

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第7期 Vol.32 No.7 **2012**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 7 期

2012 年 4 月 (半月刊)

目次

城市生态景观研究的基础理论框架与技术构架	孙然好, 许忠良, 陈利顶, 等 (1979)
拟南芥芥子酸酯对 UV-B 辐射的响应	李 敏, 王 垠, 牟晓飞, 等 (1987)
蛋白核小球藻对 Pb(II) 和 Cd(II) 的生物吸附及其影响因素	姜 晶, 李 亮, 李海鹏, 等 (1995)
梨枣在果实生长期对土壤水势的响应	韩立新, 汪有科, 张琳琳 (2004)
产业生态系统资源代谢分析方法	施晓清, 杨建新, 王如松, 等 (2012)
基于物质流和生态足迹的可持续发展指标体系构建——以安徽省铜陵市为例	 赵卉卉, 王 远, 谷学明, 等 (2025)
河北省县域农田生态系统供给功能的健康评价	白琳红, 王 卫, 张 玉 (2033)
温郁金内生真菌 <i>Chaetomium globosum</i> L18 对植物病原菌的抑菌谱及拮抗机理	 王艳红, 吴晓民, 朱艳萍, 等 (2040)
基于稳定碳同位素技术的华北低丘山区核桃-小麦复合系统种间水分利用研究	 何春霞, 孟 平, 张劲松, 等 (2047)
云贵高原喀斯特坡耕地土壤微生物量 C、N、P 空间分布	张利青, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2056)
水稻根系通气组织与根系泌氧及根际硝化作用的关系	李奕林 (2066)
苹果绵蚜对不同苹果品种春梢生长期生理指标的影响	王西存, 于 毅, 周洪旭, 等 (2075)
磷高效转基因大豆对根际微生物群落的影响	金凌波, 周 峰, 姚 涓, 等 (2082)
基于 MODIS-EVI 数据和 Symlet11 小波识别东北地区水稻主要物候期	 徐岩岩, 张佳华, YANG Limin (2091)
基于降水利用比较分析的四川省种植制度优化	王明田, 曲辉辉, 杨晓光, 等 (2099)
气候变暖对东北玉米低温冷害分布规律的影响	高晓容, 王春乙, 张继权 (2110)
施肥对巢湖流域稻季氨挥发损失的影响	朱小红, 马中文, 马友华, 等 (2119)
丛枝菌根真菌对枳根净离子流及锌污染下枳苗矿质营养的影响	肖家欣, 杨 慧, 张绍铃 (2127)
不同 R:FR 值对菊花叶片气孔特征和气孔导度的影响	杨再强, 张 静, 江晓东, 等 (2135)
神农架海拔梯度上 4 种典型森林凋落物现存量及其养分循环动态	刘 蕾, 申国珍, 陈芳清, 等 (2142)
黄土高原刺槐人工林地表凋落物对土壤呼吸的贡献	周小刚, 郭胜利, 车升国, 等 (2150)
贵州雷公山秃杉种群生活史特征与空间分布格局	陈志阳, 杨 宁, 姚先铭, 等 (2158)
LAS 测算森林冠层上方温度结构参数的可行性	郑 宁, 张劲松, 孟 平, 等 (2166)
基于 RS/GIS 的重庆缙云山自然保护区植被及碳储量密度空间分布研究	 徐少君, 曾 波, 苏晓磊, 等 (2174)

模拟氮沉降增加对寒温带针叶林土壤 CO₂ 排放的初期影响 温都如娜,方华军,于贵瑞,等 (2185)

桂江流域附生硅藻群落特征及影响因素..... 邓培雁,雷远达,刘 威,等 (2196)

小浪底水库排沙对黄河鲤鱼的急性胁迫..... 孙麓垠,白音包力皋,牛翠娟,等 (2204)

上海池塘养殖环境成本——基于双边界二分式 CVM 法的实证研究 唐克勇,杨正勇,杨怀宇,等 (2212)

稻纵卷叶螟绒茧蜂对寄主的搜索行为 周 慧,张 扬,吴伟坚 (2223)

农林复合系统中灌木篱墙对异色瓢虫种群分布的影响..... 严 飞,周在豹,王 朔,等 (2230)

苹果脱乙酰几丁质发酵液诱导苹果叶片对斑点落叶病的早期抗性反应.....
..... 王荣娟,姚允聪,戚亚平,等 (2239)

专论与综述

气候变化影响下海岸带脆弱性评估研究进展..... 王 宁,张利权,袁 琳,等 (2248)

外来红树植物无瓣海桑引种及其生态影响 彭友贵,徐正春,刘敏超 (2259)

问题讨论

城市污泥生物好氧发酵对有机污染物的降解及其影响因素..... 余 杰,郑国砥,高 定,等 (2271)

4 种绿化树种盆栽土壤微生物对柴油污染响应及对 PAHs 的修复 闫文德,梁小翠,郑 威,等 (2279)

研究简报

云南会泽铅锌矿废弃矿渣堆常见植物内生真菌多样性..... 李东伟,徐红梅,梅 涛,等 (2288)

南方根结线虫对不同砧木嫁接番茄苗活性氧清除系统的影响 梁 朋,陈振德,罗庆熙 (2294)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 322 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-04



封面图说: 站立的仓鼠——仓鼠为小型啮齿类动物,栖息于荒漠、荒漠草原等地带的洞穴之中。白天他们往往会躲在洞穴中睡觉和休息,以避开天敌的攻击,偶尔也会出来走动,站立起来警惕地四处张望。喜欢把食物藏在腮的两边,然后再走到安全的地方吐出来,由此得仓鼠之名。它们的门齿会不停的生长,所以它们的上下门齿必须不断啃食硬东西来磨牙,一方面避免门齿长得太长,妨碍咀嚼,一方面保持门牙的锐利。仓鼠以杂草种子、昆虫等为食。

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

DOI: 10.5846/stxb201110161530

彭友贵, 徐正春, 刘敏超. 外来红树植物无瓣海桑引种及其生态影响. 生态学报, 2012, 32(7): 2259-2270.

Peng Y G, Xu Z C, Liu M C. Introduction and ecological effects of an exotic mangrove species *Sonneratia apetala*. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(7): 2259-2270.

外来红树植物无瓣海桑引种及其生态影响

彭友贵^{1, 2}, 徐正春^{1, 2, *}, 刘敏超³

(1. 华南农业大学林学院, 广州 510640; 2. 广东省自然保护区研究中心, 广州 510640;

3. 五邑大学化学与环境工程学院, 江门 529020)

摘要:无瓣海桑是我国首个从国外引进并大面积推广种植的红树植物, 生长快, 适应性强, 已成为华南沿海红树林恢复造林的主要树种。但近年来无瓣海桑引种已引起较大争论, 焦点是无瓣海桑是否会对乡土红树植物生长产生不利影响, 是否会造成生态入侵, 是否应限制推广种植。根据引种以来的研究成果, 对无瓣海桑的生态适应性、种植技术、生产力与物质循环、生态影响等四个方面的引种研究进行综述; 分析无瓣海桑引种对乡土红树植物生长的影响和生态入侵可能性, 对无瓣海桑引种造林提出建议。指出今后无瓣海桑引种的的研究重点为: 无瓣海桑引种的生态监测与入侵评估; 对滩涂水生生物的影响; 与乡土红树植物优化配置的混交种植技术; 无瓣海桑的资源化利用。

关键词:无瓣海桑; 引种; 生态适应性; 种植技术; 生态影响; 生物入侵

Introduction and ecological effects of an exotic mangrove species *Sonneratia apetala*

PENG Yougui^{1, 2}, XU Zhengchun^{1, 2, *}, LIU Minchao³

1 College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China

2 Center for Nature Reserve Research of Guangdong Province, Guangzhou 510640, China

3 School of Chemical and Environmental Engineering, Wuyi University, Jiangmen 529020, China

Abstract: *Sonneratia apetala*, a native mangrove species in India, Bengal and Sri Lanka, was introduced in 1985 to Dongzhaigang Mangrove Nature Reserve in Hainan Island from Sundarban, southwest of Bangladesh. The trees bore fruits 3 years later. Then it was further introduced from Dongzhaigang to Lianjiang of Leizhou Peninsula, Shenzhen Bay, Chenghai of eastern Guangdong Province and Jiulongjiang Estuary of Fujian Province and grew well. Since 1998, *S. apetala* has been extensively used in mangrove restoration in China. With its rapid growth and quick expansion of planting area, some disputes on *S. apetala* introduction have emerged in recent years, such as whether it competes with indigenous species for resource and habitat, whether it will become an invasive species, and whether it should be restricted or widely used in mangrove planting programs. In order to explore these questions, studies of *S. apetala* introduction since late 1980s were reviewed within four aspects, namely: (1) environmental adaptability, changes of physiological characteristics and genetic diversity among communities of different introduction locations; (2) silviculture techniques, including planting, seedling and sapling nursing techniques, post-planting management; (3) stand productivity, including biomass accumulation, litterfall production and nutrient elements absorption; and (4) ecological effects, including protective effect, environmental purification, ecological control, impacts on indigenous mangrove species, and possibility of biological invasion. We concluded that (1) *S. apetala* grows well in intertidal zones of thick and soft muddy soil with low salinity

