

文章编号:1001-4179(2011)24-0076-05

# 上海滩涂植被时空动态变化的遥感影像解译研究

阮俊杰, 王敏, 黄沈发, 王卿

(上海市环境科学研究院, 上海 200233)

**摘要:**近年来,上海市滩涂植被受自然因素和人类活动的强烈影响,生态系统的结构与功能发生了改变。用 Landsat TM/ETM + 遥感卫星数据,并结合大量的地面调查,对上海滩涂植被的时空动态变化情况进行了分析。结果显示:滩涂植被丰富,并随着滩涂的淤涨向外海延伸;受多种因素的干扰,近 20 余年来,滩涂植被面积由 19 099.91 hm<sup>2</sup> 锐减至 13 949.13 hm<sup>2</sup>;植被结构发生改变,外来入侵植物互花米草迅速扩张,对土著物种海三棱藨草和芦苇造成了严重威胁,影响了滩涂生态资源。人类活动是影响上海滩涂变化的主要因素,应加强协调管理,控制促淤围垦活动和外来植物入侵,保护与合理利用滩涂资源。

**关键词:**滩涂植被; 遥感影像; 外来生物入侵; 上海市

**中图法分类号:** X171.1      **文献标志码:** A

滩涂尤其是地处快速城市化地区的滩涂,在自然因素和人为活动的双重压力下受到严重的干扰和威胁,植被受到严重破坏,数量和质量急剧下降。因此,掌握滩涂植物群落的分布格局、时空动态变化及其影响因素,是研究滩涂这类重要生态系统的基础与关键,可以为保护滩涂和制定科学的滩涂管理对策提供依据。利用传统的野外采样方法进行植被调查不仅覆盖范围小而且费时费力,而利用遥感技术则可以节省人力、物力,且大大增强监测的时效性,能更好地反映滩涂生态系统的动态变化。如今,随着遥感技术与地理信息系统和全球定位系统不断融合深入,在植被覆盖及其变化、植被分类与制图、生物入侵监测、保护生物学等方面获得了很好的应用<sup>[1-2]</sup>。

上海市滩涂资源丰富,是重要的生态屏障,对全球生态具有一定影响力。然而近年来由于自然因素和人类活动的影响,滩涂植被遭到破坏,生态系统受到严重威胁。近年来,一些学者对长江口的滩涂植被进行了大量研究,但主要集中在滩涂植被现状调查和局部区域滩涂植被动态变化的研究上,而对上海滩涂植被大尺度的时空动态变化的研究还鲜见报道。本研究应用遥感技术对上海地区近 20 余年的遥感影像进行解译

分析,并结合野外调查,对解译结果进行全面的验证和修正,旨在分析 20 年来上海地区滩涂植被时空变化特征,为上海地区滩涂管理和滩涂资源的综合利用提供依据与建议。

## 1 研究区域概况

上海地处长江口,在长江径流与海洋潮汐的共同作用下,大量泥沙在河口处淤积,滩涂面积逐年增加,植物区系与植物群落也随之快速变化。上海的滩涂湿地包括沿江、沿海滩涂湿地和河口沙洲岛屿湿地两种类型:沿江滩涂湿地主要分布在长江口南岸,以浦东边滩为主;长江口的沙洲岛屿,有露出水面成陆并被人类开发定居的沙岛,如崇明岛、长兴岛和横沙岛,还有已露出水面并发育有植被的无人居住的沙岛,如九段沙、青草沙等<sup>[3]</sup>。整个滩涂植被组成简单,主要有以芦苇 (*Phragmites australis*) 和互花米草 (*Spartina alterniflora*) 构成的单物种群落,其他还有海三棱藨草 (*Scirpus mariqueter*)、藨草 (*Scirpus triquet*)、糙叶苔草 (*Carex Scabrifolia*) 等混生形成的莎草群落<sup>[4-5]</sup>。其中芦苇分布广泛,在我国的盐沼上几乎都有分布。海三棱藨草是生活在长江口、杭州湾的特有品种<sup>[6-8]</sup>。互花米草

