

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第21期 Vol.32 No.21 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



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 21 期

2012 年 11 月 (半月刊)

目次

白洋淀富营养化湖泊湿地厌氧氨氧化菌的分布及对氮循环的影响.....	王衫允,祝贵兵,曲冬梅,等 (6591)
造纸废水灌溉对滨海退化盐碱湿地土壤酶活性的响应.....	夏孟婧,苗颖,陆兆华,等 (6599)
图们江下游湿地生态系统健康评价.....	朱卫红,郭艳丽,孙鹏,等 (6609)
适应白洋淀湿地健康评价的 IBI 方法.....	陈展,林波,尚鹤,等 (6619)
基于 MODIS 的洞庭湖湿地面积对水文的响应.....	梁婕,蔡青,郭生练,等 (6628)
崇明东滩湿地不同潮汐带入侵植物互花米草根际细菌的多样性.....	章振亚,丁陈利,肖明 (6636)
中国东部亚热带地区树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 方位变化的谐波分析.....	赵兴云,李宝惠,王建,等 (6647)
甘肃臭草型退化草地优势种群空间格局及其关联性.....	高福元,赵成章 (6661)
川西亚高山/高山森林土壤氧化还原酶活性及其对季节性冻融的响应.....	谭波,吴福忠,杨万勤,等 (6670)
模拟分类经营对小兴安岭林区森林生物量的影响.....	邓华卫,布仁仓,刘晓梅,等 (6679)
苹果三维树冠的净光合速率分布模拟.....	高照全,赵晨霞,张显川,等 (6688)
拟茎点霉 B3 与有机肥配施对连作草莓生长的影响.....	郝玉敏,戴传超,戴志东,等 (6695)
落叶松林土壤可溶性碳、氮和官能团特征的时空变化及与土壤理化性质的关系.....	苏冬雪,王文杰,邱岭,等 (6705)
人工固沙区与流沙区准噶尔无叶豆种群数量特征与空间格局对比研究.....	张永宽,陶冶,刘会良,等 (6715)
山地河流浅滩深潭生境大型底栖动物群落比较研究——以重庆开县东河为例.....	王强,袁兴中,刘红 (6726)
荣成俚岛人工鱼礁区游泳动物群落特征及其与主要环境因子的关系.....	吴忠鑫,张磊,张秀梅,等 (6737)
北黄海秋、冬季浮游动物多样性及年间变化.....	杨青,王真良,樊景凤,等 (6747)
鄂尔多斯市土地利用生态安全格局构建.....	蒙古军,朱利凯,杨倩,等 (6755)
村落文化林与非文化林多尺度物种多样性加性分配.....	高虹,陈圣宾,欧阳志云 (6767)
不同生计方式农户的环境感知——以甘南高原为例.....	赵雪雁 (6776)
两种预测模型在地下水动态中的比较与应用.....	张霞,李占斌,张振文,等 (6788)
四川黄龙沟少花鹤顶兰繁殖成功特征.....	黄宝强,寇勇,安德军 (6795)
硝化抑制剂对蔬菜土硝化和反硝化细菌的影响.....	杨扬,孟德龙,秦红灵,等 (6803)
新疆两典型微咸水湖水体免培养古菌多样性.....	邓丽娟,娄恺,曾军,等 (6811)
白洋淀异养鞭毛虫群落特征及其与环境因子的相关性.....	赵玉娟,李凤超,张强,等 (6819)
双酚 A 对萼花臂尾轮虫毒性及生活史的影响.....	陆正和,赵宝坤,杨家新 (6828)
孵化温度对双斑锦蛇初生幼体行为和呼吸代谢的影响.....	曹梦洁,祝思,蔡若茹,等 (6836)
黄玛草蛉捕食米蛾卵的功能反应与数值反应.....	李水泉,黄寿山,韩诗畴,等 (6842)
互惠-寄生耦合系统的稳定性.....	高磊,杨燕,贺军州,等 (6848)
超微七味白术散对肠道微生物及酶活性的影响.....	谭周进,吴海,刘富林,等 (6856)
专论与综述	
氮沉降对森林生态系统碳吸存的影响.....	陈浩,莫江明,张炜,等 (6864)
全球 CO_2 水平升高对浮游植物生理和生态影响的研究进展.....	赵旭辉,孔繁翔,谢薇薇,等 (6880)
跨界自然保护区——实现生物多样性保护的新手段.....	石龙宇,李杜,陈蕾,等 (6892)
研究简报	
会同和朱亭 11 年生杉木林能量积累与分配.....	康文星,熊振湘,何介南,等 (6901)
退化草地阿尔泰针茅生殖株丛与非生殖株丛的空间格局.....	任珩,赵成章,高福元,等 (6909)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 35 * 2012-11



封面图说:白洋淀是华北地区最大的淡水湖泊湿地。淀区内沟壕纵横交织错落,村庄、苇地、园田星罗棋布,在水文、水化学、生物地球化学循环以及生物多样性等方面,具有非常复杂的异质性。随着上游城镇污废水、农田径流进入水域,淀区富营养化日益加剧。复杂的水环境特点、高度的景观异质性和良好的生物多样性,使得该地区成为探索规模性厌氧氨氧化反应的良好研究地点(详见本期第 6591—6598 页)。

彩图提供:王为东博士 中国科学院生态环境研究中心 E-mail: wdwangh@yahoo.com

DOI: 10.5846/stxb201109201385

章振亚, 丁陈利, 肖明. 崇明东滩湿地不同潮汐带入侵植物互花米草根际细菌的多样性. 生态学报, 2012, 32(21): 6636-6646.

Zhang Z Y, Ding C L, Xiao M. The diversity of invasive plant *Spartina Alterniflora* rhizosphere bacteria in a tidal salt marshes at Chongming Dongtan in the Yangtze River estuary. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(21): 6636-6646.

崇明东滩湿地不同潮汐带入侵植物 互花米草根际细菌的多样性

章振亚, 丁陈利, 肖明*

(上海师范大学 生命与环境科学学院, 上海 200234)

摘要: 为了调查崇明东滩湿地入侵植物互花米草 (*Spartina Alterniflora*) 在不同潮汐带和季节根际细菌的多样性与丰富度, 以本地植物芦苇、海三棱藨草 (*P. australis* 和 *S. mariqueter*) 和光滩为对照实验研究, 在崇明东滩湿地 10 样点采集根际土壤和光滩土壤, 通过 PCR-DGGE 分子生物学等技术并结合传统培养方法对土壤细菌进行分析研究。研究表明: 东滩湿地不同潮汐带的植物根际细菌群落丰富度和多样性不同, 在夏季中潮带的根际细菌丰富度 ($P=0.021<0.05$) 较高, 各个潮带的植物根际细菌在夏秋季有较高多样性, 其中中潮带的植物根际细菌平均多样性指数最高 ($H=4.20$)。在中潮带入侵物种互花米草根际细菌的丰富度和多样性要显著高于本地植物芦苇和海三棱藨草, 其中海三棱藨草的根际细菌在夏季略高。崇明东滩湿地入侵植物互花米草根际细菌与本地植物相比较具有较高的多样性, 而且外来种互花米草对湿地土壤微生物群落结构有着较强影响; 入侵种互花米草根际细菌的高丰富度和多样性可能是其成功入侵东滩湿地的一个重要因素。

关键词: 互花米草; DGGE; 多样性; 入侵; 湿地

The diversity of invasive plant *Spartina Alterniflora* rhizosphere bacteria in a tidal salt marshes at Chongming Dongtan in the Yangtze River estuary

ZHANG Zhengya, DING Chengli, XIAO Ming*

College of Life and Environment Sciences, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China

Abstract: The invasive species of *Spartina alterniflora*, as an 'ecosystem engineer' was introduced into many places in China, now, had rapidly and widely invaded into the Chongming Dongtan wetland since 1990s. Microorganisms are important components of wetland ecosystems, performing a range of vital ecosystem functions. But, we have not known how microorganisms have an influence on the invasion of *Spartina alterniflora* in Chongming Dongtan. In order to study the bacterial diversity and abundance in rhizosphere of invasive plants *Spartina Alterniflora* growing in different tidelands of Chongming Dongtan Wetlands for different seasons, we selected 10 samples collection points, which distributed on the tidal zones with plant and the bare flat zone without plant in Chongming Dongtan wetlands. The tidal zones contain low-tide zone, mid-tide zone and high-tide zone. Total DNA was extracted from soil samples, and 16S rRNA gene-based PCR was performed. A comparative study of diversity of microorganisms in rhizosphere soils of invasive exotic species (*Spartina alterniflora*) and two native species (*Phragmites australis* and *Scirpus mariqueter*) was conducted by denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) of these PCR products, representing microorganisms in rhizosphere soils. Results showed that diversity and abundance of bacterial community were different in the rhizosphere of *Spartina alterniflora*, *Phragmites australis* and *Scirpus mariqueter* in the low-tide zone, mid-tide zone and high-tide zone in Chongming Dongtan wetlands.

