

# 东洞庭湿地植被格局变化及其影响因素

雷璇<sup>1,2</sup>, 杨波<sup>3,\*</sup>, 蒋卫国<sup>1,2</sup>, 杨一鹏<sup>4</sup>,  
Claudia Kuenzer<sup>5</sup>, 陈强<sup>1,2</sup>

(1. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验, 北京 100875; 3. 湖南师范大学资源与环境科学学院, 长沙 410081; 4. 环境保护部卫星环境应用中心, 北京 100094; 5. 德国宇航中心遥感数据中心, 德国 慕尼黑 82234)

**摘要:** 东洞庭湖(也称东洞庭)湿地植被格局的变化特征及其影响因素的分析是该地区湿地植被保护与恢复策略制定的基础。基于美国陆地资源卫星 Landsat TM/ETM+ 数据, 应用决策树分类法分别提取东洞庭湖 1999 年、2002 年、2006 年三个时期湿地景观信息, 通过转移矩阵法和质心迁移法对植被的时空演变分析。结果表明: (1) 1993~2002 年东洞庭湖芦苇、林地、苔草滩地面积均有所增加, 芦苇增长速度最快, 年均增长面积为 28.93 km<sup>2</sup>; 2002~2006 年林地面积迅速增加, 年均增长面积为 29.655 km<sup>2</sup>, 苔草面积有所减少, 芦苇面积保持基本稳定; (2) 东洞庭湖湿地植被质心呈现从林地—芦苇—苔草逐层靠近湖心的分布特点, 1993~2006 年三种植被类型的质心均不断向湖心迁移, 其中以林地与芦苇的变迁更为显著。

**关键词:** 遥感; 东洞庭湿地; 植被; 驱动力

文章编号: 1000-0585(2012)03-0461-10

## 1 引言

湿地滩涂植被由于其特殊的生长环境, 具有极高的生态服务价值。近年来, 由于人们在湿地范围内大面积引种外来物种, 或改变原有自然物种, 致令野生生物的原生环境和植被群落的结构改变, 加剧了湿地生态向森林生态的逆向演替, 促使湿地功能衰退。对此, 分析湿地植被格局变化, 对湿地植被进行有效恢复和保护已成为当前研究的热点。

国内外学者通过遥感技术对湿地宝贵的植被资源进行光谱识别及预测, 监测湿地植被演替。Brian 等基于高光谱数据, 采用 Second-derivative 法对识别沿海湿地植被的最优波段进行了分析<sup>[1]</sup>。Barbara 等基于多时相航空影像, 采用监督分类和非监督分类相结合的方法提取四个时期的湿地, 监测其动态变化<sup>[2]</sup>。Mehrabian 等利用 SPOT 影像绘制了伊朗西南部的盐生植物的分布图, 并探讨了盐生植物群落的分布规律<sup>[3]</sup>。Jessika 等首先采用扩张矢量方法融合 Radarsat 影像和 SPOT 影像, 通过 Mahalanobis 距离测度监督分类方法进行湿地分类, 最后采用区域增长方法形成完整的有意义的湿地区域, 最后采用最大似然分类法分离出六个湿地植被类型, 取得了较高的精度<sup>[4]</sup>。He 等指出在植被类型与环境

收稿日期: 2011-01-15; 修订日期: 2011-07-15

基金项目: 环境保护部公益性行业科研专项(200909113、201009021); 国家自然科学基金(40701172、41001160); 国家科技合作计划(2009DFA91710); 北京师范大学自主科研基金资助

