

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 22 期
Vol.30 No.22
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 22 期

2010 年 11 月 (半月刊)

目 次

高温对水稻叶片蛋白质表达的影响·····	曹云英,段 骅,王志琴,等 (6009)
茶园间作柑桔杨梅或吊瓜对叶蝉及蜘蛛类群数量和空间格局的影响·····	叶火香,崔 林,何迅民,等 (6019)
鼠尾藻生长与生殖的权衡·····	张树宝,唐永政,王志芳,等 (6027)
不同氮素水平下超高产夏玉米冠层的高光谱特征·····	陈国庆,齐文增,李 振,等 (6035)
近 100 年植被破坏侵蚀环境下土壤质量退化过程的定量评价 ·····	郑粉莉,张 锋,王 彬 (6044)
毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分的空间异质性·····	邱开阳,谢应忠,许冬梅,等 (6052)
CO ₂ 浓度倍增对干旱胁迫下黄瓜幼苗膜脂过氧化及抗氧化系统的影响 ·····	李清明,刘彬彬,艾希珍 (6063)
小兴安岭阔叶红松林粗木质残体空间分布的点格局分析·····	刘妍妍,金光泽 (6072)
光照对鄂东南 2 种落叶阔叶树种幼苗生长、光合特性和生物量分配的影响 ·····	杨 莹,王传华,刘艳红 (6082)
不同耕作和覆盖方式对紫色丘陵区坡耕地水土及养分流失的影响·····	林超文,罗春燕,庞良玉,等 (6091)
黄土残塬沟壑区流域次生植被物种分布的地形响应·····	王盛萍,张志强,张建军,等 (6102)
农村土地经营权流转对区域景观的影响——以北京市昌平区为例·····	刘 同,李 红,孙丹峰,等 (6113)
基于农户响应的北方农牧交错带生态改善策略·····	徐建英,柳文华,常 静,等 (6126)
滨岸不同植物配置模式的根系空间分布特征·····	仲启铖,杜 钦,张 超,等 (6135)
三江平原小叶章湿地剖面土壤微生物活性特征·····	杨桂生,宋长春,宋艳宇,等 (6146)
不同水分处理对湿地松幼苗生长与根部次生代谢物含量的影响·····	李昌晓,魏 虹,吕 茜,等 (6154)
生活污水慢渗生态处理对土壤及杨树生长的影响·····	白保勋,杨海青,樊 巍,等 (6163)
玉米连作及其施肥对土壤微生物群落功能多样性的影响·····	时 鹏,高 强,王淑平,等 (6173)
茶园 4 种半翅目主要害虫与其捕食性天敌的关系·····	周夏芝,毕守东,柯胜兵,等 (6183)
采煤塌陷地不同施肥处理对土壤微生物群落结构的影响·····	李金岚,洪坚平,谢英荷,等 (6193)
典型区域果园表层土壤 5 种重金属累积特征·····	杨世琦,刘国强,张爱平,等 (6201)
工业园区氮代谢——以江苏宜兴经济开发区为例·····	武娟妮,石 磊 (6208)
公路绿化带对路旁土壤重金属污染格局的影响及防护效应——以山西省主要公路为例·····	王 慧,郭晋平,张芸香,等 (6218)
奥运期间北京 PM _{2.5} 、NO _x 、CO 的动态特征及影响因素 ·····	曾 静,廖晓兰,任玉芬,等 (6227)
新疆绿洲农田土壤-棉花系统 9 种矿质元素生物循环特征 ·····	韩春丽,刘 娟,张旺锋,等 (6234)
甘肃省黄土高原旱作玉米水分适宜性评估·····	姚小英,蒲金涌,姚茹莘,等 (6242)
基于粪便 DNA 的马鹿种群数量和性比 ·····	田新民,张明海 (6249)
专论与综述	
水生态功能分区研究中的基本问题·····	唐 涛,蔡庆华 (6255)
土壤水分遥感监测研究进展·····	杨 涛,官辉力,李小娟,等 (6264)
中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施·····	邓振镛,王 强,张 强,等 (6278)
问题讨论	
城市物质流分析框架及其指标体系构建·····	陈 波,杨建新,石 焱,等 (6289)
研究简报	
湖南会同不同退耕还林模式初期碳密度、碳贮量及其空间分布特征 ·····	田大伦,尹刚强,方 晰,等 (6297)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 300 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 32 * 2010-11

滨岸不同植物配置模式的根系空间分布特征

仲启铖, 杜 钦, 张 超, 王开运*

(上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 华东师范大学资源与环境科学学院, 上海 200062)

摘要:崇明岛位于长江河口, 是世界上最大的冲积岛。滨岸植物配置模式对防止侵蚀、坍塌等具有不同的作用。以崇明岛南岸 4 种不同的植物配置模式: 芦苇 (*Phragmites australis*)-海三棱藨草 (*Scirpus mariqueter*) 模式 (PSM)、池杉 (*Taxodium ascendens*)-芦苇-海三棱藨草模式 (TAPSM)、杂交柳 (*Salix matsudana* × *alba*)-芦苇-海三棱藨草模式 (SPSM) 及落羽杉 (*Taxodium distichum*)-芦苇-海三棱藨草模式 (TDPSM) 为对象, 对不同植物配置模式在低、中、高 3 个潮位根系空间分布进行了调查和分析。结果表明: (1) 4 种模式中 0—40cm 土层内平均总根长最大的为 SPSM 模式, 其值为 137.0 cm/cm², 平均总根长最小的为 TAPSM 模式 (91.4 cm/cm²); 在 3 种乔木增配模式中, 草本植物根长占总根长比例达 94.6%—98.1%。(2) 除 SPSM 模式外, 其他 3 种植物配置模式根长密度均随土层加深而减小, 这 3 种模式根长密度最大的土层皆为 0—10cm 土层, 分别为各自最底层根长密度的 15.1 倍 (PSM)、4.9 倍 (TDPSM) 和 2.0 倍 (TAPSM); SPSM 模式在 10—20cm 土层根长密度最大。(3) 在所有 4 种模式中, 直径 $\Phi < 0.1\text{mm}$ 的微细根对总根长密度的贡献均为最大, 比例从 74.7% 到 81.7%, 其次为直径 $0.1\text{mm} \leq \Phi < 1\text{mm}$ 的细根, 直径 $\Phi \geq 5\text{mm}$ 的大根极少。(4) 秩和检验显示, 4 种模式在低、中、高 3 个潮位根长密度的差异并不一致。根系能够提高土壤抗侵蚀能力, 研究 4 种模式根系空间分布特征, 可以为崇明岛滨岸植物配置, 建设抗蚀护滩植被带提供科学依据。

关键词: 崇明岛; 滨岸植物配置模式; 根系空间分布; 根长密度

Spatial distribution of root system of different riparian plant configuration modes

ZHONG Qicheng, DU Qin, ZHANG Chao, WANG Kaiyun*

Key Laboratory of Urbanization & Ecological Restoration, School of Resources and Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China

