

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第16期 Vol.31 No.16 2011

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报 (SHENTAI XUEBAO)

第31卷 第16期 2011年8月 (半月刊)

目 次

人工和天然湿地芦苇根际土壤细菌群落结构多样性的比较	汪仲琼,王为东,祝贵兵,等 (4489)
不同土壤水分下山杏光合作用光响应过程及其模拟	郎 莹,张光灿,张征坤,等 (4499)
不同颜色遮阳网遮光对丘陵茶园夏秋茶和春茶产量及主要生化成分的影响	秦志敏,付晓青,肖润林,等 (4509)
辐射迫对烟草叶激素水平、光合特性、荧光特性的影响	吴 坤,吴中红,邹付菊,等 (4517)
条浒苔和缘管浒苔对辐射迫的生理响应比较	蒋和平,郑青松,朱 明,等 (4525)
盐胁迫对拟南芥和盐芥莲座叶芥子油苷含量的影响	庞秋颖,陈思学,于 涛,等 (4534)
长期双季稻绿肥轮作对水稻产量及稻田土壤有机质的影响	高菊生,曹卫东,李冬初,等 (4542)
基于水量平衡下灌区农田系统中氮素迁移及平衡的分析	杜 军,杨培岭,李云开,等 (4549)
苏北海滨湿地互花米草种子特征及实生苗生长	徐伟伟,王国祥,刘金娥,等 (4560)
基于AnnAGNPS模型的三峡库区秭归县非点源污染输出评价	田耀武,黄志霖,肖文发 (4568)
镉污染对不同生境拟水狼蛛氧化酶和金属硫蛋白应激的影响	张征田,庞振凌,夏 敏,等 (4579)
印度洋南赤道流区水体叶绿素a的分布及粒级结构	周亚东,王春生,王小谷,等 (4586)
长江口滩涂围垦后水鸟群落结构的变化——以南汇东滩为例	张 斌,袁 晓,裴恩乐,等 (4599)
应用鱼类完整性指数(FAII)评价长江口沿岸碎波带健康状况	毛成贵,钟俊生,蒋日进,等 (4609)
基于渔业调查的南极半岛北部水域南极磷虾种群年龄结构分析	朱国平,吴 强,冯春雷,等 (4620)
水稻模型ORYZA2000在湖南双季稻区的验证与适应性评价	莫志鸿,冯利平,邹海平,等 (4628)
旱地农田不同耕作系统的能量/碳平衡	王小彬,王 燕,代 快,等 (4638)
宁夏黄灌区稻田冬春休闲期硝态氮淋失量	王永生,杨世琦 (4653)
太湖沉积物有机碳与氮的来源	倪兆奎,李跃进,王圣瑞,等 (4661)
日偏食对乌鲁木齐空气可培养细菌群落的影响	马 晶,孙 建,张 涛,等 (4671)
灰飞虱与褐飞虱种内和种间密度效应比较	吕 进,曹婷婷,王丽萍,等 (4680)
圈养马来熊行为节律和时间分配的季节变化	兰存子,刘振生,王爱善,等 (4689)
塔里木荒漠河岸林干扰状况与林隙特征	韩 路,王海珍,陈加利,等 (4699)
珍稀植物伯乐树一年生更新幼苗的死亡原因和保育策略	乔 琦,秦新生,邢福武,等 (4709)
垃圾堆肥复合菌剂对干旱胁迫下草坪植物生理生态特性的影响	多立安,王晶晶,赵树兰 (4717)
CLM3.0-DGVM中植物叶面积指数与气候因子的时空关系	邵 璞,曾晓东 (4725)
基于生态效率的辽宁省循环经济分析	韩瑞玲,佟连军,宋亚楠 (4732)
专论与综述	
土壤食物网中的真菌/细菌比率及测定方法	曹志平,李德鹏,韩雪梅 (4741)
生态社区评价指标体系研究进展	周传斌,戴 欣,王如松,等 (4749)
问题讨论	
不同胁迫条件下化感与非化感水稻PAL多基因家族的差异表达	方长旬,王清水,余 彦,等 (4760)
研究简报	
钦州湾大型底栖动物生态学研究	王 迪,陈丕茂,马 媛 (4768)
人工恢复黄河三角洲湿地土壤碳氮含量变化特征	董凯凯,王 惠,杨丽原,等 (4778)
基于地统计学丰林自然保护区森林生物量估测及空间格局分析	刘晓梅,布仁仓,邓华卫,等 (4783)
晋西黄土区辽东栎、山杨树干液流比较研究	隋旭红,张建军,文万荣 (4791)
小兴安岭典型苔草和灌木沼泽N ₂ O排放及影响因子	石兰英,牟长城,田新民,等 (4799)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-08



封面图说: 在长白山麓低海拔地区的晚秋季节,成片的白桦林用无数根白色的树干、树枝烘托着林冠上跳动的金黄色叶片,共生的柞木树冠用更浓重的颜色显示了它的存在,整个山梁层林尽染,秋意浓浓。

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

徐伟伟,王国祥,刘金娥,陈正勇,王刚. 苏北海滨湿地互花米草种子特征及实生苗生长. 生态学报, 2011, 31(16): 4560-4567.
Xu W W, Wang G X, Liu J E, Chen Z Y, Wang G. Seed characteristics and seedling growth of *Spartina alterniflora* on coastal wetland of North Jiangsu. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(16): 4560-4567.