基金项目: 广东省科技计划项目(2007B030200005); 广东省林业科技创新资助项目(2008KJCX011)

收稿日期: 2011-10-16; 修订日期: 2012-02-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zcxu@scau.edu.cn

(0—15%) in China's south coasts, and can be used as pioneer species in mangrove afforestation due to its fast-growth, high adaptability and stress resistance, but will threaten the growth of indigenous mangrove species if it is introduced to native mangrove communities or planted densely with indigenous species; (2) there are obvious effects of ecological protection, environmental purification and control over *Spartina alterniflora* for *S. apetala* forest; (3) the natural spread speed of *S. apetala* is slow due to the restraint of salinity, light intensity, temperature, soil and tide, and no significant impacts on the structure, functions or biodiversity of native mangrove communities are found, so whether *S. apetala* will be an invasive species cannot be determined at present; (4) with the enhancement of environmental adaptability of *S. apetala*, its ecological effects might change, and one should be cautious with further expansion of the plantation before its adverse ecological impacts are clear. We suggest that it should be planted mainly on low tidal beaches where native mangrove species cannot grow. Finally, we put forward some important fields for future research, including (1) monitoring of ecological influences of *S. apetala* on indigenous mangrove communities and the trend of biological invasion; (2) impacts of *S. apetala* on coastal aquatic animals; (3) planting patterns of mixed forest of *S. apetala* and indigenous mangrove species, considering species diversity, self-sustainability, comprehensive ecological effects and landscape, and then further research into impacts of *S. apetala* on indigenous mangrove species under these patterns; and (4) economic utilization of *S. apetala*.

Key Words: *Sonneratia apetala*; introduction; ecological adaptability; silviculture technique; ecological effect; biological invasion

无瓣海桑 (*Sonneratia apetala*) 是红树林优良乔木树种, 天然分布于印度、孟加拉国、斯里兰卡等国, 具有生长迅速、结实率高、定居容易、适应性广等优良特性^[1]。1985 年从孟加拉国引进到我国海南省东寨港红树林自然保护区试种成功, 然后从东寨港先后引种到广东湛江、深圳湾、汕头和福建九龙江口等地^[2], 又从湛江引种至广西钦州^[3]和浙江温州^[4]等地。自 1998 年以来, 无瓣海桑作为红树林恢复重建的主要造林树种在华南沿海广泛引种扩种, 总种植面积达 3 800 hm²^[5]。无瓣海桑是我国首个从国外引进的红树植物^[6], 在华南沿海具有良好的环境适应性。但随着引种面积的迅速扩大和林分的快速生长, 无瓣海桑是否会对乡土红树植物生长产生不利影响、是否会造成生态入侵、是否应限制其推广种植等问题已引起较大争论。本文对无瓣海桑引种的生态适应性、种植技术、生产力与物质循环、生态影响等方面的相关研究进行综述, 探讨对乡土红树植物生长的影响和生态入侵可能性, 对无瓣海桑引种和未来研究提出建议。

1 无瓣海桑引种的生态适应性

对红树植物而言, 气候、海水盐度、光照、潮带和土壤是影响生长的主要环境因素。在生长过程中, 红树植物也可改变其生理特征和组织形态结构以适应环境生长。

1.1 对气候的适应性

我国引种的无瓣海桑原产于孟加拉国西南部的 Sundarban 红树林区 (21°31'—22°30'N, 89°—90°E), 引种区海南琼山市东寨港 (19°56'N, 110°34'E) 的气候条件与原产地基本一致, 引种后生长良好^[7]。但北移引种至广东沿海乃至更北的区域能否适应生长, 有关研究人员通过逐步北移引种试验, 从次生种源地海南省东寨港北移至福建九龙江口, 向北推移了 4°28'^[2]。种植后经过多年观察, 无瓣海桑均适应引种地气候条件, 生长迅速, 年高生长达 1.2—2.2 m, 远远大于其它乡土红树植物^[2, 7-10]。2008 年浙江温州引种无瓣海桑, 已成功越冬 2 a^[11], 是目前我国无瓣海桑引种最北的地区, 较福建九龙江口向北推移了 3°03'^[4]。

极端气候变化对无瓣海桑生长有较大影响。2008 年初, 我国南方经历了 50a 一遇的持续低温雨雪冰冻天气, 引种的无瓣海桑不同程度受害^[12], 受害程度主要受极端低温和降温幅度影响。在这次灾害中, 广东潮州和汕头的最低气温 (7 °C)^[13] 高于湛江 (5.2 °C)^[14] 和广西钦州 (3.3 °C)^[3], 无瓣海桑的受害程度比湛江和钦州轻; 在引种靠北的福建龙海, 受害程度反而轻于海南海口的无瓣海桑, 可能归因于龙海的降温幅度相对较

小,同时与福建常年的最冷月低温较其它红树林区低,红树植物在生长过程中逐渐适应外界环境增强了抗寒能力有关^[12]。无瓣海桑正常生长要求极端低温大于 5℃^[6]。从引种以来的寒害调查来看,即使极端低温大于 5℃,但如果低温持续时间长或者冬季气温剧降,会使无瓣海桑受害。无瓣海桑抗寒能力随树龄的增长而增强,幼苗的抗寒能力最差^[15-16]。苗木的冻害程度受海水盐度影响,盐度高的地方受害较重,盐度低的地方受害较轻,由于海水盐度高抑制苗木生长,导致养分积累少,耐寒力减弱^[16]。

1.2 对盐度的适应性

无瓣海桑一般分布于海水盐度较低的泥质滩^[17]。海水盐度高将产生胁迫作用,生长明显减缓^[7, 18]。引种实践表明,无瓣海桑在海水盐度 15 以下生长良好,盐度超过 25 则不适宜种植^[15, 19],在盐度 30 的生境中能存活生长^[18]。短期栽培试验显示,无瓣海桑在零盐度的淡水环境中可适应生长^[20-21]。

1.3 对光照的适应性

无瓣海桑属于阳性树种,对光照要求较高,在较荫的林木下层生长不良^[1]。把无瓣海桑小苗直接栽种于低矮的白骨壤(*Avicennia marina*)次生林内,由于遮荫影响生长不良,而栽种在光照较好的砍割带内,生长良好^[5]。刁俊明等^[22]研究了光强对无瓣海桑幼苗生长的影响,随着光照强度的降低,无瓣海桑的种子萌发和幼苗生长均呈下降趋势,当光强为全光照的 20% 时,种子发芽率降低了 74.6%,幼苗生长严重受阻,处理 180 d 时全部死亡。通过光合作用特性测定,无瓣海桑的日均净光合速率高于乡土红树植物桐花树(*Aegiceras corniculatum*)^[23];与海桑(*S. caselaris*)^[24-25]和白骨壤^[24]比较,其光补偿点低,表明无瓣海桑的低光适应能力较后两者强。盐度影响光合作用,无瓣海桑的光合能力随盐度的提高而增强,这是一种抗盐的生理表现^[26]。

1.4 对潮带的适应性

无瓣海桑对潮带的适应能力强,可生长于低潮滩至高潮滩^[7],最适宜生长潮带是退潮后不渍水的滩涂^[15]。海水浸淹在无瓣海桑刚种植的第 1—2 年影响较大,待大量气生根长出后,其抗浸淹能力增强。在深圳湾,造林 1 年 3 个月在相对浸淹深度(相对于天然林前缘的浸淹深度)17.55 cm 的地方只有单株存活^[6]。在深圳海上田园红树林水产养殖塘,种植后的第 3 年海水浸淹约 30 cm 持续 8 个月,无瓣海桑生长未受明显影响^[27]。种植地段离水位高也不利于无瓣海桑生长。郑松发等^[28]在控水滩面高程 0 m、0.3—0.4 m 和 0.6—0.7 m 的不同地段造林,种植 20 个月后,成活率、树高、胸径等生长指标均为:0 m 高程 > 0.3—0.4 m 高程 > 0.6—0.7 m 高程。

1.5 对土壤的适应性

土壤质地由粉壤到粘土,无瓣海桑均能适应生长,但以淤泥深厚、松软且肥沃的泥质潮滩土长势最好^[7],沙质滩涂长势差。在雷州半岛的部分泥质滩涂、沙泥滩涂种植的无瓣海桑,幼龄阶段的年平均高生长达 2.1—3.3 m 和 2.0 m,而在沙质滩涂种植的年平均高生长仅 1.3 m^[15]。土壤 pH 值也是影响其生长的重要因素,弱酸性土壤最适宜生长^[9]。

1.6 无瓣海桑引种的生理与遗传多样性变化

随着引种区的北移,无瓣海桑开花结实期相应推迟。一般造林 1 a 后即可开花结实,每年两次,即秋果和春果,以秋果为主^[1, 15]。广东湛江的开花结实期与海南东寨港大体相同^[15]。广东澄海市的两次花果期均比湛江推迟约 1 个月^[29]。福建九龙江口的开花结实期不但来得晚,且结实期缩短^[2]。