Abstract: Chongming Island, which locates at Yangtze River mouth, is the largest estuary alluvial island in the world. Plant configuration mode in riparian banks plays different functions on decreasing soil erosion and bank collapse. Four plant configuration modes located at collapsing banks of south coast of Chongming Island were studied in the paper, the four modes includes *Phragmites australis* + *Scirpus mariqueter* mode (PSM), *Taxodium ascendens* + *Phragmites australis* + *Scirpus mariqueter* mode (TAPSM), *Salix matsudana* × *alba* + *Phragmites australis* + *Scirpus mariqueter* mode (SPSM) and *Taxodium distichum* + *Phragmites australis* + *Scirpus mariqueter* mode (TDPSM). The spatial distribution of root system in four modes at different beaches were investigated and analyzed. The results showed: (1) The largest mean total root length in 0—40 cm soil layer happened in SPSM, and the value was 137.0 cm/cm², the smallest value (91.4 cm/cm²) happened in TAPSM. The ratio of herbaceous root length ranged from 94.6% to 98.1% in three arboreal and herbaceous mixed modes. (2) Except SPSM mode, root length density (RLD) of other three plant configuration modes generally decreased along with the increase in depth, and all the three modes had their largest RLD in top 10 cm soil layer, with 15.1 times (PSM), 4.9 times (TDPSM) and 2.0 times (TAPSM) of the bottom layer, respectively; As to SPSM, the largest RLD happened in the range of 10—20 cm in depth. (3) Very fine roots (diameter $\Phi < 0.1\text{mm}$) contributed most to total RLD in all four modes, with the ratio ranging from 74.7% to 81.7%. The next portion were fine roots (diameter $0.1\text{mm} \leq \Phi < 1\text{mm}$), and large roots (diameter $\Phi \geq 5\text{mm}$) were rarely found. (4) Rank sum test showed: The differences in RLD

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划重大项目 (2006BAC01A14); 国家自然科学基金重点项目 (90511608); 上海市科委科技创新行动计划 (10dz1200602, 10dz1200902)

收稿日期: 2009-10-06; **修订日期:** 2009-12-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangky@cib.ac.cn

were not uniform among four modes in lower, middle and higher beaches. Roots can improve soil anti-erosion capacity. The researches on spatial distribution of root system of four plant modes could provide some scientific basis for construction of riparian plant configuration modes, and protecting vegetation zone for anti-erosion in the bank of Chongming Island.

Key Words: Chongming Island; riparian plant configuration mode; spatial distribution of root system; root length density

河口海岸地区岸滩侵蚀是当今全球海岸带普遍存在的灾害现象,特别是近 10a,这种现象呈现加剧趋势^[1-2]。其结果势必将给相关地区经济发展和区域安全造成严重危害,尤其是岸滩后退造成河口低洼地的淹没,增大了海岸的洪涝几率和土地盐渍化程度,甚至干扰河口海岸生态系统^[3]。

崇明岛南岸正是面临上述问题的地区之一。为减少岸滩侵蚀,早在 20 世纪 50 年代,崇明县水利局就利用芦苇、海三棱藨草等植物,构建了滨岸芦苇-海三棱藨草植物配置模式。在过去几十年中,这种模式对崇明南岸岸滩稳定发挥了关键作用^[4]。然而,近年来随着长江中上游水土保持工作的加强和三峡工程、南水北调等重大工程的建设,长江入海泥沙量不断减少^[2]。与此同时,长江河口南支深水航道^[5]和青草沙水库^[6]两项水利工程的上马也势必会改变长江河口南支泥沙沉积动态和水动力状况。这些都可能导导致崇明南岸侵蚀岸滩的侵蚀作用更加严重,并使堆积岸滩向侵蚀岸滩转变,从而对芦苇-海三棱藨草模式的抗蚀护滩能力提出更高要求。为提升这种模式的抗蚀护滩能力,过去几年,管理部门筛选出池杉、杂交柳和落羽杉等耐湿耐盐乔木树种,在主要防护岸段,将其增配于原有的芦苇-海三棱藨草模式中,构建了多种新型乔木+草本植物配置模式。因而,这些配置措施能否有效增加芦苇-海三棱藨草模式的抗蚀护滩能力;哪一种模式在哪一个潮位的效果最好等一直是植物配置模式建设与管理中被普遍关注的问题。

滨岸植物配置模式的地下部分对减少岸滩土壤侵蚀作用非常关键。植物根系通过在土壤团块中的渗透,使得土壤成为了内含纤维的复合体,增加了岸土强度,使其对土壤侵蚀和岸基坍塌抗性加强^[7]。在发挥物理作用的同时,植物根系还能改变土壤有机质含量,并分泌一系列化学物质增加土壤的聚合能力^[8]。现有植物根系对土壤抗侵蚀能力影响研究区域大多集中在内陆小流域和山区,主要针对降雨及流水的冲刷作用^[9-11]。也有研究对滨水涨落带植被根系在护堤固岸方面的作用进行了阐述^[12],还有学者对岩质海岸防护林主要造林树种根系强化土壤抗冲性的能力进行了研究^[13]。这些研究的对象主要为单一类型的木本或草本植物根系^[14-15],而从群落角度探讨河口岸滩地区滨岸乔木+草本植物配置模式根系分布特征的研究较少。

根长密度(root length density, *RLD*)是指单位体积土体内根系总长度,它不受粗根存在的影响,能精确表现出土壤中根纤维的含量。根长密度和土壤抗侵蚀能力有重要关系,根长密度越大,土壤抗侵蚀能力越强^[16-17]。本文以芦苇-海三棱藨草模式(PSM)和在此基础上人工增配池杉、杂交柳及落羽杉构建的池杉-芦苇-海三棱藨草(TAPSM)、杂交柳-芦苇-海三棱藨草(SPSM)及落羽杉-芦苇-海三棱藨草(TDPSM)共 4 种典型植物配置模式为对象,按入水时间长短划分成不同潮位,对不同模式在低、中、高 3 个潮位根长密度的空间分布进行了调查和分析,以期对崇明岛滨岸植物配置模式的选择,建设抗蚀护滩植被带提供科学依据。

1 研究区域和研究方法

1.1 研究区域

依据对崇明岛 2008 年 1:5 万航片解译与野外实地调查确定研究区。它位于崇明岛南岸四激镇(121°34'E, 31°32'N)淤泥质岸滩潮间带上,为南岸侵蚀严重的岸段。此区域属于北亚热带海洋气候,气候湿润,年平均气温 15.3℃,年平均降水 1171.1 mm。日照充足,年平均日照时数 2104h。处于东亚季风盛行区,冬季盛行偏西北风,夏季盛行偏西南风。研究区内岸滩沉积物由高潮位向低潮位依次为粘土质粉砂—粉砂—粉砂质砂—砂,土壤轻微盐渍化,有机质含量低,较为贫瘠^[4]。地下浅层水位 33—55cm。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择

研究区内包括四种典型植物配置模式。PSM 模式为以芦苇和海三棱藨草构建的植物配置模式。TAPSM

模式在 PSM 模式基础上增配了池杉,SPSM 模式在 PSM 模式基础上增配了杂交柳,TDPSM 模式在 PSM 模式基础上增配了落羽杉。每种模式分别选择 1 块 60m×60m 样地,每一样地又分为每月每日受潮水影响的低潮位(240—270cm 潮位线以下)、每月约 20—25 日受潮水影响的中潮位(240—270cm 与 300—320cm 潮位线间)及每月约 15—20 日受潮水影响的高潮位(300—320cm 与 350—370cm 潮位线间)3 个小区,共 12 小区(图 1)。

