

上海地区外来种互花米草的分布现状

李贺鹏 张利权* 王东辉

(华东师范大学河口海岸国家重点实验室, 上海 200062)

摘要: 遥感技术(RS)现已广泛应用于海岸带资源调查、资源与环境动态监测以及滩涂植被定量分析。作者应用2003年8月2日Landsat5-TM多光谱遥感影像, 利用遥感处理软件ERDAS Imagine 8.6TM, 经几何校正和分幅裁剪等图像预处理后, 采用监督分类和目视解译相结合的方法对上海地区互花米草(*Spartina alterniflora*)扩散现状进行解译分析, 并结合全球定位系统(GPS)样点定位, 对解译结果进行全面的野外验证和修正。同时, 应用地理信息系统(GIS)对解译结果进行数据合成, 统计出互花米草分布区域及面积等数据。实际调查与分析统计显示: 上海地区互花米草群落总面积(2003年)为4,553.37 hm², 占滩涂植被总面积的22.1%。除了崇明西滩和横沙岛外, 互花米草群落已广泛分布于长江河口地区, 其中南汇边滩最多, 为2,069.01 hm², 其次是崇明东滩和九段沙, 分别为910.17 hm²和769.05 hm²。人工引种是互花米草种群在上海地区滩涂成功扩散的重要原因。大尺度的上海滩涂互花米草群落空间分布现状及其数量调查为外来物种的宏观定量调查提供了有效的手段, 也为上海市滩涂资源生物多样性保护和可持续开发利用提供了科学依据。

关键词: 生物入侵, 外来种, *Spartina alterniflora*, 遥感分析, 地理信息系统

Distribution of an exotic plant *Spartina alterniflora* in Shanghai

Hepeng Li, Liquan Zhang*, Donghui Wang

State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062

Abstract: Remote sensing, in conjunction with Geographical Information Systems (GIS) and Global Positioning Systems (GPS), has been used successfully in many studies on coastal resources, dynamical monitoring of the environment, and quantifying tidal flat vegetation. We investigated the potential of using multispectral satellite remote sensing to map and quantify an exotic plant, *Spartina alterniflora*, on tidal flats in Shanghai. A Landsat5-Thematic Mapper image, dated 2nd August 2003, was geometrically corrected using ERDAS Imagine 8.6, and a sub-sample of the study area was then extracted. The sub-image was then analyzed using a Tassel Cap transformation (K-T) and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was used to identify different types of salt marsh vegetation. Based on these results, a series of classes were identified and a supervised classification was carried out using the Maximum Likelihood Classifier in ERDAS Imagine. The results of the classification were then checked using an *in situ* field survey of selected areas. The classification had an overall accuracy of 80%. The classified image was then integrated with other data in a GIS to analyze the spatial distribution of the *S. alterniflora* communities in Shanghai. The results showed that the total area of the *S. alterniflora* community in Shanghai was 4,553.37 hm² in 2003, which accounted for 22.1% of the total vegetation on tidal flats. Excepting Chongming Xitan and Hengsha Island, the *S. alterniflora* community was distributed extensively on the tidal flats in the Changjiang Estuary. Nanhui Biantan accounted for 2,069.01 hm²; Chongming Dongtan, 910.17 hm² and Jiuduansha, 769.05 hm². The distribution pattern of *S. alterniflora* showed that anthropogenic transplantation and the rapid proliferation of clones could be the main cause for successful expansion of this exotic. The results of this research indicate the potential of this approach for providing timely data for quantitative inventory of invasive plants over large areas, and a scientific basis for biodiversity protection and sustainable utilization of tidal flats resources.

