

江苏海岸王港地区盐沼植被变化的 TM 图像分析

李 婧¹, 高 抒¹, 李 炎²

(1. 南京大学 海岸与海岛开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210093; 2. 厦门大学 海洋与环境学院, 福建 厦门 361005)

摘要:通过对 2002~2003 年度 3 个时相的 Landsat TM 图像进行监督分类处理, 研究了盐沼植被的分布和变化。结果表明, 目前盐蒿和大米草(*Spartina anglica*) 占据的面积很小, 年际变化不大, 由于滩涂围垦的影响其面积还在进一步缩小。互花米草(*Spartina alterniflora*) 成为优势种, 占据了大部分的盐沼面积, 向海蔓延显著, 扩张的趋势还在持续, 其覆盖面积的年增长速率可达 18%。

关键词: 盐沼湿地植被; 互花米草(*Spartina alterniflora*); TM 图像; 江苏海岸
中图分类号: X87; Q948.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2006)05-0052-06

潮滩及其所属的海岸湿地是陆海相互作用的重要地带, 其发育主要受潮流影响。江苏海岸的淤长型潮滩宽阔平坦, 在潮间带上部形成盐沼湿地; 连续的淤泥质海岸岸线长达 667.5 km, 潮滩平均宽度为 10~13 km, 是中国面积最大的潮滩^[1,2]。王港地区是江苏海岸典型的淤长型潮滩, 是研究潮滩的典型区域^[2~4]。这里人类活动影响较大, 尤其是在 1963 年和 1982 年, 为了保滩护岸的目的, 分别人工引种了英国大米草和美国互花米草, 目前米草属植物在盐沼植被群落中占据了极为重要的地位, 也显著地影响了潮滩的沉积和地貌环境^[5,6]。

盐沼就是潮间带上覆盖有盐生植被, 并被潮水周期性淹没的部分^[7]。盐沼植物受到海水周期性的浸没, 生长状况不仅与植物本身的生物特性有关, 也与潮滩的潮流状态和潮沟系统有很大的联系^[7~10]。在淤泥质潮滩上进行野外工作有极大的困难, 很难同时获得大面积的野外观测数据; 在研究不同时相的盐沼植被分布和演化情况时, 遥感手段可以提供极大的帮助。一般而言, Landsat TM 图像在海岸带地区应用的效果要差于陆地地区, 这是由于海岸带地区的空间尺度较小, 而空间变化情况又比较剧烈所致^[11]。然而王港地区潮滩宽阔, Landsat TM 图像有足够的时间和空间分辨率, 适宜做潮间带地区的年际变化研究, 目前对江苏海岸带和植被变化的已进行了一些宏观的遥感研究^[12,13]。作者结合实地考察和采样分析的结果, 将 Landsat TM 图像作为基本的数据源, 探讨王港潮滩盐沼植被分布特征和变化状况。

1 研究区域

王港地区(图 1)位于北亚热带, 受东海前进潮波和南黄海旋转潮波系统共同控制^[2], 以潮汐作用为主, 为典型的正规半日潮, 平均潮差为 3.68 m, 属中等潮差海岸。根据实测资料, 研究区内具有涨潮流占优势的特征, 涨潮历时长于落潮历时, 涨潮流流速大于落潮流^[14]。王港地区的盐沼植被体现的是温带地区盐沼的典型特征。

王港潮滩可分为 4 个沉积带^[15]。草滩位于大潮高潮位以上, 基本处于陆上环境, 滩面地势平坦, 生长白茅或者獐毛草。盐蒿泥滩位于大潮高潮位至平均高潮位之间, 滩面上形成潮水沟体系, 滩面周期性交替干湿, 滩面生长盐蒿, 淤积较快。泥-粉砂滩沉积带位于平均高潮位至小潮高潮位之间, 滩面潮水沟呈树枝状, 其两侧有天然堤发育。粉砂-细砂滩位于小潮高潮线与大潮高潮线之间, 滩面潮水沟分布的宽度小, 沟型较为宽浅, 由于浸没时间过长而不生长高等开花植物, 有藻类分布。在王港地区, 由于人类修筑海堤和围垦使得自然环境下的草滩环境已经消失。此外, 1978 年和 2002 年分别修筑了一道海堤, 驻堤后的围垦使得盐蒿滩的面积迅速减少, 在 2003 年大

