosphate solubili- zation	ZHANG Lizhen, FAN Jingjing, NIU Wei, et al (7571)
Effect of raindrop impact on nutrient losses under different near -surface soil hydraulic conditions on black soil slope	AN Juan, ZHENG Fenli, LI Guifang, et al (7579)
Emergy analysis of coal-fired power generation system and construction of new emergy indices	LOU Bo, XU Yi, LIN Zhenguan (7591)
Review and Monograph	
The impact of forest vegetation change on water yield in the subalpine region of southwestern China	ZHANG Yuandong, LIU Shirong, et al (7601)
Reviews on spatial pattern and sand-binding effect of patch vegetation in arid desert area	HU Guanglu, ZHAO Wenzhi, WANG Gang (7609)
Sustainable management on pests by agro-biodiversity	GAO Dong, HE Xiahong, ZHU Shusheng (7617)
Scientific Note	
Characteristics of organic carbon and nutrient content in five soil types in Honghu wetland ecosystems	LIU Gang, SHEN Shouyun, YAN Wende, et al (7625)
Effects of cypermethrin and deltamethrin on reproduction of <i>Brachionus calyciflorus</i>	HUANG Lin, LIU Changli, WEI Chuanbao, et al (7632)

《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 31 卷 第 24 期 (2011 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 24 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	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 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元