收稿日期:2011-07-23

基金项目:上海市自然科学基金(11ZR1430700);上海市环境保护科研项目“滩涂湿地生境调查评估与保护对策”

作者简介:阮俊杰,男,工程师,主要从事湿地生态学及生态遥感的研究。E-mail:ruanj@saes.sh.cn

是外来入侵植物,是我国目前最耐盐的植物<sup>[9]</sup>。

## 2 遥感分析方法

由于潮间带周期性地被潮水浸没,因此在选择遥感分析数据时必须考虑潮位较低时刻的影像资料。另外,滩涂植物在夏秋季节生长旺盛,光谱信息明显,而冬末初春季节时,植物尚未大量返青,海三棱藨草地上部分枯死腐烂而形成光滩,给遥感影像的正确判读带来困难。因此,基于潮位、季节及云量等考虑,本研究选择从 1989 年以来的 4 幅 Landsat TM/ETM + 影像(表 1),采用 ERDAS IMAGINE 8.7<sup>TM</sup> 软件进行分析,具体分析流程见图 1。

表 1 上海滩涂湿地遥感分析的数据源

成像日期/ (年-月-日)	成像时间	成像格式
1989-11-13	09:54:09	LANDSAT-5 TM
1996-11-08	09:46:03	LANDSAT-5 TM
2000-09-18	10:05:06	LANDSAT-7 ETM +
2009-10-21	10:15:19	LANDSAT-5 TM

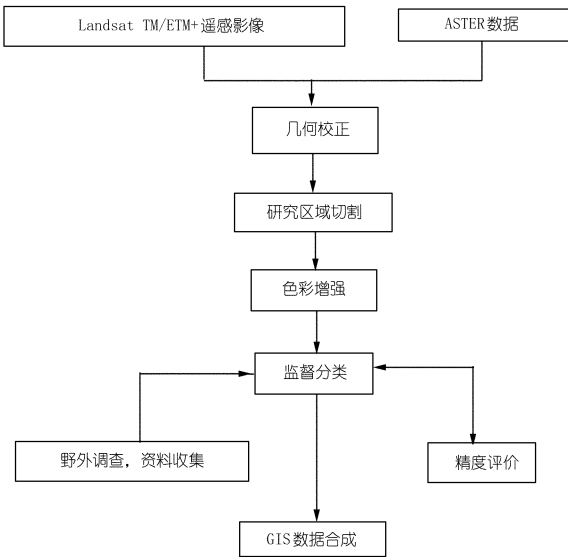


图 1 Landsat 影像分析流程

由于商用 ASTER 数据具有较高的地面分辨率(15 m)和地理精度,因此参考 2004 年 12 月 7 日成像的 ASTER 数据对遥感影像进行几何校正,校正模型采用二阶多项式变换法,校正精度在一个像素以内。同时结合上海地形图,运用目标区域 AOI 工具分幅裁剪选出大堤外的滩涂部分,以提高解译的精确性和目的性<sup>[3]</sup>。然后,分别对图像以最佳波段假彩色合成,进行缨穗变换和归一化植被指数的增强处理。在假彩色合成的基础上,参照缨穗变换和植被指数的光谱信息,并结合野外调查结果及以往的资料数据,利用 ERDAS 软件中的窗口关联功能,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,从而解译出互花米草群落、芦苇群落和海三棱藨草群落等不同的植被信息。

用基于误差矩阵的方法分层进行随机采样,对所有的分类影像和修正的分类结果进行评价,并且通过全面野外考察进行检验。分析评价与野外考察的精度评价均为 85% 以上。

2009 年 8~9 月,对上海地区滩涂进行了实地调查验证。应用 GPS 精确定位样点,现场对照分析初步分类结果的准确性,并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。结合先验知识和实地调查对解译分类结果进行修正,得到最终分类解译结果。在此基础上,应用 ESRI ArcGIS 9.2<sup>TM</sup> 软件分析滩涂植被数据,获得滩涂植被动态变化情况。此外,使用 ArcGIS 软件将上海地区滩涂岸线和圈围部分勾勒出来,以获得其圈围动态。