苏北海滨湿地互花米草种子特征及实生苗生长

徐伟伟¹, 王国祥¹, 刘金娥^{1,*}, 陈正勇¹, 王刚²

(1. 南京师范大学地理科学学院 江苏省环境演变与生态建设重点实验室,南京 210046; 2. 安徽师范大学环境科学学院,芜湖 241003)

摘要:在江苏盐城新洋港滩涂由海向陆建立样地:零星互花米草(*Spartina alterniflora*)斑块(SAP)、稳定互花米草滩下边缘(SAFI)、2003年互花米草定居处(SAF03)、1989年互花米草定居处(SAF89),对互花米草的种子特征及幼苗生长进行了研究。结果表明:(1)各样地种子产量有极显著差异($P < 0.01$),大小顺序为SAP > SAF03 > SAFI > SAF89,种子产量与植株结实率、穗长、单穗种子数成正比。(2)4月份SAP、SAFI、SAF03和SAF89互花米草短暂土壤种子库分别为673.7、2328.7、5948.8、3990.4粒/ m^2 ,种子保存率分别为0.5%、3.9%、6.9%和15.8%,且在各样地差异极显著($P < 0.01$)。(3)7月份SAP、SAFI、SAF03和SAF89实生苗数分别为72.5、0.0株/ m^2 。SAP与SAFI种子萌发率显著高于SAF03与SAF89($P < 0.01$)。(4)表层土壤水分含量和种群内部光照衰减是影响实生苗生长的关键因素。在表层土壤水分含量高和低光照衰减的生境中种子繁殖对互花米草种群延续和扩张贡献较大。

关键词:外来种;种群扩张;相对光照强度;土壤种子库

Seed characteristics and seedling growth of *Spartina alterniflora* on coastal wetland of North Jiangsu

XU Weiwei¹, WANG Guoxiang¹, LIU Jin'e^{1,*}, CHEN Zhengyong¹, WANG Gang²

1 Jiangsu Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China

2 College of Environmental Science, Anhui Normal University, Wuhu 241003, China

Abstract: *Spartina alterniflora* is a worldwide discussed exotic species. It was introduced into coastal wetland of North Jiangsu in 1982, and has been expanding quickly, influencing the local ecosystem biodiversity and economic activities. In this study, landward sampling sites along an intertidal zone in Xingyanggang (*S. alterniflora* patch (SAP), *S. alterniflora* flat infra-edge (SAFI), *S. alterniflora* flat 2003 (SAF03), *S. alterniflora* flat 1989 (SAF89)) were arranged and (1) the *S. alterniflora* seed characteristics were investigated; (2) transient soil seed bank and seed preservation were measured; (3) the contribution of sexual reproduction in *S. alterniflora* population sustainability and expansion were discussed; (4) the seedling growth strategies choice in different habitat during the expansion of *S. alterniflora* were explored. Six 1 m × 1 m sampling plots were selected randomly to measure the seed characteristics including fruiting culms, seed weight, seed production, spike length and seeds per spike in November 2009 in the four sampling sites. And four soil samples of 25 cm × 25 cm × 6 cm were collected from the sampling sites in April 2010, and then all the seeds in soil samples were collected, to assess transient seed bank and seed preservation in soil. Three 50 cm × 50 cm permanent plots were set in the four sampling sites for observation of seed germination rate, seedling survival rate and seedling growth on 9 April, 28 May, 14 June and 21 July, meanwhile vertical distribution of relative light intensity within *S. alterniflora* plots were investigated.

基金项目:国家自然科学基金(40973053),江苏省高校自然科学重大基础研究项目(08KJA180002)

收稿日期:2010-09-03; **修订日期:**2010-12-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liujine@njnu.edu.cn

Statistical analyses were performed under SPSS11. 5 to determine the interaction between seeds, seedlings and environmental factors. The results showed that: (1) the seed production was significantly different ($P < 0.01$) among sampling sites on the order as SAP 126333. 3 ± 1687. 4 no. /m² > SAF03 86385. 2 ± 4263. 2 no. /m² > SAFI 58999. 1 ± 1653. 3 no. /m² > SAF89 25259. 1 ± 1822. 6 no. /m², which is positively correlated with the setting rate, longer spike length and seed number per spike. (2) By April, the transient soil seed bank was significantly different ($P < 0.01$) among sampling sites as 673. 7 /m² at SAP, 2328. 7 /m² at SAFI, 5948. 8 /m² at SAF03 and 3990. 4 /m² at SAF89, respectively; and the seed preservation rates was 0.5% at SAP, 3.9% at SAFI, 6.9% at SAF03 and 15.8% at SAF89, respectively. (3) By April, the seed germination rate at SAP and SAFI were significantly higher than those at the SAF03 and SAF89 ($P < 0.01$); the seedling number was 288.0 /m² at SAP, 1085.3 /m² at SAFI, 538.7 /m² at SAF03 and 312.0 /m² at SAF89, which decreased as 72 /m² at SAP, 5 /m² at SAFI, 0 at SAF03 and 0 at SAF89 by July, respectively; height of seedling in SAFI was significantly different ($P < 0.05$) with other sampling sites as SAFI > SAP > SAF03 > SAF89 by June. (4) The relative intensity near the ground was 46.1% at SAP, 36.0% at SAFI, 10.4% at SAF03, 3.9% at SAF89 by May, but it was 26.3% at SAP, 32.5% at SAFI, 16.4% at SAF03, 0.9% at SAF89 by June. The water content of topsoil and light attenuation within populations affected seedling growth vitally. The results from this study indicated that the seed propagation played more important role in the continuation and spreading of this invasive plant at habitat with higher topsoil water content and lower light attenuation.

Key Words: exotic species; population expansion; relative light intensity; soil seed bank

互花米草(*Spartina alterniflora*)是一种原产美洲大西洋沿岸的多年生草本植物,于1979年从美国引入我国沿海地区,通过人工引种和自然扩散^[1-2],植被面积迅速增加,对海滨湿地生态系统以及当地居民经济生产活动产生了巨大影响。江苏沿海的互花米草在1982年引种^[3],在1990年左右形成较大面积群落,之后面积扩展迅速,成为优势盐沼植被,目前江苏沿海互花米草盐沼群落仍处于盐沼形成的初期^[4]。

互花米草具有有性繁殖与无性繁殖2种繁殖方式,其2种繁殖体包括种子、根状茎与断落的植株^[5]。关于不同繁殖方式在种群扩张中的贡献大小,目前研究结论并不一致^[6-8]。种子在萌发和幼苗生长初期对环境的适应能力是影响种群分布的关键因素,互花米草种子强大的萌发能力以及对盐浓度的耐受性,使其具有较强的定居与扩张能力。互花米草植株通过营养繁殖扩张成入侵斑块,各斑块再最终扩张连接成片构成互花米草草滩,也是该物种能够在我国沿海地区快速扩散的机制之一。生态因子如温度、光照、土壤盐分等会影响种子的萌发及幼苗的建成,潮间带生境中土壤盐浓度随季节变化而不同,在春季,随着降雨量的逐步增加潮间带生境土壤水分含量上升而盐浓度下降,有利于互花米草种子萌发及实生苗的生长^[9]。