基金项目: 上海市科委项目 (11440502300); 上海市教育委员会科研创新项目 (11YZ87); 上海师范大学一般科研项目 (SK201111)

收稿日期: 2011-09-20; **修订日期:** 2012-05-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaom88@shnu.edu.cn

We found that, in summer, rhizosphere bacterial communities in mid-tide zone had higher abundance than those in low-tide zone and high-tide zone ($P = 0.021 < 0.05$). A higher diversity of bacteria in the rhizosphere soils of these plants was observed in summer than in other seasons. The average diversity index of bacterial community was calculated and was found to be the highest in mid-tide zone ($H = 4.20$). The abundance and diversity of bacterial community in invasive species *Spartina alterniflora* rhizosphere were significantly higher than in the local plants *P. australis* and *S. maritima* in mid-tide zone, and the abundance and diversity of *S. maritima* rhizosphere bacteria in summer slightly higher than in other seasons. Also the abundance and diversity of *S. alterniflora* rhizosphere bacteria were significantly higher in tidal soils than those in the mudflat soils. Overall, these results indicated the tides had a strong influence on the abundance and diversity of the plants rhizosphere bacteria. And the exotic species *Spartina alterniflora* had a favorable influence on soil microbial community in wetland. We reasoned that high diversity and abundance bacteria in rhizosphere maybe were an important for the invasion of *Spartina alterniflora*. A higher diversity of bacteria in the rhizosphere soils of these plants observed in summer revealed that the summer is more beneficial for bacteria living in vicinity of plant roots. The fact that the flourishing *Spartina rhizosphere* was associated with large bacteria assemblage suggested that the high diversity and abundance of microorganisms might be identified as one of the important factors of *Spartina* invasion mechanisms.

Key Words: *Spartina alterniflora*; denaturing gradient gel electrophoresis; diversity; invasion; wetland

互花米草 (*Spartina alterniflora*), 禾本科米草属多年生植物, 源于美洲大西洋沿岸和墨西哥湾, 适宜生活于潮间带^[1]。由于互花米草秸秆密集粗壮、地下根茎发达, 能够促进泥沙快速沉降和淤积, 因此, 互花米草作为“生态工程师”^[2]被许多国家地区引进^[3-6]。但是由于其超强的繁殖能力, 现已在绝大部分地区成功入侵, 也造成了严重的生态后果包括改变了潮汐带地形分布, 竞争占领了本地植物的空间^[7], 影响了水鸟的栖息地^[8], 也改变了根际土壤微生物群落结构^[9]等。该植物入侵东滩后, 迅速侵占了湿地大部分区域, 排挤当地植物, 形成单一优势群落, 表现了很强的竞争优势, 给当地的农业、渔业生产造成严重的经济损失和生态破坏。以往的研究主要集中于互花米草的入侵特征、入侵对本地生态系统造成的影响, 以及与之相关的防治和管理 3 个方面; 其中在江苏滨海入侵互花米草对土壤微生物活动和功能结构产生影响^[10], 但是其研究只是将入侵物种和光滩的土壤微生物作了比较。

根际土壤 (rhizosphere) 微生物对植物生长发挥重要作用, 能促进土壤有机质的分解和养分的转化。而微生物与植物的作用是相互的, 植物在生长过程中通过产生的分泌物或者化学信号分子对根际土壤微生物群落产生了影响。不同植物在不同的生长周期对细菌具有向导性和选择性, 对有益生长的细菌吸引, 而对有害细菌释放化学物质进行排斥^[11-12]。河口湾盐沼潮汐带土壤细菌是河口湿地生态系统物质和能源循环的重要组成部分, 目前国内外研究者对湿地土壤微生物研究主要包括湿地土壤微生物群落结构以及代谢特征^[13]以及湿地土壤微生物在元素循环中的作用和人工湿地中微生物降解污染物的作用^[14]。而湿地土壤微生物与入侵植物相关研究还比较少。

明东滩湿地属于长江口典型的河口湿地 (图 1), 是世界上罕见的快速演替的生态系统, 而且受到典型的潮汐周期影响 (一个太阳日出现两次高潮), 夏秋两季平均高潮位高于春冬两季。东滩湿地拥有的生物多样性资源在生态平衡中发挥显著的作用^[15], 但是从 2000 年以来, 入侵互花米草在东滩湿地迅速扩散, 形成了优势群落, 具有极强的竞争力^[16], 并且对本地种海三棱藨草和芦苇生存空间造成极大威胁^[1, 17]。目前研究互花米草对入侵地上群落影响较多, 但是在东滩湿地互花米草对土壤微生物群落影响研究较少, 推断互花米草可能通过改变土壤微生物群落, 促进土壤养分循环利用, 提高了植物可吸收养分含量, 从而促进自身生长。本研究采用了 16SrDNA-PCR-DGGE 和传统培养方法相结合, 通过比较互花米草在季节和潮汐带根际细菌多样性和丰富度差异, 说明互花米草入侵对土壤微生物的影响; 并且分析入侵植物互花米草与本地种芦苇、海三棱藨草根际微生物差异, 进而说明互花米草入侵对土壤微生物的影响, 同时也探索土壤微生物对互花米草生长

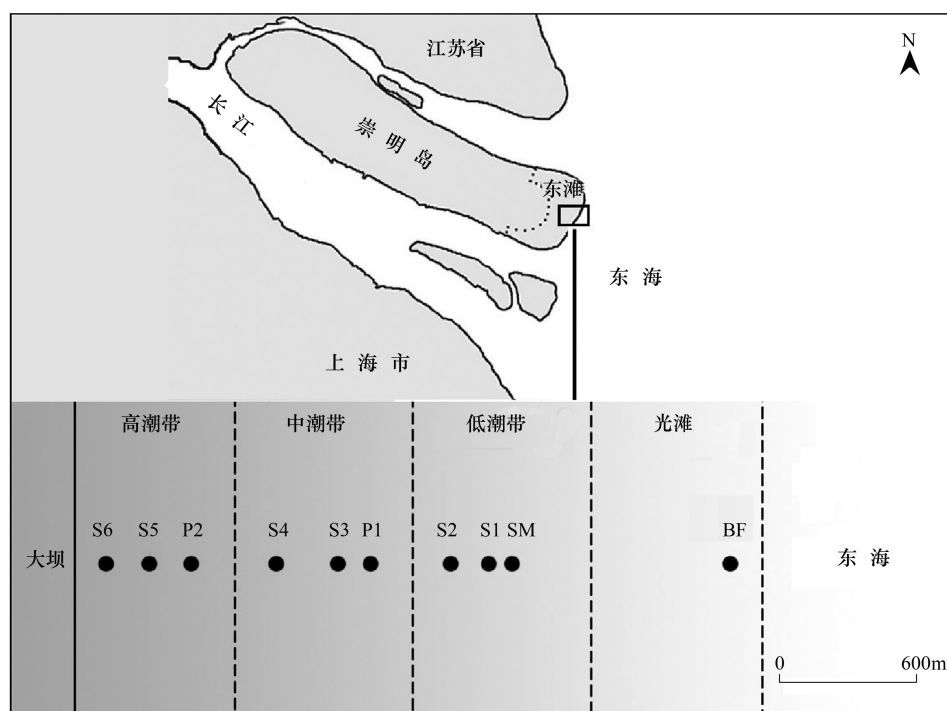


图1 采样点位于崇明东滩湿地东部不同潮带区

Fig.1 Location of the Chongming Dongtan nature reserve and the sampling sites along gradients of plants distribution and the different tides

样点 BF 为光滩 bare flat, SM 为海三棱藨草 *Scirpus mariqueter*, S1 为互花米草 *Spartina alterniflora* 其中混合有海三棱藨草 *Scirpus mariqueter*, S2、S4、S6 为互花米草 *Spartina alterniflora*, P1、P2 为芦苇 *Phragmites australis*, S3、S5 为互花米草 *Spartina alterniflora* 其中混有芦苇 *P. australis* 崇

的促进作用;不仅为全面地评估互花米草入侵对生态系统的影响提供实验证据,而且对于探索外来植物入侵的土壤微生物学机制有着重要指导意义。

1 材料与方法

1.1 样品描述和采集

崇明岛位于长江口,是世界上最大的冲击岛,其经纬度为(121°45'E,31°30'N)。东滩湿地植被面积大约为 2751.39hm²,全年平均温度为 15.3℃,7 月份和 8 月份温度最高为 27.5℃,1 月最低温度为 2.9℃。研究位点位于崇明东滩湿地的最东部,这部分包括了入侵物种互花米草和 2 种本地种芦苇、海三棱藨草,目前互花米草和芦苇都已经形成郁闭区域,海三棱藨草已经被互花米草竞争到光滩边缘。

