

米草属植物 *Spartina anglica* 和 *Spartina alterniflora* 引种后江苏海岸湿地生态演化的初步探讨*

陈 一 宁 高 抒 贾 建 军 王 爱 军
(南京大学海岸与海岛开发教育部重点实验室 南京 210093)

提要 选取江苏王港潮滩的盐蒿滩、大米草滩及互花米草滩,分析这三类滩面的地面以上生物量、初级生产力、动物洞穴参数和沉积物粒度,探讨大米草和互花米草引种区的湿地生态系统相对于盐蒿滩的变化。分析结果表明,互花米草滩的生物量远大于盐蒿滩和大米草滩;单位面积上动物洞穴数量相近,但洞穴大小有一定差异,互花米草滩动物洞穴稍大,数量也相对较多,这可能与初级生产力的提高有关。表层底质的粒径以互花米草滩为最细,盐蒿滩最粗,这种分布状况与互花米草引种前不同,说明互花米草促进了细颗粒物质的堆积。互花米草的引种在江苏海岸具有促淤和提高初级生产力的作用,而它对湿地生态系统的结构和功能的影响需要进一步研究。

关键词 大米草, 互花米草, 潮滩生态系统, 江苏海岸

中图分类号 P736

大米草与互花米草是米草属的多年生植物。大米草 (*Spartina anglica*) 原产于英国, 生长于泥质海岸的中潮带上部至高潮带下部, 不仅在形态构造上有特殊性, 而且具有耐盐、耐淹等生理生态学特征。互花米草 (*Spartina alterniflora*) 原产于大西洋沿岸, 植株比大米草更粗壮, 高度常为 1m 以上, 根系发达。大米草和互花米草分别于 1963 年和 1982 年人为引种到江苏潮间带(仲崇信, 1985), 起到了保护岸滩、促淤造陆的作用(宋连清, 1997)。在国际上, 这两种植物对湿地和海岸带的改造作用引起了科学家广泛的兴趣(Knuston *et al.*, 1982; Oenema *et al.*, 1988; Leonard *et al.*, 1995; 时钟, 1997; Hemminga *et al.*, 1998; Netto *et al.*, 1997; Allen, 2000)。在国内, 对于苏北潮滩植物在环境演化中的作用进行了初步研究(季子修等, 1994; 杨世伦等, 1994; 沈永明等, 2002; 杨桂山等, 2002)。对于米草引种后的生理生态学特征及其效应和应用, 仲崇信等(1985)、钦佩等(1992)、王长永等(1994)做过广泛的试验, 认为引种大米草和互花米草有利于保滩护岸。近年来, 米草的

快速蔓延及其一些负面效应引起了关注(彭少麟等, 1999)。但是, 对米草作为生物入侵种的影响的各种看法目前还缺乏充分的科学数据的支持。作者选取江苏王港潮间带作为研究区域, 选取横跨盐蒿滩、大米草滩及互花米草滩的典型剖面作为研究对象, 选取若干个代表性指标, 初步比较两种米草影响下的盐沼生态系统的差异性, 为大米草和互花米草引种后的生态效应及对环境的改造作用提供科学数据, 并从中寻找关于外来种改变原有生态系统的机制和过程的信息。

1 研究区背景

王港潮滩位于江苏沿海中部地区(图 1), 沉积物供给丰富, 属典型的淤泥质潮汐海岸。滩涂的平均宽度为 8.5—11.4km, 滩面平坦。区内潮汐为规则半日潮, 平均潮差为 3.68m, 而潮间带波浪作用相对较弱。根据实测资料, 研究区内具有涨潮流占优势的特征, 流速由海向陆衰减, 涨潮最大流速出现在涨潮初期, 落潮最大流速出现在落潮初期, 涨潮流速大于落潮流速, 表层流速大于底层流速; 涨潮悬沙浓度大于落潮悬沙浓度, 底层悬

* 国家自然科学基金资助项目, 40476041 号。陈一宁, 博士研究生, E-mail: shugao@nju.edu.cn

沙浓度大于表层悬沙浓度(任美镔等, 1984; 任美镔, 1986; 王颖等, 1990)。据王港所在的气象站多年实测资料, 该区多年平均温度为 14. 4℃, 年相对湿度为 81%, 多年平均降水量为 850—1080mm, 受海洋性季风影响, 夏季盛行风向为 SEE-SSE, 冬季风向多为北向。

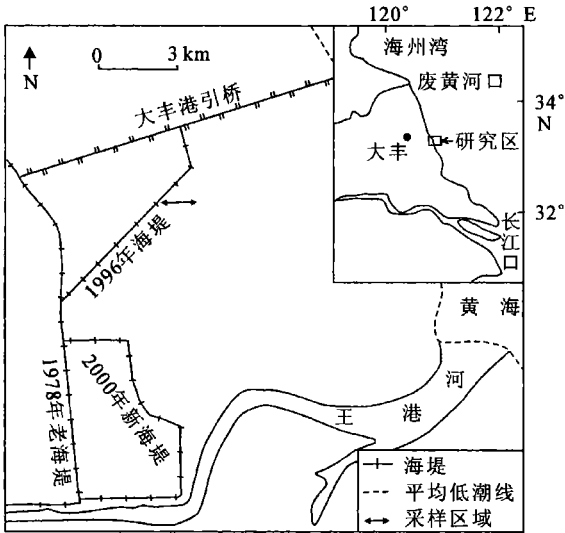


图 1 研究区位置及采样区域

Fig. 1 The location of study area and sampling profile

王港潮间带属于淤长型潮滩(陈才俊, 1991), 自然状态下潮滩上部为茅草滩、盐蒿滩, 由于围垦, 目前堤外分布有盐蒿滩、人工形成的大米草滩和互花米草滩[盐蒿即盐地碱蓬(*Suaeda salsa*), 在本文中仍采用当地沿用的这一名称]。王港潮间带的大米草和互花米草分别于 1978 年和 1988—1989 年引种。研究区内滩涂植物群落分带明显, 主要潮间带动物有弧边招潮蟹(*Uca arcuata* de Haan)、日本大眼蟹(*Macrobrachium japonicus* de Haan)、笋螺(*Terebra* sp.) 及双齿围沙蚕(*perineris aibuhitensis*) 等(童远瑞等, 1985)。从 2000 年的新海堤向海依次分布有: 盐蒿(*Suaeda salsa*)、大米草(*Spartina anglica*) 和互花米草(*Spartina alterniflora*)。