本文通过对互花米草短暂种子库及实生幼苗生长连续监测调查与研究,定量分析互花米草实生苗的萌发与生长对策,阐述不同潮滩带种子繁殖对种群延续及扩散的贡献,为防止互花米草在我国的进一步扩张以及有效管理和控制提供理论依据和技术参考,保护海滨湿地的生态系统功能,并为今后互花米草种群繁殖生态学的系统研究提供理论依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于江苏省盐城市新洋港滩涂(32°34'—34°28'N, 119°48'—120°56'E),该区是温带和亚热带的过渡地带,受海洋性与大陆性气候的共同影响,季风盛行,四季分明年平均气温13.8℃,日均光辐射总量116×4.183—121×4.183 kJ/cm²,年均降雨量1023.8 mm,夏季降水集中,冬季降水较少。水源有陆地水和海洋水,海水淹没潮间带间隔7—12 h,高潮位1.27—4.61 m。研究区新洋港是受到人类干扰较少的潮滩湿地,保留着较完整的潮滩植被演替序列,由海向陆依次为:光滩、互花米草(*S. alterniflora*)滩、盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)滩及由藨草(*Scirpus triquetus*)、獐毛(*Aeluropus littoralis*)、白茅(*Imperata cylindrica*)、芦苇(*Phragmites*

australis)组成的禾草滩^[10]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择与试验设计

使用手持 GPS/GIS 数据采集器,对江苏盐城新洋港潮滩湿地互花米草扩张动态进行多年野外跟踪调查,并自 2003 年起,每年在米草扩张前边缘建立标志。在新洋港潮滩湿地自海向陆选择 1 个剖面,根据已建立的及保护区内已有的永久性标志(1989 年米草定居处),确定调查样本种群定居时间,并按照扩散前沿区和不同发育年限的互花米草种群稳定区的序列建立 4 个野外观测带,分别为零星米草斑块(*S. alterniflora* patch)、非斑块的稳定米草滩下边缘(*S. alterniflora* flat infra-edge)、2003 年米草定居处(*S. alterniflora* flat 2003)、1989 年米草定居处(*S. alterniflora* flat 1889),文中各样地分别用 SAP、SAFI、SAF03 和 SAF89 代表(表 1)。从 2009 年 11 月定位进行动态监测各样地,并在当月统计对各样地有性繁殖相关指标,于 2010 年 4 月每样地选取 4 个 25 cm × 25 cm 的土壤样方,挖取表层土壤 6 cm,现场水洗过网筛计数种子数;并在各样地建立 3 个 50 cm × 50 cm 永久观测样方,四角用木桩固定并用塑料绳围住,于 4 月 9 日、5 月 28 日、6 月 14 日和 7 月 21 日跟踪记录样方内互花米草分蘖苗数、实生苗数及生长指标。经往年动态监测发现无性分株幼苗开始生长时间较种子萌发期早,且刚萌发出来的互花米草实生苗与无性分蘖形态差异较大,无性分蘖苗基茎粗、叶较宽、根系深较深且幼苗健壮,通过增加监测频次并用不同塑料标签标记和区分每一无性分蘖株和实生苗,如果植株完全变为褐色或者坏死,则记录为死亡,当有新植株出现或死亡时,做出记录。

表 1 样地描述

Table 1 Descriptions of sampling sites

样地 Sampling sites	光滩 Mudflat	零星米草斑块 <i>S. alterniflora</i> patch	稳定米草滩下边缘 <i>S. alterniflora</i> flat infra-edge	2003 年米草定居处 <i>S. alterniflora</i> flat 2003	1989 年米草定居处 <i>S. alterniflora</i> flat 1889
样地编号 Sampling sites No.	Mudflat	SAP	SAFI	SAF03	SAF89
距海堤距离 Distance from the seawall /km	9.0	8.9	8.3	7.7	6.3
高程 Elevation/m	1.7	1.8	1.8	1.9	1.9
株高 Vegetation height /cm	-	127.0	179.0	143.7	135.9
密度 Culm density/(株/m ²)	-	357.3	309.3	314.7	149.3
盐度 Salinity/%	0.9	0.7	0.8	1.7	2.0
pH	8.9	8.9	9.0	8.6	8.5
含水量 Soil Water content/%	33.4	28.6	27.1	43.0	34.2

1.2.2 生长及有性繁殖指标测定

随机在样方中选取分蘖苗与实生苗测量株高和叶长,叶长测第 3 全展叶片的长度,实生苗若无第 3 全展叶则测第 2、第 1 全展叶长度,测量 6 个重复。2009 年 11 月各样地随机选取 6 个 1 m × 1 m 样方统计结实植株数量,测量穗长,计数种子数,并收集样方内所有种子放入密实袋中带回实验室计算千粒重,均 6 个重复。萌发率=单位面积实生苗数/单位面积短暂土壤种子库×100%。

1.2.3 光照强度垂直分布测定

选择晴朗天尽可能在同一时间段从地面垂直向上每隔 10 cm 用 ZDS-10 型照度计测定一个光照强度值,直到互花米草群落最顶端,3 次重复。

1.3 数据收集与处理

采用 SPSS 11.5 软件,选择单因素方差分析(One-Way ANOVA)进行差异显著性检验。

2 结果

2.1 互花米草有性繁殖特征

样地 SAP 结实植株比率显著高于其他样地($P<0.05$),SAP 与 SAFI 样地植株穗长较长并显著高于其他 2

样地($P<0.05$)，每穗种子数表现出 SAP、SAFI 与 SAF03 显著高于 SAF89，千粒重表现出 SAFI 与 SAF03 显著高于 SAP 与 SAF89($P<0.05$)，种子产量在各样地间有极显著差异($P<0.01$)，大小顺序为 SAP > SAF03 > SAFI > SAF89，SAP 种子产量分别是 SAF03、SAFI 和 SAF89 的 1.4、2.1、5.0 倍，综合来看样地 SAF89 各有性繁殖特征皆相对处于劣势(表 2)。