收稿日期: 2005-09-27; 接受日期: 2005-11-28

基金项目: 上海市科委重大项目(04DZ19304 和 04DZ12049)和“十五”“211 工程”重点学科建设子项目

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: lqzhang@sklec.ecnu.edu.cn

Key words: biological invasion, exotic plant, *Spartina alterniflora*, remote sensing analysis, GIS

生物入侵对当地生态系统造成了巨大破坏, 已成为影响未来经济发展的六大环境问题之一, 是国内外学者关注的热点(Gewin, 2005; Mooney *et al.*, 2005)。互花米草(*Spartina alterniflora*)隶属禾本科米草属, 是一种多年生草本植物, 原产美国大西洋沿岸, 适宜生活在潮间带。互花米草根系庞大, 植株生长稠密, 具有很好的促淤效果, 1979年引入我国, 用于固滩、护堤等方面, 并取得了很好的效果(唐廷贵和张万钧, 2003)。然而, 近年来互花米草在上海沿海地区迅速扩散, 目前已有对当地自然生态系统带来负面影响的研究报道(Chen *et al.*, 2004; Ma *et al.*, 2004; 陈中义等, 2005)。互花米草的迅速扩散, 不仅给当地自然生态系统带来影响, 同时也给滩涂养殖等带来直接经济损失(Callaway & Josselyn, 1992; Daehler & Strong, 1996; Chen *et al.*, 2004)。

关于上海地区的互花米草, 一些学者已对其生理生态、种间竞争和扩散机制等方面进行了研究(Chen *et al.*, 2004; 陈中义等, 2005)。然而, 大尺度的群落空间分布现状及其数量调查尚未见报道。遥感卫星对地观测具有独特的宏观、快速、动态、综合的优势, 同时也具有实时性、大面积监测等特点, 现已广泛应用于海岸带资源调查、资源与环境动态监测以及滩涂植被定量分析(Teillet *et al.*, 2000; 江洪等, 2004)。遥感技术是在大尺度上获得植被信息的重要方法, 已用于研究互花米草的分布与动态(Daehler & Strong, 1996; 沈永明等, 2002; Ayres *et al.*, 2004)。本研究应用遥感技术对上海地区互花米草扩散现状进行解译分析, 并结合全球定位系统样点定位, 对解译结果进行全面的野外验证和修正。应用地理信息系统对解译结果进行数据合成, 以期宏观定量调查外来物种提供有效的手段, 为上海市滩涂资源生物多样性保护和可持续开发利用提供科学依据。

1 区域概况与研究方法

1.1 研究区域

上海市地处120°51'–122°12' E, 30°40'–31°53'

N, 南濒杭州湾, 东临东海, 是长江三角洲冲积平原的一部分, 平均海拔为4 m左右(吴淞标高)。上海的江、海岸线总长526.7 km, 包括大陆和各个岛屿的岸线, 其中大陆岸线172.3 km, 岛屿岸线354.4 km。长江携带的大量泥沙在河流与海洋动力相互作用下, 在长江口和杭州湾的潮间带和潮下带地区沉积, 形成滩涂湿地。上海地区的滩涂湿地主要分布在崇明岛的东部和北部、扁担沙、九段沙、横沙岛东部、长兴岛北岸和西部、南汇边滩和杭州湾北岸(图1)。

上海地区位于暖温带向亚热带的过渡带, 属东亚季风气候区, 东亚季风盛行, 受冷暖空气交替影响, 四季分明, 春季温暖多雨, 夏季炎热湿润, 秋冬寒冷。沿海滩涂湿地的年均温为15–16℃, 有效积温5,100℃, 无霜期240 d, 年降雨量在900–1,050 mm。土壤盐度在3–6‰, 沉积物多由粉砂组成, 有机质含量较高。由泥沙淤积而成的滩涂湿地, 地势低平, 坡度为0.02–0.05%, 这为湿地植物的生长、发育和繁殖提供了良好的条件。

上海滩涂植物以芦苇(*Phragmites australis*)、海三棱藨草(*Scirpus mariqueter*)和外来植物互花米草为优势种群, 其他还有藨草(*S. triqueter*)、糙叶苔草(*Carex scabrifolia*)、灯心草(*Juncus setchuensis*)、白茅(*Imperata cylindrica*)和碱蓬(*Suaeda glauca*)等。