## 3 研究结果

### 3.1 滩涂植被时空动态

遥感分析显示,上海滩涂植被沿高程梯度呈明显的带状分布,从高到低依次为芦苇群落(互花米草群落)、莎草科植物群落。崇明东滩、崇明北沿、长兴岛、横沙岛、九段沙、南汇东滩等地植被分布较多,其他区域相对较少。互花米草集中分布在崇明东滩、崇明北沿、九段沙、南汇边滩、杭州湾边滩等地,而芦苇和莎草科植物在各滩涂上均有分布。滩涂植被动态变化如图 2 所示,面积时空变化见表 2。

表 2 上海滩涂植被面积的时空变化

植被 类型	1989 年		1996 年		2000 年		2009 年		1989-2009 年 净增减面积/ hm <sup>2</sup>
	面积/ hm <sup>2</sup>	百分率/ %	面积/ hm <sup>2</sup>	百分率/ %	面积/ hm <sup>2</sup>	百分率/ %	面积/ hm <sup>2</sup>	百分率/ %	
	芦苇	10575.19	55.37	7135.74	57.42	5281.29	40.73	4050.87	
互花米草	0.00	0.00	0.00	0.00	2441.79	18.83	4916.95	35.25	4916.95
莎草科植物	8524.72	44.63	5290.86	42.58	5244.93	40.45	4981.31	35.71	-3543.41
合计	19099.91	100.00	12426.60	100.00	12968.01	100.00	13949.13	100.00	-5150.77

表 2 显示上海滩涂植被面积总体上呈减小趋势,从 1989 年的 19 099.91 hm<sup>2</sup> 下降到 2009 年的 13 949.13 hm<sup>2</sup>,净减少面积 5 150.77 hm<sup>2</sup>。其中前 7 a 的下降幅度较大,后几年有小幅增加,但变化较为平稳。芦苇群落面积和莎草科植物群落面积呈减少趋势,莎草科植物群落面积从 1989 年的 8 524.72 hm<sup>2</sup> 下降到 2009 年的 4 981.31 hm<sup>2</sup>,净减少 3 543.41 hm<sup>2</sup>;芦苇群落面积下降幅度更大,从 1989 年的 10 575.19 hm<sup>2</sup> 下降到 2009 年的 4 050.87 hm<sup>2</sup>,净减少 6 524.32 hm<sup>2</sup>。而互花米草从无到有迅速定植扩张,到 2009 年互花米草群落面积增加到 4 916.95 hm<sup>2</sup>。



图2 1989年来上海滩涂植被的时空动态变化情况

表2还显示上海滩涂植被组成存在明显变化:1989年上海地区滩涂植被主要是芦苇群落和以海三棱藨草为主的莎草科植物群落,2种植物面积分别占总植被面积的58.5%和41.5%;其后7a,滩涂植被仍以这两类植物群落为主,且组成结构较为稳定。1996

年后,随着互花米草在上海地区滩涂定植、扩展,滩涂植被组成发生明显变化,芦苇群落和莎草科植物群落的比重逐渐减小,而互花米草群落的比重逐渐增加,至2009年,互花米草群落、芦苇群落和莎草科植物群落分别占总植被面积的35.25%,29.04%,35.91%。