表 2 互花米草的有性生殖参数(平均值±标准差)

Table 2 Sexual production parameters of *S. alterniflora* (mean±SD, n=6)

有性繁殖参数 Sexual production parameters	样地 Sampling sites			
	零星米草斑块 <i>S. alterniflora</i> patch (SAP)	稳定米草滩下边缘 <i>S. alterniflora</i> flat infra-edge (SAFI)	2003 年米草发生处 <i>S. alterniflora</i> flat (2003) (SAF03)	1989 年米草发生处 <i>S. alterniflora</i> flat (1889) (SAF89)
结实植株 Fruiting culm /%	74.6±6.8 a	56.9±10.3 b	59.3±8.9 b	60.7±7.2 b
穗长 Mean spike length /cm	36.0±5.4 a	38.8±5.7 a	28.5±5.1 b	24.5±5.3 b
每穗种子数 Seeds per spike	473.8±83.4 a	335.2±58.1 b	462.8±77.3 a	225.5±110.7 c
千粒重 Seed weight /(g/1000 粒)	5.8±0.4 b	6.8±0.4 a	7.2±1.3 a	5.2±1.1 b
种子产量 Seed production /(粒/m ²)	126333.3±1687.4 a	58999.1±1653.3 c	86385.2±4263.2 b	25259.1±1822.6 d

* 不同的字母表示处理间差异显着($P<0.05$)

2.2 互花米草短暂土壤种子库

2010 年 4 月 SAP、SAFI、SAF03 和 SAF89 互花米草短暂土壤种子库 (Transient soil seed bank) 分别为 673.7、2328.7、5948.8、3990.4 粒/ m^2 ，两两样地间均有极显著差异($P<0.01$)。与种子产量相比，到 4 月 SAP、SAFI、SAF03 和 SAF89 各样地种子保存率分别为 0.5%、3.9%、6.9% 和 15.8%，两两样地间均有显著差异($P<0.05$)，并且表现出自海向陆递增的趋势(图 1)。

2.3 互花米草种子萌发率及实生幼苗数量变化

互花米草种子萌发率在 SAP 与 SAFI 间无显著差异($P>0.05$)，在 SAF03 与 SAF89 间也无显著差异($P>0.05$)，但 SAP 与 SAFI 种子萌发率显著高于 SAF03 与 SAF89($P<0.01$)，SAFI 处萌发率最高，但并未达到 50% (表 3)。

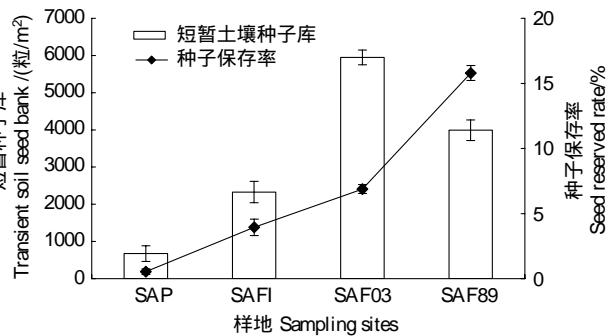


图 1 互花米草短暂土壤种子库及种子保存率

Fig. 1 Transient soil seed bank and seed preservation rate of *S. alterniflora*

表 3 互花米草种子萌发率和实生苗存活率(平均值±标准差)

Table 3 Seed germination rate and Seedling survival rate of *S. alterniflora* (mean±SD, n=3)

	样地 Sampling sites			
	SAP	SAFI	SAF03	SAF89
种子萌发率 Seed germination rate/%	42.8±4.2 ^a	46.6±5.6 ^a	9.6±3.4 ^b	7.8±2.7 ^b
实生苗存活率 Seedling survival rate/%	25.0±2.4 ^a	0.5±0.2 ^b	0±0 ^b	0±0 ^b

* 不同字母表示处理间差异显着($P<0.05$)

SAP 样地 4 月到 6 月实生苗数量几乎没有变化，但到 7 月时数量急剧下降(图 2)，为 72 株/ m^2 。随着时间的推移，SAFI 处实生苗数量呈下降趋势，4 月时数量最高，达到 1085 株/ m^2 ，而到 7 月仅为 5 株/ m^2 。SAF03 和 SAF89 实生苗数量变化与 SAFI 趋势相近，同一时期实生苗数量较 SAFI 少，并且到 7 月时实生苗数量均为 0。7 月实生苗存活率 SAP 处最高(表 2)，达到 25%，与其他样地有极显著差异($P<0.01$)。

1.4 互花米草实生苗的形态特征及种群内光照衰减变化

6 月 14 日实生苗株高和叶长在 SAFI 处最高(图 3)，并与其他组有显著差异($P<0.05$)。各样地株高和叶长长短顺序均为 SAFI>SAP>SAF03>SAF89。7 月 21 日 SAP 与 SAFI 实生苗株高分别为 10.1 cm 和 24.2 cm，