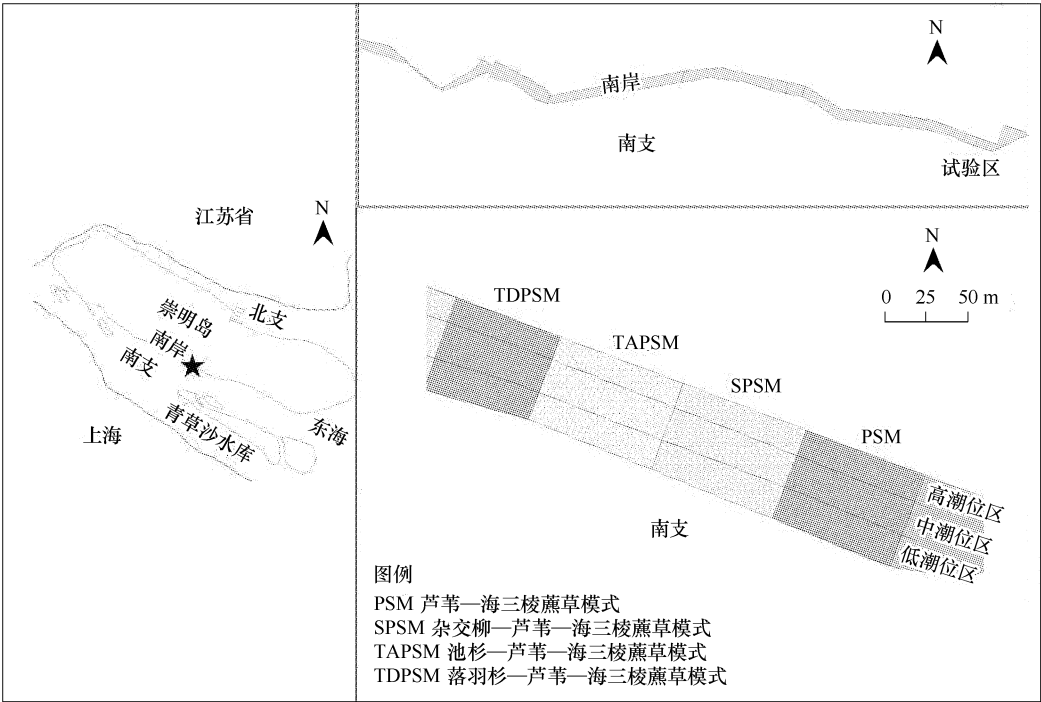


图 1 研究区域所处位置及样地分布

Fig. 1 The location of study area and the distribution of plots

1.2.2 样地调查及根系指标测定

取样在 2008 年 10 月植物生长旺季进行。首先对所选 4 块样地植物配置模式地上部分的生长状况进行调查(表 1)。然后在每块样地对角线上选取样点,用长 68cm、内径为 70mm 的土钻^[18]分 4 层(0—10cm,10—20cm,20—30cm,30—40cm)钻取土芯样品,每小区重复 6 次(共钻取 72 个土芯,分层后为 288 个样本)。编号后带回实验室,用 0.5mm 网筛反复冲洗,除去土壤,清洗干净后根据根的外形、颜色和弹性区分死根和活根并将死根挑除。处理好的样品放入自封袋中,4℃ 冰箱里保存。

表 1 4 种植物配置模式地上部分基本概况

Table 1 Aboveground characteristics of four types of plant configuration modes

潮位 Beach	模式 Mode	物种 Species	年龄与 生活型 Age and life form	高度/m Height (M±SE)	基径/cm Basal diameter (M±SE)	胸径/cm Diameter at breast (M±SE)	密度 Density (株/m ²)
低潮位 Lower beach	池杉-芦苇-海三 棱藨草模式 (TAPSM)	池杉 <i>Taxodium ascendens</i>	4a	1.97±0.04	3.22±0.11	1.59±0.08	2500
		芦苇 <i>Phragmites australis</i>	多年生草本	1.57±0.09	—	0.40±0.02	54
		海三棱藨草 <i>Scirpus mariqueter</i>	多年生草本	0.27±0.05	—	—	124

续表

潮位 Beach	模式 Mode	物种 Species	年龄与 生活型 Age and life form	高度/m Height(M $\pm$ SE)	基径/cm Basal diameter (M $\pm$ SE)	胸径/cm Diameter at breast (M $\pm$ SE)	密度 Density (乔 tree $\times$ 草 herb/ (株/m ²))
中潮位 Middle beach	杂交柳-芦苇-海 三棱藨草模式 (SPSM)	杂交柳 <i>Salix matsudana</i> $\times$ <i>alba</i>	4a	2.96 $\pm$ 0.20	3.98 $\pm$ 0.17	2.90 $\pm$ 0.10	2000
		芦苇 <i>Phragmites australis</i>	多年生草本	2.16 $\pm$ 0.12	—	0.58 $\pm$ 0.08	68
		海三棱藨草 <i>Scirpus mariqueter</i>	多年生草本	0.26 $\pm$ 0.07	—	—	109
	落羽杉-芦苇-海 三棱藨草模式 (TDPSM)	落羽杉 <i>Taxodium distichum</i>	4a	2.12 $\pm$ 0.04	4.12 $\pm$ 0.34	1.97 $\pm$ 0.15	2500
		芦苇 <i>Phragmites australis</i>	多年生草本	1.97 $\pm$ 0.13	—	0.60 $\pm$ 0.07	60
		海三棱藨草 <i>Scirpus mariqueter</i>	多年生草本	0.29 $\pm$ 0.11	—	—	115
	芦苇-海三棱藨 草模式 (PSM)	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	多年生草本	2.00 $\pm$ 0.15	—	0.71 $\pm$ 0.09	153
		海三棱藨草 <i>Scirpus mariqueter</i>	多年生草本	0.35 $\pm$ 0.07	—	—	178
	池杉-芦苇-海三 棱藨草模式 (TAPSM)	池杉 <i>Taxodium ascendens</i>	4a	2.10 $\pm$ 0.05	3.53 $\pm$ 0.14	1.74 $\pm$ 0.12	2500
		芦苇 <i>Phragmites australis</i>	多年生草本	1.85 $\pm$ 0.16	—	0.45 $\pm$ 0.06	47
		海三棱藨草 <i>Scirpus mariqueter</i>	多年生草本	0.32 $\pm$ 0.12	—	—	74
	杂交柳-芦苇-海 三棱藨草模式 (SPSM)	杂交柳 <i>Salix matsudana</i> $\times$ <i>alba</i>	4a	3.02 $\pm$ 0.06	4.26 $\pm$ 0.03	3.01 $\pm$ 0.05	2000
		芦苇 <i>Phragmites australis</i>	多年生草本	2.45 $\pm$ 0.19	—	0.65 $\pm$ 0.04	77
		海三棱藨草 <i>Scirpus mariqueter</i>	多年生草本	0.29 $\pm$ 0.13	—	—	82
	落羽杉-芦苇-海 三棱藨草模式 (TDPSM)	落羽杉 <i>Taxodium distichum</i>	4a	2.25 $\pm$ 0.03	4.61 $\pm$ 0.15	2.03 $\pm$ 0.09	2500
		芦苇 <i>Phragmites australis</i>	多年生草本	2.17 $\pm$ 0.04	—	0.57 $\pm$ 0.04	65
		海三棱藨草 <i>Scirpus mariqueter</i>	多年生草本	0.35 $\pm$ 0.06	—	—	74
	芦苇-海三棱藨 草模式 (PSM)	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	多年生草本	2.12 $\pm$ 0.15	—	0.73 $\pm$ 0.08	169
		海三棱藨草 <i>Scirpus mariqueter</i>	多年生草本	0.41 $\pm$ 0.09	—	—	161
高潮位 Higher beach	池杉-芦苇-海三 棱藨草模式 (TAPSM)	池杉 <i>Taxodium ascendens</i>	4a	2.24 $\pm$ 0.06	4.50 $\pm$ 0.36	2.10 $\pm$ 0.10	2500
		芦苇 <i>Phragmites australis</i>	多年生草本	2.43 $\pm$ 0.23	—	0.65 $\pm$ 0.07	42
		海三棱藨草 <i>Scirpus mariqueter</i>	多年生草本	0.39 $\pm$ 0.08	—	—	32
	杂交柳-芦苇-海 三棱藨草模式 (SPSM)	杂交柳 <i>Salix matsudana</i> $\times$ <i>alba</i>	4a	3.46 $\pm$ 0.12	5.30 $\pm$ 0.33	3.90 $\pm$ 0.32	2000
		芦苇 <i>Phragmites australis</i>	多年生草本	2.81 $\pm$ 0.28	—	0.71 $\pm$ 0.11	64
		海三棱藨草 <i>Scirpus mariqueter</i>	多年生草本	0.17 $\pm$ 0.03	—	—	43
	落羽杉-芦苇-海 三棱藨草模式 (TDPSM)	落羽杉 <i>Taxodium distichum</i>	4a	2.40 $\pm$ 0.06	5.20 $\pm$ 0.32	2.48 $\pm$ 0.14	2500
		芦苇 <i>Phragmites australis</i>	多年生草本	2.67 $\pm$ 0.31	—	0.75 $\pm$ 0.12	49