1.2 研究方法

1.2.1 数据源及预处理

本研究的数据源采用2003年8月2日低潮位时段的TM卫星多光谱遥感影像, 参考2002年地形图(比例尺1:12万)设置控制点, 进行遥感影像的统一配准和几何校正。为了达到对滩涂植被的准确分类, 采用ERDAS 8.6TM的区域选择工具(AOI)并结合上海地形图, 裁剪处理进行单独识别和分类。

分别对图像进行最佳波段假彩色合成、缨帽变换和归一化植被指数的增强处理。在缨帽变换的基础上, 参照假彩色合成和植被指数的光谱信息, 结合野外采集的滩涂植被光谱特征研究结果(高占国和张利权, 2006), 利用遥感处理软件

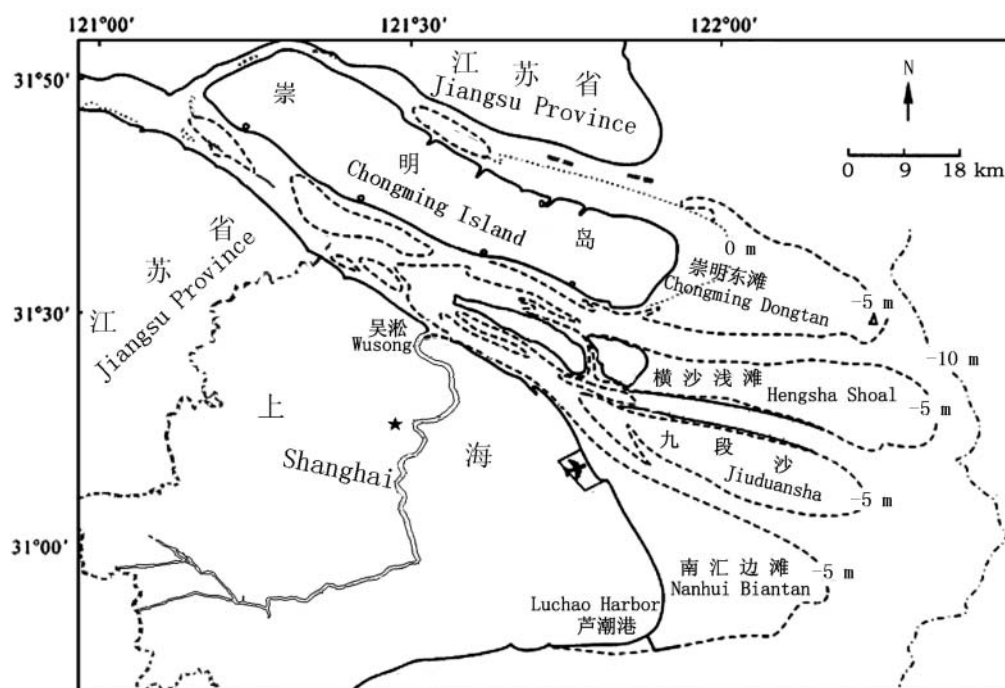


图1 上海地区滩涂分布图与研究区域(—、····、---、- - - 分别代表大堤、0 m、-5 m和-10 m等深线)

Fig. 1 The distribution of tidal flats in Shanghai and the study area. —, ·····, ---, - - - indicate the dyke, 0 m, -5 m, and -10 m isobaths, respectively.

ERDAS中的窗口关联功能,选取训练样区定义分类模板,采用最大似然法对影像进行监督分类。解译出水体、浅滩、光滩、人工堤坝、芦苇群落、互花米草群落和海三棱藨草群落等不同的地物信息。然后在此基础上通过目视解译纠正出现的误分类现象。

1.2.2 分类精度评价与野外验证

用基于误差矩阵的方法进行分层随机采样,对所有的分类影像和经过修正后的分类结果都进行了评价,并且通过全面野外考察进行检验。分析评价显示:初步分类影像精度在65%左右,而经过实地考察,数据修正处理后的最终分类结果精度可达到80%以上,能较好满足规划部门对植被分类的精度要求。

解译分类完成后,于2004年11月进行了野外实地验证,核对检验分类结果。此时芦苇与互花米草、海三棱藨草群落季相差异明显。野外实地校正共设样点134个,其中长江口南岸31个,崇明岛35个,长兴岛29个,横沙岛22个,九段沙17个。