无瓣海桑的叶片结构解剖显示,其表皮角质膜较厚,气孔数量较多,栅栏组织发达,排列紧密、规则,叶绿体丰富,叶肉中有较多的分泌腔和单宁异细胞分布,叶脉维管组织发达^[30-31],表明无瓣海桑对于海岸潮间带生境具有较强的适应性。由南向北引种后,叶片结构特征向增强抗寒性方面变化。从海南东寨港引种到广东雷州半岛的无瓣海桑叶片的旱生结构增强,叶细胞透性减少,从而获得了较强的抗寒性^[32]。据深圳福田引种无瓣海桑的多年观察,其亲代和子代的抗寒能力均增强^[33]。

周涵韬等^[34]和李海生等^[35]对无瓣海桑引种种群的遗传多样性进行了研究,无瓣海桑种群的遗传多样性丰富,具有较强的环境适应能力。海南东寨港和福建龙海浮宫的无瓣海桑引种种群间的遗传变异较小^[34];与

海南种群比较,深圳引种群发生了一定的遗传分化^[35]。

2 无瓣海桑的种植技术

2.1 无瓣海桑育苗

采集无瓣海桑成熟秋果,待果肉完全变软后除尽果肉,用清水漂洗出种子^[18,36],晾干后即可播种,播种前用0.4%的福尔马林或0.2%—0.4%的高锰酸钾溶液进行种子消毒^[18]。播种时间选择4—8月为宜,越早播种,在冬季来临时苗木的木质化程度越高,抗寒能力越强。有利于种子发芽的温度为25—35℃^[36]。冬季10℃以下低温对苗木有影响,尤其是未木质化的幼苗会出现冻害^[18]。苗木越冬的主要技术措施是采取苗床灌水保温及覆盖塑料膜保温^[18,29,37]。

无瓣海桑育苗的用水盐度管理极为关键。淡水条件下发芽率最高,胚根生长最快^[37];盐度高于5时发芽开始受到抑制,高于8时幼苗生长开始受到抑制^[38],盐度15以上时种子不能出土萌发^[7,36-37],超过25幼苗存活率急剧下降,50时成活率为0^[26]。无瓣海桑育苗在种子发芽阶段用淡水,待苗木出齐10多天后可改用盐度1—2的盐水,一个多月后盐度可以提高到3—5,苗木木质化以后的用水盐度可提高到10—15^[18]。

2.2 无瓣海桑造林

苗高40 cm以上可用于造林,造林地应选择涨潮时海水深度1 m以下、盐度不超过25的滩涂^[18],其中以盐度10以下的河流海口附近的泥质滩涂为最佳^[15,19]。造林季节宜选择4—8月,9月份以后气温逐渐转凉,不利于生长,遇到寒潮,易受冻死亡。当幼树长出侧枝后,抗寒能力逐渐增强^[15]。受不同的气候和海潮条件影响,各地造林的最佳时间有所不同。如湛江5—8月造林最佳,此时是雨季,滩涂海水盐度降低,危害红树林苗木的藤壶和蟹仔等浅海生物减少,有利于提高无瓣海桑的造林成活率^[15]。福建漳浦县4月下旬至5月底造林效果最佳,6月以后气温高,蒸发量大,影响苗木成活^[18]。在风浪大的滩涂造林,要用木棍、竹竿或水泥桩等捆绑支撑苗木,确保不被潮水冲倒,造林1 a以上的无瓣海桑受风浪的影响小^[29]。

2.3 无瓣海桑抚育管理

(1)防止有害生物危害。造林初期,由于幼树的树皮较嫩,抗性较差,浅海生物藤壶吸附在幼树的树干、树叶上,影响其光合作用和呼吸作用,特别是大量附着时还会造成倒伏死亡;浅海生物蟹仔会咬断幼树的嫩芽和咬破树皮,使幼树逐渐死亡^[15],在一些引种区成为首要^[2,7]。豹蠹蛾(*Zeuzera* sp.)^[7]、栗黄枯叶蛾(*Trabala vishnou* Lefebure)^[11]和白囊袋蛾(*Chalioides kondonis* Matsumura)^[39]等虫害在局部引种区有发生,对无瓣海桑生长造成了一定危害。选择抗虫性强的树种营造混交林是预防虫害的重要措施。(2)制止人为损害。海水退潮后,沿海群众喜欢到红树林地挖泥虫、贝类等,会造成无瓣海桑幼树损伤^[15]。(3)及时补植,以利提早成林^[18]。

3 无瓣海桑的生产力与物质循环

3.1 无瓣海桑的生产力

无瓣海桑生产力高,生物量积累快。广东雷州湾5、8和10年生无瓣海桑(1320—1450株/hm²)单株生物量分别达到53.2、80.4、100.0 kg,单位面积生物量分别为7.17、9.59、10.81 kg/m²^[40]。深圳福田6年生无瓣海桑单株生物量64.73 kg,当年单株净初级生产力37.02 kg^[8]。无瓣海桑的生产力在我国红树林群落中处于最高水平^[41]。

无瓣海桑生产力高,生长过程中的归还量也大。深圳福田6年生无瓣海桑当年单株凋落物量18.88 kg,占当年净初级生产力的51%^[8]。雷州半岛附城的7年生无瓣海桑林当年凋落量1895 g/m²,占当年净初级生产力的18.86%^[41]。由于受台风、气温、林龄、生长状况等因素影响,不同引种地点林分的凋落量差异大。深圳福田的无瓣海桑凋落物量占当年净初级生产力的比重远大于雷州半岛附城,可能因为深圳的气温比雷州半岛低,特别是冬季低温引起无瓣海桑大量落叶和嫩枝枯死脱落。无瓣海桑具有高的归还特性。红树林凋落物年产量一般为400—1500 g/m²^[42],我国的秋茄(*Kandelia candel*)、红海榄(*Rhizophora stylosa*)、桐花树、海莲(*Bruguiera sexangula*)、红树(*Rhizophora apiculata*)等的凋落物年产量为631—1389 g/m²,远小于雷州半岛附

城的无瓣海桑凋落量。

3.2 无瓣海桑的元素积累与循环

咎启杰等^[43]研究了深圳福田 6 年生无瓣海桑 N、P、K 的积累和循环,植物体中 N、P、K 含量平均为 7.742、1.143 mg/g 和 10.019 mg/g,3 种元素的年归还量分别占年吸收量的 43.6%、64.9% 和 37.8%,周转期分别为 7.6、3.8 a 和 6.4 a。韩维栋等^[44]研究了雷州无瓣海桑群落 Ca、K、Mg、Na、Fe、Zn、Cu 等 7 种元素的生物累积和循环。与我国其它红树植物比较,无瓣海桑群落表现出对上述元素吸收快、周转期短的特点。元素的循环周期与群落年龄有关,在达到数量成熟之前,年龄越大,元素的周转期越长^[45],因为随着年龄增长,群落现存量越来越大,而年凋落量并不随年龄的增长成比例增加,因而延长了营养元素的周转期^[43]。深圳福田 6 年生和雷州半岛 7 年生无瓣海桑群落由于林龄较小,正处于生长旺盛期,也是元素周转期短的一个原因。

4 无瓣海桑引种的生态影响

4.1 生态防护效应

红树林在防风消浪、减少潮汐危害和保护海岸等方面具有重要作用^[46],红树林生态系统是沿海防护林的第一道生态屏障^[47]。无瓣海桑生长快,树形高大,抗逆性强,具有显著的防风消浪效果。在深圳福田红树林天然林前缘裸滩,由于滩涂较低,风浪较大,多次种植秋茄、桐花树等本地红树植物,皆因幼苗和幼树难以定居而失败,后引种无瓣海桑和海桑,获得了成功^[7]。楼坚等^[47]定位观测了海南东寨港 11 年生无瓣海桑+海桑林(树高 H 9.56—10.60 m,胸径 12.69—15.06 cm)的防风效应,在正常情况下林前 1 H 处与林后 1 H 处风速可消减 65.35%—77.21%,在热带风暴期间可消减 33.29%—53.21%。良好的防风效果和强大的根系固定,无瓣海桑林带能有效抵御台风的危害和海浪对海堤的冲刷。