续表

潮位 Beach	模式 Mode	物种 Species	年龄与 生活型 Age and life form	高度/m Height(M ± SE)	基径/cm Basal diameter (M ± SE)	胸径/cm Diameter at breast (M ± SE)	密度 Density (乔 tree × 草 herb/ (株/m ²))
		海三棱藨草 <i>Scirpus mariqueter</i>	多年生草本	0.43 ± 0.03	—	—	65
	芦苇-海三棱藨 草模式 (PSM)	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	多年生草本	2.25 ± 0.19	—	0.77 ± 0.09	193
		海三棱藨草 <i>Scirpus mariqueter</i>	多年生草本	0.42 ± 0.05	—	—	132

用游标卡尺测量根系的直径,将根系按直径 Φ 大小分为 5 个等级,分别为微细根($\Phi < 0.1\text{mm}$),细根($0.1\text{mm} \leq \Phi < 1\text{mm}$),小根($1\text{mm} \leq \Phi < 2\text{mm}$),中根($2\text{mm} \leq \Phi < 5\text{mm}$),大根($\Phi \geq 5\text{mm}$)。将不同径级的根系分开,使用 CID 公司生产的 CI-203 叶面积仪的根长测量系统对根长进行测量。按如下公式计算各个样本的根长密度:

$$RLD = L_R/V$$

$$V = 10 \times \pi R^2$$

式中, RLD 表示根长密度(cm/cm^3), L_R 表示各个样本中活根长度(cm), V 表示单位土芯体积(cm^3), R 为土芯直径(cm)。

1.2.3 统计分析

实验数据用 Microsoft Office Excel 2003 进行初步数据分析和作图;采用 SPSS13.0 进行单因素方差分析和指数方程的拟合;采用非参数检验方法中多个样本及两两比较的秩和检验(Nemenyi-Wilcoxon-Wilcox 法)^[19]比较四种模式在 3 个潮位不同径级根长密度的差异。

2 结果

2.1 4 种植物配置模式 0—40cm 土层平均总根长

对 4 种不同的植物配置模式在 0—40cm 土层单位面积上平均总根长和草本植物根长进行测量并比较差异(图 2)。结果发现,平均总根长最大的为 SPSM 模式,其值为 $137.0\text{cm}/\text{cm}^2$,平均总根长最小的为 TAPSM 模式,其值为 $91.4\text{cm}/\text{cm}^2$ 。单因素方差分析显示,SPSM 模式平均总根长显著大于另外 2 种乔木增配模式($P < 0.05$),而与 PSM 模式无显著差异($P > 0.05$)。在 3 种乔木增配模式中,草本植物根长占总根长比例达 94.6%—98.1%,处于绝对优势。只有在 SPSM 模式下,单位面积上草本植物平均根长大于单纯由草本配置的 PSM 模式,但差异并不显著($P > 0.05$)。4 种模式草本植物根长的差异和总根长一致。

2.2 4 种植物配置模式根长密度垂直分布

4 种植物配置模式根系在各个土层的分配不同(表 2),除 SPSM 模式外,其他 3 种植物配置模式根长密度均随着土层的加深而减小。其中在 PSM 模式下,根长密度的下降趋势最为剧烈,在这种模式下,根系主要集中在 0—10cm 的土壤表层,这一层的根长密度为 $7.47\text{cm}/\text{cm}^3$,而最底层的根长密度仅为 $0.49\text{cm}/\text{cm}^3$,前者为后者的 15.1 倍。TAPSM 模式和 TDPSM 模式根系

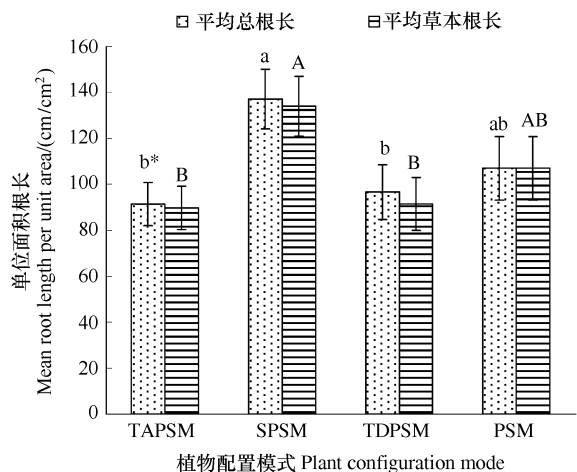


图 2 四种植物配置模式单位面积平均总根长和草本植物根长

Fig. 2 Mean total root length and herbaceous root length per unit area of four plant configuration modes

* 4 种模式之间单位面积总根长和草本植物根长统计学差异的显著性用不同字母表示($P < 0.05$)

的垂直分布格局比较相似。这两种模式根长密度最大的土层同样是 0—10cm 的表层,二者这一层的根长密度分别是最底层的 4.9 倍和 2.0 倍,可见前者根长密度随土层加深下降趋势更为明显。SPSM 模式与其他 3 种模式略有差别,这种模式最大根长密度出现在 10—20cm 土层。单因素方差分析显示,杂交柳 4 个土层的根长密度并没有显著差异。4 种模式 10cm 以下土层根长占总根长的比例依次为 SPSM (74.4%) > TDPSM (67.6%) > TAPSM (59.0%) > PSM (30.2%)。