收稿日期: 2005-08-22; 修回日期: 2005-09-18

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40231010); 教育部博士点基金项目(20020284007)

作者简介: 李婧(1981-), 女, 广西柳州人, 硕士, 从事自然地理学和海岸带遥感研究, E-mail: jessylee@vip.sina.com

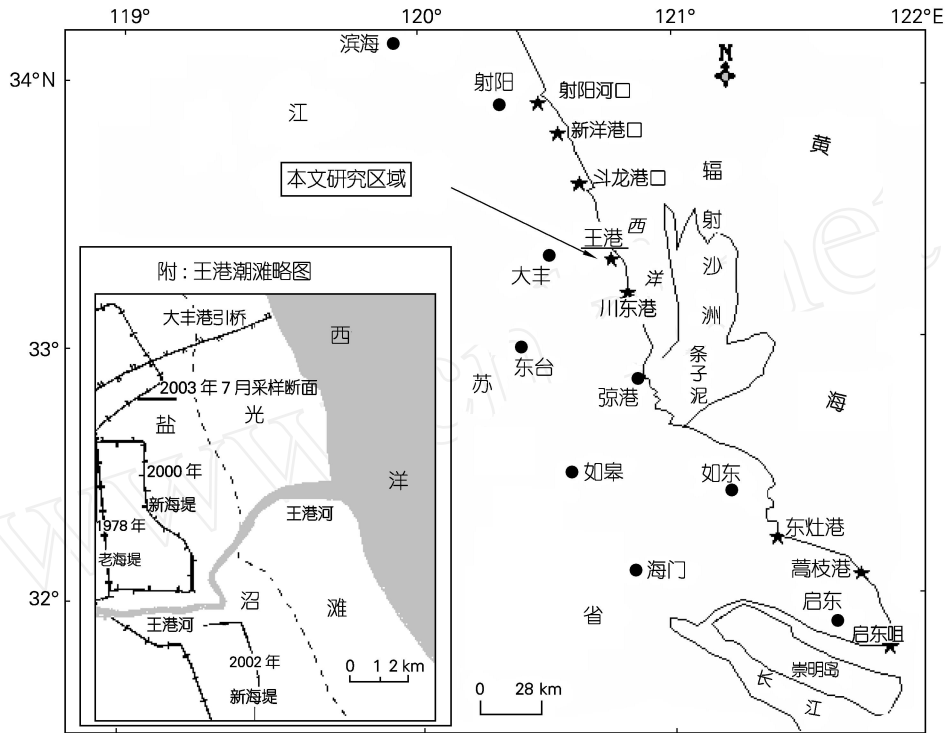


图1 研究区域略图

Fig. 1 The sketch map of Wanggang area

丰港引桥的南部区域又开始了新一轮的围垦,范围跨越至泥砂混合滩。20世纪60年代在平均高潮线附近人工引种大米草(*Spartina anglica*)以后,滩面淤高显著^[16]。80年代初又引种了互花米草(*Spartina alterniflora*),滩面淤高更为迅速。