### 3.2 滩涂植被区域性差异

表 3 和图 2 显示滩涂植被呈现明显的区域变化差异:江心沙洲滩涂植被主要分布在九段沙上,面积逐年增加,从 1989 年的 411.84 hm<sup>2</sup> 增加到 2009 年的 6 365.50 hm<sup>2</sup>,3 种植物群落面积均有较大幅度的增长,互花米草分布在九段沙的中沙和下沙,芦苇群落和莎草科植物群落在九段沙上均有分布,而长江口的其他新生沙洲鲜有植被分布。岛屿滩涂植被和大陆边滩涂植被不断减少。岛屿滩涂植被主要分布在崇明、长兴和横沙 3 岛周缘的滩涂上,面积从 1989 年的 15 786.44 hm<sup>2</sup> 下降到 2009 年的 7 538.39 hm<sup>2</sup>,除互花米草群落面积增加外,芦苇群落和莎草科植物群落的面积均有较大幅度的下降,目前互花米草集中分布在崇明东滩和北沿,并有不断增加的趋势,其他植物群落在滩涂上均有分布。而大陆边滩涂植被主要分布在浦东边滩、南汇边滩和杭州湾北岸边滩,其面积锐减幅度更大,变化也较为复杂,植被面积从 1989 年的 2 901.63 hm<sup>2</sup> 锐减至 2009 年的 45.25 hm<sup>2</sup>。其中,芦苇群落损失殆尽,已经很难用遥感技术监测到;莎草科植物群落也锐减至 13.68 hm<sup>2</sup>,仅在局部滩涂堤外有零星分布;而互花米草群落面积先增加后减少,目前也仅剩 31.57 hm<sup>2</sup>,在南汇边滩和杭州湾北岸边滩堤外呈狭窄的带状分布。

## 4 滩涂植被驱动力分析

### 4.1 自然驱动因子

长江挟带的大量泥沙,使得长江口的滩涂不断发育淤涨。研究发现,近 20 a 崇明东滩的 1 m 等高线向东延伸了 4.8 km,年均东移 218 m,南汇东滩则向东延伸了 4.5 km,年均东移 204 m。随着滩涂的淤涨抬高,一些先锋植物(海三棱藨草)开始在光滩上定植,随着滩涂高程不断增加,芦苇(或互花米草)开始扩散至海三棱藨草群落中,海三棱藨草种群受到排斥,最终被芦苇(或互花米草)群落所替代,同时,海三棱藨草又在新生的滩涂上定植繁衍,整个植被带逐渐向海延伸。由此可见,滩涂淤涨是影响滩涂植被发育与植被动态的基本因素,也是滩涂植被演替的重要驱动因子。此

外,水文、气候等自然因素的变化也对滩涂植被的时空格局有一定的影响。

### 4.2 人为驱动因子

改革开放以来,上海的社会经济一直保持飞速的发展,统计资料显示,近 20 a 上海市国民生产总值增长速度平均保持在两位数以上,从 1989 年的 696.54 亿元增长到 2009 年的 15 046.45 亿元。经济的增长也导致了人口数量的剧增,1989 年上海市常住人口 1 311 万人,人口密度 2 013 人/km<sup>2</sup>,到 2009 年,常住人口为 1 921.3 万人,人口密度为 3 030 人/km<sup>2</sup>。

城市的发展和人口的膨胀使经济建设用地和居民住房用地大幅度增加,加重了经济发展和人口增长与土地资源缺乏的矛盾,而长江口滩涂的不断淤涨为圈围创造了条件,在一定程度上缓解了土地资源短缺的状况。研究资料表明,1949 年后,上海市政府多次组织大量人力物力对长江口滩涂进行了有计划的大规模圈围,到 1988 年,累积圈围滩涂 62 330 hm<sup>2</sup>[10]。而近 20 a 来,圈围规模显著加剧,特别是崇明东滩、崇明北沿、南汇东滩、长兴岛和横沙岛等滩涂植被分布较多的区域(图 2)。由于芦苇比海三棱藨草分布在高程更高的区域,因此早期的圈围对芦苇分布造成较大影响,从而导致芦苇群落面积持续下降。在崇明东滩,岸线和中低潮滩分界线的间隔随时间推移越来越小,1990 年两者间最大直线距离达 5 500 m,2004 年缩减至 2 400 m 左右[11],高滩区越来越少,分布在高滩的芦苇等植物也随之减少。随着高滩资源损失殆尽,圈围逐步转向高程较低的中、低滩,致使低滩植被遭到严重损失。南汇边滩的岸线和中低潮滩分界线之间的距离一直很小,目前已圈围至 0 m 线附近[11-12],堤外几乎无植被分布。