应用全球定位系统(GPS)精确定位样点,现场对照分析初步分类结果的准确性,并调查记录植物群落空间结构、分布格局和植被生长状况等相关信息。根据实地调查对解译分类结果进行修正,得到最终解译分类结果。

1.2.3 数据合成处理

在解译及精度评价后,应用地理信息系统(GIS)处理软件ARC/VIEW3.2,对解译结果进行数据合成,得到上海滩涂植被类型分布现状图,并统计出各区域互花米草群落及其他滩涂植被的面积以及上海市滩涂植被总面积。

2 结果

截至2003年,上海地区滩涂植被总面积约为20,609.46 hm^2 ,其中互花米草群落的面积为4,553.37 hm^2 ,占滩涂植被总面积的22.09%(表1)。上海地区互花米草群落主要分布在南汇边滩、河口沙洲中崇明岛的东滩和北滩、九段沙的中沙和下沙,此外,杭州湾北岸和长兴岛北部中央沙的

表1 上海地区滩涂植被总面积以及互花米草群落分布面积
Table 1 Total area of tidal flat vegetation and that of *Spartina alterniflora* community in Shanghai

	滩涂植被 Tidal flat vegetation (hm^2)	互花米草群落 <i>Spartina alterniflora</i> community	
		面积 Area (hm^2)	比例 %
上海市陆缘 Mainland edge in Shanghai			
杭州湾北岸 North bank of Hangzhou Bay (A)	594.45	405.09	68.1
南汇边滩 Nanhui Biantan (B)	5,230.80	2,069.01	40.0
崇明岛 Chongming Island			
崇明东滩 Chongming Dongtan (C)	2,751.39	910.17	33.1
崇明北滩 Chongming Beitan (D)	2,644.38	328.77	12.4
崇明西滩 Chongming Xitan (E)	2,664.72	0	0
长江河口沙洲 Shoals in the Changjiang River			
长兴岛 Changxing Island (F)	2,306.52	71.28	3.1
横沙岛 Hengsha Island (G)	849.78	0	0
九段沙 Jiuduansha (H)	3,567.42	769.05	21.6
总计 Total	20,609.46	4,553.37	22.1

滩涂上也有少量分布(图2, 3)。

2.1 上海市陆缘滩涂

上海市陆缘滩涂植被主要分布在南汇边滩和杭州湾北岸(表1), 此外, 浦东新区一宝山沿岸大堤外也有少许滩涂植被。

从金山石化总厂到奉贤星火开发区的杭州湾北岸正经历着高强度的围垦和开发, 吴淞标高 2 m 以上的滩涂基本已被围垦。该区域滩涂植被总面积为 594.45 hm^2 , 其中互花米草群落面积为 405.09 hm^2 , 占滩涂植被总面积的 68.1%(图2A)。其分布格局为: 大堤附近芦苇群落呈带状分布, 外侧为互花米草群落; 金山石化总厂和上海化学工业区附近滩涂上互花米草群落比例较高, 约占 70–80%, 其他区域互花米草群落约占 50% 左右。

南汇边滩南起汇角, 北至浦东国际机场。因其介于长江口和杭州湾之间, 是长江口与杭州湾两股水流涨潮分流和落潮合流的缓流地区, 该区域滩涂每年以 80 m 以上的速度向海扩展, 滩涂植被以相应的速度向外扩展。该区域滩涂植被总面积为 5,230.80 hm^2 , 其中互花米草群落面积为 2,069.01 hm^2 , 约占植被总面积的 40.0%(图2B)。南汇边滩也正经历着高强度的围垦和开发, 2004 年芦潮港南汇嘴东滩的人工半岛圈围造地的二期工程(临港新城)已圈围了大片的滩涂植被, 新建大堤外侧为仅有 20–30 m 宽的互花米草群落带。东海农场和朝阳农场等地已圈围至吴淞标高 0 m 线左右, 新建大堤外基本上已无滩涂植被。