目前的王港潮滩盐沼植被有3种主要的物种:盐蒿(*Suaeda salsa*)、大米草和互花米草。盐蒿又称盐地碱蓬,是一年生的多汁的广盐性盐生植物,株高30~40 cm,在整个江苏潮滩的潮间带都有分布,是潮间带上部的典型植被。大米草是多年生禾本科米草属植物,一般高20~30 cm,耐盐、耐淹、耐风浪,繁殖能力很强,在正常大潮期能被淹没6 h,当春、秋分之至休眠时可能被淹没9 h^[17]。大米草被引种至江苏潮滩后生长状况良好,促淤显著。互花米草同为多年生禾本科米草属植物,也具有很强的耐盐、耐淹能力,植株健壮高大,一般高度1 m以上。在每天二次潮水,每次淹没时间6 h以内仍能正常生长,若每次潮水淹没时间8 h以上的低潮滩,由于露光时间太少而不能生存^[17]。互花米草的促淤能力较大米草更为显著,耐淹程度也更高,因此在王港潮滩互花米草已经取代了大米草而成为先锋物种。3种植物的生物特性是判断其分布和生长状况的重要依据。

互花米草在中国很多地区被大量种植并迅速繁殖,2003年被中国环保总局列入了入侵物种的名单。对于生物入侵,要考虑到生态位上的重叠度。比如互花米草相对于其它天然沼泽植被群落是相互排斥的,但是互花米草的生态位与盐蒿的生态位只有不大的共生区,所以盐蒿仍可以在相当大的滩面上生长,对大米草生态位的研究还未发现这方面的比较^[18]。有的学者认为受潮位变化的影响,江苏潮滩盐沼湿地将被单一的盐蒿所控制^[19]。还有学者将互花米草的扩展分为3个阶段,认为目前江苏潮滩已经达到第三个阶段,扩展进入缓慢期^[12,13,20]。作者将用遥感方式结合野外实测,对王港地区3种主要植被的分布和变化进行研究。

2 现场工作与数据源选择

为了更好地认识王港潮滩的情况,同时为图像处理提供参考点,分别在2003年7月和2004年7月进行了野外观测和采样工作,并在2003年10月、2004年1月和4月进行了补充考察,以获得一个年度中4季的情况。工作内容包括:选取一条典型断面(图1)进行滩面水准测量和3种主要植物的地上部分样品的采集;用GARMIN eTrex GPS设备记录了参考点

的地理坐标,并做出地面状况的描述。

根据生物样本的采集和处理结果,盐蒿和大米草的植株高度和生物量在夏季(7月)达到全年最大值,互花米草在秋季(10月)达到全年最大值。春季与大米草与盐蒿的植株高度很小,覆盖度也较低,在像元分辨率为30 m × 30 m的TM图像上不易辨识,互花米草的植株已经比较高大,可以辨识。冬季3种植物的地上部分都死亡,由于干枯的残株缺乏叶绿素,反射的特性不明显,因此也不易在遥感图像上辨识。根据生物的特性,选用夏季和秋季的图像对3种植物的分布和变化进行研究较为适当。故选择了2002年7月29日,2003年7月24日和2002年10月28日3幅在晴朗无云天气情况下获得的Landsat TM图像作为主要数据源,野外考察的参考点作为样本点。

3 图像处理

在进行图像的预处理时,考虑到我们进行的是年际植被变化的研究,研究区域的范围也比较小(选择王港地区12 km × 15 km的矩形区域),因此忽略辐射校正。关于大气对影像的影响,选取了一些简易的方式去除其主要影响,例如舍弃一些波段,或者进行主成分分析去掉噪音的影响^[21]。对图像进行了几何校正,从1982年出版印制的王港地区1:50 000地形图,选择了15~20个地面控制点(GCPs),用双线性内插法进行插值配准,中误差(MSE)在0.322(9.66 m)~0.579(17.37 m)之间。配准后的图像加以剪裁,获得与研究区域相符的400 × 500像素的遥感图像。

为了获取植被的空间分布和时间变化状况,对图像上的地物进行了分类。我们确定了对研究有意义有特征差异显著的几类样本:植被——盐蒿、大米草、互花米草,水体,光滩,海堤与引桥。根据水体的浑浊程度、滩面的湿润程度可对水体和光滩再加以细分。