为了缓解土地资源短缺,加速滩涂淤涨,在长江口实施了多项促淤工程。互花米草由于其良好的促淤效果以及对上海滩涂环境良好的适应性,被引种到崇明东滩、九段沙和南汇东滩等地,并迅速定植、扩展,对整个滩涂植被的格局造成了影响,进而影响了滩涂的生态功能。在互花米草引入以前,莎草科植物群落主要分布在离堤坝较远、高程较低的区域,芦苇主要分布在

表 3 上海各区域滩涂植被时空变化

年份	大陆边滩				长江口岛屿周缘滩涂				长江口江心沙洲滩涂			
	芦苇/ hm <sup>2</sup>	莎草科 植物/hm <sup>2</sup>	互花米草/ hm <sup>2</sup>	合计/ hm <sup>2</sup>	芦苇/ hm <sup>2</sup>	莎草科 植物/hm <sup>2</sup>	互花米草/ hm <sup>2</sup>	合计/ hm <sup>2</sup>	芦苇/ hm <sup>2</sup>	莎草科 植物/hm <sup>2</sup>	互花米草/ hm <sup>2</sup>	合计/ hm <sup>2</sup>
	1989	1874.25	1027.38	0.00	2901.63	8689.84	7096.60	0.00	15786.44	0.00	411.84	0.00
1996	873.81	1029.52	0.00	1903.33	6103.87	3153.01	0.00	9256.88	148.88	1118.34	0.00	1266.42
2000	102.42	703.53	721.53	1527.48	4823.39	2900.41	1658.79	9382.59	437.58	1558.89	61.47	2057.94
2009	0.00	13.68	31.57	45.25	2801.388	1886.61	2850.39	7538.388	1229.81	3100.70	2034.99	6365.50

靠近堤坝、高程较高的区域。互花米草引入以后,排斥海三棱藨草形成单物种群落,使得海三棱藨草呈狭窄的带状分布,有的区域甚至已经消失<sup>[13]</sup>。芦苇群落由于受到互花米草的竞争,面积减小,有的则以小面积斑块夹杂在大面积的互花米草群落中<sup>[14]</sup>。崇明东滩和九段沙在引种互花米草后变化尤为明显。目前,互花米草在崇明东滩、崇明北滩、九段沙、大陆边滩等多处滩涂均有分布,分布面积超过 4 916.95 hm<sup>2</sup>,已成为上海滩涂湿地最主要的植物群落类型之一。互花米草的快速入侵,直接导致滩涂土著植物的数量锐减,结构改变,进而影响底栖动物群落结构,威胁鱼类生境,间接影响以土著植物群落为栖息环境,以底栖动物和鱼类为食物来源的水鸟种群数量,使滩涂生态系统生物多样性降低。互花米草虽然促进了泥沙快速沉降和淤积,但也改变了潮间带的地形,妨碍了潮沟和水道的畅通,使得滩涂营养物质与水分循环的能力降低,减弱了滩涂对病虫害的抵抗能力、生物多样性保护能力和生态系统自动调节能力,致使生态系统退化。

近年来,长江中上游三峡工程、南水北调工程、水土保持工程等大型水利工程相继开工,上游来沙量明显减少。据大通站资料统计(1953~2008年),长江多年输沙量平均为 3.98 亿 t,近 10 a 平均为 2.13 亿 t,而近 5 a 平均为 1.43 亿 t,来沙不断减少,并有不可逆转的趋势<sup>[15]</sup>。由于长江输沙量的下降,滩涂发育趋缓,部分岸段甚至出现了侵蚀的现象,对滩涂植被的时空变化产生重要的影响。