浦东新区一宝山沿岸是上海市围垦强度最高的地区, 吴淞标高 0 m 线以上部分基本被圈围。仅一些河口区域和丁坝内侧出现一些滩涂植被(约 384.75 hm^2), 主要是零星的芦苇群落和海三棱藨草群落, 没有发现互花米草的分布(图2C)。

2.2 崇明岛周缘滩涂

崇明岛的滩涂植被主要分布在东部、北部和西部, 分别称为崇明东滩、崇明北滩和崇明西滩(图2D、G、F)。

崇明东滩包括从奚家港至北八滙的堤外滩涂, 是国际重要湿地, 现已成为国家级自然保护区。崇明东滩滩涂植被总面积为 2,751.39 hm^2 , 其中互花米草群落为 910.17 hm^2 , 约占植被总面积的 33.1%(图2D)。互花米草群落主要分布在东滩的东北部, 宽度约 1,600 m, 其分布区接近海三棱藨草生长的下限。沿 98 大堤外拐角向西北至北八滙, 互花米草群落的分布由宽逐渐变窄, 大堤附近为狭窄的带状芦苇, 最外侧为斑块状分布的海三棱藨草。

崇明北滩包括从北八滙至新隆沙西端的堤外滩涂, 该区域滩涂植被总面积为 2,644.38 hm^2 , 其中互花米草群落为 328.77 hm^2 , 占滩涂植被总面积的 12.4%(图2G)。黄瓜二沙为新生的沙洲, 其主要滩涂植被为人工引种的互花米草群落。黄瓜一沙已部分被圈围, 堤内外主要是芦苇群落, 新隆沙北侧分布着较窄的芦苇群落。这两区域尚未发现有互花米草分布。