2 材料与方法

本研究选取的断面(位置见图 1)含有王港潮间带的盐蒿滩、大米草滩和互花米草滩(图 2)。在生态系统生物成分的研究上, 侧重于初级生产力指标的确定和对比, 主要指标包括地上生物量(Above-ground Biomass)(Hemminga et al., 1998)、盖度、平均株高、密度等。于 2003 年 6 月 30 日—7 月 12 日在三种亚环境(盐蒿滩、大米草滩和互花

米草滩)中随机抽取样方进行采样与测量。盐蒿滩、大米草滩、互花米草滩的取样位置距海堤水平距离分别约为 250m、450m、900m。每种亚环境中各取 5 个样方, 用收割法获得生物量(湿重和干重); 大米草滩植株过于密集, 采用 0. 25m × 0. 25m 的样方进行采样, 其他亚环境采用 1m × 1m 样方。采样后立即称取湿重, 然后在室外晒干后称得干重。利用干重数据乘以比例系数即为净初级生产力。盖度采用目测的方法, 平均株高则用精度为 0. 1cm 的刻度尺测得。

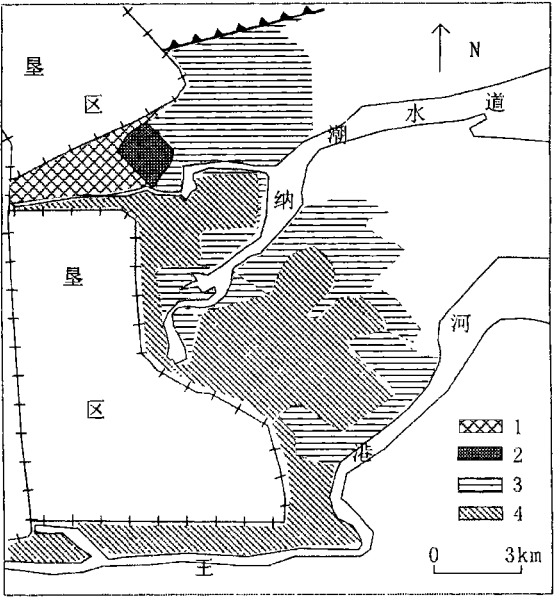


图 2 研究区湿地植被分布简图

1 盐蒿; 2 大米草; 3 互花米草; 4 人工池塘

Fig. 2 Vegetation distribution patterns over the study area

1. *Suaeda salsa* flats; 2. *Spartina anglica* flats; 3. *Spartina alterniflora* flats; 4. artificial ponds

选取底栖掘穴动物洞穴(主要底栖动物种类为弧边招潮蟹、日本大眼蟹及笋螺)作为指示物, 统计样方内的洞穴个数并逐个测量洞穴的直径。对于大米草滩, 在选取的 0. 25m × 0. 25m 的样方附近随机确定 1m × 1m 样方进行平行统计。

沿断面以 50m 为间隔采取表层底质样品, 用 GPS 进行定位, 现场描述并记录。在实验室用 Malvern 2000 激光粒度仪测量样品的粒度。断面水准测量使用瑞典 Wild 公司生产的 NAK-0 型光学水准仪, 将测量结果统一到自定义高程系(以海堤边沿的台阶为高程零点), 以获取剖面形态。

在 2003 年 10 月, 沿剖面进行了同样的生物采样及表层沉积物样的采集(并增加了盐蒿和大米草的过渡地带的 5 个 1m × 1m 样方), 以比较不

同季节的生物量的差异性。

对盐蒿滩、大米草滩和互花米草滩获得的植物生物量数据与洞穴直径数据分别进行了非参数检验,目的在于判断这三种亚环境的统计数据是否具有显著差异,从而说明引种大米草和互花米草对原有生态系统是否产生了影响。统计分析中采用了抽样调查法,即从总体中随机抽取一定数量的样本来推论总体的特性。由于个体间总是存在差异,因此即使严格遵守随机抽样原则也会抽到一些数值较大或较小的个体,致使样本统计量与总体参数之间有所不同。同时,实验技术和仪器精度也会造成一定的偏差。这样就造成了一个问题,即能否用样本的参数来估计总体参数,或者说样本参数间的差异是否代表了总体参数间的差异,为此进行了假设检验的分析工作。在统计学中,经过检验,如果所得的差异超过了统计学规定的某一误差限度,则表明这个差异已经不属于抽样误差,总体上确实有差异,这种情况叫做差异显著。反之,误差未达到规定的限度,说明差异主要来自抽样误差,称为差异不显著。非参数检验方法是相对于参数检验方法而言的。对于一般的参数统计方法,需要对所研究的总体做一个比较严格的假定,近代统计学发明了对总体分布形状不必做限定性假定的检验技术,就是非参数检验或者叫无分布检验。两个独立样本检验,主要是用于处理“样本所属的总体的分布类型不明但又想知道两个独立样本是否具有相同的分布”这类问题的(中国科学院数学研究所数理统计组,1974)。