所研究的位点处于潮汐的正面,潮汐带在东滩分界非常明显。取 10 样点(图 1),每个样点取两份,每份 3 个平行,由于互花米草和芦苇生长都非常密集,根系交织在一起,用直径 10cm 的圆筒随机取样,取样深度为 30cm,挑出根系,抖落下土壤;海三棱藨草根际土是通过连根掘出,经过剧烈抖落而获得土壤,混匀后分成两份;用冰盒保存并送回实验室,一份保存在 4℃,一份保存于-20℃。通过土壤理化性质常规检测方法^[18]的分析,我们实验室在相同采样梯度路线上得出结果,互花米草、芦苇和海三棱藨草根际土壤有机质含量分别为(21.1±2.9)g/kg、(9.5±1.7)g/kg、(24.3±2.0)g/kg;有机氮含量分别为(1.24±0.17)g/kg、(1.02±0.08)g/kg、(0.9±0.07)g/kg;速效磷含量(71.0±2.2)mg/kg、(59.0±2.5)mg/kg、(170±0.4)mg/kg^[19]。

1.2 根际细菌分离培养计数

将 4℃ 保存的样品进行分离培养,取 10 g 加入 90 mL 的无菌水中稀释,在 37℃ 摇床摇匀 20 min,然后取混合液 1 mL 加入 9 mL 无菌水中稀释、涂布,以此类推稀释到 10⁻⁸。在 LB 培养基上进行 37℃ 培养 3—5 d,计数。

1.3 土壤总 DNA 提取

(1)称取 0.5 g 土壤(冷冻干燥样品)于 10 mL 离心管中,加入 1.37 mL DNA 提取液(100 mmol/L Tris-HCl, 100 mmol/L EDTA, 200 mmol/L 磷酸钠, 0.5 mol/L NaCl, 1% CTAB, pH 值 8.0)和蛋白酶 K(Merck, 10 mg/mL), 37 °C 恒温振荡 30 min, 高速旋转 10 min; (2)加入 220 μ L SDS(20%), 混匀后 65 °C 水浴 2 h, 每隔 20 min 上下摇匀 1 次; (3)冷却至室温, 9000 g 离心 10 min, 将上清液转移至新的离心管, 于冰上放置 30 min, 沉淀 SDS, 4 °C 离心 10 min; (4)上清液转移新的离心管, 加入等体积 25:24:1 的苯酚-氯仿-异戊醇混匀, 1000 g 离心 15 min; (5)上清液加入等体积 24:1 氯仿-异戊醇混匀, 离心 15 min, 上清液加入 0.1 体积 3 mol/L 乙酸钠(pH 值 5.2)和 0.6 体积预冷的异丙醇, 轻摇混匀后 -20 °C 过夜; (6)将(5)冷存后混合液, 10000 g 4 °C 离心 20 min, 弃上清液; 沉淀用 75% 的洗涤 2 次, 自然晾干, 加入 30—50 μ L 的 TE 缓冲液, -20 °C 保存备用;

1.4 总 DNA 纯化

土壤总 DNA 的提取物使用 DNA 凝胶回收试剂盒(TaKaRa Agarose Gel DNA Purification Kit Ver. 2.0)。按照使用说明书进行纯化, 得到的总 DNA 用 1.5% 琼脂糖凝胶电泳检测。

1.5 16S rDNA 的 V3 可变区扩增

以纯化后总 DNA 为模板, 在 PCR 仪(Mastercycler / Mastercycler gradient, eppendorf)进行扩增, 采用细菌通用引物 F338-GC 和 R518(上海生工有限公司合成), 扩增的片段大约是 200—300 bp。PCR 反应体系: 11.5 μ L dd water(去 RNA 酶无菌水), 0.25 μ L 引物 1 和 0.25 μ L 引物 2, 12.5 μ L 2 $\times$ Taq MasterMix(TaKaRa), 模板 0.5 μ L; PCR 反应条件: 预变性温度 94 °C, 5 min; 变性温度 94 °C, 30 s; 退火温度 55 °C, 30 s; 延伸温度 72 °C, 1 min; 终延伸温度 72 °C, 10 min; 34 个循环。

1.6 DGGE 分析

PCR 产物在浓度 8% 的聚丙烯酰胺凝胶上电泳, 其中尿素的浓度为 50%—80%。电泳采用 DGGE 系统(C. B. S. Scientific Company, Calif.), 电泳液为 1 $\times$ Tris-acetate-EDTA 缓冲液, 在 100 V, 60 °C 下电泳 17 h。电泳结束后, 进行硝酸银染色。

1.7 数据分析

细菌群落结构多样性指数可采用 Shannon-Weaver 指数^[20]来表示, Shannon-Weaver 指数由下式计算:

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \log P_i$$

式中, H 表示 Shannon-Weaver 指数; S 表示凝胶上条带数目; P_i 表示第 i 个片段的丰富度。微生物多样性指数是度量生物多样性高低及空间分布特征的数值指标。DGGE 分析使用 Quantity One 4.64 软件(Bio-Rad), 所有实验数据采用 SPSS 17.0 软件做方差分析和 T 检验。

2 结果与分析

2.1 不同湿地东滩样点根际细菌丰富度变化

从东滩中部区域的 10 个梯度样点采样, 所有土壤样品的细菌通过实验室分离纯化培养, 实验分离出的根际细菌丰富度如表 1 所示, 结果显示在 3 月和 7 月份中潮带的植物根际细菌丰富度高于低潮带和高潮带的, 其中 7 月份在中潮带根际细菌丰富度显著高于其他($P=0.021<0.05$); 3 月份高潮带的根际细菌丰富度高于低潮带和光滩的, 高潮带可能适合植物初期生长, 从而影响根际微生物丰富度; 但是在 7 月份低潮带根际丰富度高于高潮带, 说明了季节的更替, 不同潮带植物根际细菌丰富度有所不同。而 10 月和 12 月中潮带的植物根际丰富度又略低于高潮带, 而在光滩和低潮带的丰富度比中高潮带要明显高, 这可能与潮汐的影响和季节温度较低根际微生物的活动比较弱有关系。在 3 月份低潮带互花米草根际细菌丰富度达到最高 $6.38 \times 10^6 \text{ cfug}^{-1}$, 高于芦苇根际细菌和芦苇与互花米草混合的, 在这个季节植物进入生长期, 而互花米草相比与其他两种植物进入较早而较快。

2.2 湿地不同植物根际细菌丰富度变化

图 2 所示 2008 年 3 月份崇明东滩 3 种优势植物根际细菌平均丰富度及光滩土壤细菌平均丰富度, 植物

表 1 采样点植物根际细菌丰度($\times 10^6$ CFU g^{-1} (干土))Table 1 The abundance of all the samples ($\times 10^6$ cfug $^{-1}$ dry soil)

样点 Sample sites	2008-03	2008-07	2008-10	2008-12
光滩 (BF)	0.43 $\pm$ 0.19	1.00 $\pm$ 0.39	1.8 $\pm$ 0.75	1.68 $\pm$ 0.43
海三棱藨草 (SM)	0.75 $\pm$ 0.47	1.63 $\pm$ 0.65	0.82 $\pm$ 0.16	1.54 $\pm$ 0.76
海+互 (S1)	1.54 $\pm$ 0.35	1.05 $\pm$ 0.47	1.18 $\pm$ 0.38	1.87 $\pm$ 0.81
互花米草 (S2)	6.38 $\pm$ 0.57	2.49 $\pm$ 0.93	0.93 $\pm$ 0.54	1.61 $\pm$ 0.51
芦苇 (P1)	4.08 $\pm$ 1.31	3.67 $\pm$ 1.38	1.08 $\pm$ 0.16	0.87 $\pm$ 0.16
芦+互 (S3)	3.44 $\pm$ 1.28	3.10 $\pm$ 0.99	1.06 $\pm$ 0.16	0.75 $\pm$ 0.47
互花米草 (S4)	5.67 $\pm$ 1.51	0.56 $\pm$ 0.33	3.03 $\pm$ 1.24	0.61 $\pm$ 0.06
芦苇 (P2)	3.72 $\pm$ 0.87	0.97 $\pm$ 0.82	5.94 $\pm$ 0.61	1.47 $\pm$ 0.69
芦+互 (S5)	3.63 $\pm$ 0.92	2.22 $\pm$ 0.98	1.20 $\pm$ 0.43	0.81 $\pm$ 0.27
互花米草 (S6)	0.79 $\pm$ 0.22	1.14 $\pm$ 0.33	0.57 $\pm$ 0.22	1.03 $\pm$ 0.49