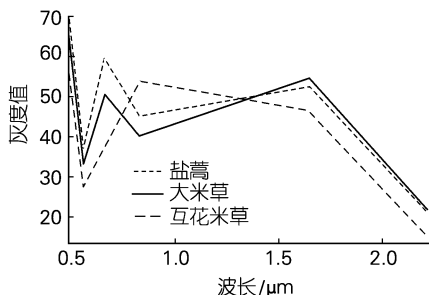


图2 王港地区3种植物的光谱曲线

Fig. 2 Spectral features curve of 3 kinds of plants in Wanggang area

根据典型断面获得的植被分布界限的信息,获得了3种植物的光谱曲线(图2),从图2可见3,4,5波段植被信息差异很大,可以区分3种植物,而植被是作者最感兴趣的物,因此选取了3,4,5波段进行图像分类。

在野外考察时,某些地物,如并没有取得特征参考点的具体坐标,但它们的特征明显,因此采用了目视判读方法进行选取,例如海堤与引桥,水体等都采用目视判读选取样本点。而对已获取特征点具体坐标的3种主要植被类型,则根据实测的结果选取特征点作为分类的样本点。在此基础上,用最小距离法进行监督分类,获得王港潮滩的地物分类图像。

主成分分析可以进行信息压缩,将最重要的信息存储在第一、二主成分,次要信息和噪音可以舍去,也是一种消除大气不利影响的方法^[21]。作者也采用了主成分分析作对比,选取第一、二主成分后合成一张新的图像,再用相同的样本与分类方法进行监督分类,结果与选取3,4,5波段进行监督分类的结果非常相似。两种方法所获结果的相似性可能是由于对提取植被无用的信息大多贮存在除3,4,5波段外的其他波段,主成分分析去除无用信息的过程,获得的结果与直接选取这3个波段基本相同。主成分分析作为一种去除噪声和无用信息的图像变换方法,其可靠程度已经得到认可。而直接选取3,4,5波段获得的结果与主成分分析类似,可见本研究中根据光谱曲线选择波段的方法是具有可信度的。

对每一个时相的图像都完成分类后,将栅格形式的分类图像转化为矢量格式,并导入GIS软件平台中进行叠合,获得王港潮滩盐沼植被分布图,各个时相互相叠合则可以显示植被的变化情况。将分类结果与现场调查的参考点进行对比,发现分类精度较高,总的分类精度达到81%。

4 结果与讨论

用2003年10月28日的遥感图像的分类结果来代表目前王港潮滩盐沼植被的分布(图3)。目前盐蒿和大米草的占据范围已经很小,局限在两条海堤夹角之间的三角区域,两年以来覆盖范围变化很小。而互花米草是盐沼植被的优势种,在覆盖面积上占绝对的优势,并呈现显著的向海扩张的趋势,这与前人的研究结果类似^[12,13,20]。在考虑现阶段盐沼植被发展和盐沼湿地生态系统时,应该重点进行互花米草的研究。