3 结果

3.1 剖面形态与表层沉积物粒度变化

剖面形态和植被分带如图 3 所示。在剖面

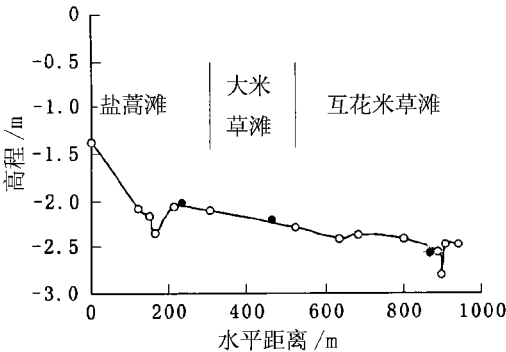


图 3 潮间带断面植被分带特征

●为生物样方采样点

Fig. 3 Distribution of different vegetations along the transection

● sites for plant sampling

上,盐蒿滩、大米草滩和互花米草滩是由海堤向潮间带下部方向依次分布的。

表层底质的中值粒径分布如图 4 所示(图中 0—300m 为盐蒿滩,300—525m 为大米草滩,600m 以后为互花米草滩)。表层底质的粒径分布如图 5 所示(沿断面共采集 21 个样,间隔为 50m,但 20 与 21 站之间为 25m,图中样品编号按照 0m 到 925m 排列)。江苏中部潮滩的一般特征是从海向陆物质变细。但是,在种植了互花米草和大米草的潮间带,从表层一样的粒度整体变化来看,呈现波动状,变化范围很小在 5—6 Φ 之间,并没有明显的向陆变细趋势;从盐蒿滩到大米草滩中心区,表层沉积物变粗,从大米草滩到互花米草滩,物质逐渐变细。这说明由于互花米草捕捉作用,细颗粒沉积物在互花米草滩沉降较多。表层样的粒度分布表明,盐蒿滩(样品 1—7)的细颗粒组分明显小于互花米草滩(样品 13—21),而在大米草滩(样品 8—12)的沉积物则出现了一些相对于碱蓬滩较粗的组分。可见,引种大米草和互花米草改变了王港潮间带的沉积状况。

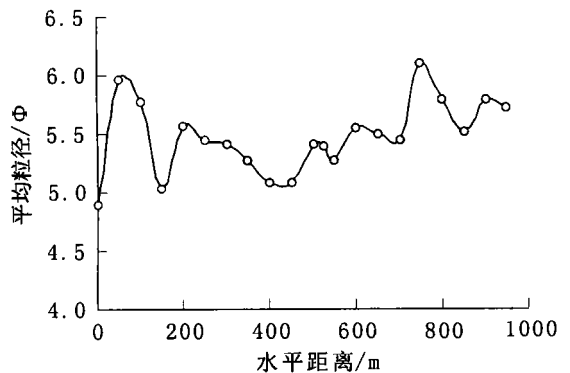


图 4 采样断面上表层底质样中值粒径的分布

Fig. 4 Median grain size of surficial sediment samples, along the transection

3.2 植物指标统计特征

盐蒿、大米草、互花米草样本的生态指标数据如表 1(夏季)、表 2(秋季)所示,其中 I-01—I-05 为盐蒿滩 5 个随机样方的数据,II-01—II-05 为大米草滩 5 个随机样方的数据,III-01—III-05 为互花米草滩随机样方的数据。另外,表 2 中的 I/II-01—I/II-05 表示盐蒿和大米草的过渡地带的信息。