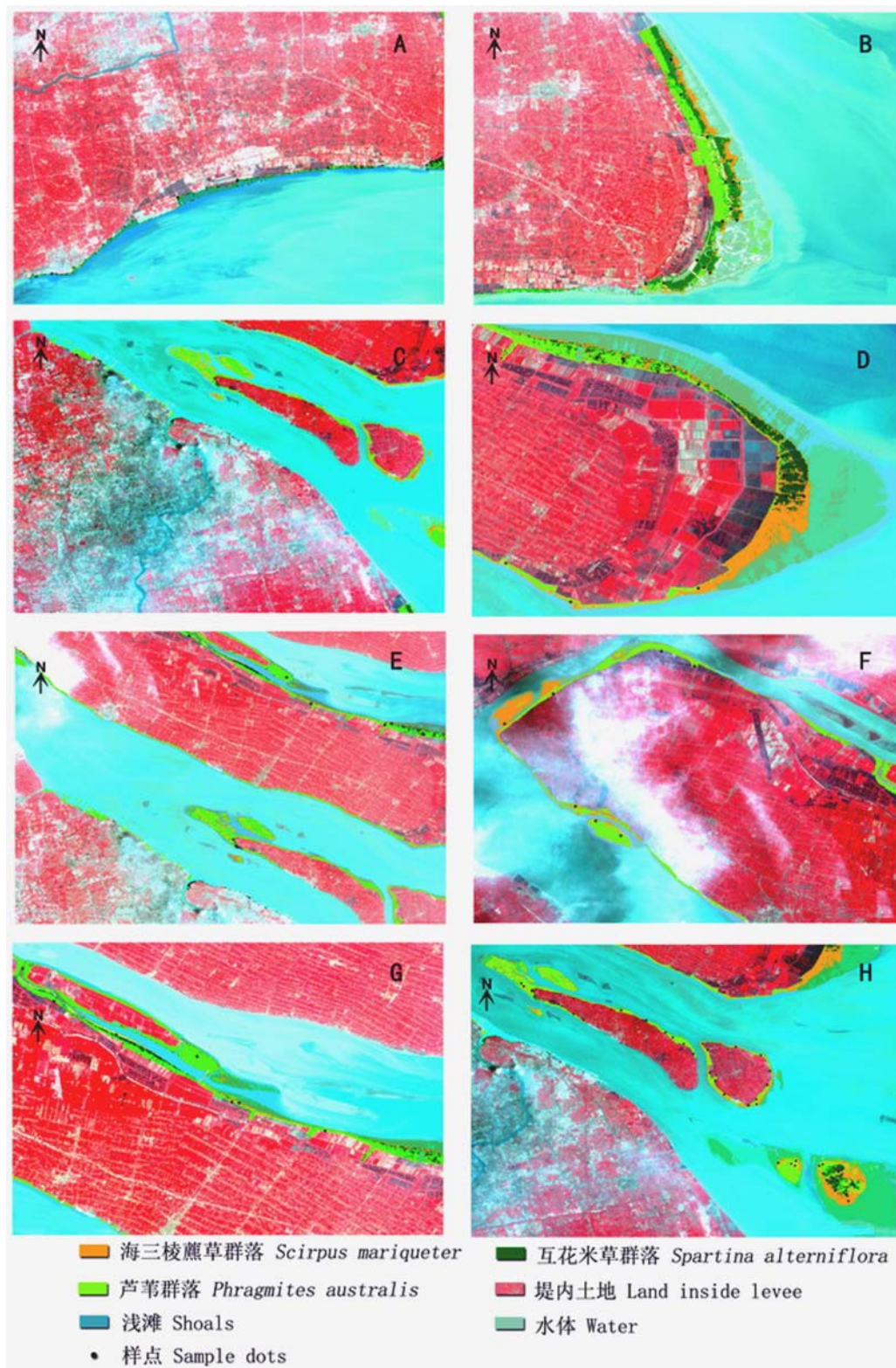


图2 上海地区滩涂互花米草群落分布图(2003年)

A: 杭州湾北岸; B: 南汇边滩; C: 崇明东滩; D: 崇明北滩; E: 崇明西滩; F: 长兴岛; G: 横沙岛; H: 九段沙

Fig. 2 The distribution of *Spartina alterniflora* community on the tidal flats in Shanghai (2003). A, North Bank of Hangzhou Bay; B, Nanhui Biantan; C, Chongming Dongtan; D, Chongming Beitan; E, Chongming Xitan; F, Changxing Island; G, Hengsha Island; H, Jiuduansha Island.

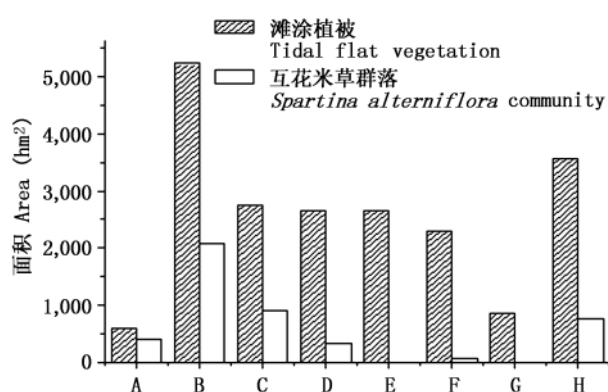


图3 上海各区域滩涂植被和互花米草的分布面积

A、B、C、D、E、F、G、H同图2

Fig. 3 The total area of the vegetation and that of *Spartina alterniflora* community on the tidal flats in each region of Shanghai. A, B, C, D, E, F, G, H: see Fig. 2.

崇明西滩包括从永隆沙到东风西沙的滩涂(图2F), 该区域滩涂植被总面积为2,664.72 hm², 近大堤处为芦苇群落, 外侧为海三棱藨草群落, 该区域未发现互花米草的分布。

沿长江南支的崇明岛南部, 从南门港到奚家港的堤外滩涂也有数量不多的滩涂植被(307.89 hm²), 主要是芦苇群落和海三棱藨草群落(图2E), 未发现互花米草群落分布。

2.3 长江河口沙洲滩涂

长兴岛、横沙岛和九段沙为典型的河口沙洲岛屿, 其中长兴岛和横沙岛成陆较早, 开发历史也较长, 其滩涂受人类活动干扰较大; 而九段沙为新生的河口沙洲, 现已成为国家级保护区, 是迄今上海市面积最大、自然状态保持最完整的河口沙洲湿地自然保护区(图2H)。