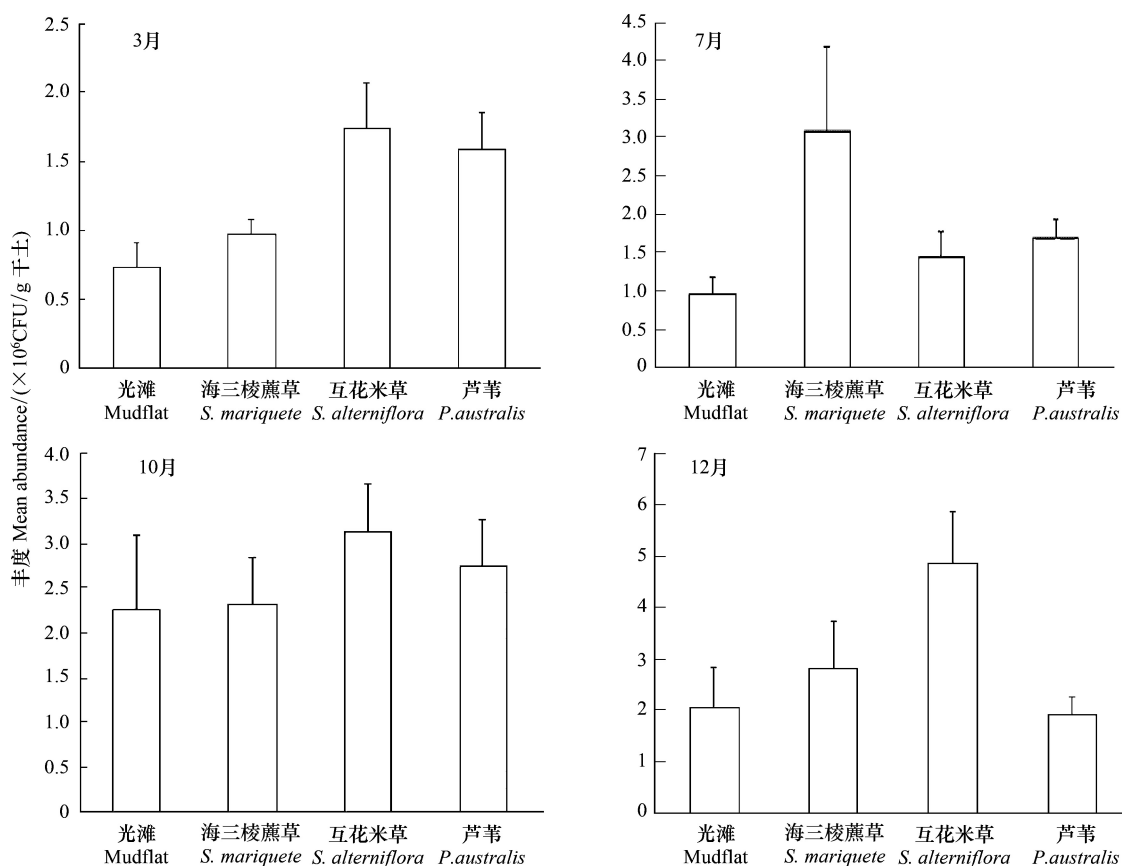


图 2 不同月份湿地植物根际及光滩细菌丰度

Fig. 2 The abundance of the bacteria of plants rhizosphere and mudflat in different months

根际细菌的平均丰富度:互花米草>芦苇>海三棱藨草>光滩。四者之间 $P=0.125>0.050$, 差异不显著。说明植物生长正值春季, 在 3 月份植物刚刚进入生长期, 整体生长水平较低。2008 年 7 月份植物根际细菌的平均丰富度:海三棱藨草>芦苇>互花米草>光滩。四者之间 ($P=0.028<0.050$) 差异显著。由于海三棱藨草生长特性和其株高有相关性, 其生长旺盛期是在夏季, 海三棱藨草的株高只有 30 cm 非常适合水鸟栖息, 而且在夏季时候也是鸟类活动在崇明东滩最为频繁的时期, 鸟类的活动以及代谢物对湿地土壤微生物有着显著的影响, 所以其根际细菌平均丰富度最高。而互花米草和芦苇与春季时的根际细菌平均丰富度差不多。这两种植物在春夏两季生长情况比较稳定。2008 年 10 月份植物根际细菌的平均丰富度:互花米草>芦苇>海三棱藨草>

光滩。四者之间($P=0.865>0.050$)差异不显著。互花米草可以保持全年生长,而海三棱藨草和芦苇开始枯萎。互花米草的种间竞争优势开始体现。此外,光滩土壤的细菌丰度比春夏两季有明显的上升,这可能是植被区植物衰老枯萎,在潮汐作用下把植物残体带至,为光滩土壤细菌提高了大量的营养物。2008 年 12 月份植物根际细菌的平均丰富度:互花米草>海三棱藨草>芦苇>光滩。四者之间($P=0.023<0.050$)差异显著。互花米草可以保持全年生长,而海三棱藨草和芦苇地上部分枯萎。互花米草的种间竞争优势明显。此外,光滩土壤的细菌丰富度与秋季相当,比春夏两季有明显的上升,这同样是由于植被区植物衰老枯萎,为光滩土壤细菌提高了大量的营养物引起。

2.3 东滩湿地根际细菌 DGGE 分析

2.3.1 DGGE 指纹图谱分析

通过 16SrDNA 的 V3 可变区 PCR-DGGE 得出的 DGGE 指纹图谱分析(图 3),结果表明了不同季节不同潮汐带根际土壤细菌丰富度差异不同。相比于其他月份,7 月份 DGGE 指纹图谱显示高多样性和丰富度。7 月正处于夏季阶段,在夏季温度升高、以及植物生产旺盛期对根际细菌影响非常大,同时也说明了季节的变化对东滩湿地植物根际细菌影响较大。在中潮带互花米草(S3 和 S4)根际呈递增趋势,具有高丰富度和多样性,在 7 月(夏季)丰富度非常高,而且在 12 月(冬季)也依然具有高的多样性。从图谱上分析,夏季与秋季的生物量比春冬季较多。

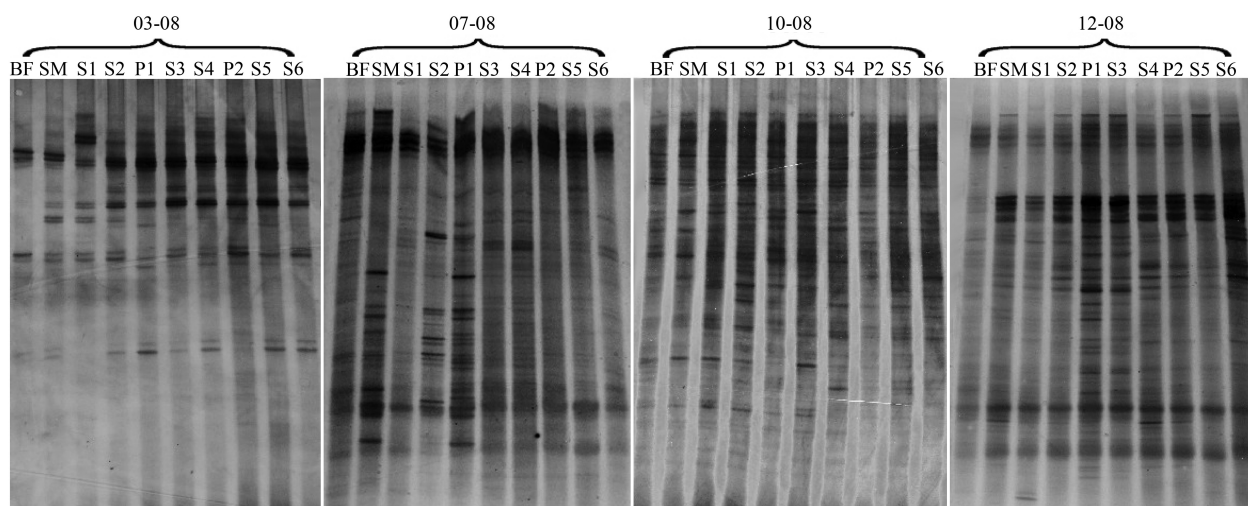


图 3 PCR-DGGE 分析不同植物根际体细菌在不同潮带和季节的多样性

Fig. 3 DGGE profiles of PCR-amplified 16S rDNA fragments using primers 341f (GC-clamp) and 518r for rhizosphere soils of Mar-08, Jul-08, Oct-08 and Dec-08

样点 BF 为光滩 bare flat, SM 为海三棱藨草(*Scirpus mariqueter*), S1 为互花米草 *Spartina alterniflora* 其中混合有海三棱藨草 *Scirpus mariqueter*, S2、S4、S6 为互花米草 *Spartina alterniflora*, P1、P2 为芦苇 *Phragmites australis*, S3、S5 为互花米草 *Spartina alterniflora* 其中混有芦苇 *P. australis*.