表 2 4 种植物配置模式根长密度/(cm/cm³)垂直分布
Table 2 RLD vertical distribution of four plant configuration modes

土壤深度/cm Soil layer	模式 Mode			
	池杉-芦苇-海三 棱蘆草模式 (TAPSM) <i>Taxodium ascendens- Phragmites australis- Scirpus mariqueter mode</i>	杂交柳-芦苇-海三 棱蘆草模式 (SPSM) <i>Salix matsudana × alba- Phragmites australis- Scirpus mariqueter mode</i>	落羽杉-芦苇-海三 棱蘆草模式 (TDPSM) <i>Taxodium distichum- Phragmites australis- Scirpus mariqueter mode</i>	芦苇-海三棱 蘆草模式 (PSM) <i>Phragmites australis- Scirpus mariqueter mode</i>
	平均值 ± 标准误 Mean ± Standard error	平均值 ± 标准误 Mean ± Standard error	平均值 ± 标准误 Mean ± Standard error	平均值 ± 标准误 Mean ± Standard error
0—10	3.67 ± 0.35a	3.47 ± 0.56a	3.19 ± 0.48a	7.46 ± 1.06a
10—20	2.92 ± 0.43a	3.63 ± 0.52a	2.74 ± 0.43a	1.48 ± 0.25b
20—30	1.62 ± 0.22b	3.54 ± 0.42a	2.32 ± 0.33ab	1.25 ± 0.42b
30—40	0.76 ± 0.14c	2.92 ± 0.29a	1.59 ± 0.15b	0.49 ± 0.09b

将 4 种模式每一层的根长密度和相应土层深度应用指数方程进行拟合也发现(表 3),只有 SPSM 模式根长密度的垂直变化不能很好的用指数方程进行反映。

表 3 四种模式拟合根长密度随土层加深规律的指数方程
Table 3 Exponential equation fitting RLD to soil depth of four plant configuration modes

植物配置模式 Plant configuration mode	指数方程 Exponential equation
池杉-芦苇-海三棱蘆草模式 (TAPSM)	$RLD = 7.217e^{-0.533x}$ ($F = 39.04, P < 0.05, R^2 = 0.951$)
杂交柳-芦苇-海三棱蘆草模式 (SPSM)	$RLD = 3.871e^{-0.054x}$ ($F = 2.04, P > 0.05, R^2 = 0.505$)
落羽杉-芦苇-海三棱蘆草模式 (TDPSM)	$RLD = 4.178e^{-0.225x}$ ($F = 34.85, P < 0.05, R^2 = 0.945$)
芦苇-海三棱蘆草模式 (PSM)	$RLD = 12.953e^{-0.832x}$ ($F = 19.18, P < 0.05, R^2 = 0.906$)

RLD 为根长密度 (cm/cm³), x 为土层深度 (cm)

2.3 4 种植物配置模式不同径级根系的比例

表 4 显示,在所有 4 种模式中,直径 $\Phi < 0.1\text{mm}$ 的微细根对总根长密度的贡献均为最大,其中比例最大的为 PSM 模式,其微细根的根长密度占总根长密度的比例为 81.7%,最小的为 TAPSM 模式,比例为 74.7%。对总根长密度贡献其次的是直径 $0.1\text{mm} \leq \Phi < 1\text{mm}$ 的细根,占四种模式总根长密度的比例从 14.1%—21.7% 不等。这 2 个径级根系根长密度比例的和在所有 4 种模式都超过了 90%。与之相对的,直径 $\Phi \geq 5\text{mm}$ 的大根最少,这一径级根系对总根长密度的贡献也最低,其根长密度的比例在所有 4 种模式下都小于 1%。

2.4 4 种植物配置模式根长密度在不同潮位的差异

对 4 种模式在不同潮位各个土层的根长密度进行了分径级的比较,秩和检验后多重比较发现,在不同潮位 4 种模式根长密度的差异并不一致(图 3)。直径 $\Phi \geq 5\text{mm}$ 的根系由于数据缺乏和统计分析的不确定性而没有进行。

在低潮位,从图 3A 中可以看出,在根长密度比例最大的微细根方面,SPSM 模式只有在 0—10cm 土层显著小于 TDPSM 模式($P < 0.05$),而在 20—40cm 的两个土层均显著大于其他 3 种模式($P < 0.05$)。对于其他径级的根系,在 0—30cm 的 3 个土层,4 种模式直径 $\Phi \geq 0.1\text{mm}$ 根系的根长密度均无显著差异;在 30—40cm 土层,SPSM 模式小根和细根的根长密度显著大于 TAPSM 模式($P < 0.05$)。

表 4 不同径级根系根长密度占总根长密度/(cm/cm³)的比例

Table 4 The ratio of different root diameters in total RLD

模式 Mode		直径 Diameter/mm				
		$\Phi \geq 5$	$2 \leq \Phi < 5$	$1 \leq \Phi < 2$	$0.1 \leq \Phi < 1$	$\Phi < 0.1$
池杉-芦苇-海三棱藨草模式(TAPSM)	平均值 $\pm$ 标准误 Mean $\pm$ Standard error	0.05 $\pm$ 0.02	0.03 $\pm$ 0.01	0.28 $\pm$ 0.06	1.86 $\pm$ 0.34	6.94 $\pm$ 0.85
	%	0.5	0.4	2.7	21.7	74.7
杂交柳-芦苇-海三棱藨草模式(SPSM)	平均值 $\pm$ 标准误 Mean $\pm$ Standard error	0.08 $\pm$ 0.02	0.04 $\pm$ 0.02	0.43 $\pm$ 0.11	2.42 $\pm$ 0.22	10.72 $\pm$ 1.22
	%	0.6	0.3	2.9	17.8	78.4
落羽杉-芦苇-海三棱藨草模式(TDPSM)	平均值 $\pm$ 标准误 Mean $\pm$ Standard error	0.07 $\pm$ 0.02	0.10 $\pm$ 0.03	0.21 $\pm$ 0.05	1.31 $\pm$ 0.17	8.00 $\pm$ 1.40
	%	0.7	1.1	2.5	14.1	81.7
芦苇-海三棱藨草模式(PSM)	平均值 $\pm$ 标准误 Mean $\pm$ Standard error	0.04 $\pm$ 0.02	0.03 $\pm$ 0.02	0.27 $\pm$ 0.12	1.40 $\pm$ 0.26	9.02 $\pm$ 1.24
	%	0.4	0.4	3.3	14.3	81.6

在中潮位(图 3B), PSM 模式微细根的根长密度仅在 0—10cm 土层显著大于其他 3 种模式($P < 0.05$), 而在 10cm 以下的 3 个土层, SPSM 模式的根长密度占绝对优势。对于其他径级的根系, SPSM 模式小根和细根的根长密度在所有土层均为最大, 而 TDPSM 模式中根的根长密度在 20—40cm 两个土层显著大于其他 3 种模式($P < 0.05$)。