夏季生态系统指标测量结果表明,互花米草群落在生物量上占有绝对优势,干重和湿重比大

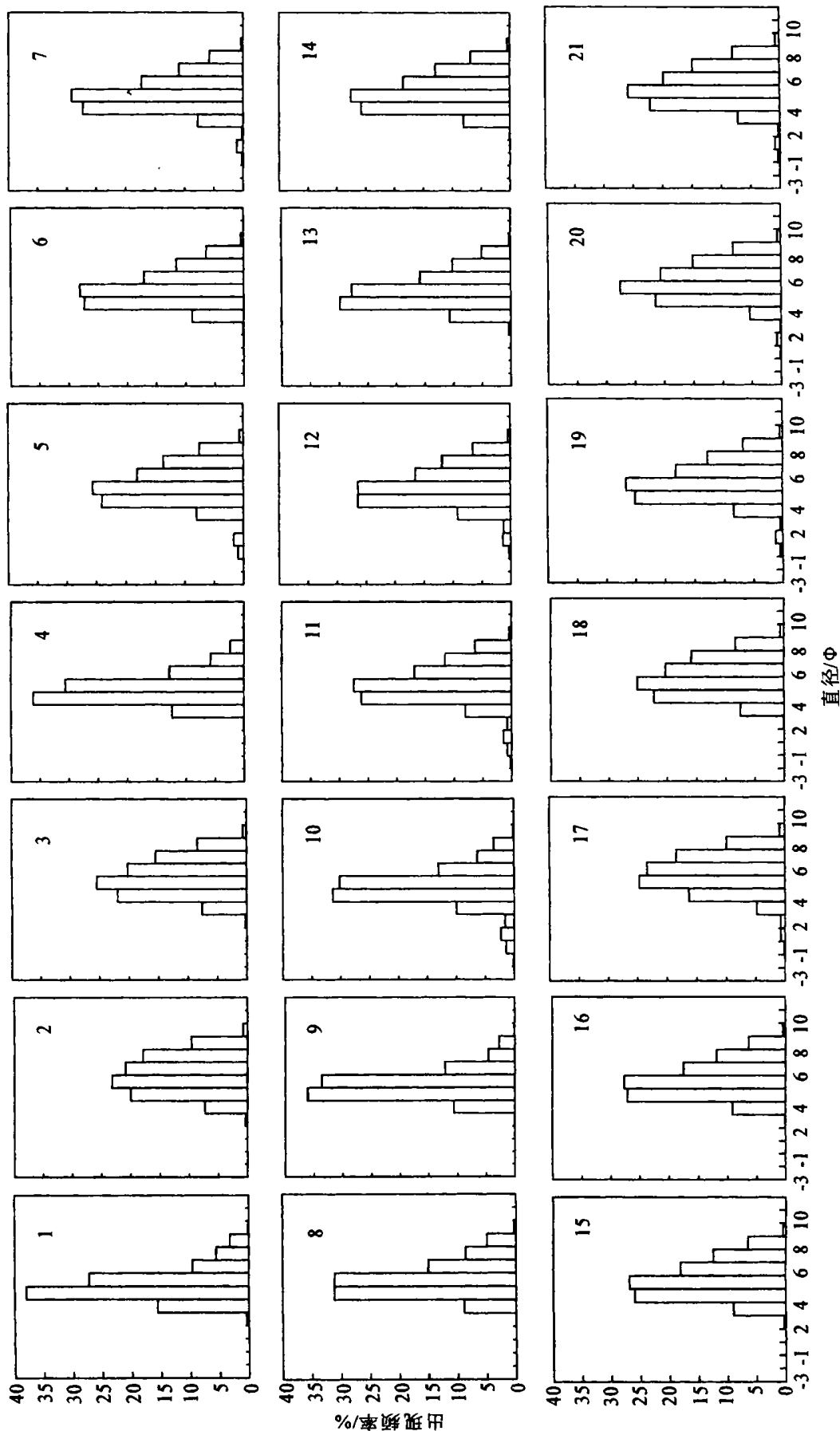


图 5 表层样粒径频率分布
Fig.5 Grain size distributions of the surficial sediment samples

表 1 盐蒿、大米草、互花米草群落样本生态指标测量结果(夏季)

Tab.1 Statistical data of ecological characteristics for summer season

样号	平均株高 (cm)	盖度 (%)	密度 (株/m ²)	洞穴数 (个/m ²)	单位面积湿重 (g/m ²)	单位面积干重 (g/m ²)	净初级生产力 (gC/m ²)
I-01	20	25	82	22	628	92	36.8
I-02	18	10	11	30	447	62	24.8
I-03	22	30	62	15	656	97	38.8
I-04	22	10	35	18	617	92	36.8
I-05	21	17	42	32	809	117	46.8
II-01	10	20	700	21	252	82	32.8
II-02	8.0	10	260	16	352	128	51.2
II-03	8.0	8	216	30	224	96	38.4
II-04	10	30	336	21	384	144	57.6
II-05	7.5	10	252	17	320	112	44.8
III-01	120	100	83	19	3014	815	326
III-02	120	100	57	27	2074	520	208
III-03	120	100	62	30	1764	415	166
III-04	90	90	67	36	1519	325	130
III-05	110	100	94	21	2982	870	348

表 2 盐蒿、大米草、互花米草群落样本生态指标测量结果(秋季)

Tab.2 Statistical data of ecological characteristics for autumn season

样号	平均株高 (cm)	盖度 (%)	密度 (株/m ²)	洞穴数 (个/m ²)	单位面积湿重 (g/m ²)	单位面积干重 (g/m ²)	净初级生产力 (gC/m ²)
I-01	24	20	96	61	242	92	36.8
I-02	22	22	117	42	254	102	40.8
I-03	25	14	76	47	218	87	34.8
I-04	30	14	29	48	347	132	52.8
I-05	23	15	32	43	448	142	56.8
I/II-01	25/13	20	28/31	27	677	187	74.8
I/II-02	24/13	17	3/214	33	307	112	44.8
I/II-03	20/12	10	4/50	35	160	67	26.8
I/II-04	24/12	15	3/150	33	275	102	40.8
I/II-05	24/13	20	7/241	32	240	107	42.8
II-01	18	50	360	47	341	107	42.8
II-02	20	80	666	24	672	197	78.8
II-03	19	85	784	32	710	207	82.8
II-04	18	90	956	39	903	252	100.8
II-05	17	85	765	34	687	202	80.8
III-01	200	100	94	17	5228	2935	1174
III-02	160	90	167	24	3558	1670	668
III-03	180	100	130	20	3728	2045	818
III-04	180	100	112	30	3630	1965	786
III-05	190	100	107	21	3223	1675	670

米草群落和盐蒿群落高出 1 个数量级; 盖度也明显大于盐蒿群落和大米草群落, 在互花米草密集区, 平均盖度几乎为 100%; 互花米草茎秆粗壮高大, 从观测到的上年度残株来看, 可达 2m, 在 7 月也可以达到 1. 2m, 远高于盐蒿和大米草植株。引种互花米草提高了生态系统的生物量、初级生产力和植被覆盖率。大米草的生物量略小于盐蒿, 虽然密度较大, 但是个体矮小, 净初级生产力低; 当地居民反映, 大米草在王港潮间带占据的空间逐年减小, 处于衰退的状态。盐蒿 F02 样方中的株数少, 平均株高也不高, 但是平均单株的湿重和干重数值都比较高; 根据对 5 个样品单株净生产力的比较, 发现单位面积内株数越少, 单株的平均生产力越高。而大米草和互花米草的净初级生产力和单位面积内株数之间的关系则不同, 株数越多, 一般情况下净生产力就越高。

对于盐蒿滩、大米草滩和互花米草滩的地上生物量数据用 SPSS10. 0 软件(张文彤, 2002)进行了非参数检验分析, 取置信区间为 95%。结果表明, 在小于 0. 05 的双侧显著性水平上, 盐蒿滩、大米草滩和互花米草滩三者之间的生物量湿重有显著的区别。而干重的非参数检验表明, 盐蒿滩和大米草滩没有明显区别, 盐蒿滩和大米草滩、大米草滩和互花米草滩有显著区别, 这说明互花米草对于初级生产力的提高更有效。同时, 大米草的干重大于盐蒿, 说明大米草的干物质含量比较高, 这对于提高生态系统的初级生产力有利。

秋季的生态系统测量结果表明, 盐蒿群落的平均株高在秋季大于夏季, 变化幅度为 3—5cm, 而大米草群落和互花米草群落平均株高变化幅度比较大, 大米草群落秋季平均株高秋季比夏季多出 10cm 左右, 互花米草群落则高出 70cm 左右。相对于夏季, 大米草和互花米草的湿重有所增高, 但是盐蒿的秋季湿重平均值明显下降, 而在干重上略有上升, 从夏季平均值 92 g/m² 增长为秋季的 111g/m²。大米草和互花米草干重上升比较明显, 分别从夏季平均值 112. 4g/m²、589g/m² 增长为秋季的 193g/m²、2058g/m²。在净初级生产力指标上大米草和互花米草在秋季大大超过盐蒿, 以互花米草增长最为迅速。可见, 盐蒿在夏季基本上已经处于生长的旺盛阶段, 而大米草和互花米草在秋季才达到最大生物量。秋季湿重数据的非参数检验表明, 盐蒿群落和大米草群落在小于 0. 05 双侧显著性水平上有比较显著的区别, 盐蒿