2.3.2 DGGE 指纹图谱 Shannon-Weaver(H) 指数分析

DGGE 图谱用 Quantity One 4.64 分析软件(BIO-RAD)进行分析,Shannon-Weaver 指数是用来估算群落多样性的。图 4 结果显示根际细菌多样性在 7 月(夏季)达到最高,这也表明了夏季植物根际细菌种类较多,根际细菌的多样性对植物生长起到重要作用。秋冬季细菌的多样性处于高位,从植物生长来说,互花米草在秋冬季生长依然强劲,这可能促使了高多样性在这两季。从样点土壤细菌多样性分析(图 4),处于中潮带的 S3 和 S4 的多样性指数显示最高,互花米草整体多样性指数高于 4.00,除了 S1 样点(互花米草)的多样性指数偏低,可能由于 S1 样点离海滩较近,植物几乎浸淹在海水中。从平均植物根际细菌多样性指数分析(图 4),芦苇根际细菌多样性与互花米草根际的差异不显著($P>0.05$),互花米草与芦苇根际细菌平均多样性

指数显著高于海三棱藨草根际细菌 ($P=0.015<0.05$), 表明了外来物种互花米草根际细菌多样性指数是高于本地植物的, 互花米草入侵湿地以后, 在空间和资源上占有明显的优势, 海三棱藨草细菌的多样性也逐渐降低了。从潮带上分析(图4), 这个4个潮带的平均细菌多样性成增加趋势, 中潮带的平均细菌多样性指数较高 ($H=4.20$), 中高潮带的多样性高于光滩和低潮带的, 光滩和低潮带潮带之间的差异性不显著 ($P=0.163>0.05$)。

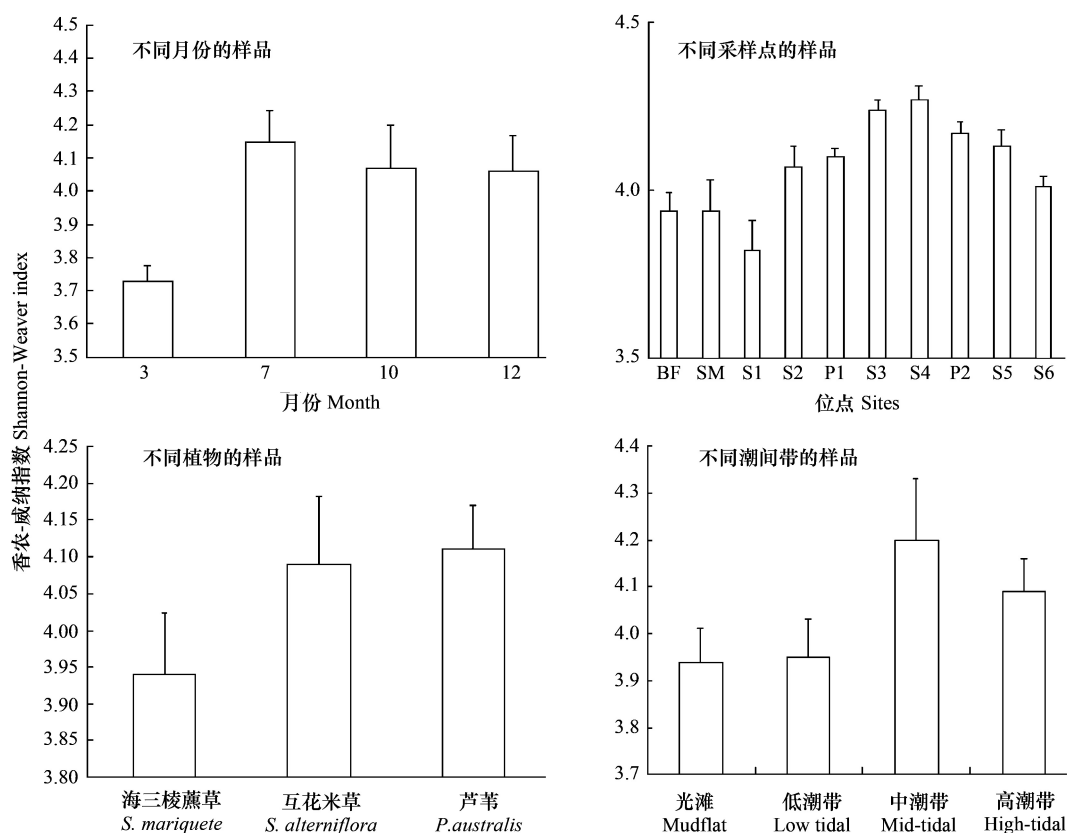


图4 不同样品的土壤根际细菌平均多样性

Fig. 4 The average diversity of the all samples

2.3.3 DGGE 图谱 UPGMA 聚类分析

从聚类分析结果(图5), 可以看出, 4 个月份 UPGMA 聚类分析各不相同, 但是每个月份聚类分析都有共同点。毗邻的样点的相似度是相当高的, 比如 S3 与 S4、SM 与 S1、S2 与 P1 等, 说明了样点距离较近的, 土壤细菌群落非常相似, 相近样点有利于土壤微生物之间交换或者随着潮汐在空间上转移。从 4 个月份聚类分析得出, 在不同季节互花米草的 6 个样点之间的聚类分析相似度是非常高的, 表明了互花米草根际微生物群落是相似的, 不同潮带的互花米草根际细菌群落也高度相似, 说明入侵种互花米草根际微生物群落具有稳定性, 互花米草生长过程中分泌土壤有机物或者分子信号物与本地植物相比有着特殊性, 这可能促使了入侵种根际土壤微生物群落结构趋向统一。

3 讨论

3.1 潮汐对东滩湿地植物根际细菌的影响

潮汐和海水的矿物质对湿地的功能发挥了重要作用, 他们对复杂群落的组织化起到了首要的非生物影响^[21-22]。崇明东滩湿地每天都受到两次潮水的影响, 湿地植物生长对潮水有了一定依赖^[23-24]。北美地区一种典型水生植物禾叶慈姑多生长湿地, 对水位要求较高, 必须有一定水深(5—45cm)或周期性淹没才能广泛分布^[25]。同样潮汐对鸭绿江口湿地入侵种禾叶慈姑分布有影响, 这种入侵植物分布在低潮位而不分布高潮