增长较缓慢,而其他2样地实生苗完全死亡。

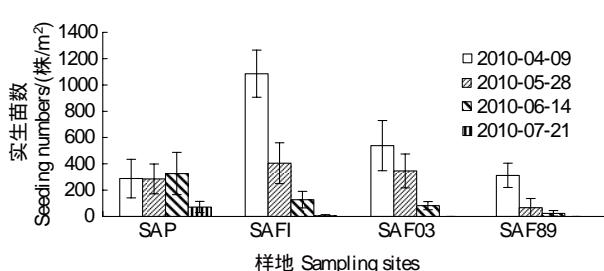


图2 互花米草实生苗数变化

Fig. 2 Seedling numbers change of *S. alterniflora* ramets

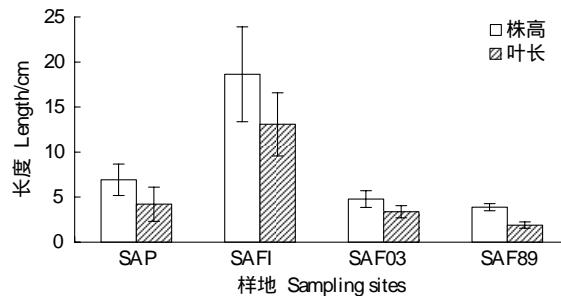


图3 互花米草的形态特征

Fig. 3 Morphological parameters of *S. alterniflora*

太阳辐射能从群落的上界面向下单调递减,且在不同时期和不同样地下降速度变化较大(图4和图5)。5月SAP、SAFI、SAF03和SAF89样地近地面相对光照强度分别为46.1%、36.0%、10.4%和3.9%,导致光照强度衰减的因素主要是新生长出来的分蘖苗及往年枯死的互花米草植株吸收和反射作用,7月则分别为26.3%、32.5%、16.4%和0.9%,从时间来看除SAF03样地地面相对光照强度增高外,都呈下降趋势,并且互花米草群落高度增加明显,植株叶片主要分布在20 cm到50 cm处,各样地在此区段对太阳辐射能的削减作用最强,相对光照强度分布曲线的曲率最大(图5)。

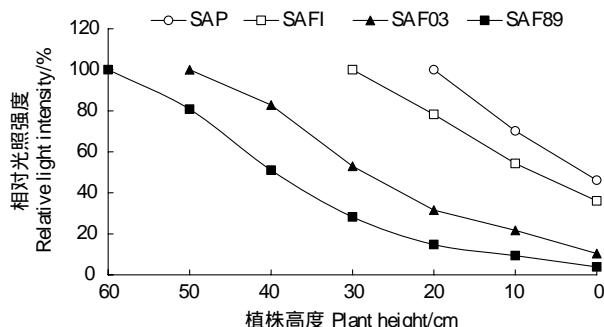


图4 互花米草相对光照强度垂直分布(5月28日)

Fig. 4 Vertical distribution of relative light intensity of *S. alterniflora* (28 May)

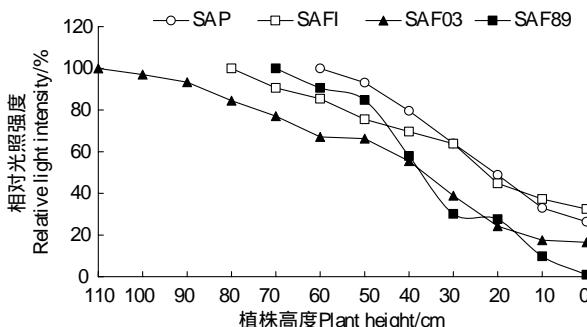


图5 互花米草相对光照强度垂直分布(7月21日)

Fig. 5 Vertical distribution of relative light intensity of *S. alterniflora* (21 July)

3 讨论与结论

入侵种能通过调节植株大小和种子产量等而使其在不同演替阶段的群落中立足,占据不同发育阶段的滩涂^[11-12]。克隆植物在高密度的情况下将较多的资源分配给有性繁殖是有利的,因为种子传播可使植物避开不利场所^[13]。种子生殖分配比例的多少直接影响下一代的生长发育和种群竞争力^[14],SAP在2009年调查中密度最大,且种子产量最高(表1,表2),在高密度的情况下,增加对无性繁殖的资源分配可能会增加植物的竞争^[15],同时无性营养繁殖产生的后代,其遗传组成总是与母体植株相同,只有极少数营养体有突变的可能,而营养繁殖对后代的资源投资较高,且产生的无性系分株后代数量明显比种子少,其存活率比由种子形成的幼苗高得多。另外,克隆后代扩散范围有限,往往集中在母株周围,造成激烈的同胞竞争^[16]。

土壤种子库是指存在于土壤表面和土壤中全部存活种子的总和,短暂土壤种子库指种子在土壤中存留时间不超过1a^[17]。种子库是维持植被演替更新的物质基础,它在植物群落所受到较大破坏时能起到缓冲作用,减少种群消失的几率。种子库的研究绝大多数采用实验室萌发法^[18],而萌发环境的选择是试验结果准确与否的关键^[19-20],由于实验室控制条件与野外自然环境相差很大,特别是海滨滩涂潮水动力条件较难在实验进

行模拟,因此,采用野外连续跟踪调查的方式进行研究,种子计数采用物理分离法中的网筛分离法。2010年4月各样地互花米草短暂土壤种子库大小顺序为SAP<SAFI<SAF89<SAF03,其种子保存率表现出样地离海越近保留的种子比例越少,这主要是受潮水、海浪冲刷及自然风吹的影响而损失。

种子在萌发和幼苗生长初期对环境的适应能力是影响种群分布的关键因素之一,互花米草种子在不同温度、土壤水分、光照、时间及盐浓度下的萌发特性体现了对滨海滩涂的生态适应性。在自然条件下,互花米草种子从成熟脱落、休眠至萌发对滨海滩涂气候的适应是其种群扩散重要基础,其种子散布后埋藏于不同深度的土壤中或散落在土壤表层,接受到不同的光照,同时种子流失量较大。盐生植物的种子可以通过休眠逃避盐度的直接伤害^[21],能够充分利用春季气温回升和降水增多等有利条件,增大幼苗萌发和存活的几率。在相同温度下,种子的萌发不受光照或黑暗条件影响^[22],在原产地,通过对互花米草种子耐盐性的研究表明,在较高的盐浓度下互花米草的幼苗仍能够生存^[23-24],其种子萌发时对温度的适应性、对光照的不敏感性和对盐浓度的耐受性等体现其对滨海滩涂的生态适应性,因而具有较强的定居与扩张能力。