群落和互花米草群落、大米草群落和互花米草群落有显著区别。但在盐蒿和大米草的过渡地带, 相对于盐蒿群落湿重没有明显的区别, 相对于大米草则有显著区别。干重数据的检验结果与湿重相同。

3. 3 动物洞穴直径统计特征

表 3 中的夏季数据是将每一组样方的五组洞穴统计数据合并, 计算得每一组样方的平均洞穴数, 并对每一组的洞穴直径数据求得平均值与标准偏差。大米草滩和互花米草滩的生物洞穴直径平均值略小于盐蒿滩, 说明盐蒿滩的底栖掘穴动物种类与个体大小与大米草滩、互花米草滩有差异, 从平均水平上看个体较大。另外, 从三者单位面积上洞穴数比较, 互花米草滩最多, 盐蒿次之, 大米草最少。大米草滩和互花米草滩的特征参数结果相似, 说明这两种植物对生态系统底栖掘穴生物的影响具有一定的相似性。

表 3 生物洞穴直径统计的基本参数(夏季)
Tab. 3 Statistical parameters for the animal burrows
(summer season)

滩面类型	单位面积 洞穴个数 (个/m ²)	平均洞穴直径 (cm)	标准偏差
盐蒿滩	23. 4	1. 884	1. 766
大米草滩	21	1. 675	0. 852
互花米草滩	26. 6	1. 620	0. 853

夏季数据直方图统计结果(图 6)显示, 洞穴直径的分布有较大的差异性。盐蒿滩(图 6a)的动物洞穴直径呈现偏左的单峰形态, 标准偏差为 1. 77。从分布上来看, 0—10. 0cm 范围内均有分布, 主要分布在 0—3. 5cm 之间, 其中 0. 5—1. 0cm 分布频率最高。由于洞穴直径与动物个体大小相近, 故优势种的个体大小大约为 0. 5—1. 0cm; 大米草滩(图 6b)掘穴动物洞穴直径分布亦呈现略偏左的单峰形态, 但离散程度小, 标准偏差为 0. 85, 全部在 0—4. 5cm 范围内分布, 集中分布在 0—3. 0cm 之间, 且在 1. 0—1. 5cm 之间出现了峰值, 优势种的个体大小大约在 1. 0—1. 5cm 之间。从整体上比较, 大米草滩动物洞穴直径分布比盐蒿滩集中, 直径分布范围小, 频率曲线较对称。互花米草滩(图 6c)掘穴动物洞穴直径的分布较对称, 峰值在当中, 标准偏差和大米草滩一样为 0. 85, 在 0—4. 0cm 范围内分布, 峰值位于 1. 5—

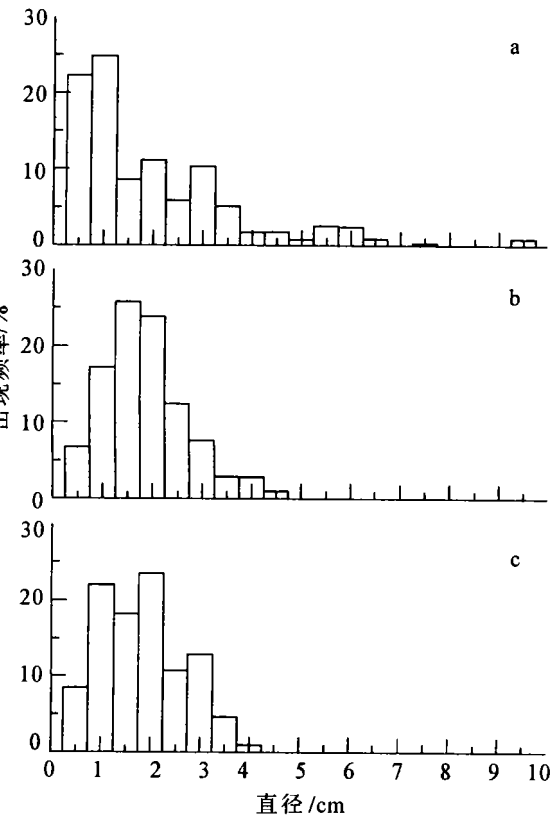


图 6 滩面动物洞穴直径频率分布图(夏季):
(a) 盐蒿滩; (b) 大米草滩; (c) 互花米草滩
Fig. 6 Frequency of occurrence of the animal burrow diameters (summer season) for: (a) *Suaeda salsa* flat; (b) *Spartina anglica* flat; and (c) *Spartina alterniflora* flat

2.0cm, 优势种个体大小大约为 0.5—2.0cm。与盐蒿滩相比, 互花米草滩动物洞穴的直径分布同样频率曲线呈现比较对称、直径分布范围比较小的特点。可见, 引种大米草和互花米草以后减小了动物洞穴直径的离散性, 使之均匀化; 动物洞穴直径的取值范围和平均值有所减小, 频率曲线变得对称, 说明引种后对生态系统的底栖动物种类和个体大小产生了一定的影响, 优势种的个体变大, 个体间差异减小, 分布对称、均匀。另外, 大米草滩的平均动物洞穴数比盐蒿滩略有减少, 互花米草滩略有增大, 说明互花米草有利于底栖动物的繁衍。互花米草滩和 大米草滩掘穴动物洞穴直径分布有一定的差异性, 互花米草滩在各个组内分布较均一, 大米草滩的洞穴直径分布则呈现偏左的单峰形态, 与盐蒿滩相似, 说明互花米草对原环境的底栖动物影响更明显。应注意的是, 洞穴统计结果的差异有可能是由于潮滩动物的迁徙造成的, 需要对潮间带生物的迁徙进行研究。