4.2 净化效应

无瓣海桑湿地系统表现出良好的水体净化效果。在广州新垦红树林湿地,无瓣海桑水域水体中的 TN、TP、Cu、Zn、Pb 和 Cd 含量分别比外滩水体低 25%—57%^[48]。在广州南沙湿地公园,无瓣海桑湿地系统对水体中的 BOD、COD、N、P、Cr 和 Ni 的最佳净化效果可达 24%—83%,显著优于芦苇湿地系统^[49]。但无瓣海桑对藻类没有净化作用,在水流不畅的林内,藻类可以大量繁殖到超富营养水平,而芦苇可使藻类数量控制在较低水平^[50]。可能是由于无瓣海桑凋落量大,给藻类提供了较好的营养物和生长条件。人工构建无瓣海桑模拟湿地净化污水试验表明,无瓣海桑模拟湿地系统对污水中的 N、P、Cu、Zn、Pb 和 Cd 有显著净化效果,虽然土壤子系统在湿地净化中起主导作用,但无瓣海桑模拟湿地系统的净化效果显著大于无植物的对照系统^[48,51]。无瓣海桑对汞的吸收、富集能力大于木榄、白骨壤、桐花树、海漆、红海榄、秋茄、老鼠簕等乡土红树植物^[52]。野外监测显示,裸滩种植无瓣海桑促进了土壤对 N、P 和重金属的富集^[48,53-54],这除了红树林根际系统对海水中污染物的吸附、固定作用外,还受下列因素影响:潮汐的作用,潮汐冲刷可降低滩涂土壤中的重金属含量,而有红树林植物着生的土壤能缓解潮汐的作用^[55];凋落物分解归还的污染物在滩涂土壤中的不断积累。

4.3 对互花米草的生态控制作用

互花米草(*Spartina alterniflora*)作为促淤造陆、防浪护岸植物于 20 世纪 70 年代引入我国,现在华东、华南沿海泛滥成灾,严重威胁海岸生态系统和物种多样性。在互花米草滩涂种植无瓣海桑,随着林木的生长,互花米草不断受到抑制,当无瓣海桑的郁闭度达到 0.7 左右时,互花米草几乎无法生长^[56]。无瓣海桑主要通过快速生长形成茂密的林冠层以遮挡互花米草所需要的光资源而抑制其生长。密度为 2200 株/hm² 的无瓣海桑种植 7 a 后,林内光照强度约为裸滩的 50%,互花米草各生长指标显著下降,初步认为此光照强度是互花米草对光资源需求的临界值^[57]。也有研究认为土壤化感作用可能是无瓣海桑控制互花米草的机制之一^[58]。

4.4 对乡土红树植物生长的影响

无瓣海桑对乡土红树植物生长具有促进作用还是抑制作用,是目前引种关注的焦点问题。有研究认为,在天然红树林的前缘裸滩种植无瓣海桑,由于人工林对风浪的消减作用,促进了天然林种群的生长、更新和向

前缘滩涂扩展^[33,53,59]。无瓣海桑种植后可改善底质土壤的结构和理化性质,土壤粘粒比例增加,酸性增强,土壤有机质和 N、P、K 含量增加^[53,59-61],从而有利于红树林群落的发展。但在无瓣海桑与乡土红树植物的混交林内,乡土红树植物生长受到影响。在桐花树^[62-63]、白骨壤^[62]和秋茄^[63]群落中引入无瓣海桑,抑制本地种群的生长和发展。曾雯珺等^[64]研究发现,秋茄、木榄、红海榄分别与无瓣海桑混交种植 5 a 后,木榄和秋茄保存率只有 51.5% 和 21.1%,红海榄保存率仅 4.3%,在无瓣海桑郁闭度 0.9 的林地中红海榄几乎全部死亡。廖宝文等^[65]研究认为,无瓣海桑与乡土红树植物之间存在一定的种间竞争关系,竞争强度略高于海桑,明显高于白骨壤、秋茄、红海榄和桐花树。而 Chen 等^[24]通过叶片的光合作用能力研究认为,无瓣海桑与海桑和白骨壤比较,不具竞争优势。

无瓣海桑是否影响乡土红树植物自然扩散生长,有研究认为乡土红树苗木难以进入无瓣海桑林地生长^[66]。在广东雷州湾裸滩营造的部分无瓣海桑林,4 a 后林下有红海榄和秋茄等苗木自然生长,但 10 a 后又自行消亡^[60]。也有研究显示,在裸滩种植无瓣海桑可促进其它红树植物定居生长。在海南琼山三江河,12 年生无瓣海桑人工林中有自然扩散的秋茄、桐花树和海莲等乡土红树植物,群落的物种多样性指数与同龄海桑林接近,稍高于秋茄林;与 5 年生无瓣海桑林比较,物种数基本维持不变,多样性指数和均匀度指数略有上升,生态优势度稍降低^[67]。

无瓣海桑对乡土红树植物生长的影响主要与林分密度有关。无瓣海桑生长快,枝叶繁茂,如果种植密度大,4 年生即可郁闭成林^[61],完全占领上层营养空间,使林内光照严重不足或无光照,下层林木光合作用受阻。上述广州南沙^[64]和湛江雷洲湾^[35]的无瓣海桑种植密度为 2500 株/hm²,林下红树植物生长不良或死亡;海南三江河的种植密度为 833 株/hm²,林下自然定居的乡土红树植物生长良好^[67]。此外,李玫等^[68]研究认为,无瓣海桑对乡土红树植物白骨壤、桐花树、秋茄和木榄的胚轴萌发和幼苗生长存在化感作用。

4.5 无瓣海桑的生态入侵可能性

无瓣海桑引种是否会造成生态入侵争议较大。有学者把无瓣海桑列为对我国红树林有危害的外来物种^[69]和外来入侵物种^[70-71],有可能影响原生红树植物生长以至导致其灭绝^[72]。在香港和澳门,无瓣海桑入侵本地红树林生态系统^[70,72],据推测由深圳、珠海等地传播而来^[66]。在深圳、湛江和琼山等地已有无瓣海桑侵入到本地红树林群落中,对本地红树林生态系统的结构和功能产生了影响,并被认为是具有生态入侵特征^[61]。一些学者认为无瓣海桑引种不会造成生态入侵^[1,5,65,73]或造成生态入侵的可能性很小^[6]。因为无瓣海桑种子萌发和幼苗生长受潮汐、盐度、温度、光照和滩涂基质等诸多条件限制,天然发芽率和存活率低^[1],而且只有在极端低温大于 5 ℃、盐度小于 15、阳光充足、泥滩深厚松软的条件下才能快速生长,一旦某一因子受到限制,生长将受抑制^[73]。有的学者认为无瓣海桑是否会导致生态入侵还需要进一步观察研究^[10,33,74-75]。

一个外来物种引起生态入侵的可能性可从入侵物种应具有的生物特性而产生的入侵后果来评估。外来物种的入侵生物学特征包括对异质生境较强的适应对策、快速的繁殖机制、高效的散布机制和强大的竞争能力^[76]。与乡土红树植物比较,无瓣海桑的环境适应能力和竞争能力强,但其自然繁殖与扩散能力未表现出明显优势。无瓣海桑结实早,结实量大,种植两年后可出现自然更新苗木生长^[15,29],但无瓣海桑种子萌发和幼苗生长受诸多环境因素制约^[1],影响了自然繁殖与扩散。自然更新苗木主要分布于林缘光滩和河口淡咸水交汇处的泥滩,在郁闭或接近郁闭的天然林或人工林内极少发现^[1,59,73]。如在海南三江河相邻的 12 年生海桑、秋茄以及无瓣海桑人工林中,没有无瓣海桑苗木生长,而无瓣海桑群落中则有海桑和秋茄定居生长^[67]。然而,无瓣海桑引种种群的形态结构变化^[32]和遗传分化^[35]表明,无瓣海桑对环境的适应能力逐渐增强,其繁殖与扩散能力可能会随之增强。从入侵的生态后果来看,生物入侵将改变入侵地生态系统的结构和功能,危及本地物种生存,导致生物多样性丧失。我国无瓣海桑引种区,除在本地红树林群落中引入无瓣海桑外,无瓣海桑引种种群尚未出现对本地红树林群落产生明显危害,但在局部引种区,无瓣海桑苗木已扩散到原生红树林群落中^[61,70-72],对原生红树林生态系统结构和功能会产生何种影响值得密切关注。对生物多样性的影响研究极少^[77-78],没有研究表明无瓣海桑引种导致了引种区生物多样性的降低。

综合目前研究来看,无瓣海桑引种尚未表现出明显生态入侵后果,是否会造成生态入侵还难以定论。然而,评价外来种的利弊有时间性和空间性^[10],一个物种造成生物入侵可长达数十年后才显现^[79]。无瓣海桑引种的生态入侵可能性需进一步研究评估。

5 结论

经过 20 多年来的引种实践与研究,可以得出如下结论:(1)无瓣海桑适应我国华南沿海气候条件,在盐度较低的泥质滩涂特别是河流入海口附近泥滩生长良好;(2)无瓣海桑可作为红树林人工恢复的先锋树种,在低潮带裸滩或本地红树植物难以定居生长的滩涂种植,可促进乡土红树植物生长和向滩涂前缘扩展;(3)无瓣海桑具有良好的生态防护效益、环境净化效益和生态控制作用,是华南沿海防护林体系建设的理想树种选择;(4)无瓣海桑引种目前未造成明显生态入侵危害,是否会导致生态入侵需要进一步研究,但在完全明确其生态效应之前,应谨慎推广种植,可主要用于乡土红树植物难以定居生长的裸滩造林,严禁引入原生红树林群落中。