此外,在经济利益驱使下的滩涂放牧、养殖等经济活动也对滩涂植被格局有着重要的影响。如崇明东滩春季放牧的牛群啃食了芦苇的嫩芽,降低了芦苇的相对竞争能力,有利于互花米草对芦苇的竞争排斥,牛群对莎草科植物的践踏、啃食还可以导致滩涂的莎草科植物种群密度下降,甚至退化成为光滩,导致植被格局改变<sup>[4]</sup>。

## 5 结 论

(1) 上海滩涂植被的分布受自然因素和人类活动因素的双重影响,近年来,人为因素对滩涂植被的分布与结构起着重要作用,特别是滩涂圈围。

(2) 近 20 余年来,滩涂植被面积锐减,特别是大陆边滩,几乎无植被分布。

(3) 互花米草从无到有迅速扩张,改变了滩涂植被结构,影响滩涂生态环境,长江口滩涂。因此,应当加强对长江口滩涂环境的监测,及时掌握滩涂生境变

化趋势,为滩涂保护打下坚实基础;加强对人类活动,特别是促淤圈围的管理,滩涂动态保护与动态利用应结合起来,滩涂的开发利用应在已经陆生化的区域里进行,而对于尚未陆生化的区域,应以保护为主。由于最近 5~10 a 的圈围力度较大,导致目前上海滩涂资源已经大幅减少,因此,在今后 10 a 中,应以保护为主,尽量避免圈围。此外,应当加强对互花米草的控制,以维持长江口滩涂湿地生态系统的独特性、完整性以及正常的生态系统功能。

## 参 考 文 献:

- [1] Teillet P M, Saleous N, El, Hansen M C, et al. An evaluation of the global 1 - km AVHRR land data set[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, (21):1987 - 2021.
- [2] 江洪,马克平,张艳丽,等.基于空间分析的保护生物学研究[J].植物生态学报,2004,28(7):562 - 578.
- [3] 黄华梅,张利权,高占国.上海滩涂植被资源遥感分析[J].生态学报,2005,25(10):2686 - 2693.
- [4] 陈家宽.上海九段沙湿地自然保护区科学考察集[M].北京:科学出版社,2003.
- [5] 徐宏发,赵云龙.上海市崇明东滩鸟类自然保护区科学考察集[M].北京:中国林业出版社,2005.
- [6] 欧善华,方永鑫,沈光华.海三棱藨草在上海滩涂分布规律的环境因子分析及生产量的研究[J].上海师范大学学报:自然科学版,1992,(增):10 - 22.
- [7] 欧善华,方永鑫,周根余.海三棱藨草种子萌发条件的初步研究[J].上海师范大学学报:自然科学版,1992,(增):23 - 27.
- [8] 欧善华,宋国元.海三棱藨草的形态、分布与资源[J].上海师范大学学报:自然科学版,1992,(增):4 - 9.
- [9] 丁丽,徐建益,陈家宽.崇明东滩互花米草生态控制与鸟类栖息优化[J].人民长江,2011,42(增2).
- [10] 陈满荣,韩晓非,刘水芹.上海市围海造地效应分析与海岸带可持续发展[J].中国软科学,2000,(11):115 - 120.
- [11] 李贵东,周云轩,田波,等.基于遥感和 GIS 的上海市滩涂湿地资源近期变化分析[J].吉林大学学报,2008,38(2):319 - 323.
- [12] 李九发,万新宁,陈小华,等.上海滩涂后备土地资源及其可持续发展途径[J].长江流域资源与环境,2003,12(1):17 - 22.
- [13] Chen Z Y, Li B, Chen J K. Local competitive effects of introduced *Spartina alterniflora* on *Scirpus mariquetter* at Dongtan of Chongming Island, the Yangtze River Estuary and their potential ecological consequences[J]. Hydrobiologia, 2004, 528:99 - 106.
- [14] 黄华梅,张利权,袁琳.崇明东滩自然保护区盐沼植被的时空动态[J].生态学报,2007,27(10):4166 - 4172.
- [15] 廖建英,胡春燕,张志林.长江口口门湿地的演变分析[J].人民长江,2010,41(7):38 - 42.

(编辑:常汉生)

(下转第 88 页)