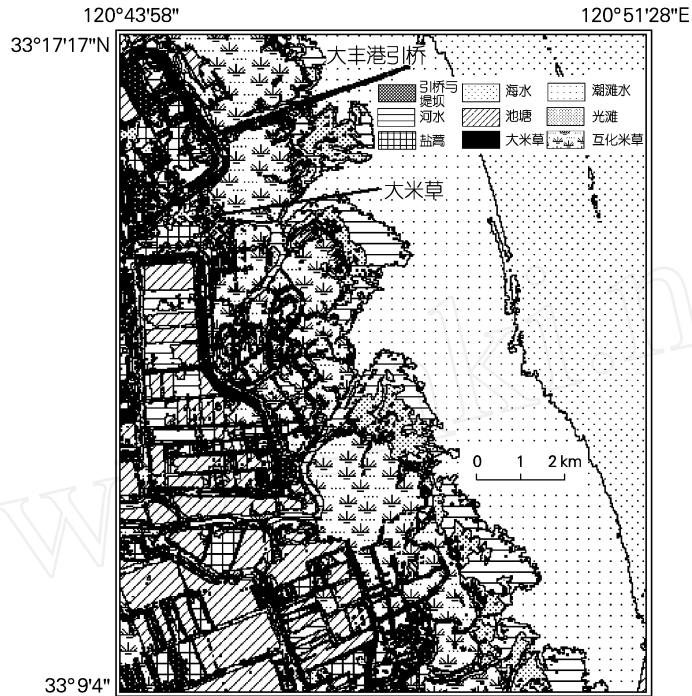


图3 2003年10月28日王港地区潮滩盐沼植被分布

Fig. 3 Salt marsh vegetation distribution in 28 Oct, 2003, in Wanggang area

将3个时相的分类结果做叠合分析,可以看出年际盐沼植被的变化情况(图4)。盐蒿和大米草占据的位置变动不大,都集中在靠近海堤的三角形区域。而互花米草显示了明显向海扩张的趋势,大部分区域扩张的速度都达到数百米/年。2002年7月和2003年10月的变动范围比较可以发现,互花米草的扩展先是呈斑团块状,最后连成片状。

在GIS软件中进行面积计算,2002年7月王港地区互花米草滩的面积为21.35 km²,至2003年7月新增的互花米草滩面积为3.65 km²,增长幅度为18%。按照Zhang等^[20]的观点,将整个江苏沿岸潮滩互花米草的扩展分为3个阶段:第一阶段初始期增长率30%,第二阶段高速发展期增长率43%,第三阶段停滞期增长率为10%。如果王港潮滩与整个江苏潮滩的发展趋势相近,则目前处于高速增长期和停滞期的过渡阶段,未来的几年内应该还有较大面积的增长。

在2004年初的补充野外考察中发现,大丰港引桥南侧2003年的采样断面所在的潮滩又开始了新的围垦,采样断面所在地的盐蒿和大米草滩都已经消失,要继续向南1.5 km才能观察到完整的盐沼植被。已围垦地区的土壤已经严重的盐碱化。在向陆

一侧的盐沼植被有进一步消失的可能,而向海一侧互花米草则持续地向海扩张,互花米草有可能成为未来的盐沼湿地上单一的优势种群,盐蒿滩和大米草滩的消失也会对其相应的动物、微生物的生长产生影响,对湿地生态系统的发展有极为不利的影响。

海岸盐沼湿地是海洋与陆地之间重要的过渡带,既可以缓解海洋潮汐波浪作用对海岸的侵蚀和伤害,米草植物的引种有利于保护堤岸,促进沉积作用,对潮滩地貌的发育有重要的影响^[22]。同时盐沼湿地又是海陆之间物质能量交换频繁的场所以,湿地生态系统能提供很多有经济价值的动植物产品为人类所用,如沙蚕和弹涂鱼等,并为珍贵的动物提供栖息场所,如丹顶鹤和麋鹿。目前对江苏潮滩湿地的利用依然处于强烈改造和过度利用的阶段^[23],应该考虑改变利用模式,谋求人类与自然的协调,从而达到可持续发展。对目前海岸盐沼湿地生态系统和植被的研究,可以为未来恢复和重建盐沼湿地生态系统提供重要的科学依据。