为了进一步明确无瓣海桑引种的生态影响特别是生态入侵问题,今后应注重开展以下研究:(1)无瓣海桑引种的生态监测与入侵评估。随着引种时间的推移,外来物种的适应性逐渐增强,其生态入侵危害逐渐显现。加强引种种群的自然扩散监测和乡土红树植物在引种种群内的定居生长监测,研究引种对原生红树林生态系统的影响,如对乡土红树植物生长、群落结构、物种多样性等产生何种影响及影响程度。采用 3S 技术和分子生物学技术^[80-81]建立无瓣海桑入侵的监测和预警系统。构建无瓣海桑入侵的评估指标体系,建立预测模型,加强入侵的动态评估。如果确认为入侵物种,应进一步从入侵机理上进行研究,揭示其入侵规律,在评价其对红树林生态系统的入侵效应和后果的基础上提出相应的控制措施^[74]。(2)对滩涂水生生物的影响研究。无瓣海桑根系发达,凋落量大,其生长过程中的根际分泌物和凋落物分解会对水体、水生生物、海水养殖产生何种影响,目前相关研究极少。(3)无瓣海桑与乡土红树植物优化配置的引种技术研究。目前无瓣海桑引种多为大密度纯林,可能是导致乡土红树植物难以定居生长的重要原因,同时纯林的生物多样性低、生态系统稳定性差、易发生病虫害。我国有乡土红树植物 26 种,从抗入侵能力^[82]、空间利用互补性、生态防护效果和景观价值等方面研究适于与无瓣海桑混交种植的乡土树种及其空间配置方式,确定抑制乡土红树植物生长的无瓣海桑密度或冠层盖度^[83],进一步观察研究在不同混交种植模式下对乡土红树植物生长的影响。(4)无瓣海桑的资源化利用研究。无瓣海桑属乔木树种,生物量大,其木材、果实等的资源化利用,有利于增加发展红树林的经济效益,促进红树林生态恢复的持续发展;同时,如果发生生态入侵,加大其经济利用,也是控制扩展与危害的有效措施。

致谢:感谢华南农业大学曾曙才教授和瑞典农业大学 Peichen Gong 教授对英文摘要的润色。

References:

- [1] Liao B W, Zheng S F, Chen Y J, Li M, Li Y D. Biological characteristics and ecological adaptability for non-indigenous mangrove species *Sonneratia apetala*. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(1): 10-15.
- [2] 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.
- [3] Jiang L Z, Huang R H. Investigation of the chilling damage on mangrove and study on the cold tolerance of *Sonneratia apetala*. Journal of Meteorological Research and Application, 2008, 29(3): 35-38.
- [4] 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 northward introduction experiment of several mangrove plants along the southern coast of Zhejiang Province. Journal of Southwest Forestry College. 2010, 30(5): 11-17.
- [5] Li M, Liao B W. Introduction and ecological impact of *Sonneratia apetala*. Protection Forest Science and Technology, 2008, (3): 100-102.
- [6] Wang B S, Liao B W, Wang Y J. Mangrove Forest Ecosystem and Its Sustainable Development in Shenzhen Bay. Beijing: Chinese Science Press, 2002: 1-362.
- [7] 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.

- [8] Zan Q J, Wang Y J, Liao B W, Zheng D Z. Biomass and net productivity of *Sonneratia apetala*, *S. caseolaris* mangrove man-made forest. Journal of Wuhan Botanical Research, 2001, 19(5): 391-396.
- [9] Liu Q H. Study on the suitable soil investigations of *Sonneratia apetala* in Leizhou Peninsula. Guangdong Forestry Science and Technology, 2005, 21(3): 33-36.
- [10] Pan H, Xue Z Y, Chen G R. Whether or not the *Sonneratia apetala* B. Ham plantation caused biological invasion in Jiulong River Estuary. Wetland Science and Management, 2006, 2(2): 51-55.
- [11] Zhuang X L, Lin J, Li Y H. Status and control of mangrove insect pests in the southeast coast of China. Straits Science, 2011, (7): 19-22.
- [12] 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.
- [13] Chen Y H, Xiao Z X, Peng J H, Cai Q Y. Investigation on freeze injury of *Sonneratia caseolaris*, *S. apetala* & *Laguncularia racemosa* in Eastern of Guangdong Province. Protection Forest Science and Technology, 2010, (4): 15-17.
- [14] Chen Y C, Lin K Y, Xu F H. Survey on freezing harm of mangrove and its restoration technique in Leizhou Peninsula. Wetland Science and Management, 2008, 4(3): 49-50.
- [15] Wu Z H, Cai J X, Ye Q B. Analysis on effects of introduction and popularization of *Sonneratia apetala*. Guangdong Forestry Science and Technology, 2000, 16(2): 6-10.
- [16] Xiao Z X, Chen Y H, Xie S H. Investigation on freeze injury of *Sonneratia caseolaris* (L.) Engl. and *S. apetala* Buch-Ham in Shantou. Protection Forest Science and Technology, 2004, (6): 24-25, 31-31.
- [17] Samuel C S, Jane G S. The Mangrove Ecosystem: Research Methods. Paris: Unesco, 1984: 1-251.
- [18] Zhang S W. A preliminary study on introduction and planting of *Sonneratia apetala* in Zhangpu County. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2010, 16(5): 139-141.
- [19] Chen Y C. Techniques for planting mangrove trees. Wetland Science and Management, 2008, 4(1): 47-49.
- [20] He J, Chen G Z, Luo H. Preliminary study on taming four kinds of mangrove plants in fresh water. Ecologic Science, 1999, 18(3): 12-15.
- [21] Luan J G, Du C K, He D S. Experiments on cultivation of mangrove plant in freshwater in Shenzhen. Journal of Hydroecology, 2011, 32(2): 63-68.
- [22] Diao J M, Zeng X L, Chen G Z. Eco-physiological responses of *Sonneratia apetala* seedlings to different levels of shading. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(7): 1289-1294.
- [23] Miao S Y, Li D N, Deng H Y, Wang H L, Chen J H. Comparison of some eco-physiological characteristics of three mangrove species in Nansha District, Guangzhou. Journal of Guangzhou University: Natural Science Edition, 2011, 10(1): 31-36.
- [24] Chen L Z, Tam N F Y, Huang J H, Zeng X Q, Meng X L, Zhong C R, Wong Y S, Lin G H. Comparison of ecophysiological characteristics between introduced and indigenous mangrove species in China. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2008, 79(4): 644-652.
- [25] Han S M, Li N Y, He P, Zhong C R, Yang Y. Photosynthetic characteristics of introduced and indigenous mangrove seedlings in China. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2010, 30(8): 1667-1674.
- [26] Chen C P, Wang W Q, Lin P. Influences of salinity on the growth and some ecophysiological characteristics of mangrove species, *Sonneratia apetala* seedlings. Chinese Bulletin of Botany, 2000, 17(5): 457-461.
- [27] Peng Y G, Chen G Z, She Z M. Ecological mode of integrated mangrove-aquiculture system. Journal of Nanjing University: Natural Sciences, 2007, 43(Proceedings of International Conference of Wetland Restoration and Ecological Engineering): 217-223.
- [28] Zheng S F, Chen Y J, Chen W P, Liao B W, Li M, Song X Y. Growth of mangrove species *Sonneratia apetala* in the coastal fishing-ponds in south of China. Ecologic Science, 2004, 23(4): 320-322.
- [29] Huang L, Zhan C A. Analysis on introduction and trial of mangrove *Sonneratia apetala* on the seashore of east Guangdong. Ecologic Science, 2003, 22(1): 45-49.
- [30] Wu T, Zhou C, Liu M C, Liu S Q. Leaf structure and its ecological adaptability in five species of *Sonneratia*. Guihaia, 2010, 30(4): 484-487.
- [31] Chen J H, Miao S Y, Zhang Z K, Du C H, Luo Y, Chen Q Y. Study on the leaf structure of *Sonneratia apetala*. Guangxi Sciences, 2011, 18(2): 169-176.
- [32] 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.
- [33] Zan Q J, Wang B S, Wang Y J, Li M G. Ecological assessment on the introduced *Sonneratia caseolaris* and *S. apetala* at the mangrove forest of Shenzhen Bay, China. Acta Botanica Sinica, 2003, 45(5): 544-551.
- [34] Zhou H T, Lin P. Analysis on genetic diversity of mangrove species of *Sonneratia* and relationship to plant introduction. Acta Oceanologica Sinica,