在高潮位(图 3C), PSM 模式微细根同样仅在 0—10cm 土层显著大于其他 3 种模式($P < 0.05$), 而在 10cm 以下的 3 个土层, SPSM 模式和 TDPSM 模式根长密度显著大于另外两种模式, 且两者之间无显著性差异。对于其他径级的根系, SPSM 模式细根的根长密度在 20—40cm 两个土层显著大于其他 3 种模式; 直径 $\Phi \geq 0.1$ mm 根系的根长密度在高潮位明显增大, TDPSM 模式大根的根长密度在 20—40cm 两个土层显著大于 SPSM 模式($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 4 种植物配置模式根系空间分布特征

植物根系的空间分布受植物本身和其所处环境的双重影响, 包括植物群落的生物学特性和土层厚度、土壤密度等生态因子的综合影响^[20-21], 也与淹水时间长短以及营养物质垂直分布有关^[22]。本研究发现, 4 种滨岸植物配置模式根系分布的状况有一定差异。

很多研究表明, 根系密度会随着土层加深而减小。朱胜英等^[23]对帽儿山林区 6 种林分细根的研究表明, 细根的现存量主要集中在 0—10cm 土层中。本研究发现, 在所有 3 个潮位, PSM 根系主要分布在 0—10cm 的表层, 而在 10cm 以下土层中分布较少, 且随土层下降趋势极为剧烈。这与周梦华等^[24]研究的云雾山本氏针茅(*Stipa bungeana* Trin.) 群落根系分布特征较为一致。3 种乔木配置模式根系在 10cm 以下土层的比重则较大。Wynn 等^[25]对弗吉尼亚州布莱伯格地区 25 种滨水植被的研究发现, 木本植被在较深土壤层次的根系比例明显大于草本植物。

本研究中, 3 种乔木增配模式中乔木年龄较小, 乔木根长只占总根长很小一部分, 而草本植物根长占绝对优势, 但是增配的乔木会在很大程度上影响草本植物生态位的状态。其中最明显的是乔木根系的存在可能会通过生态位重叠和分化等过程极大地改变所在群落根系整体的空间分布状况。木本植物根系在较深土层可能会通过对各种资源的竞争作用引起草本植物对其根系空间分布状况的调整, 促进草本植物根系在这些土层的生长, 从而加大其自身的竞争能力。这样可以使资源得以充分利用, 群落根系整体稳定性也趋于更强。另外, 本研究发现, 只有在 SPSM 模式下, 杂交柳根系的存在增加了群落中草本植物根长和总根长, 这两个值在两种杉科乔木配置模式下则均减小。这可能与树种不同导致种间相互作用的差异有关。王政权等^[26]通过水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)和落叶松(*Larix gmelinii*)两种苗木混栽(种间竞争)试验也发现, 混交提高了水曲

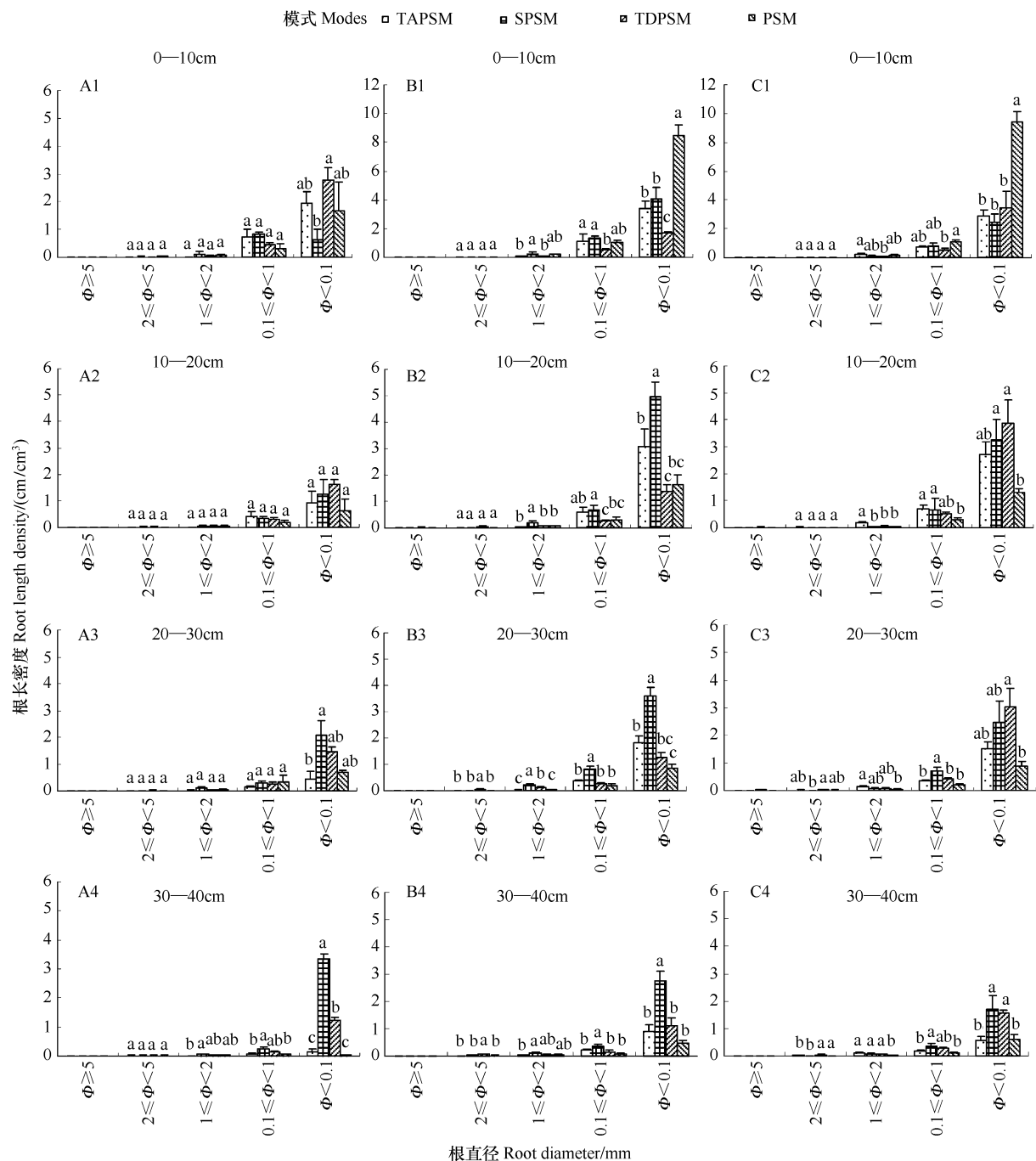


图3 四种植物配置模式不同潮位分径级根长密度比较

Fig. 3 Comparison of root length density by different diameters of four plant configuration modes at different beaches

A1—A4:低潮位, B1—B4:中潮位, C1—C4:高潮位

柳的竞争效率,使其根生物量、细根生物量、根密度以及根长均有较显著的增加。但是我们目前对造成这种现象的机制并不十分清楚,这是以后的研究中需要重点解决的问题。

张宇清等^[27]对梯田生物埂3种灌木根系分布的研究发现,根长随土层深度的变化均呈指数下降。本研究除了SPSM模式外,其他3种植物配置模式的根长密度均随着土层的加深而呈指数下降。而SPSM模式最大根长密度出现在10—20cm土层。也只有这种模式根长密度垂直变化不能很好的用指数方程进行反映。本研究的样地位于长江河口岸滩潮间带上,淹水和盐分胁迫可能是造成植物根系分布状况不同于旱生植物的