作者简介: 雷璇(1988-), 女, 河北石家庄人, 研究生, 主要研究领域为湿地生态及环境遥感。

E-mail: leixuan@mail.bnu.edu.cn

通讯作者: 杨波(1974-), 男, 湖南张家界人, 博士, 湖南师范大学副教授, 主要研究领域为资源环境遥感。

E-mail: yb@hunnu.edu.cn

密切相关的景观内决策树可以十分有效地提取植被类型的信息<sup>[5]</sup>。Hess 等使用多时相 JERS-1 SAR 单极化数据对中亚马逊流域湿地洪水和植被状况进行制图<sup>[6]</sup>。Fromard 等识别过去 50 年法国 Guiana 红树林海岸变化,并探讨与红树林的破坏和补充的自然过程的关系<sup>[7]</sup>。Shua 等对东地中海地区的 Cukurova 三角洲滨海湿地进行了制图和监测方面的研究,研究的目的是将湿地植被的特征(如时空分布)和环境变量同遥感影像图上获取的土地覆盖信息联系起来<sup>[8]</sup>。雷天赐等依据不同的光谱值和所生长的高程,利用 TM 影像和 DEM 影像,融合光谱和高程值对鄱阳湖沼泽湿地地区草洲各植被群落带进行了分类提取,分类结果理想且人工参与灵活<sup>[9]</sup>。沈芳等应用近 20 年的陆地卫星影像,探讨了九段沙湿地优势植被群落多光谱遥感的分类方法,分析了草滩及优势植被覆盖的时空变化<sup>[10]</sup>。张杰等分析和提取了长江口潮滩湿地优势植被的光谱特征参数和波段,分别计算了实测夏季和秋季的 RVI、ND-VI、SAVI 和 MSAVI 四种植被指数,得出不同植被指数对潮滩湿地植被不同盖度和不同季节的检测方法<sup>[11]</sup>。那晓东等基于遥感与地理信息技术,分析近 30 年来三江平原东北部土地利用/覆被动态变化过程及其对内部洪河保护区湿地生态系统的影响,探讨了保护区湿地植被的退化过程与机理<sup>[13]</sup>。徐怡波等以东洞庭湿地为研究区,采用 ENVISAT ASAR 数据,将基于原图像的灰度级共生矩阵所提取的 Contrast 纹理特征与滤波后图像的灰度特征组合用于分类,提高了湿地分类精度<sup>[13]</sup>。胡金明等利用 SPOT 和 ETM+ 数据,对纳帕海湿地季节性景观格局动态变化及其驱动进行了分析<sup>[14]</sup>。

目前,将遥感技术应用于湿地植被变化的研究主要集中在遥感分类方法以及湿地变化的分析上,对植被变化的机理及其驱动因子缺乏研究。对此,本文基于遥感数据,应用 GIS 技术对东洞庭湖湿地主要植被类型的变迁进行分析,研究湿地植被变化的主要驱动力,为湿地生态恢复,保护区的管理和措施的制定及当地政府的宏观决策提供依据。

## 2 研究区概况及数据来源

### 2.1 研究区概况

东洞庭湖湿地国家级湿地自然保护区位于长江中游荆江江段南侧、洞庭湖区东北部(图 1),属岳阳市与益阳市所辖,介于北纬  $28^{\circ}59'$  至  $29^{\circ}38'$ 、东经  $112^{\circ}43'$  至  $113^{\circ}15'$  之间,多年平均显露时间约 123 天<sup>[15]</sup>。东洞庭湖承纳长江中上游和湖南的湘、资、沅、澧 4 条江河水量,洞庭湖作为目前长江中下游地区仅存的两个自然通江湖泊之一,在调节长江洪水径流、保护物种基因或生物多样性方面发挥着极其重要的作用。该地区具有丰富的水资源、生物资源和土地资源,是中国生物多样性最富集地区之一。湖区自然植被主要由湿生植物组成,植被类群依立地水分梯度变化呈圈带状成层分布格局。从陆地至水底依次出现的植被类型是:常绿阔叶林、落叶阔叶林、芦荻、柳蒿灌丛、苔草草甸、挺水植物、浮叶植物、沉水植物,同层植被组分比较一致,层间植物组分有较大差异<sup>[16]</sup>。