致谢:该研究过程中,南京大学贾建军、汪亚平、李占海、王爱军、杨、陈一宁、陈平等参加了野外工作,中国科学院海洋研究所王珍岩在遥感图像购置上提供了帮助,谨致谢忱。

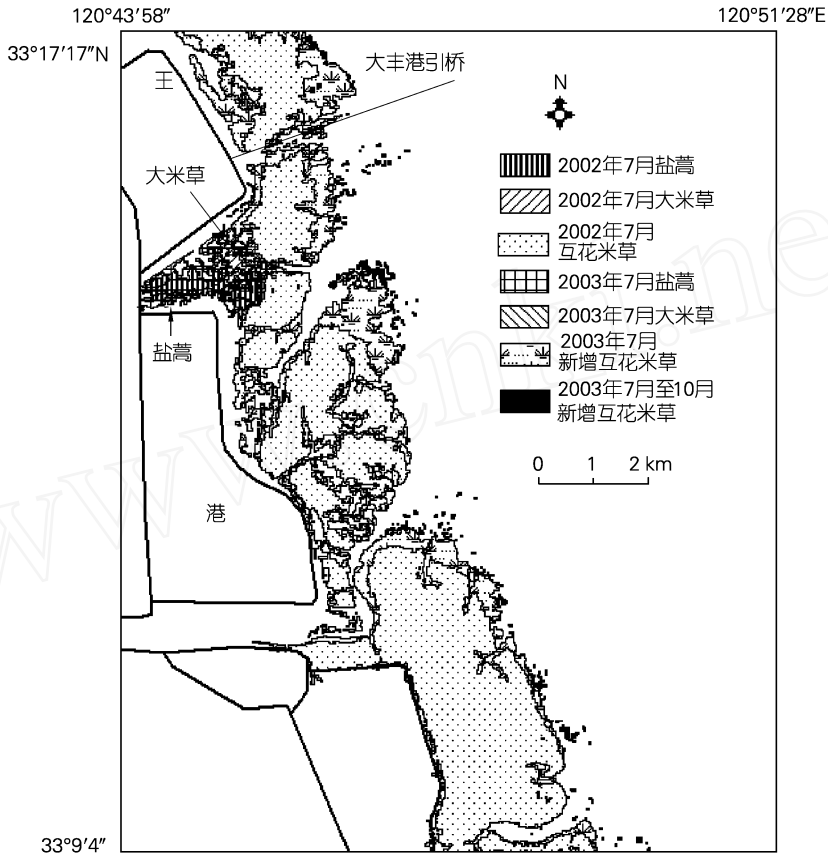


图 4 2002~2003 年王港地区潮滩盐沼植被变化

Fig. 4 Salt marsh vegetation change from 2002 to 2003, in Wanggang area

参考文献:

- [1] 朱大奎,柯贤坤,高抒. 江苏海岸潮滩沉积的研究[J]. 黄渤海海洋,1986,4(3):19-27.
- [2] 任美镔. 江苏省海岸带和滩涂资源综合调查[M]. 北京:海洋出版社,1986.
- [3] Ren Mei-e, Zhang R S, Yang J H. Sedimentation of tidal flat of Wanggang area, Jiangu Province, China [J]. *Collected Oceanic Works*,1983,6(2):84-108.
- [4] 任美镔,张忍顺,杨巨海. 江苏王港地区淤泥质潮滩的沉积作用[J]. 海洋通报,1984,3(1):40-54.
- [5] 王爱军,汪亚平. 王港地区现代潮滩地貌发育特征[J]. 资源调查与环境,2003,23(4):38-44.
- [6] 王爱军,汪亚平,杨. 江苏王港潮间带表层沉积物特征及输运趋势[J]. 沉积学报,2004,22(1):124-129.
- [7] Allen J R L, Pye K. Saltmarshes: Morphodynamics, Conservation and Engineering Significance [M]. Cambridge University Press: London, 1992.
- [8] Chapman V J. Salt Marshes and Salt Deserts of the World [M]. Interscience Publisher Inc: New York, 1960.
- [9] Ranwell D S. Ecology of Salt Marshes and Sand Dunes [M]. Chapman and Hall: London, 1972.
- [10] Davis R A. Coastal Sedimentary Environments [M]: Springer-Verlag Inc: New York, 1985.
- [11] Cracknell A P. Remote sensing techniques in estuaries and coastal zones -an update [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 19: 485-496.
- [12] 刘永学,张君,张忍顺,等. 江苏海岸盐沼植被演替的遥感图像分析[J]. 农村生态环境,2001,17(3):39-41.
- [13] 沈永明,刘咏梅,陈全站. 江苏沿海互花米草(*Spartina alterniflora* Loisel) 盐沼扩展过程的遥感分析[J]. 植物资源与环境学报,2002,11(2):33-38.