- 2002, 24(5): 98-106.
- [35] Li H S, Chen G Z. Genetic diversity of introduced populations of *Sonneratia apetala* based on inter-simple sequence repeat analysis. *Journal of Tropical Oceanography*, 2005, 24(4): 7-13.
- [36] Li Y, Zheng D Z, Liao B W, Zheng S F, Song X Y. Effect of salinity and temperature on seed germination of mangrove *Sonneratia apetala* Buch. Ham. *Forest Research*, 1997, 10(2): 137-142.
- [37] Li Y, Zheng D Z, Liao B W, Zheng S F, Chen X R. Experiment on seed germination and seedling growth of *Sonneratia apetala* Buch. Ham. *Forest Science and Technology*, 1995, (5): 21-22.
- [38] Zhong C R, Li H S, Chen G Z. The nursing technology of *Sonneratia apetala*. *Guangdong Forestry Science and Technology*, 2003, 19(3): 68-70.
- [39] Ji D H, Ji Y L. Occurrence and control method of mangrove diseases and insect pests. *Protection Forest Science and Technology*, 2011, (4): 98-101.
- [40] Ren H, Chen H, Li Z A, Han W D. Biomass accumulation and carbon storage of four different aged *Sonneratia apetala* plantations in Southern China. *Plant and Soil*, 2010, 327(1/2): 279-291.
- [41] Han W D, Gao X M. Biomass and energy flow of *Sonneratia apetala* community in Leizhou Peninsula, China. *Guangxi Sciences*, 2004, 11(3): 243-248.
- [42] Hogarth P J. *The Biology of Mangroves*. Oxford: Oxford University Press, 1999: 116-132.
- [43] Zan Q J, Wang Y J, Wang B S. Accumulation and cycle of N, P, K elements in *Sonneratia apetala* + *S. caseolaris* mangrove community at Futian of Shenzhen, China. *Guihaia*, 2002, 22(4): 331-336.
- [44] Han W D, Zhao Y T, Lu C Y, Lin P. Seven metal element's biological accumulation and circulation of *Sonneratia apetala* plantation in Leizhou, Guangdong. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2004, 10(1): 27-34.
- [45] Gong W K, Ong J E. Plant biomass and nutrient flux in a managed mangrove forest in Malaysia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1990, 31(5): 519-530.
- [46] Othman M A. Value of mangroves in coastal protection. *Hydrobiologia*, 1994, 285(1/3): 277-282.
- [47] Lou J, Wang X, Zhou G Y, Liao B W. Effect of the ecological system of mangrove *S. caseolaris* and *Sonneratia apetala* on the wind-prevention. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(26): 12776-12781, 12784-12784.
- [48] Liu J L. Purifying Effects of *Sonneratia apetala* Buch-Ham Wetland System [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2006.
- [49] Zeng W J. The Effect of Sewage Purification of *Sonneratia apetala* and *Phragmites communis* Wetland [D]. Guangzhou: Chinese Academy of Forestry, 2009.
- [50] Huang Q X, Liu Y, Huang S F, Liao B W, Li F. The impact of *Sonneratia apetala* on microalgae community and its ecology function. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2011, 50(4): 134-138.
- [51] Zhang J E, Liu J L, Ouyang Y, Liao B W, Zhao B L. Removal of nutrients and heavy metals from wastewater with mangrove *Sonneratia apetala* Buch-Ham. *Ecological Engineering*, 2010, 36(6): 807-812.
- [52] Ding Z H, Liu J L, Li L Q, Lin H N, Wu H, Hu Z Z. Distribution of Hg in mangrove plants and correlation with Hg speciation in sediments. *Environmental Science*, 2010, 31(9): 2234-2239.
- [53] Zan Q J, Wang Y J, Wang B S. The ecological effects of *Sonneratia apetala* + *S. caseolaris* mangrove plantations in Futian, Shenzhen. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2001, 40(6): 72-76.
- [54] Zhou Y W, Zhao B, Peng Y S, Chen G Z. Influence of mangrove reforestation on heavy metal accumulation and speciation in intertidal sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, 60(8): 1319-1324.
- [55] Chiu C Y, Chou C H. The distribution and influence of heavy metals in mangrove forests of the Tanshui estuary in Taiwan. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1991, 37(4): 659-669.
- [56] Tang G L, Shen L H, Weng W H, Zhang J E, Liao B W, Liu J L, Teng X S. Effects of using *Sonneratia apetala* to control the growth of *Spartina alterniflora* Loisel. *Journal of South China Agricultural University*, 2007, 28(1): 10-13.
- [57] Guan W, Liao B W, Qiu F Y, Gu X H, Han J, Tian G H, Yang X B. A preliminary study on controlling the invasive species *Spartina alterniflora* using *Sonneratia apetala*. *Forest Research*, 2009, 22(4): 603-607.
- [58] Li J, Tian G H, Peng S L, Yang X B, Chen L Y, Zeng Y, Liu W H, He K H. Allelopathy of *Sonneratia apetala* and *Spartina alterniflora* in soil. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2011, 27(2): 105-108.
- [59] Li M, Liao B W, Zheng S F. Ecological effect of *Sonneratia apetala* plantation. *Shanghai Environmental Sciences*, 2003, 22(8): 540-543.
- [60] Ren H, Jian S G, Lu H F, Zhang Q M, Shen W J, Han W D, Yin Z Y, Guo Q F. Restoration of mangrove plantations and colonisation by native species in Leizhou bay, South China. *Ecological Research*, 2008, 23(2): 401-407.

- [61] Ren H, Lu H F, Shen W J, Huang C, Guo Q F, Li Z A, Jian S G. *Sonneratia apetala* Buch. Ham in the mangrove ecosystems of China: an invasive species or restoration species? *Ecological Engineering*, 2009, 35(8): 1243-1248.
- [62] Li M, Liao B W, Zheng S F, Chen Y J. Disturbance of directly introduction of *Sonneratia apetala* on the secondary *Aegiceras corniculatum* community. *Guangdong Forestry Science and Technology*, 2004, 20(3): 19-21.
- [63] Yao L Q. A survey on effects of *Sonneratia apetala*'s introduction on native mangrove species in Jiulongjiang Estuary of Longhai. *Forestry Prospect and Design*, 2010, (2): 76-78.
- [64] Zeng W J, Liao B W, Chen X R, Su J, Ma S Q, Guan W. The ecological effect of mangrove *Sonneratia apetala* mixed with three local mangrove species. *Ecological Science*, 2008, 27(1): 31-37.
- [65] Liao B W, Li M, Zheng S F, Chen Y J, Zheng X R. Study on intraspecific and interspecific competition in exotic species *Sonneratia apetala*. *Forest Research*, 2003, 16(4): 418-422.
- [66] Tian G H, Chen L Y, Peng S L, Yang X B, Chen J Q, Chen M R, Li J, Zeng Y, Lei Z S. Ecological traits of invasiveness of alien mangrove species *Sonneratia apetala*. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(12): 3014-3020.
- [67] Chen Y J, Liao B W, Zheng S F, Li M, Song X Y. Dynamics and species-diversities of artificial *Sonneratia apetala*, *Sonneratia caseolaris* and *Kandelia candel* communities. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(6): 924-928.
- [68] Li M, Liao B W, Zheng S F, Chen Y J. Allelopathic effects of *Sonneratia apetala* aqueous extracts on growth performance of some indigenous mangroves. *Forest Research*, 2004, 17(5): 641-645.
- [69] Li P. The characteristics of mangrove wetlands and some ecological engineering questions in China. *Engineering Science*, 2003, 5(6): 33-38.
- [70] Wang F G, Xing F W, Ye H G, Cheng X Y, Tan G G, Mai B L. Preliminarily study on invasive alien species in Macau. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2004, 43(S1): 105-110.
- [71] Yan Y H, Xing F W, Huang X X, Fu Q, Qin X S, Chen H F. Exotic plants in Shenzhen, China. *Guihaia*, 2004, 24(3): 232-238.
- [72] Ng S C, Richard C. The bad biodiversity: alien plant species in Hong Kong. *Biodiversity Science*, 2002, 10(1): 109-118.
- [73] Liao B W, Tian G H, Yang X B, Tang G L, Zhang J E. The analysis of natural regeneration and diffusion of the seedling of *Sonneratia apetala* in the Qi'ao Island, Zhuhai. *Ecologic Science*, 2006, 25(6): 485-488.
- [74] Zhou Q Q, Chen Z L, Xin K. Research on the alien invasive status of mangrove in China. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(5): 2662-2664.
- [75] Ou J, Lu C Y, O'toole D K. A risk assessment system for alien plant bio-invasion in Xiamen, China. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20(8): 989-997.
- [76] Shi G R, Ma C C. Biological characteristics of alien plants successful invasion. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(4): 727-732.
- [77] Liao Q Y, Li J, Zhang J H, Li M, Lu Y, Xu R L. An ecological analysis of soil sarcodina at Dongzhaigang mangrove in Hainan Island, China. *European Journal of Soil Biology*, 2009, 45(3): 214-219.
- [78] Huang J R, Liu Q C, Zhao Y C, Dou B X, Li L C, Liu W Q, Lin J Q. The crab fauna in the mangrove of the Qi'ao Island, Zhuhai. *Ecology and Environmental Sciences*, 2011, 20(4): 730-736.
- [79] Molles M C Jr. *Ecology: Concepts and Application*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill Companies, 2005: 432-434.
- [80] Lee C E. Evolutionary genetics of invasive species. *Trends in Ecology and Evolution*, 2002, 17(8): 386-391.
- [81] Darling J A, Mahon A R. From molecules to management: adopting DNA-based methods for monitoring biological invasions in aquatic environments. *Environmental Research*, 2011, 111(7): 978-988.
- [82] Funk J L, Cleland E E, Suding K N, Zavaleta E S. Restoration through reassembly: plant traits and invasion resistance. *Trends in Ecology and Evolution*, 2008, 23(12): 695-703.
- [83] Gooden B, French K, Turner P J, Downey P O. Impact threshold for an alien plant invader, *Lantana camara* L., on native plant communities. *Biological Conservation*, 2009, 142(11): 2631-2641.