很多非生物因素为种子埋藏创造了条件,SAP与SAFI两样地近海,且该区域土质松软,高含量泥沙的海水有利于种子的沉淀进入土壤,为在土层较深处构建一个有生命力的种子库提供了有力保障^[25]。调查发现SAP与SAFI互花米草种子几乎完全被土壤覆盖,并且在土壤中的种子几乎完全萌发,导致萌发率下降的主要原因是被海水冲刷而损失了大量的种子及刚萌发的幼苗,而SAF89和SAF03种子大多裸露于土壤表面(图6),虽然SAF03处土壤水分含量较高,但这只是土壤表层20 cm平均水分含量,而互花米草种子大多聚集在表层土壤中,萌发的种子大多是被土壤或部分被土壤覆盖,SAF89和SAF03样地地面高程相对较高,而潮浸频率较低,导致SAF89和SAF03样地种子萌发率与其他样地有极显著差异。



图6 互花米草种子
Fig. 6 Seed of *S. alterniflora*

克隆植物有性后代与无性后代在传播距离、生长特性和定居成功率方面都存在着明显的差异,这种差异导致了两种后代局部密度的空间异质性。无性后代倾向于在局部聚集生长,相反,而种子后代一般定居在种群密度相对较小、相对光照强度衰减弱的生境,因此,有性繁殖体与无性繁殖体对植物一生中繁殖成功的贡献可能不同^[26]。克隆植物在不同生境中有性繁殖与无性繁殖比例的变化主要取决于水分状况、光照状况和温度3大生态因子的变化。在环境条件越严酷的地区,无性繁殖的重要性越是增加,克隆植物的出现频率较高^[27]。克隆后代由于基株的供养更容易安全度过幼苗期,实现成功定居,而且不必付出与有性繁殖相伴的代价(如生产花冠、花蜜的资源消耗)^[28],有性繁殖种子萌发产生的后代在幼龄期往往有着极高的死亡率,成功定居率不如克隆后代。有研究认为互花米草稳定种群的维持主要依靠无性繁殖^[8],在发育良好的互花米草群落的冠层下,光照强度低,种子萌发幼苗无法成活,以克隆生长为主^[29]。到4月时,SAP与SAFI样地因长期受风浪潮水影响,去年死亡互花米草的立枯物几乎完全被冲刷走,而SAF03和SAF89样地去有很多枯死植株,这是导致互花米草群落相对光照强度垂直分布下降明显的主要原因。从互花米草群落相对光照强度垂直分布看,SAF03和SAF89光照强度衰减较大,导致在低层的实生幼苗较难存活,最终全部死亡。SAFI样初期实生苗较多,但7月21时幼苗存活率仅为0.5%,不过存活下来的实生苗长势较好,可能原因是初期该处分蘖苗较矮,相对光照强度在地面底部仍较高,不过随后分蘖苗长势较快,且一定作用的种内竞争使存活下来

的实生苗较少,但存活下来的实生苗因其株高较高,受分蘖苗影响光照的作用减小。

在SAFI样地附近存多处特殊生境,每块面积3 m×3 m,该处可能是人为或风浪原因分蘖苗密度较小,我们进行了定位连续监测,到7月21日,此处光强递减缓慢,地面相对光照强度为46.5%,极显著高于同时我们建立的其他样地($P<0.01$),实生苗密度为72株/ m^2 ,株高和叶长也高于其他样地,可见光照对实生苗的生长起着关键性的作用,且在光滩上定居的实生苗,周围无分蘖苗及其立枯物,实生苗长势良好,密度较高,并且在7月21日实生苗已经开始有分蘖的现象,这更能说明光照对实生苗生长的影响。SAFI、SAF03和SAF89种子繁殖对种群延续及扩散的贡献较小,SAP种子繁殖对种群延续有一定的贡献作用。互花米草的蔓延和爆发尚无理想的控制方法,而且要完全控制和根除互花米草是不实际的,但首先应从生态学的角度禁止盲目引种,控制爆发规模,并在及时预测预警的基础上,采取因地制宜和各种措施相结合的方式进行有序控制仍可望妥善控制互花米草的负面效应,如进行刈割、拔除和挖掘控制还应充分考虑到互花米草种子可能带来的种群继续延续,同时还应加大对互花米草的利用研究及对土壤碳储备作用的积极影响。

References:

- [1] Ayres D R, Strong D R. The Spartina invasion of San Francisco Bay. *Aquatic Nuisance Species Digest*, 2002, 4: 38-40.
- [2] Chen Z Y, Li B, Chen J K. Ecological consequences and management of *Spartina* spp. invasions in coastal ecosystems. *Biodiversity Science*, 2004, 12(2): 280-289.
- [3] Xu W G, Zhuo R Z. Preliminary studies of introduced *Spartina alterniflora* Loisel in China. *Journal of Nanjing University: Research Advances in Spartina*, Special Issue, 1985, 40(2): 212-225.
- [4] Liu J E, Zhou H X, Qin P, Jun Z. Effects of *Spartina alterniflora* salt marshes on organic carbon acquisition in intertidal zones of Jiangsu Province, China. *Ecological Engineering*, 2007, 7(3): 240-249.
- [5] Daehler C C, Strong D R. Variable reproductive output among clones of *Spartina alterniflora* (Poaceae) invading San Francisco Bay, California: the influence of herbivory, pollination, and establishment Site. *American Journal of Botany*, 1994, 81(3): 307-313.
- [6] Partridge T R. Spartina in New Zealand. *New Zealand Journal of Botany*. 1987, 25: 567-576.
- [7] Wang Q, An S Q, Ma Z J, Zhao B, Chen J K, Li B. Invasive *Spartina alterniflora*; biology, ecology and management. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 2006, 24(5): 559-588.
- [8] Metcalfe W S, Ellison B, Bertness M D. Survivorship and spatial development of *Spartina alterniflora* Loisel. (Gramineae) seedlings in a New England salt marsh. *Annals of Botany*, 1986, 58(2): 249-258.
- [9] Shi F C, Bao F. Effects of salt and temperature stress on ecophysiological characteristics of exotic cordgrass, *Spartina alterniflora*. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 2733-2741.
- [10] Ren M E. The Comprehensive Survey Report of Jiangsu Coastal Zone and Tidal Flat Resources. Beijing: Ocean Press, 1986; 15-40.
- [11] Marks T C, Truscott A J. Variation in seed production and germination of *Spartina anglica* with in a zoned salt marsh. *Journal of Ecology*, 1985, 73(2): 695-705.
- [12] Thompson J D, McNeilly T, Gray A J. Population variation in *Spartina anglica* C. E. Hubbard. *New Phytologist*, 1991, 117: 141-152.
- [13] Gardner S N, Mangel M. Modeling investments in seeds, clonal offspring, and translocation in a clonal plant. *Ecology*, 1991, 80(4): 1202-1220.
- [14] Dong K H, Mi J. Quantitative characters of vegetative multiplication of *Bothriochloa ischaemum* populations. *Acta Agrestia Sinica*, 2006, 14(3): 210-213.
- [15] Loehle C. Partitioning of reproductive effort in clonal plants: a benefit-cost model. *Oikos*, 1987, 49(2): 199-208.
- [16] Kroon H D, Groenendaal J V. The Ecology and Evolution of Clonal Plants. Leiden: Backhuys Publishers, 1997; 109-136.
- [17] Zhang Z Q. Soil seed bank. *Chinese Journal of Ecology*, 1996, 15(6): 36-42.
- [18] Li Q Y, Zhao W Z. Advances in the soil seed bank of arid regions. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(3): 350-358.
- [19] Gross K L. A comparison of methods for estimating seed numbers in the soil. *Journal of Ecology*, 1990, 78(4): 1079-1093.
- [20] Ter Heerdt G N J, Schutter A, Bakker J P. The effect of water supply on seed-bank analysis using the seedling-emergence method. *Functional Ecology*, 1999, 13(3): 428-430.
- [21] Li F, Xie Y H, Qin Y Y. Adaptive strategies of wetland plants in salt stress environment. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(2): 314-321.
- [22] Yuan Z N, Shi F C. Ecological adaptability of alien species *Spartina alterniflora* Loisel seed germination. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28