长兴岛包括青草沙、中央沙及附近的沙洲, 滩涂植被主要分布在西北角的青草沙、中央沙以及北部边滩。滩涂植被总面积为2,306.52 hm², 其中互花米草群落面积为78.12 hm², 约占总面积的3%, 仅在长兴岛的西北角有小片分布。

横沙岛的滩涂面积相对较小, 滩涂植被总面积为849.78 hm², 主要是芦苇群落, 其次是海三棱藨草群落, 主要分布在岛的东侧和南侧, 北侧相对较少, 西侧已全部圈围。目前横沙岛上尚未发现有互花米草的分布。

九段沙包括上沙、中沙和下沙, 大部分为自

然滩涂植被, 总面积为3,567.42 hm²。上沙目前尚未发现互花米草, 互花米草群落集中分布在中沙和下沙, 面积为769.05 hm², 占滩涂植被总面积的21.6%。1997年为配合浦东国际机场选址东移和“种青引鸟”工程, 在九段沙的中沙种植了芦苇40 hm²和互花米草47 hm², 植株间距为1 m。引种的互花米草沿着中沙和下沙之间的大潮沟向两侧扩散, 不仅与芦苇群落形成竞争态势, 而且其前沿已扩散到海三棱藨草群落中。中沙和下沙的互花米草群落面积目前已超过芦苇群落面积。

3 讨论

上海位于长江口, 长江携带的大量泥沙促使滩涂处于不断淤涨之中, 其中崇明东滩、东沙浅滩、九段沙和南汇边滩是淤涨最明显的区域。滩涂资源是长江赋予上海的得天独厚的自然资源, 是上海城市空间拓展的基础。上海市62%的土地是近2000年来长江泥沙淤积而成。建国以来, 上海圈围滩涂936 km², 使上海市土地面积扩大了14%。上海的许多重大建设工程都依赖于滩涂圈围提供的土地资源, 在圈围的滩涂建立了一大批工厂企业、市政设施和农场垦区等。随着大规模的滩涂围垦, 滩涂植被也处在不断的变化之中。至2003年, 上海地区滩涂植被总面积为20,609.46 hm², 其中互花米草群落面积已达4,553.37 hm², 几乎已占总面积的1/4。互花米草群落主要分布在杭州湾北岸、南汇边滩、崇明东滩和九段沙, 在滩涂植被中所占比例较高, 依次为68.1%、39.6%、33.1%和21.6%。

从互花米草群落上海地区分布状况来看, 除了它在潮间带的极强适应能力和扩散能力外(Callaway & Josselyn, 1992; 陈中义等, 2005), 人工引种是其在上海地区滩涂成功扩散的重要原因, 而远距离的种子扩散和互花米草植株随潮水扩散的可能性很小。其中杭州湾北岸和南汇边滩是大规模滩涂围垦后人工引种扩散所致; 崇明东滩则是1998年98大堤围垦后人工引种扩散所致; 长兴岛中央沙的西北角分布的小片互花米草群落, 可能也是人工引种所致。而同样是长江口河口沙洲岛屿的横沙岛、九段沙的上沙、崇明西滩等地, 由于未使用互花米草作为促淤、固滩植物,

目前尚未发现有互花米草的分布。

Ayres等(2004)报道,互花米草种群在美国西海岸华盛顿州的Willapa湾和加利福尼亚州的旧金山湾的扩散速度正处于指数增长期,年扩散速度为18–20%;Zhang等(2004)把互花米草种群在江苏沿海的扩散速度分为3个阶段:最初阶段(1993–1995)平均扩散速度为每年30%;第二阶段(1995–1999)是扩散最快的时期,为43%;第三阶段(1999–2001)逐渐减缓,为10%。一般来说,进入新生境的互花米草种群在较长的时间内处于指数增长期。在九段沙,从引种、定居和扩散的6年中(1997–2003),互花米草从47 hm²扩散到769.05 hm²,面积增加了15.4倍,平均每年的扩散速度为59.4%。由此可见,九段沙互花米草种群目前仍处于快速的指数增长期。九段沙是长江口新生沙洲,至今无人居住,可以说是研究互花米草扩散动态的最佳区域。我们将应用遥感技术与野外实地调查相结合的方法,通过对自1997年以来不同时期遥感影像的解译分析,定量分析九段沙互花米草种群的时空分布格局,在此基础上建立互花米草种群的扩散模型,以期深入研究外来物种扩散格局与生态学过程的相互关系。