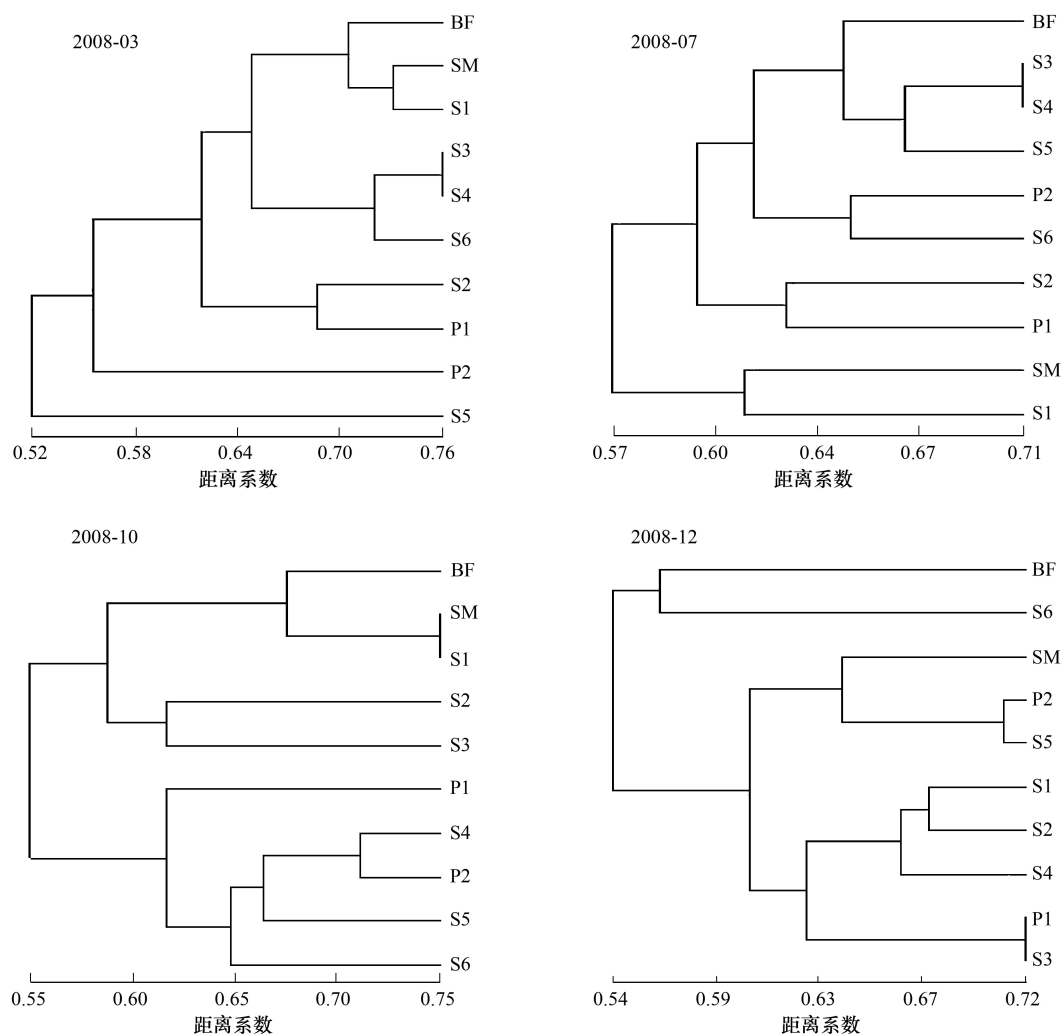


图5 聚类分析不同月份各个样点的 DGGE 图谱的相似性

Fig. 5 Cluster analysis dendrogram based on comparison of DGGE finger printings from rhizosphere across all sites

位^[26]。本研究表明,崇明东滩湿地中潮带植物根际的细菌丰富度和多样性整体较高,而入侵种互花米草根际细菌丰富度和多样性较高,说明了大多数植物适合在中潮带生长,而入侵种互花米草更适合在低潮带生长。潮汐通过潮汐冲积和不断输送海水盐分影响了湿地植物的分布和生长,直接或者间接的影响了湿地植物根际微生物的丰富度和多样性。崇明东滩湿地植物根际土壤微生物受到东海的水文过程和海水盐分的盐分影响,这与红树林湿地的水文过程及其所导致的水体理化性质的改变,会对细菌的数量及其组成的时空变化产生极大的影响^[27]的结果相符合。入侵种互花米草在低潮带生长非常好,其根系发达、植株高大形成了面积较大单一丛密的群落,阻挡了或减弱了潮汐冲积,使得海水的盐分无法充分运送到高潮带和中潮带,从而影响了植物生长以及植物根际细菌的分布和多样性。因此,入侵种互花米草间接影响了其根际微生物的群落。

3.2 不同植物对东滩湿地根际细菌的影响

随着研究的深入,越来越多的研究关注外来植物入侵对土壤生物多样性及生态系统过程的影响^[28-29]。外来入侵植物改变土壤微生物群落的途径很多种,其中主要有两方面,一是土壤微生物群落受到地上植物种类的主导作用,外来入侵种进入入侵地后在条件适宜情况下大肆扩散蔓延,致使当地生物多样性丧失^[30-32],这一入侵过程的变化必然会影响到土壤微生物群落变化;二是外来入侵植物通过产生的化合物、根系分泌物、信号分子等释放化感物质进入土壤中,从而对土壤微生物吸引或排斥,改变了土壤微生物的群落结构,对根际微生物有着较强的影响力^[33-35]。入侵美国西部地区的辅散矢车菊(*Centaurea diffusa* L.)通过根系分泌并释放

一种具有抗菌活性的化感物质 8-羟基喹啉(8-hydroxyquinoline),引起了土壤微生物群落的变化^[36-37]。侵入北美的斑点矢车菊(*Centaurea maculosa*)由其根分泌的具防御根际病原体危害的化感物质儿茶酚(catechin)促进了它的入侵^[38]。Vogelsang 等人通过对美国加州南部草地非菌根植物的入侵机制的研究,发现入侵植物降低了丛枝菌根(Arbuscular mycorrhiza, AM)的丰富度,从而抑制了依赖 AM 的本地植物生长,实现了外来种的入侵^[39]。本文研究了不同植物根际细菌的丰富度和多样性,表明了入侵植物互花米草对根际细菌多样性和丰富度产生很大影响,提高了根际土壤微生物多样性,增加了微生物的丰富度。土壤微生物群落的变化,同时加快微生物的代谢活动,在土壤养分循环利用发挥着重要的作用,促进了植物对养分的吸收。聂明在崇明东滩湿地研究发现入侵物种互花米草在生长后期(衰亡期)对其根际土壤硫化细菌丰富度产生了增加影响,土壤硫化细菌对有机物降解发挥着至关重要的作用^[40]。这一结果与本文结果相一致,入侵种互花米草在秋冬季表现了继续生长的现象。

土壤微生物与外来入侵植物的作用是相互的,外来入侵植物的成功入侵也离不开土壤微生物的作用^[41-42]。外来植物通过改变入地土壤微生物群落,打破本地植物与土壤微生物长久形成的共生平衡,有利于自身生长从而达到大规模的生物入侵^[43]。入侵美国加州草地的两种植物细茎野燕麦(*Avena babata*)和大麦状雀麦(*Bromus hordeaceus*),通过改变了入侵地土壤中氨氧化菌群落的组成并使其丰富增加,使土壤中消化作用的速度加一倍,可利用氮含量显著上升,从而促进了他们的入侵^[44]。入侵美国加州中部的马耳他矢车菊(*Cetaurea melitensis*)与土著植物种 *Nassella pulchra* 共同生长时,本地土壤真菌把 *Nassella pulchra* 固定的光合产物运输给马耳他矢车菊,从而形成的由土壤真菌调节的寄生关系可能是促进矢车菊成功入侵的原因之一^[45]。本文研究表明了入侵种互花米草在秋冬季时其根际微生物群落继续增加的趋势,土壤微生物能够使土壤养分充分循环,从而影响了入侵种互花米草。在秋冬季入侵种互花米草仍然表现生长,而大部分本地植物进入衰亡期。本研究发现入侵互花米草改变了土壤微生物群落和提高了根际微生物丰富度,而高多样性和丰富度的根际微生物影响了土壤养分循环和植物间的竞争关系,从而促进互花米草快速生长,并成功入侵东滩湿地。

土壤微生物种类和多样性以及生理功能受到土壤理化性质的影响,如温度、pH 值、含水率、有机质含量、氮、磷、钾等营养盐。研究表明了土壤有机氮含量明显有从低潮带到高潮带逐渐增加趋势,有机质、速效磷含量均显示了从低潮带到高潮带逐渐上升的趋势,这与 2004 年关于东滩理化性质研究结果相一致^[46]。崇明东滩自互花米草入侵以来,生态系统逐渐改变并适应,达到一种平衡,形成稳定的系统;植物根际土壤理化性质也随之地上植物的变化而变化,随着生态系统稳定而稳定。土壤理化性质是土壤肥力的重要标志,影响了土壤微生物群落,但在崇明东滩生态系统已经趋于稳定状态下,植物根际土壤微生物群落主要不是由土壤理化性质影响。

本文光滩作为没有植物生长的对照实验,结果表明了植物生长的根际土壤细菌的丰富度和多样性要高于光滩,然而在秋冬季光滩土壤微生物丰富度要高于中高潮区域的根际微生物,原因可能是在植物衰亡期凋落物随着潮汐带带到低潮带和光滩,促进了该区域微生物的生长。FZ Haichar^[46]通过稳定同位素技术研究了不同植物光合作用分泌物对其根系微生物的影响,改变了根际微生物的群落结构,同时也证实了在无植物生长的土壤中细菌的丰富度和多样性是极其低。植物对土壤微生物的影响是相当重要的,而且不同植物对土壤的影响也是不相同。

综上所述,互花米草入侵崇明东滩湿地以来,互花米草改变了湿地的生态系统,使潮间带土壤微生物量增加,增强了湿地土壤的活性,这就也促使环境适合互花米草生长。同样在江苏滨海作为外来种的互花米草的生长对土壤微生物的影响有着相同效果^[10],推断入侵种互花米草根际微生物的高丰富度和多样性可能是互花米草成功入侵的一个重要原因。另外,研究不同季节和潮汐带的根际微生物的丰富度和多样性,可以给治理入侵物种互花米草治理提供有效价值。本文不仅为外来种互花米草入侵评估提供了实验证据,而且为根际微生物与入侵种相互作用研究提供了思路,同时也为治理入侵生态系统提供了参考价值。

References:

- [1] Simenstad C A, Thom R M. *Spartina alterniflora* (smooth cordgrass) as an invasive halophyte in Pacific Northwest estuaries. *Hortus Northwest*, 1995, (6):9-12, 38-40.
- [2] Jones C G, Lawton J H, Shachak M. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 1994, 69(3):373-386.
- [3] Chung C H. Thirty years of ecological engineering with *Spartina* plantations in China. *Ecological Engineering*, 1993, 2(3):261-289.
- [4] Mitsch W J, Lefeuve J C, Bouchard V. Ecological engineering applied to river and wetland restoration. *Ecological Engineering*, 2002, 18(5):529-541.
- [5] Weishar L L, Teal J M, Hinkle R. Designing large-scale wetland restoration for Delaware Bay. *Ecological Engineering*, 2005, 25(3):231-239.
- [6] Chung C H, Zhuo R Z, Xu G W. Creation of *Spartina* plantations for reclaiming Dongtai, China, tidal flats and offshore sands. *Ecological Engineering*, 2004, 23(3):135-150.
- [7] Daehler C C, Strong D R. Status, prediction and prevention of introduced cordgrass *Spartina spp.* invasions in pacific estuaries, USA. *Biological Conservation*, 1996, 78(1/2):51-58.
- [8] Ma Z J, Gan X J, Cai Y T, Chen J K, Li B. Effects of exotic *Spartina alterniflora* on the habitat patch associations of breeding saltmarsh birds at Chongming Dongtan in the Yangtze River estuary, China. *Biological Invasions*, 2011, 13(7):1673-1686.
- [9] Nie M, Wang M, Li B. Effects of salt marsh invasion by *Spartina alterniflora* on sulfate-reducing bacteria in the Yangtze River estuary, China. *Ecological Engineering*, 2009, 35(12):1804-1808.
- [10] Zhou H X, Liu J E, Qin P. Effects of an alien species (*Spartina alterniflora*) on soil microorganism diversity in salt marshes, Jiangsu coastal intertidal ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(9):2304-2311.
- [11] Kuske C R, Ticknor L O, Miller M E, Dunbar J M, Davis J A, Barns S M, Belnap J. Comparison of soil bacterial communities in rhizospheres of three plant species and the interspaces in an arid grassland. *Applied and Environmental Microbiology*, 2002, 68(4):1854-1863.
- [12] Costa R, Götz M, Mrozek N, Lottmann J, Berg G, Smalla K. Effects of site and plant species on rhizosphere community structure as revealed by molecular analysis of microbial guilds. *FEMS Microbiology Ecology*, 2006, 56(2):236-249.
- [13] Chen J K. The Research of Shanghai Jiuduansha Wetland Nature Reserve. Beijing:Science Press, 2003:151-169.
- [14] Liang S J, Xia H S, Xiang X. Study on mechanism of depredating organic pollutant in construct wet. *Environmental Science and Management*, 2010, 35(10):104-109.
- [15] Barbier E B, Acreman M, Knowler D. Economic Valuation of Wetlands. Ramsar Convention Bureau. Gland;Switzer 1 and, 1997.
- [16] Chen Z Y, Li B, Chen J K. Some growth characteristics and relative competitive ability of invasive *Spartina alterniflora* and native *Scirpus mariqueter*. *Biodiversity Science*, 2005, 13(2):130-136.
- [17] Chen Z Y, Li B, Zhong Y, Chen J K. Local competitive effects of introduced *Spartina alterniflora* on *Scirpus mariqueter* at Dongtan of Chongming Island, the Yangtze River estuary and their potential ecological consequences. *Hydrobiologia*, 2004, 528(1/3):99-106.
- [18] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Soil Physical and Chemical Analysis. Shanghai Science and Technology Press, 1978.
- [19] Yang L, Zhu Z L, Bian X, Xiao M. Rhizosphere soil bioactivity and correlations with physico-chemical property in Dongtan Marsh of Chongming. *Journal of Shanghai Normal University:Natural Sciences*, 2011, 40(4):416-420.
- [20] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana:University of Illinois Press, 1963.
- [21] Kudoh H, Whigham D F. A genetic analysis of hydrologically dispersed seeds of *Hibiscus moscheutos* (Malvaceae). *American Journal of Botany*, 2001, 88(4):588-593.
- [22] Zhang Y W, Huang S J, Zhao X N, Liu F, Zhao J M. New record of an invasive species-*Sagittaria graminea*, in Yalu River Estuary Wetland. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2010, 28(5):631-633.
- [23] Baldwin A H. Restoring complex vegetation in urban settings;the case of tidal freshwater marshes. *Urban Ecosystems*, 2004, 7(2):125-137.
- [24] Haynes R R, Hellquist C B. *Sagittaria* // Flora of North America Editorial Committee, eds. Magnoliophyta:Alismatidae, Arecidae, Commelinidae (in part), and Zin-giberidae. V01. 22 of Flora of North America:North of Mexico. New York, Oxford University Press, 2000:11-23.
- [25] Zhang Y W, Huang S J, Zhao X N, Zhao J M. Effects of tide on distribution of invasive species *Sagittaria graminea* in Yalu River Estuary wetland. *Journal of Eastern Liaoning University:Natural Science*, 2011, 18(1):39-44.
- [26] Cao Q M, Zhen K Z, Chen G, Chen G Z. A review of studies on microbiology of mangrove ecosystems. *Ecology and Environment*, 2008, 17(2):839-845.
- [27] Kourtev P S, Ehrenfeld J G, Häggelom M. Exotic plant species alter the microbial community structure and function in the soil. *Ecology*, 2002, 83(11):3152-3166.
- [28] Callaway R M, Thelen G C, Rodriguez A, Holben W E. Soil biota and exotic plant invasion. *Nature*, 2004, 427(6976):731-733.
- [29] van der Heijden M G A, Klironomos J N, Ursic M, Moutoglis P, Streitwolf-Engel R, Boller T, Wiemken A, Sanders I R. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 1998, 396(6706):69-72.
- [30] Marler M J, Zabinski C A, Callaway R M. Mycorrhizae indirectly enhance competitive effects of an invasive forb on a native bunchgrass. *Ecology*,

- 1999, 80(4):1180-1186.
- [31] Li W H, Zhang C B, Jiang H B, Xin G R, Yang Z Y. Changes in soil microbial community associated with invasion of the exotic weed, *Mikania micrantha* H. B. K. *Plant and Soil*, 2006, 281(1/2):309-324.
- [32] Smalla K, Wieland G, Buchner A, Zock A, Parzy J, Kaiser S, Roskot N, Heuer H, Berg G. Bulk and rhizosphere soil bacterial communities studied by denaturing gradient gel electrophoresis: plant-dependent enrichment and seasonal shifts revealed. *Applied and Environmental Microbiology*, 2001, 67(10):4742-4751.
- [33] Kowalchuk G A, Buma D S, de Boer W, Klinkhamer P G L, van Veen J A. Effects of above-ground plant species composition and diversity on the diversity of soil-borne microorganisms. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 2002, 81(1/4):509-520.
- [34] Costa R, Götz M, Mrotzek N, Lottmann J, Berg G, Smalla K. Effects of site and plant species on rhizosphere community structure as revealed by molecular analysis of microbial guilds. *FEMS Microbiology Ecology*, 2006, 56(2):236-249.
- [35] Callaway R M, Thelen G C, Rodriguez A, Holben W E. Soil biota and exotic plant invasion. *Nature*, 2004, 427(6976):731-733.
- [36] Roberts K J, Anderson R C. Effect of garlic mustard [*Alliaria petiolata* (Beib. Cavara and Grande)] extracts on plants and arbuscular mycorrhizal (AM) fungi. *The American Midland Naturalist*, 2001, 146(1):146-152.
- [37] Bais H P, Vepachedu R, Gilroy S, Callaway R M, Vivanco J M. Allelopathy and exotic plant invasion: from molecules and genes to species interactions. *Science*, 2003, 301(5638):1377-1380.
- [38] Vogelsang K M, Bever J D, Griswold M, Schultz P A. The Use of Mycorrhizal Fungi in Erosion Control Applications. Final Report for Caltrans. Sacramento; California Department of Transportation Contract No. 65A0070. 2004:150-150.
- [39] Nie M, Wang M, Li B. Effects of salt marsh invasion by *Spartina alterniflora* on sulfate-reducing bacteria in the Yangtze River estuary, China. *Ecological Engineering*, 2009, 35(12):1804-1808.
- [40] Wolfe B E, Klironomos J N. Breaking new ground: soil communities and exotic plant invasion. *BioScience*, 2005, 55(6):477-493.
- [41] Reinhart K O, Callaway R M. Soil biota and invasive plants. *New Phytologist*, 2006, 170(3):445-457.
- [42] Yu X J, Yu D, Lu Z J, Ma K P. A new mechanism of invader success: exotic plant inhibits natural vegetation restoration by changing soil microbe community. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(11):1105-1112.
- [43] Hawkes C V, Wren I F, Herman D J, Firestone M K. Plant invasion alters nitrogen cycling by modifying the soil nitrifying community. *Ecology Letters*, 2005, 8(9):976-985.
- [44] Callaway R M, Mahall B E, Wicks C, Pankey J, Zabinski C. Soil fungi and the effects of an invasive forb on grasses: neighbor identity matters. *Ecology*, 2003, 84(1):129-135.
- [45] Haichar F Z, Marol C, Berge O, Rangel-Castro J I, Prosser J I, Balesdent J, Heulin T, Achouak W. Plant host habitat and root exudates shape soil bacterial community structure. *The ISME Journal*, 2008, 2(12):1221-1230.
- [46] Li H P. The Study on Physico-Chemical Factors and Extracellular Enzyme of the Sediments in the East Chongming Tidal Flat Wetland [D]. Baoding: Hebei University, 2004.