- (12) : 2466-2470.
- [23] Wijte A H B M, Gallagher J L. Effect of oxygen availability and salinity on early life history stages of salt marsh plants. I. Different germination strategies of *Spartina alterniflora* and *Phragmites australis* (Poaceae). American Journal of Botany, 1996, 83(10) : 1337-1342.
- [24] Wijte A H B M, Gallagher J L. Effect of oxygen availability and salinity on early life history stages of salt marsh plants. II. Early seedling development advantage of *Spartina alterniflora* over *Phragmites australis* (Poaceae). American Journal of Botany, 1996, 83(10) : 1343-1350.
- [25] Espinar J L, Thompson K, Garcia L V. Timing of seed dispersal generates a bimodal seed bank depth distribution. American Journal of Botany, 2005, 92 : 1759-1763.
- [26] Winkler E, Fischer M. The role of vegetative spread and seed dispersal for optimal life histories of clonal plants: a simulation study. Evolutionary Ecology, 2001, 15(4/6) : 281-301.
- [27] Song M H, Dong M, Jiang G M, Li L H. Clonal plants along NECT and relation of their importance to environmental conditions. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(7) : 1095-1103.
- [28] Doust L L. Population dynamics and local specialization in a clonal perennial (*Ranunculus repens*). I. The dynamics of ramets in contrasting habitats. Journal of Ecology, 1981, 69(3) : 743-755.
- [29] Metcalfe W S, Ellison A M, Bertness M D. Survivorship and spatial development of *Spartina alterniflora* Loisel. (Gramineae) seedlings in a New England salt marsh. Annals of Botany, 1986, 58(2) : 249-258.

参考文献:

- [2] 陈中义, 李博, 陈家宽. 米草属植物入侵的生态后果及管理对策. 生物多样性, 2004, 12(2) : 280-289.
- [3] 徐国万, 卓荣宗. 我国引种互花米草 (*Spartina alterniflora* Loisel) 的初步研究. 南京大学学报: 米草研究的进展专集, 1985, 40(2) : 212-225.
- [7] 王卿, 安树青, 马志军, 赵斌, 陈家宽, 李博. 入侵植物互花米草-生物学、生态学及管理. 植物分类学报, 2006, 24(5) : 559-588.
- [9] 石福臣, 鲍芳. 盐和温度胁迫对外来种互花米草 (*Spartina alterniflora*) 生理生态特性的影响. 生态学报, 2007, 27(7) : 2733-2741.
- [10] 任美鄂. 江苏省海岸带和海涂资源综合调查报告. 北京: 海洋出版社, 1986: 15-40.
- [14] 董宽虎, 米佳. 白羊草种群繁殖的数量特征. 草地学报, 2006, 14(3) : 210-213.
- [17] 张志权. 土壤种子库. 生态学杂志, 1996, 15(6) : 36-42.
- [18] 李秋艳, 赵文智. 干旱区土壤种子库的研究进展. 地球科学进展, 2005, 20(3) : 350-358.
- [21] 李锋, 谢永宏, 覃盈盈. 盐胁迫条件下湿地植物的适应策略. 生态学杂志, 2009, 28(2) : 314-321.
- [22] 苑泽宁, 石福臣. 外来物种互花米草种子萌发的生态适应性. 生态学杂志, 2009, 28(12) : 2466-2470.
- [27] 宋明华, 董鸣, 蒋高明, 李凌浩. 东北样带上的克隆植物及其重要性与环境的关系. 生态学报, 2001, 21(7) : 1095-1103.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31 ,No. 16 August, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