动物洞穴为近圆形, 且洞穴面积大小与动物的个体大小有关, 对于某种底栖动物来说, 其生物量可用洞穴的面积来衡量。把直径数据转换为洞穴面积数据进行的非参数检验结果表明, 夏季盐蒿底栖掘穴动物洞穴面积分布与大米草滩、互花米草滩有明显差异。盐蒿滩和 大米草滩的显著水平高于盐蒿滩与互花米草滩的值, 说明盐蒿滩与互花米草滩之间的差异性更大。实地观测显示, 锥螺在 大米草滩呈密集分布, 在互花米草滩几乎没有分布, 盐蒿滩则有较密集 的分布。据当地居民介绍沙蚕一般只在互花米草滩内分布, 这些事实可以部分验证上述结果。大米草滩和互花米草滩掘穴动物洞穴面积未见显著的差异, 说明二者的底栖动物生物量分布相似。

秋季盐蒿滩和 大米草滩的单位面积洞穴个数明显多于夏季, 互花米草滩则有一定的下降(表 4)。洞穴的平均直径盐蒿滩秋季比夏季有明显减小, 大米草滩和互花米草滩的平均直径略有减小。标准偏差盐蒿滩秋季比夏季有明显减小, 说明洞穴直径分布更集中, 大米草滩标准偏差有所增大, 互花米草滩略有减小。

表 4 生物洞穴直径统计的基本参数(秋季)
Tab. 4 Statistic parameters of the animal borrows (autumn season)

滩面类型	单位面积 洞穴个数 (个/m ²)	平均洞穴直径 (cm)	标准偏差
盐蒿滩	60.2	0.961	0.698
盐蒿/大米草 滩过渡带	32.0	1.155	0.776
大米草滩	35.2	1.485	1.061
互花米草滩	22.4	1.471	0.758

从直方图统计结果(图 7)来看, 秋季底栖动物的洞穴直径主要分布范围比夏季有所减小, 主要集中在 0.5—5.5cm 之间。盐蒿滩的洞穴分布主要集中在 0.5—2.0cm 之间, 以 0—0.5cm 最多; 盐蒿滩和 大米草滩的交界地带也主要分布在 0.5—2.0cm 之间, 但以 0.5—1.0cm 最多, 说明大米草从总体上提高了动物的个体大小; 大米草滩的分布比较零散, 0—7.0cm 均有分布, 主要集中在 0—2.5cm 之间; 互花米草滩的洞穴分布范围很小, 在 0—3.5cm 之间, 而且最大值分布在 0.5—1.5cm 之间。秋季的洞穴面积非参数检验表明, 盐

蒿滩和大米草滩在小于 0.01 的水平上有显著区别, 盐蒿滩与盐蒿滩/大米草滩交界带的洞穴面积没有明显区别, 互花米草滩与盐蒿滩/大米草滩交界带在 0.05—0.01 的水平上有比较显著区别, 大米草滩与盐蒿滩/大米草滩交界带在低于 0.01 的水平上有显著区别。在洞穴分布特征上, 大米草滩和互花米草滩没有明显区别。

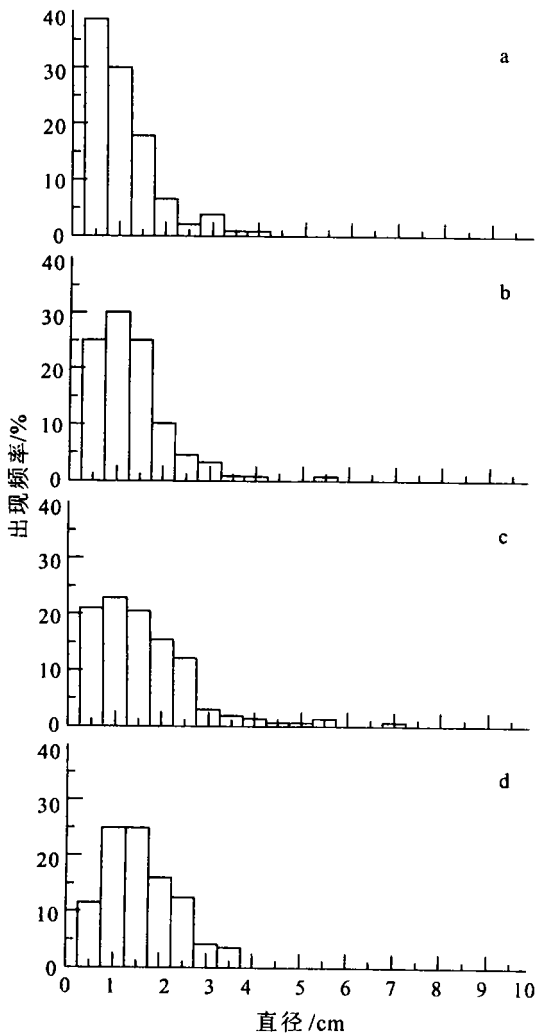


图 7 滩面动物洞穴直径频率分布图(秋季):
(a) 盐蒿滩; (b) 盐蒿滩/大米草滩; (c) 大米草滩;
(d) 互花米草滩

Fig. 7 Frequency of occurrence of the animal burrow diameters (autumn season) for: (a) *Suaeda salsa* flat; (b) *Suaeda salsa* / *Spartina anglica* flat; (c) *Spartina anglica* flat; and (d) *Spartina alterniflora* flat

4 讨论

4.1 王港潮间带生态演化趋势

王港潮滩现在形成了盐蒿、大米草和互花米

草的竞争关系。三种植物中, 互花米草的竞争力远远大于盐蒿和大米草, 因为互花米草可以提供庞大的净初级生产力。实地观察发现, 在盐蒿滩和大米草滩的交界处这样的潮滩上部, 互花米草依然可以沿着潮沟蔓延至此, 并在潮沟附近生长良好, 这说明互花米草沿着潮沟进行蔓延是它得以占据潮滩更高部位的一种途径。另外, 据当地居民观察, 大米草滩近年来呈现衰退趋势, 逐渐被互花米草滩所取代, 而盐蒿由于存在空间上的种内竞争, 当和其他种类竞争时, 很可能会处于下风, 因此相比之下互花米草更有可能占据大多数滩面。