主要原因。尽管试验中所选乔木树种均为耐湿耐盐物种,但是不同树种在生理和生态上抵抗胁迫的机制不同。SPSM 模式中杂交柳适应上述胁迫的策略可能不同于两种杉科乔木,杂交柳倾向于躲避胁迫作用最强的表层,转而在 10cm 以下土层加速根系生长,从而导致了整个群落根系在 10cm 以下土层的生长。

同样,在不同的潮位,四种植物配置模式根长密度的差异并不一致,最主要的原因可能也是淹水和盐分胁迫强度在不同潮位的异质性即干扰程度不同所造成,潮位越低,植物受淹水和盐分胁迫强度越强,耐受缺氧状态所持续时间以及为抵抗胁迫所分泌次生产物的量就越多,生长受抑制程度就越高。陈婷等^[28]对三峡库区岸生植物野古草(*Arundinella anomala* Steud.)和秋华柳(*Salix variegata* Franch.)不定根的形成情况进行研究也发现,不同的水淹时间和水淹方式对秋华柳和野古草不定根的形成有着不同程度的影响。

研究中还发现,在所有 4 种植物配置模式中,直径 $\Phi < 1\text{mm}$ 的微细根和细根对总根长密度贡献最大,在所有 4 种模式下这二者比例的和都超过了 90%,这与梅莉等^[29]对水曲柳人工林根系研究发现的直径 $\Phi < 1\text{mm}$ 根系根长密度占总活根根长密度的 92% 的结果比较一致。微细根占总根长密度比重之所以远高于细根,可能是因为 4 种模式根长密度主要是芦苇和海三棱藨草两种草本植物体现的,而这 2 种多年生草本植物的须根都相当发达。直径 $\Phi \geq 5\text{mm}$ 的根系极少被发现,所占比例最小,这可能与采样的内在误差及乔木树龄较小有关。

3.2 对滨岸植物配置模式建设的启示

崇明岛河口岸滩地区,土壤侵蚀机制受长江泥沙输移量、水动力要素(主要包括潮流、波浪、风暴潮)等多重因素的影响。潮水和径流造成的侵蚀主要作用于各种基质的表面。近岸水流直接作用于岸滩,冲动岸滩表面的沉积泥沙将其带走,从而导致岸滩冲刷及侵蚀^[2,30]。不同径级根系稳定土壤中的作用不同,细根固定土壤的作用大于粗根。本研究发现四种模式中主要的根系均为直径 $\Phi < 1\text{mm}$ 的细根和微细根,其中微细根比例远大于细根。直径 $\Phi < 1\text{mm}$ 的根系,与土壤的抗侵蚀效能密切相关,被众多研究者一致认为是反映土体稳定的一个重要指标^[31]。但是并没有详细的研究能够否认粗根的重要性,粗根的锚固作用和抗拉伸能力要强于细根,特别是在比较剧烈的侵蚀过程中有重要作用^[17]。Reubens 等^[17]认为对浅层土壤侵蚀来说,上层具有密集细根,下层具有可以深入土壤的粗根从而可以承受更大程度弯曲力和剪切力的根系分布格局是比较有效的。本文对 4 种模式根系分布研究的结果可以为崇明南岸滨岸植物配置模式的建设提供一些启示:

(1)在低潮位,SPSM 模式微细根根长密度在 20—40cm 两个土层均显著大于其他 3 种模式,但是这种模式根系分布较深,可能对表层侵蚀抵抗作用不强。TDPSM 模式对表层侵蚀的抵抗作用可能更明显。

(2)在中潮位,在 10cm 以下的 3 个土层,SPSM 模式微细根根长密度相比其他模式占据绝对优势。对于其他径级的根系,这种模式小根和细根根长密度在所有土层也为最大。这样的分布可能对较强侵蚀作用如风暴潮导致的浅层侵蚀有更好抵抗能力。从根长密度的角度看,在这一潮位,SPSM 模式在 3 种乔木增配模式中的优势最明显。

(3)在高潮位,SPSM 模式和 TDPSM 模式微细根的根长密度无显著差异,但是前者大根的根长密度在 20—40cm 两个土层显著大于后者。因此前者在这个潮位可能能够抵抗更强的侵蚀作用。

(4)人工增配乔木后中潮位以及高潮位土壤表层根系密度较之 PSM 模式反而下降。PSM 模式在这两个潮位对表层侵蚀可能有较好抵抗作用,但是这种模式根系分布过浅。可以考虑在乔木增配模式的这两个潮位搭配根系较浅的耐阴湿生灌木,构建层次化的乔-灌-草复合植物配置模式。

进一步的研究需要将各种植物配置模式根系分布特征与不同土层土壤含水率及理化性质结合在一起,并从植物对各种胁迫的适应策略和种间及种内竞争等角度解析造成各种模式根系分布差异的机制;通过和水稳性指标的相关分析更直观的反映根系对土壤抗侵蚀能力的影响;另外需要在植物生长季不同时期对根系特别是微细根和细根分布特征进行动态监测从而了解各种植物配置模式在不同季节的功能;还要对乔木处于不同年龄阶段的植物配置模式进行对比,从整个生活史评价植物配置模式的功能。这样才可能筛选出最佳的植物配置模式,从而达到较好的抗蚀护滩与生态恢复目的。

致谢:感谢华东师范大学生命科学学院邹春静副教授对本文写作的帮助。

References:

- [1] Hu G, Liu J. Coastal erosion in estuary: an overview. *Marine Geology Letters*, 2006, 22(6): 5-9.
- [2] Li P, Yang S L, Dai S B, Zhang W X. Accretion/erosion of the subaqueous delta at the Yangtze estuary in recent 10 years. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(7): 707-716.
- [3] Kamar P D. Coastal erosion-underlying factors and human impacts. *Shore and Beach*, 2000, 68(1): 3-16.
- [4] Lv Y B, Chen J Y, Chen D C. Investigation Report of Resources of Shanghai Islands. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1996, 117-119, 135.
- [5] Wang F, Quan W. Analysis on international competitiveness of Shanghai Port. *Port Economy*, 2003, (1): 36-38.
- [6] Song S H. Elementary analyses to engineering risk factors of Qingcaosha reservoir and countermeasures. *Urban Roads Bridges and Flood Control*, 2007, (4): 44-46.
- [7] Nilaweera N S, Notalaya P. Role of tree roots in slope stabilisation. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 1999, 57(4): 337-342.
- [8] Thorne C, Amarasinghe I, Gardiner J, Perala-Gardiner C, Sellin R, Greaves M, Newman J. Bank protection using vegetation with special reference to willows: Project record. Engineering and Physical Sciences Research Council and Environmental Agency Report, 1997.
- [9] Ding J, Wang Z Q, Chen X, Zhang R L. Study on increased effect of soil anti-scourability by root system of forest land in red soil hilly region. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(4): 9-12.
- [10] Liu D H, Li Y. Mechanism of plant roots improving resistance of soil to concentrated flow erosion. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(3): 34-37.
- [11] Gysels G, Poesen J, Bochet E, Li Y. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Progress in Physical Geography*, 2005, 29(2): 189-217.
- [12] Xu S J, Zeng B. Enhancement effects of 5 flooding-tolerant species' roots on soil anti-erodibility in Three Gorges reservoir region. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(6): 13-18.
- [13] Zhang J C, Zang T L, Zeng F. A study on soil anti-scourability intensification of protective forest root system in bedrock coast. *Journal of Nanjing Forestry University*, 2001, 25(1): 9-12.
- [14] Abernethy B, Rutherford I D. The effect of riparian tree roots on the mass-stability of riverbanks. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2000, 25(9): 921-937.
- [15] De Baets S, Poesen J, Gysels G, Knapen A. Effects of grass roots on the erodibility of topsoils during concentrated flow. *Geomorphology*, 2006, 76(1/2): 54-67.
- [16] Abernethy B, Rutherford I D. The distribution and strength of riparian tree roots in relation to riverbank reinforcement. *Hydrological Processes*, 2001, 15(1): 63-79.
- [17] Reubens B, Poesen J, Danjon F, Geudens G, Muys B. The role of fine and coarse roots in shallow slope stability and soil erosion control with a focus on root system architecture: a review. *Trees*, 2007, 21(4): 385-402.
- [18] Bohm W. Methods of Studying Root Systems. Zeng D R, Tan X L translated. Beijing: Science Press, 1985:51-54.
- [19] Ming D X. Biological Statistics and Experimental Design. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 214-215.
- [20] Vogt K A, Vogt D J, Palmiotto P A, Boon P, O'Hara J, Asbjornsen H. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. *Plant and Soil*, 1996, 187(2): 159-219.
- [21] Mou P, Mitohell R J, Jones R H. Root distribution of two tree species under a heterogeneous nutrient environment. *Applied Ecology*, 1997, 34(3): 645-656.
- [22] Gray D H, Leiser A T. Biotechnical Slope Protection and Erosion Control. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1982:61-65.
- [23] Zhu S Y, Zhou B, Mao Z J, Wang X W, Sun Y F. Space-time dynamics of fine root biomass of six forests in Maoershan forest region. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(6): 13-19.
- [24] Zhou M H, Chen J M, Wan H E. Distribution characteristics of the root system of the *Stipa bungeana* Trin. community in Yunwu mountain. *Acta Agrestia Sinica*, 2008, 16(3): 267-271.
- [25] Wynn T M, Mostaghimi S, Burger J A, Harpold A A, Henderson M B, Henry L A. Variation in root density along stream banks. *Journal of Environmental Quality*, 2004, 33(6): 2030-2039.
- [26] Wang Z Q, Zhang Y D. Study on the root interactions between *Fraxinus mandshurica* and *Larix gmelinii*. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24

(3): 346-350.

- [27] Zang Y Q, Zhu Q K, Qi S, Zhang Y. Vertical distribution characteristics of root system of several shrub species on terrace banks. *Journal of Beijing Forestry University*, 2006, 28(2): 34-38.
- [28] Chen T, Zeng B, Ye X Q, Luo F L, Liu D. Effect of flooding on adventitious root formation of *Arundinella anomala* Steud. and *Salix variegata* Franch. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007, 35(19): 5703-5704, 5712.
- [29] Mei L, Wang Z Q, Hang Y Z, Guo J C, Wang X R. Distribution patterns of *Fraxinus mandshurica* root biomass, specific root length and root length density. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(1): 1-4.
- [30] Yang S L, Yao Y M, He S L. Coastal profile shape and erosion-accretion changes of the sediment islands in the Changjiang river estuary. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 1999, 30(6): 764-769.
- [31] Xiong Y M, Xia H P, Li Z A, Cai X A. Effects and mechanisms of plant roots on slope reinforcement and soil erosion resistance: a research review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(4): 895-904.

参考文献:

- [1] 胡刚, 刘健. 河口岸滩侵蚀研究进展. *海洋地质动态*, 2006, 22(6): 5-9.
- [2] 李鹏, 杨世伦, 戴仕宝, 张文祥. 近10年来长江口水下三角洲的冲淤变化——兼论三峡工程蓄水的影响. *地理学报*, 2007, 62(7): 707-716.
- [4] 吕也博, 陈吉余, 陈德昌. 上海市海岛资源综合调查报告. 上海: 上海科学技术出版社, 1996: 117-119, 135.
- [5] 王方, 全伟. 上海港的国际竞争力分析. *港口经济*, 2003, (1): 36-38.
- [6] 宋少红. 浅析青草沙水库工程风险因素及对策. *城市道桥与防洪*, 2007, (4): 44-46.
- [9] 丁军, 王兆骞, 陈欣, 张如良. 红壤丘陵区林地根系对土壤抗冲增强效应的研究. *水土保持学报*, 2002, 16(4): 9-12.
- [10] 刘定辉, 李勇. 植物根系提高土壤抗侵蚀性机理研究. *水土保持学报*, 2003, 17(3): 34-37.
- [12] 徐少君, 曾波. 三峡库区5种耐水淹植物根系增强土壤抗侵蚀效能研究. *水土保持学报*, 2008, 22(6): 13-18.
- [13] 张金池, 臧廷亮, 曾锋. 岩质海岸防护林树木根系对土壤抗冲性的强化效应. *南京林业大学学报*, 2001, 25(1): 9-12.
- [18] 伯姆. 根系研究法. 薛德榕, 谭协麟译. 北京: 科学出版社, 1985: 51-54.
- [19] 明道绪. 生物统计附实验设计. 北京: 中国农业出版社, 2003: 214-215.
- [23] 朱胜英, 周彪, 毛子军, 王秀伟, 孙元发. 帽儿山林区6种林分细根生物量的时空动态. *林业科学*, 2006, 42(6): 13-19.
- [24] 周梦华, 程积民, 万惠娥. 云雾山本氏针茅群落根系分布特征. *草地学报*, 2008, 16(3): 267-271.
- [26] 王政权, 张彦东. 水曲柳落叶松根系之间的相互作用研究. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 346-350.
- [27] 张宇清, 朱清科, 齐实, 张岩. 梯田生物埂几种灌木根系的垂直分布特征. *北京林业大学学报*, 2006, 28(2): 34-38.
- [28] 陈婷, 曾波, 叶小齐, 罗芳丽, 刘巖. 水淹对野古草和秋华柳不定根形成的影响. *安徽农业科学*, 2007, 35(19): 5703-5704, 5712.
- [29] 梅莉, 王政权, 韩有志, 谷加存, 王向荣. 水曲柳根系生物量、比根长和根长密度的分布格局. *应用生态学报*, 2006, 17(1): 1-4.
- [30] 杨世伦, 姚炎明, 贺松林. 长江口冲积岛岸滩剖面形态和冲淤规律. *海洋与湖沼*, 1999, 30(6): 764-769.
- [31] 熊燕梅, 夏汉平, 李志安, 蔡锡安. 植物根系固坡抗蚀的效应与机理研究进展. *应用生态学报*, 2007, 18(4): 895-904.

2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2009 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2;影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 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 22 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 22 2010

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@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