- A comparative study on the diversity of rhizospheric bacteria community structure in constructed wetland and natural wetland with reed domination WANG Zhongqiong, WANG Weidong, ZHU Guibing, et al (4489)
- Light response of photosynthesis and its simulation in leaves of *Prunus sibirica* L. under different soil water conditions LANG Ying, ZHANG Guangcan, ZHANG Zhengkun, et al (4499)
- Effects of colour shading on the yield and main biochemical components of summer-autumn tea and spring tea in a hilly tea field QIN Zhimin, FU Xiaoqing, XIAO Runlin, et al (4509)
- Effects of cadmium on the contents of phytohormones, photosynthetic performance and fluorescent characteristics in tobacco leaves WU Kun, WU Zhonghong, TAI Fujie, et al (4517)
- Comparative physiological responses of cadmium stress on *Enteromorpha clathrata* and *Enteromorpha linza* JIANG Heping, ZHENG Qingsong, ZHU Ming, et al (4525)
- Effects of salt stress on glucosinolate contents in *Arabidopsis thaliana* and *Thellungiella halophila* rosette leaves PANG Qiuying, CHEN Sixue, YU Tao, et al (4534)
- Effects of long-term double-rice and green manure rotation on rice yield and soil organic matter in paddy field GAO Jusheng, CAO Weidong, LI Dongchu, et al (4542)
- Nitrogen balance in the farmland system based on water balance in Hetao irrigation district, Inner Mongolia DU Jun, YANG Peiling, LI Yunkai, et al (4549)
- Seed characteristics and seedling growth of *Spartina alterniflora* on coastal wetland of North Jiangsu XU Weiwei, WANG Guoxiang, LIU Jin'e, et al (4560)
- Assessment of non-point source pollution export from Zigui county in the Three Gorges Reservoir area using the AnnAGNPS model TIAN Yaowu, HUANG Zhilin, XIAO Wenfa (4568)
- Effects of Cadmium pollution on oxidative stress and metallothionein content in *Pirata subpiraticus* (Araneae: Lycosidae) in different habitats ZHANG Zhengtian, PANG Zhenling, XIA Min, et al (4579)
- The distribution of size-fractionated chlorophyll a in the Indian Ocean South Equatorial Current ZHOU Yadong, WANG Chunsheng, WANG Xiaogu, et al (4586)
- Change of waterbird community structure after the intertidal mudflat reclamation in the Yangtze River Mouth: a case study of NanHui Dongtan area ZHANG Bin, YUAN Xiao, PEI Enle, et al (4599)
- Application of fish assemblage integrity index(FAII) in the environment quality assessment of surf zone of Yangtze River estuary MAO Chengze, ZHONG Junsheng, JIANG Rijin, et al (4609)
- Population age structure of Antarctic krill *Euphausia superba* off the northern Antarctic Peninsula based on fishery survey ZHU Guoping, WU Qiang, FENG Chunlei, et al (4620)
- Validation and adaptability evaluation of rice growth model ORYZA2000 in double cropping rice area of Hunan Province MO Zhihong, FENG Liping, ZOU Haiping, et al (4628)
- Coupled energy and carbon balance analysis under dryland tillage systems WANG Xiaobin, WANG Yan, DAI Kuai, et al (4638)
- The nitrate-nitrogen leaching amount in paddy winter-spring fallow period WANG Yongsheng, YANG Shiqi (4653)
- The sources of organic carbon and nitrogen in sediment of Taihu Lake NI Zhaokui, LI Yuejin, WANG Shengrui, et al (4661)
- Effect of partial solar eclipse on airborne culturable bacterial community in Urumqi MA Jing, SUN Jian, ZHANG Tao, et al (4671)
- Comparative study on density related intra- and inter-specific effects in *Laodelphax striatellus* (Fallen) and *Nilaparvata lugens* (Stål) LÜ Jin, CAO Tingting, WANG Liping, et al (4680)
- Behavior rhythm and seasonal variation of time budget of sun bear (*Helarctos malayanus*) in captivity LAN Cunzi, LIU Zhenheng, WANG Aishan, et al (4689)
- Disturbance regimes and gaps characteristics of the desert riparian forest at the middle reaches of Tarim River HAN Lu, WANG Haizhen, CHEN Jiali, et al (4699)
- Death causes and conservation strategies of the annual regenerated seedlings of rare plant, *Bretschneidera sinensis* QIAO Qi, QIN Xinsheng, XING Fuwu, et al (4709)
- Effects of municipal compost extracted complex microbial communities on physio-ecological characteristics of turfgrass under drought stress DUO Lian, WANG Jingjing, ZHAO Shulan (4717)
- Spatiotemporal relationship of leaf area index simulated by CLM3.0-DGVM and climatic factors SHAO Pu, ZENG Xiaodong (4725)
- Analysis of circular economy of Liaoning Province based on eco-efficiency HAN Ruiling, TONG Lianjun, SONG Yanan (4732)
- Review and Monograph**
- The fungal to bacterial ratio in soil food webs, and its measurement CAO Zhiping, LI Depeng, HAN Xuemei (4741)
- Indicators for evaluating sustainable communities: a review ZHOU Chuanbin, DAI Xin, WANG Rusong, et al (4749)
- Discussion**
- Differential expression of *PAL* multigene family in allelopathic rice and its counterpart exposed to stressful conditions FANG Changxun, WANG Qingshui, YU Yan, et al (4760)
- Scientific Note**
- Ecology study on the benthic animals of QinZhou Bay WANG Di, CHEN Pimao, MA Yuan (4768)
- Change characteristics of soil carbon and nitrogen contents in the Yellow River Delta soil after artificial restoration DONG Kaikai, WANG Hui, YANG Liyuan, et al (4778)
- Estimation and spatial pattern analysis of forest biomass in Fenglin Nature Reserve based on Geostatistics LIU Xiaomei, BU Rencang, DENG Huawei, et al (4783)
- Study on sap flow in forest of *Quercus liaotungensis* and *Populus davidiana* by using the TDP method SUI Xuhong, ZHANG Jianjun, WEN Wanrong (4791)
- N_2O Emission and its driving factors from typical marsh and shrub swamp in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China SHI Lanying, MU Changcheng, TIAN Xinmin, et al (4799)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 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	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

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

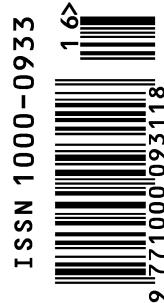
编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 16 期 (2011 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 16 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址: 北京海淀区双清路 18 号 邮政编码: 100085 电话: (010) 62941099 www. ecologica. cn shengtaixuebao@ rcees. ac. cn	Edited by Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010) 62941099 www. ecologica. cn Shengtaixuebao@ rcees. ac. cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址: 北京海淀区双清路 18 号 邮政编码: 100085	Sponsored by Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科学出版社 地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717	Published by Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科学出版社 地址: 东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717 电话: (010) 64034563 E-mail: journal@ 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	京海工商广字第 8013 号	
许 可 证		



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