4.2 引种米草对底栖掘穴动物的影响

从洞穴统计数据中获得了一定的底栖掘穴动物信息, 因为洞穴直径说明了占据洞穴的生物的个体大致大小和活动强度。但是, 在洞穴直径如何反映底栖生物的种类和生物量方面还存在很多问题, 比如种属鉴定、动物的迁徙与洞穴的共用等。也可以利用洞穴这个媒介来了解生物种类, 因为洞穴的不同形状可能对应于不同的动物。在研究区内, 洞穴形态可以被分为几种类型, 洞穴形状代表了居住在洞穴中的动物的大小和生活习性, 因此有可能通过统计不同种类的洞穴大小来获得底栖动物的信息。

洞穴形态问题衍生出许多有待研究的问题: 1) 沉积物的性质对洞穴的影响。用砂质物质筑穴比用泥质物质更困难, 因为会发生坍塌, 这就对洞穴的形态和深度产生了影响, 而引种米草对沉积物的组分是有影响的, 从而进一步影响底栖掘穴动物的行为。2) 洞穴建造所需时间长度和洞穴的持续性(可通过对动物掘穴过程的观察进行研究。3) 泥沙混合滩与米草滩、盐蒿滩生态特征的比较。泥沙混合滩的初级生产力很低, 与米草这样的高生产力生态系统区别很大。

5 结论

(1) 互花米草的引种显著提高了江苏王港盐沼的净初级生产力, 产出的植物干重和湿重比大米草群落和盐蒿群落高出 1 个数量级。

(2) 盐蒿滩、大米草滩和互花米草滩三种亚环境掘穴动物洞穴分析表明, 互花米草滩洞穴最多, 盐蒿次之, 大米草最少。大米草滩和互花米草滩的洞穴直径特征参数结果相似。大米草和互花米草生长区动物洞穴直径的离散性减小, 优势种

的个体变大,个体间差异减小。

(3) 引种大米草和互花米草改变了王港潮间带的表层底质的粒度分布格局,对水动力和沉积动力条件具有明显的改造作用。

致谢 本项研究中,南京大学海岸与海岛开发教育部重点实验室汪亚平、李占海、杨、李婧、陈平平、左浩等参加了野外采样工作,牛战胜在图片绘制上提供了帮助,本文的审稿专家提出了中肯的修改意见,谨致谢忱。

参 考 文 献

- 陈才俊, 1991. 江苏淤长型淤泥质潮滩剖面发育. 海洋与湖沼, 22(4): 360—367 [Chen C J, 1991. Tidal flat profile development on the accretional coast of Jiangsu. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 22(4): 360—367]
- 季子修, 蒋自巽, 朱季文等, 1994. 海平面上升对长江三角洲附近沿海潮滩和湿地的影响. 海洋与湖沼, 25(6): 582—589 [Ji Z X, Jiang Z Z, Zhu J W *et al.*, 1994. Impact of sea level rise on the tidal flats and wetlands adjacent to the Changjiang delta. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 25(6): 582—589]
- 彭少麟, 向言词, 1999. 植物外来种入侵及其对生态系统的影响. 生态学报, 19(4): 560—568 [Peng S L, Xiang Y C, 1999. Invading species and their impact on the ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 19(4): 560—568]
- 钦佩, 仲崇信, 1992. 米草的应用研究. 北京: 海洋出版社, 1—158
- 任美镔(主编), 1986. 江苏省海岸带与海涂资源综合调查报告. 北京: 海洋出版社, 18—86
- 任美镔, 张忍顺, 杨巨海, 1984. 江苏王港地区淤泥质潮滩的沉积作用. 海洋通报, 3(1): 40—54 [Ren M E, Zhang R S, Yang J H, 1984. Sedimentation on the mudflats at Wanggang, Jiangsu coast. *Marine Science Bulletin*, 3(1): 40—54]
- 沈永明, 刘咏梅, 陈全站, 2002. 江苏沿海互花米草(*Spartina alterniflora* Loisel) 盐沼扩展过程的遥感分析. 植物资源与环境学报, 11(2): 33—38 [Shen Y M, Liu Y M, Chen Q Z, 2002. The expansion of *Spartina alterniflora* Loisel marsh on the Jiangsu coast: remote sensing analysis. *Plant Resources and Environment*, 11(2): 33—38]
- 时 钟, 1997. 海岸盐沼植物单向恒定水流流速剖面. 泥沙研究, 3: 82—88 [Shi Z, 1997. Unidirectional current profiles associated with coastal marsh plants. *Journal of Sediment Research*, 3: 82—88]
- 宋连清, 1997. 互花米草及其对海岸的防护作用. 东海海洋, 15(1): 11—19 [Song L Q, 1997. Cord grass, *Spartina alterniflora* and its protection to the coast. *Journal of East China Sea*, 15(1): 11—19]
- 童远瑞, 孟文新, 徐 琴, 1985. 大米草潮间带的动物调查. 南京大学学报专辑(米草研究的进展), 133—140 [Tong Y R, Meng W X, Xu Q, 1985. Investigation of intertidal cord grass marsh animals. *Journal of Nanjing University (SI on Cord Grass Research)*, 133—140]
- 王长永, 仲崇信, 钦 佩, 1994. 米草光合作用速率季节变化及其对初级生产力的影响. 农村生态环境, 10(3): 14—17 [Wang C Y, Zhong C X, Qin P, 1994. Seasonal changes in the rate of photosynthesis of cord grass and their impact on primary production. *Countryside Ecological Environment*, 10(3): 14—17]
- 王 颖, 朱大奎, 1990. 中国的潮滩. 第四纪研究, 4: 291—300 [Wang Y, Zhu D K, 1990. Tidal flats in China. *Quaternary Research*, 4: 291—300]
- 许世远, 陈振楼, 1997. 中国东部潮滩沉积特征与环境功能. 云南地理环境研究, 9(2): 7—11 [Xu S Y, Chen Z L, 1997. Tidal flat sedimentation and its environmental functioning, eastern China. *Yunnan Geographical Environment Research*, 9(2): 7—11]
- 杨桂山, 施雅风, 张 琛, 2002. 江苏滨海潮滩湿地对潮位变化的生态响应. 地理学报, 57(3): 325—332 [Yang G S, Shi Y F, Zhang C, 2002. Ecological response of Jiangsu coastal mudflats and wetlands to tidal water level changes. *Acta Geographica Sinica*, 57(3): 325—332]
- 杨世伦, 1987. 海滨盐沼沉积物的特征. 地理科学, 7(4): 374—382 [Yang S L, 1987. Sediment characteristics of coastal salt marshes. *Geographical Science*, 7(4): 374—382]
- 杨世伦, 陈吉余, 1994. 试论植物在潮滩发育演变中的作用. 海洋与湖沼, 25(6): 631—634 [Yang S L, Chen J Y, 1994. The role played by plants in tidal flat development and evolution. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 25(6): 631—634]
- 张文彤, 2002. SPSS11 统计分析教程(基础篇). 北京: 希望电子出版社, 1—302
- 仲崇信, 1985. 大米草简史及国外研究概况. 南京大学学报(米草研究的进展), 1—30 [Zhong C X, 1985. A short history of cord grasses and the research progress abroad. *Journal of Nanjing University (SI on Cord Grass Research)*, 1—30]
- 中国科学院数学研究所数理统计组, 1974. 回归分析方法. 北京: 科学出版社, 1—147
- Allen J R L, 2000. Morphodynamics of Holocene salt marshes: a review sketch from the Atlantic and Southern North Sea coasts of Europe. *Quaternary Science Reviews*, 19: 1155—1231
- Hemminga M A, Van Soelen J, Maas Y E, 1998. Biomass production in pioneer *Spartina anglica* patches: evidence for