参考文献:

- [1] 廖宝文, 郑松发, 陈玉军, 李玫, 李意德. 外来红树植物无瓣海桑生物学特性与生态环境适应性分析. *生态学杂志*, 2004, 23(1): 10-15.
- [2] 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.
- [3] 蒋礼珍, 黄汝红. 钦州红树林寒害调查及无瓣海桑耐寒性初探. *气象研究与应用*, 2008, 29(3): 35-38.
- [4] 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.
- [5] 李玫, 廖宝文. 无瓣海桑的引种及生态影响. *防护林科技*, 2008, (3): 100-102.

- [6] 王伯荪, 廖宝文, 王勇军. 深圳湾红树林生态系统及其持续发展. 北京: 科学出版社, 2002: 1-362.
- [7] 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.
- [8] 咎启杰, 王勇军, 廖宝文, 郑德璋. 无瓣海桑、海桑人工林的生物量及生产力研究. 武汉植物学研究, 2001, 19(5): 391-396.
- [9] 刘秋红. 雷州半岛无瓣海桑适生土壤调查研究. 广东林业科技, 2005, 21(3): 33-36.
- [10] 潘辉, 薛志勇, 陈国荣. 无瓣海桑造林是否造成九龙江口生物入侵的探讨. 湿地科学与管理, 2006, 2(2): 51-55.
- [11] 庄鑫龙, 林晶, 李裕红. 我国东南沿海红树林虫害状况及防治. 海峡科学, 2011, (7): 19-22.
- [12] 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.
- [13] 陈远合, 肖泽鑫, 彭剑华, 蔡庆芸. 粤东海桑、无瓣海桑、拉关木冻害调查报告. 防护林科技, 2010, (4): 15-17.
- [14] 陈粤超, 林康英, 许方宏. 广东湛江红树林寒害调查及灾后恢复技术探讨. 湿地科学与管理, 2008, 4(3): 49-50.
- [15] 吴中亨, 蔡俊欣, 叶亲柏. 无瓣海桑引种及推广效果分析. 广东林业科技, 2000, 16(2): 6-10.
- [16] 肖泽鑫, 陈远合, 谢少鸿. 汕头市海桑、无瓣海桑冻害调查初报. 防护林科技, 2004, (6): 24-25, 31-31.
- [17] 张苏玮. 漳浦县无瓣海桑引种栽培初步研究. 安徽农学通报, 2010, 16(5): 139-141.
- [18] 陈粤超. 红树林造林技术. 湿地科学与管理, 2008, 4(1): 47-49.
- [19] 贺建, 陈桂珠, 罗航. 四种红树林植物的淡水驯化试验. 生态科学, 1999, 18(3): 12-15.
- [20] 梁建国, 杜灿坤, 何德善. 深圳地区红树植物淡水种植试验. 水生态学杂志, 2011, 32(2): 63-68.
- [21] 刁俊明, 曾宪录, 陈桂珠. 无瓣海桑幼苗对不同遮光度的生理生态响应. 生态学杂志, 2010, 29(7): 1289-1294.
- [22] 缪绅裕, 李德宁, 邓鸿英, 王厚麟, 陈健辉. 广州南沙 3 种红树植物生理生态特性的比较. 广州大学学报: 自然科学版, 2011, 10(1): 31-36.
- [23] 韩淑梅, 李妮亚, 何平, 钟才荣, 杨焰. 引种红树与中国乡土红树幼苗光合特性研究. 西北植物学报, 2010, 30(8): 1667-1674.
- [24] 陈长平, 王文卿, 林鹏. 盐度对无瓣海桑幼苗的生长和某些生理生态特性的影响. 植物学通报, 2000, 17(5): 457-461.
- [25] 彭友贵, 陈桂珠, 余忠明. 红树林滩涂海水种植-养殖生态模式研究. 南京大学学报: 自然科学版, 2007, 43(国际湿地恢复与生态工程学术会议论文集): 217-223.
- [26] 郑松发, 陈玉军, 陈文沛, 廖宝文, 李玫, 宋湘豫. 华南沿海基围鱼塘内无瓣海桑 *Sonneratia apetala* 的生长效应. 生态科学, 2004, 23(4): 320-322.
- [27] 黄陵, 詹潮安. 粤东沿海引种无瓣海桑试验. 生态科学, 2003, 22(1): 45-49.
- [28] 吴钿, 周畅, 刘敏超, 刘素青. 五种海桑属红树植物叶片的结构及其生态适应. 广西植物, 2010, 30(4): 484-487.
- [29] 陈健辉, 缪绅裕, 张志坤, 杜翠华, 罗韵, 陈倩韵. 无瓣海桑叶结构的研究. 广西科学, 2011, 18(2): 169-176.
- [30] 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.
- [31] 周涵韬, 林鹏. 海桑属红树植物遗传多样性和引种关系研究. 海洋学报, 2002, 24(5): 98-106.
- [32] 李海生, 陈桂珠. 无瓣海桑引种种群遗传多样性的 ISSR 分析. 热带海洋学报, 2005, 24(4): 7-13.
- [33] 李云, 郑德璋, 廖宝文, 郑松发, 宋湘豫. 盐度与温度对红树植物无瓣海桑种子发芽的影响. 林业科学研究, 1997, 10(2): 137-142.
- [34] 李云, 郑德璋, 廖宝文, 郑松发, 陈相如. 无瓣海桑引种育苗试验. 林业科技通讯, 1995, (5): 21-22.
- [35] 钟才荣, 李海生, 陈桂珠. 无瓣海桑的育苗技术. 广东林业科技, 2003, 19(3): 68-70.
- [36] 纪丹虹, 纪燕玲. 红树林病虫害发生及其防控技术研究. 防护林科技, 2011, (4): 98-101.
- [37] 咎启杰, 王勇军, 王伯荪. 深圳福田红树林无瓣海桑+海桑群落 N、P、K 累积和循环. 广西植物, 2002, 22(4): 331-336.
- [38] 韩维栋, 赵云涛, 卢昌义, 林鹏. 雷州无瓣海桑群落 7 种元素的生物累积和循环. 应用与环境生物学报, 2004, 10(1): 27-34.
- [39] 楼坚, 王旭, 周光益, 廖宝文. 海南东寨港海桑+无瓣海桑红树林生态系统防风效应研究. 安徽农业科学, 2009, 37(26): 12776-12781, 12784-12784.
- [40] 刘金苓. 无瓣海桑湿地系统对污水的净化效应研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2006.
- [41] 曾雯珺. 无瓣海桑与芦苇湿地净化污水效应研究[D]. 广州: 中国林业科学研究院, 2009.
- [42] 黄齐欣, 刘玉, 黄少峰, 廖宝文, 李飞. 无瓣海桑 (*Sonneratia apetala*) 对浮游微藻群落结构及生态功能的影响研究. 中山大学学报: 自然科学版, 2011, 50(4): 134-138.
- [43] 丁振华, 刘金铃, 李柳强, 林慧娜, 吴浩, 虎贞贞. 中国主要红树植物中汞含量特征与沉积物汞形态之间的关系. 环境科学, 2010, 31(9): 2234-2239.
- [44] 咎启杰, 王勇军, 王伯荪. 深圳福田无瓣海桑+海桑人工林的生态影响. 中山大学学报: 自然科学版, 2001, 40(6): 72-76.
- [45] 唐国玲, 沈禄恒, 翁伟花, 章家恩, 廖宝文, 刘金苓, 滕兴顺. 无瓣海桑对互花米草的生态控制效果. 华南农业大学学报, 2007, 28(1): 10-13.
- [46] 管伟, 廖宝文, 邱凤英, 谷兴华, 韩静, 田广红, 杨雄邦. 利用无瓣海桑控制入侵种互花米草的初步研究. 林业科学研究, 2009, 22(4):

603-607.