本研究结果表明,遥感技术结合地理信息系统和全球定位系统,可广泛应用于海岸带资源调查、资源与环境动态监测以及滩涂植被定量分析,为外来物种的定量调查和分布格局研究提供有效的手段,为上海市滩涂资源生物多样性保护和可持续开发利用提供科学依据。

参考文献

- Ayres DR, Smith DL, Zaremba K, Klohr S, Strong DR (2004) Spread of exotic cordgrasses and hybrids (*Spartina* spp.) in the tidal marshes of San Francisco Bay, California, USA. *Biological Invasions*, **6**, 221–231.
- Callaway JC, Josselyn MN (1992) The introduction and spread of smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*) in south San Francisco Bay. *Estuaries*, **15**, 218–226.
- Chen ZY (陈中义), Li B (李博), Chen JK (陈家宽) (2005) Some growth characteristics and relative competitive ability of invasive *Spartina alterniflora* and native *Scirpus mariqueter*. *Biodiversity Science* (生物多样性), **13**, 130–136. (in Chinese with English abstract)
- Chen ZY, Li B, Chen ZY, Chen JK (2004) 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*, **528**, 99–106.
- Daehler CC, Strong DR (1996) Status, prediction and prevention of introduced cordgrass *Spartina* spp. invasions in Pacific estuaries, USA. *Biological Conservation*, **78**, 51–58.
- Gao ZG (高占国), Zhang LQ (张利权) (2006) Identification of the spectral characteristics of saltmarsh vegetation using indirect ordination: a case study from Chongming Dongtan, Shanghai. *Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), **30**, 252–260. (in Chinese with English abstract)
- Gewin V (2005) Industry lured by the gains of going green. *Nature*, **436**, 173.
- Jiang H (江洪), Ma KP (马克平), Zhang YL (张艳丽), Zhu CQ (朱春全), Strittholt RS (2004) Conservation biology based on the spatial analysis. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **28**, 562–578. (in Chinese with English abstract)
- Ma ZJ, Li B, Jing K, Tang SM, Chen JK (2004) Are artificial wetlands good alternatives to natural wetlands for waterbirds? —A case study on Chongming Island, China. *Biodiversity and Conservation*, **13**, 333–350.
- Mooney H, Cropper A, Reid A (2005) Confronting the human dilemma. *Nature*, **434**, 561–562.
- Shen YM (沈永明), Liu YM (刘咏梅), Chen QZ (陈全站) (2002) Analysis of the expanding process of the *Spartina alterniflora* Loisel salt marsh on Jiangsu Province coast by remote sensing. *Journal of Plant Resource and Environment* (植物资源与环境学报), **11**, 33–38. (in Chinese with English abstract)
- Tang TG (唐廷贵), Zhang WJ (张万钧) (2003) A discussion of ecological engineering benefits of *Spartina* spp. and its ecological invasion. *Engineering Science* (中国工程科学), **5**, 15–20. (in Chinese with English abstract)
- Teillet PM, El Saleous N, Hansen MC, Eidenshink JC, Justice CO, Townshend JRG (2000) An evaluation of the global 1-km AVHRR land dataset. *International Journal of Remote Sensing*, **21**, 1987–2021.
- Zhang RS, Shen YM, Lu LY, Yan SG, Wang YH, Li JL, Zhang ZL (2004) Formation of *Spartina alterniflora* salt marshes on the coast of Jiangsu Province, China. *Ecological Engineering*, **23**, 95–105.

(责任编辑: 李博 责任编辑: 周玉荣)