- importance seston particle deposition. Estuarine Coastal and Shelf Science, 47: 797—805
- Leonard L A, Raiche A W, Luther M E, 1995. Surficial sediment transport and deposition processes in *Juncus roemerianus* marsh, west central Florida. Journal of Coastal Research, 11: 322—336
- Knuston P L, Brochu R A, Seelig W N *et al.*, 1982. Wave damping in *Spartina alterniflora* marshes. Wetland, 2: 81—104
- Oenema O, Delaune R D, 1988. Accretion rates in salt marshes in the eastern scheldt, south-west Netherland. Estuarine Coastal and Shelf Science, 26: 379—394
- Netto S A, Lana P C, 1997. Influence of *Spartina alterniflora* on superficial sediment characteristics of tidal flats in Paranagua bay (south-eastern Brazil). Estuarine Coastal and Shelf Science, 44: 641—648

TIDALFLAT ECOLOGICAL CHANGES BY TRANSPLANTING *SPARTINA ANGLICA* AND *SPARTINA ALTERNIFLOREA*, NORTHERN JIANGSU COAST

CHEN Yi-Ning, GAO Shu, JIA Jian-Jun, WANG Ai-Jun

(Ministry of Education Key Laboratory for Coast and Island Development, Nanjing University, Nanjing, 210093)

Abstract In order to evaluate the impact of artificially introduced cord grasses on coastal wetland ecosystem of Jiangsu Province, eastern China, a transection on the upper intertidal zone, 950 m long spanning three types of vegetation covers (i. e. *Suaeda salsa*, *Spartina anglica* and *Spartina alterniflora* flats), was established at Wanggang, Jiangsu, in a multi-disciplinary investigation. In summer and autumn 2003, surficial sediment and plant samples were collected, the bed morphology was surveyed by leveling, and the size of animal burrows (mainly formed by marsh crabs) was measured in the study area. Grain size was analyzed in laboratory, and above ground biomass of the tidal flat plants, and the distribution patterns of the animal burrow sizes were also studied.

The bed was covered mainly with silty sediments on all the three types of flats. The sediment was finer on *Spartina alterniflora* flat which is located in lower part of the transection, than on *Suaeda salsa* and *Spartina anglica* flats. Before the cord grasses were introduced, the bottom sediment had a coarsening trend from higher part to lower part of the intertidal zone. Therefore, the presence of the cord grass *Spartina anglica* favors the accumulation of fine-grained materials and has modified the original sediment distribution of the flat.

The above ground biomass of the three different biotic communities shows that the net primary production on *Spartina alterniflora* flat was the highest, reaching the order of 2×10^2 gC/m² in summer and 8×10^2 gC/m² in autumn, indicating rapid increase during summer and early autumn. These values were significantly higher than those of the *Suaeda salsa* and *Spartina anglica* flats, where the net primary production was in the order of 4×10^1 gC/m² in summer and 5×10^1 gC/m² in autumn. The growth of the plants on these flats slowed down after July. The facts indicate that the biomass or net primary production on the tidal flat has been enhanced significantly since *Spartina alterniflora* was transplanted.

Non-parameter test of the animal burrow size (mainly crab burrows) suggests that the burrows on the *Suaeda salsa* flat were significantly different from those on the *Spartina anglica* and *Spartina alterniflora* flats, but there was no significant difference between *Spartina anglica* and *Spartina alterniflora* flats. In the summer, the burrows on the *Suaeda salsa* flat were larger but fewer; in the autumn, the burrows were smaller, with a significant increase in number. Thus, the introduction of the cord grasses has changed the burrow sizes and its seasonal variation of the salt-marsh animals. Nevertheless, the relatively stable distribution of the burrows on both *Spartina anglica* and *Spartina alterniflora* flats indicates that the marsh crabs could well adapted to the new environment. However, more studies are required to understand the ecosystem structure and functioning in response to marsh vegetation changes.

Key words *Spartina anglica*, *Spartina alterniflora*, Tidal flat ecosystem, Jiangsu coast