参考文献:

- [10] 周虹霞, 刘金娥, 钦佩. 外来种互花米草对盐沼土壤微生物多样性的影响——以江苏滨海为例. *生态学报*, 2005, 25(9):2304-2311.
- [13] 陈家宽. 上海九段沙湿地自然保护区科学考察集. 北京: 科学出版社, 2003:151-169.
- [14] 梁世军, 夏宏生, 向欣. 人工湿地对有机污染物降解作用的研究. *环境科学与管理*, 2010, 35(10):104-109.
- [16] 陈中义, 李博, 陈家宽. 互花米草与海三棱藨草的生长特征和相对竞争能力. *生物多样性*, 2005, 13(2):130-136.
- [18] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [19] 杨璐, 朱再玲, 卞翔, 肖明. 崇明东滩植物根际生物活性及与理化因素的相关性研究. *上海师范大学学报: 自然科学版*, 2011, 40(4):416-420.
- [22] 张彦文, 黄胜君, 赵兴楠, 刘帆, 赵骥民. 鸭绿江口湿地新记录外来种——禾叶慈姑. *武汉植物学研究*, 2010, 28(5):631-633.
- [25] 张彦文, 黄胜君, 赵兴楠, 赵骥民. 潮汐对鸭绿江口湿地入侵种禾叶慈姑分布的影响. *辽东学院学报: 自然科学版*, 2011, 18(1):39-44.
- [26] 曹启民, 郑康振, 陈耿, 陈桂珠. 红树林生态系统微生物学研究进展. *生态环境*, 2008, 17(2):839-845.
- [46] 李贺鹏. 崇明东滩滩涂湿地沉积物理化因子与胞外酶的研究 [D]. 保定: 河北大学, 2004.

CONTENTS

Widespread of anaerobic ammonia oxidation bacteria in an eutrophic freshwater lake wetland and its impact on nitrogen cycle	WANG Shanyun, ZHU Guibing, QU Dongmei, et al (6591)
Responses of soil enzyme activities of degraded coastal saline wetlands to irrigation with treated paper mill effluent	XIA Mengjing, MIAO Ying, LU Zhaozhua, et al (6599)
Wetland ecosystem health assessment of the Tumen River downstream	ZHU Weihong, GUO Yanli, SUN Peng, et al (6609)
An index of biological integrity: developing the methodology for assessing the health of the Baiyangdian wetland	CHEN Zhan, LIN Bo, SHANG He, et al (6619)
MODIS-based analysis of wetland area responses to hydrological processes in the Dongting Lake	LIANG Jie, CAI Qing, GUO Shenglian, et al (6628)
The diversity of invasive plant <i>Spartina Alterniflora</i> rhizosphere bacteria in a tidal salt marshes at Chongming Dongtan in the Yangtze River estuary	ZHANG Zhengya, DING Chengli, XIAO Ming (6636)
Analyzing the azimuth distribution of tree ring $\delta^{13}\text{C}$ in subtropical regions of eastern China using the harmonic analysis	ZHAO Xingyun, LI Baohui, WANG Jian, et al (6647)
In the process of grassland degradation the spatial pattern and spatial association of dominant species	GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang (6661)
Activities of soil oxidoreductase and their response to seasonal freeze-thaw in the subalpine/alpine forests of western Sichuan	TAN Bo, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (6670)
Simulating the effects of forestry classified management on forest biomass in Xiao Xing'an Mountains	DENG Huawei, BU Rencang, LIU Xiaomei, et al (6679)
The simulation of three-dimensional canopy net photosynthetic rate of apple tree	GAO Zhaoquan, ZHAO Chenxia, ZHANG Xianchuan, et al (6688)
The effect of <i>Phomopsis</i> B3 and organic fertilizer used together during continuous cropping of strawberry (<i>Fragaria ananassa</i> Duch)	HAO Yumin, DAI Chuanchao, DAI Zhidong, et al (6695)
Temporal and spatial variations of DOC, DON and their function group characteristics in larch plantations and possible relations with other physical-chemical properties	SU Dongxue, WANG Wenjie, QIU Ling, et al (6705)
Comparisons of quantitative characteristics and spatial distribution patterns of <i>Eremosparton songoricum</i> populations in an artificial sand fixed area and a natural bare sand area in the Gurbantunggut Desert, Northwestern China	ZHANG Yongkuan, TAO Ye, LIU Huiliang, et al (6715)
Comparison study on macroinvertebrate assemblage of riffles and pools: a case study of Dong River in Kaixian County of Chongqing, China	WANG Qiang, YUAN Xingzhong, LIU Hong (6726)
Nekton community structure and its relationship with main environmental variables in Lidao artificial reef zones of Rongcheng	WU Zhongxin, ZHANG Lei, ZHANG Xiumei, et al (6737)
Zooplankton diversity and its variation in the Northern Yellow Sea in the autumn and winter of 1959, 1982 and 2009	YANG Qing, WANG Zhenliang, FAN Jingfeng, et al (6747)
Building ecological security pattern based on land use: a case study of Ordos, Northern China	MENG Jijun, ZHU Likai, YANG Qianet al (6755)
Additive partition of species diversity across multiple spatial scales in community culturally protected forests and non-culturally protected forests	GAO Hong, CHEN Shengbin, OUYANG Zhiyun (6767)
Environmental perception of farmers of different livelihood strategies: a case of Gannan Plateau	ZHAO Xueyan (6776)
Application and comparison of two prediction models for groundwater dynamics	ZHANG Xia, LI Zhanbin, ZHANG Zhenwen, et al (6788)
Pollination success of <i>Phaius delavayi</i> in Huanglong Valley, Sichuan	HUANG Baoqiang, KOU Yong, AN Dejun (6795)
Mechanism of nitrification inhibitor on nitrogen-transformation bacteria in vegetable soil	YANG Yang, MENG Denglong, QIN Hongling, et al (6803)
Archaea diversity in water of two typical brackish lakes in Xinjiang	DENG Lijuan, LOU Kai, ZENG Jun, et al (6811)
Abundance and biomass of heterotrophic flagellates in Baiyangdian Lake, as well as their relationship with environmental factors	ZHAO Yujuan, LI Fengchao, ZHANG Qiang, et al (6819)
Effects of bisphenol A on the toxicity and life history of the rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i>	LU Zhenghe, ZHAO Baokun, YANG Jiaxin (6828)
Effect of incubation temperature on behavior and metabolism in the Chinese cornsnake, <i>Elaphe bimaculata</i>	CAO Mengjie, ZHU Si, CAI Ruoru, et al (6836)
Functional and numerical responses of <i>Mallada besalis</i> feeding on <i>Coreyra cephalonica</i> eggs	LI Shuiquan, HUANG Shoushan, HAN Shichou, et al (6842)
Stability analysis of mutualistic-parasitic coupled system	GAO Lei, YANG Yan, HE Junzhou, et al (6848)
Effect of ultra-micro powder qiweibaishuan on the intestinal microbiota and enzyme activities in mice	TAN Zhoujin, WU Hai, LIU Fulin, et al (6856)
Review and Monograph	
The effects of nitrogen deposition on forest carbon sequestration: a review	CHEN Hao, MO Jiangming, ZHANG Wei, et al (6864)
Effect of enhanced CO ₂ level on the physiology and ecology of phytoplankton	ZHAO Xuhui, KONG Fanxiang, XIE Weiwei, et al (6880)
Transboundary protected areas as a means to biodiversity conservation	SHI Longyu, LI Du, CHEN Lei, et al (6892)
Scientific Note	
The energy storage and its distribution in 11-year-old chinese fir plantations in Huitong and Zhuting	KANG Wenxing, XIONG Zhengxiang, HE Jienan, et al (6901)
Spatial pattern of sexual plants and vegetative plants of <i>Stipa krylovii</i> population in alpine degraded grassland	REN Heng, ZHAO Chengzhang, GAO Fuyuan, et al (6909)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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 21 期 (2012 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 21 (November, 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