- [14] 张忍顺. 江苏省淤泥质潮滩的潮流特征及悬移质沉积过程[J]. 海洋与湖沼, 1986, 17(3): 235-245.
- [15] 朱大奎, 许廷官. 江苏中部海岸发育和开发利用问题[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1982, 3: 799-814.
- [16] 陈才俊. 江苏潮滩大米草促淤护岸效果[J]. 海洋通报, 1994, 13(2): 55-61.
- [17] 徐国万, 卓荣宗. 我国引种互花米草(*Spartina alterniflora* Loisel)的初步研究() [J]. 南京大学学报(增刊), 1985, 6: 212-224.
- [18] 彭少麟, 向言词. 植物外来物种入侵及其对生态系统的影响[J]. 生态学报, 1999, 19(4): 560-568.
- [19] 杨桂山, 施雅风, 张琛. 江苏滨海潮滩湿地对潮位变化的生态响应[J]. 地理学报, 2002, 57(3): 325-332.
- [20] Zhang R S, Shen Y M, Lu L Y, *et al.* Formation of *Spartina alterniflora* salt marshes on the coast of Jiangsu Province, China [J]. **Ecological Engineering**, 2004, 23: 95-105.
- [21] Song C H, Woodcock C E, Seto K C, *et al.* Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects [J]. **International Journal of Remote Sensing**, 2001, 75: 230-244.
- [22] 王爱军, 高抒, 贾建军, 等. 江苏王港盐沼的现代沉积速率[J]. 地理学报, 2005, 60(1): 61-70.
- [23] 柯贤坤. 潮滩生态特征及开发利用模式——以江苏大丰潮滩研究为例[J]. 自然资源学报, 1993, 8(2): 122-131.

Spatial and temporal variations in salt-marsh vegetation in Wanggang area, Jiangsu coast, based upon TM imagery analysis

LI Jing¹, GAO Shu¹, LI Yan²

(1. Ministry of Education Key Laboratory for Coast and Island Development, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. School of Ocean and Environment Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Received: Aug. 22, 2005

Key words: salt-marsh vegetation; *Spartina alterniflora*; TM imagery; Jiangsu coast

Abstract: Wanggang area is a typical region of tidal flats. In the 1960s and 1980s, *Spartina anglica* and *Spartina alterniflora* were artificially introduced, respectively, to this area. Appearance of *Spartina* marshes changed the sedimentary environment of the tidal flats.

Using Landsat-TM data, the vegetation change and consequent modifications to the geomorphology of the tidal flat system were analyzed. Firstly, field observation and sampling were undertaken to investigate the biological feature of the three main salt-marsh species: *Suaeda salsa*, *Spartina anglica* and *Spartina alterniflora*. Observations in the four different seasons show that summer represents a period of rapid growth. In autumn the plants have the highest biomass. Thus, 3 Landsat-TM images from 29 July 2002, 24 July 2003 and 28 October 2003 were used to map the vegetation distribution and annual change. Using the *in situ* data, spectral features obtained show that Bands 3, 4 and 5, in combination with field observations, contain sufficient information to distinguish the 3 different kinds of plants. Supervised classification using Bands 3, 4 and 5 with *in situ* calibration was performed to derive the distribution pattern of the vegetation in Wanggang areas. The result shows that: (1) *Spartina alterniflora* is expanding towards the sea, with a rate of several hundred meters per year; (2) in the upper part of the inter-tidal zone, *Suaeda salsa* and *Spartina anglica* are distributed near the sea dyke, but reclamation has reduced the area of these two kinds of marshes; and (3) from 2002 to 2003, the area covered with *Spartina alterniflora* increased by 18%.

(本文编辑:刘珊珊)