- [58] 李静, 田广红, 彭少麟, 杨雄邦, 陈蕾伊, 曾艳, 刘文辉, 何克宏. 无瓣海桑和互花米草群落土壤化感作用比较. 生态与农村环境学报, 2011, 27(2): 105-108.
- [59] 李玫, 廖宝文, 郑松发. 无瓣海桑海滩人工林的生态影响. 上海环境科学, 2003, 22(8): 540-543.
- [62] 李玫, 廖宝文, 郑松发, 陈玉军. 无瓣海桑的直接引入对次生桐花树群落的扰动. 广东林业科技, 2004, 20(3): 19-21.
- [63] 姚历强. 无瓣海桑引入对龙海九龙江口乡土红树林影响的调查. 林业勘察设计, 2010, (2): 76-78.
- [64] 曾雯珺, 廖宝文, 陈先仁, 粟娟, 马苏全, 管伟. 无瓣海桑与三种乡土红树植物混交的生态效应. 生态科学, 2008, 27(1): 31-37.
- [65] 廖宝文, 李玫, 郑松发, 陈玉军, 郑馨仁. 外来种无瓣海桑种内、种间竞争关系研究. 林业科学研究, 2003, 16(4): 418-422.
- [66] 田广红, 陈蕾伊, 彭少麟, 杨雄邦, 陈俊勤, 陈沐荣, 李静, 曾艳, 雷振胜. 外来红树植物无瓣海桑的入侵生态特征. 生态环境学报, 2010, 19(12): 3014-3020.
- [67] 陈玉军, 廖宝文, 郑松发, 李玫, 宋湘豫. 无瓣海桑、海桑、秋茄红树人工林群落动态及物种多样性研究. 应用生态学报, 2004, 15(6): 924-928.
- [68] 李玫, 廖宝文, 郑松发, 陈玉军. 无瓣海桑对乡土红树植物的化感作用. 林业科学研究, 2004, 17(5): 641-645.
- [69] 林鹏. 中国红树林湿地与生态工程的几个问题. 中国工程科学, 2003, 5(6): 33-38.
- [70] 王发国, 邢福武, 叶华谷, 陈孝永, 谭国光, 麦保林. 澳门的外来入侵植物. 中山大学学报: 自然科学版, 2004, 43(S1): 105-110.
- [71] 严岳鸿, 邢福武, 黄向旭, 付强, 秦新生, 陈红锋. 深圳的外来植物. 广西植物, 2004, 24(3): 232-238.
- [72] 吴世捷, 高力行. 不受欢迎的生物多样性: 香港的外来植物物种. 生物多样性, 2002, 10(1): 109-118.
- [73] 廖宝文, 田广红, 杨雄邦, 唐国玲, 章家恩. 珠海淇澳岛无瓣海桑种苗天然更新与扩散分析. 生态科学, 2006, 25(6): 485-488.
- [74] 周青青, 陈志力, 辛琨. 我国红树林外来入侵现状研究综述. 安徽农业科学, 2010, 38(5): 2662-2664.
- [76] 史刚荣, 马成仓. 外来植物成功入侵的生物学特征. 应用生态学报, 2006, 17(4): 727-732.
- [78] 黄建荣, 刘启智, 赵一臣, 窦碧霞, 李连春, 刘蔚秋, 林继球. 珠海淇澳岛红树林蟹类区系. 生态环境学报, 2011, 20(4): 730-736.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 7 April, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Theoretical framework and key techniques of urban ecological landscape research	SUN Ranhao, XU Zhongliang, CHEN Liding, et al (1979)
Response of sinapate esters in <i>Arabidopsis thaliana</i> to UV-B radiation	LI Min, WANG Yin, MU Xiaofei, et al (1987)
Biosorption of lead (II) and cadmium (II) from aqueous solution by <i>Chlorella pyrenoidsa</i> and its influential factors	JIANG Jing, LI Liang, LI Haipeng, et al (1995)
Response of pear jujube trees on fruit development period to different soil water potential levels	HAN Lixin, WANG Youke, ZHANG Linlin (2004)
An approach for analyzing resources metabolism of industrial ecosystems	SHI Xiaoqing, YANG Jianxin, WANG Rusong, et al (2012)
Establishment of environmental sustainability assessment indicators based on material flow and ecological footprint model in Tongling City of Anhui Province	ZHAO Huihui, WANG Yuan, GU Xueming, et al (2025)
Health status evaluation of the farmland supply function at county level in Hebei Province	BAI Linhong, WANG Wei, ZHANG Yu (2033)
Inhibition effects and mechanisms of the endophytic fungus <i>Chaetomium globosum</i> L18 from <i>Curcuma wenyujin</i>	WANG Yanhong, WU Xiaomin, ZHU Yanping, et al (2040)
Water use of walnut-wheat intercropping system based on stable carbon isotope technique in the low hilly area of North China	HE Chunxia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (2047)
Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping farmland in a karst region on the Yunnan-Guizhou Plateau	ZHANG Liqing, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2056)
Relationship among rice root aerenchyma, root radial oxygen loss and rhizosphere nitrification	LI Yilin (2066)
Effects of <i>Eriosoma lanigerum</i> (Hausmann) on physiological indices of different apple cultivars	WANG Xicun, YU Yi, ZHOU Hongxu, et al (2075)
Effects of P-efficient transgenic soybean on rhizosphere microbial community	JIN Lingbo, ZHOU Feng, YAO Juan, et al (2082)
Detecting major phenological stages of rice using MODIS-EVI data and Symlet11 wavelet in Northeast China	XU Yanyan, ZHANG Jiahua, YANG Limin (2091)
Cropping system optimization based on the comparative analysis of precipitation utilization in Sichuan Province	WANG Mingtian, QU Huihui, YANG Xiaoguang, et al (2099)
The impacts of global climatic change on chilling damage distributions of maize in Northeast China	GAO Xiaorong, WANG Chunyi, ZHANG Jiquan (2110)
Effect of fertilization on ammonia volatilization from paddy fields in Chao Lake Basin	ZHU Xiaohong, MA Zhongwen, MA Youhua, et al (2119)
Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on net ion fluxes in the roots of trifoliate orange (<i>Poncirus trifoliata</i>) and mineral nutrition in seedlings under zinc contamination	XIAO Jiaxin, YANG Hui, ZHANG Shaoling (2127)
The effect of red:far red ratio on the stomata characters and stomata conductance of <i>Chrysanthemum</i> leaves	YANG Zaiqiang, ZHANG Jing, JIANG Xiaodong, et al (2135)
Dynamic characteristics of litterfall and nutrient return of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia, China	LIU Lei, SHEN Guozhen, CHEN Fangqing, et al (2142)
Aboveground litter contribution to soil respiration in a black locust plantation in the Loess Plateau	ZHOU Xiaogang, GUO Shenli, CHE Shengguo, et al (2150)
Life history and spatial distribution of a <i>Taiwania flousiana</i> population in Leigong Mountain, Guizhou Province, China	CHEN Zhiyang, YANG Ning, YAO Xianming, et al (2158)
The feasibility of using LAS measurements of the turbulence structure parameters of temperature above a forest canopy	ZHENG Ning, ZHANG Jinsong, MENG Ping, et al (2166)
Spatial distribution of vegetation and carbon density in Jinyun Mountain Nature Reserve based on RS/GIS	XU Shaojun, ZENG Bo, SU Xiaolei, et al (2174)
Early nitrogen deposition effects on CO ₂ efflux from a cold-temperate coniferous forest soil	WENDU Runa, FANG Huajun, YU Guirui, et al (2185)
Epilithic diatom assemblages distribution in Gui River basin, in relation to chemical and physiographical factors	DENG Peiyan, LEI Yuanda, LIU Wei, et al (2196)
Acute stress caused by sand discharging on Yellow River Carp (<i>Cyprinus carpio</i>) in Xiaolangdi Reservoir	SUN Luyin, Baiyinbaoligao, NIU Cuijuan, et al (2204)
Environmental cost of pond aquaculture in Shanghai: an empirical analysis based on double-bounded dichotomous CVM method	TANG Keyong, YANG Zhengyong, YANG Huaiyu, et al (2212)
Host searching behaviour of <i>Apanteles cypris</i> Nixon (Hymenoptera: Braconidae) ...	ZHOU Hui, ZHANG Yang, WU Weijian (2223)
The effect of hedgerows on the distribution of <i>Harmonia axyridis</i> Pallas in agroforestry systems	YAN Fei, ZHOU Zaibao, WANG Shuo, et al (2230)
Induction of early resistance response to <i>Alternaria alternata</i> f. sp. <i>mali</i> in apple leaves with apple and chitosan fermentation broth ...	WANG Rongjuan, YAO Yuncong, QI Yaping, et al (2239)
Review and Monograph	
Research into vulnerability assessment for coastal zones in the context of climate change	WANG Ning, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (2248)
Introduction and ecological effects of an exotic mangrove species <i>Sonneratia apetala</i>	PENG Yougui, XU Zhengchun, LIU Minchao (2259)
Discussion	
Degradation of organic contaminants with biological aerobic fermentation in sewage sludge dewatering and its influencing factors	YU Jie, ZHENG Guodi, GAO Ding, et al (2271)
Remediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using four greening tree species	YAN Wende, LIANG Xiaocui, ZHENG Wei, et al (2279)
Scientific Note	
Diversity of endophytic fungi from six dominant plant species in a Pb-Zn mine wasteland in China	LI Dongwei, XU Hongmei, MEI Tao, et al (2288)
Effects of <i>Meloidogyne incognita</i> on scavenging system of reactive oxygen species in tomato seedlings grafted with different rootstocks ...	LIANG Peng, CHEN Zhende, LUO Qingxi (2294)

《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 7 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 7 2012

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:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元