### 2.2 数据资料

由于丰水期研究区大部分被水体淹没,枯水期植被特征不明显,故本文采用平水期美国陆地卫星 Landsat TM/ETM+ 遥感影像作为基本数据,成像时间分别为 1993 年 10 月 17 日、2002 年 10 月 18 日、2006 年 11 月 1 日,轨道号为 123/40。其他数据包括:东洞庭湖区 1:50000 地形图,用于遥感数据几何校正;2008 年 10 月 18 日应用 ISI921VF 野外地物光谱辐射计测得的洞庭湖区地物光谱数据,用于支持图像解译;东洞庭自然保护区土地利用现状图、行政区划图等基本图件,用以辅助进行遥感资料的纠正及分类处理;洞

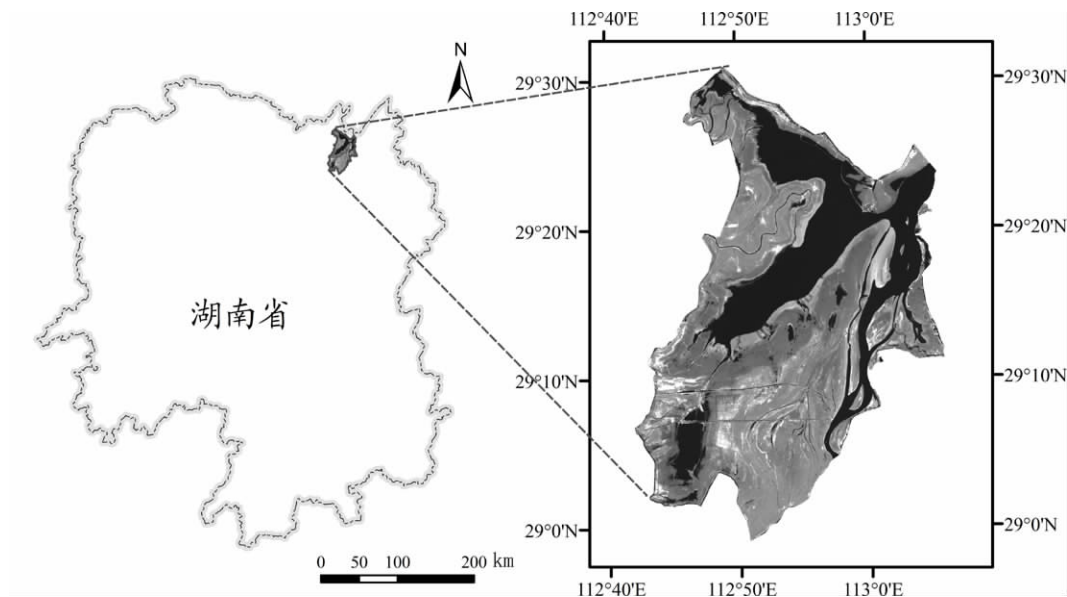


图 1 东洞庭湿地地理位置

Fig. 1 Location of the East Dongting Lake wetland

庭湖造纸原料及造纸产业相关资料，用于驱动力分析。

### 3 研究方法

#### 3.1 湿地信息提取方法

(1) 数据预处理。应用东洞庭湖区地形图对三期遥感影像进行几何精校正。通过前人对东洞庭湿地的研究<sup>[13,17]</sup>确定具体范围：沿东洞庭湖周边一级堤垸勾画边界，没有堤垸的地方以湖区最大淹水量时水体边缘为界。

(2) 分类体系。通过分析东洞庭湿地资源现状，借鉴《湿地公约》中的湿地分类系统<sup>[18]</sup>，参照中国目前湿地调查标准《全国湿地资源调查与监测技术规程》<sup>①</sup>，结合本次研究重点即湿地植被的变化，提出了东洞庭湿地遥感分类系统，确定了研究区六种主要的地物类型：裸地，林地，泥滩地，苔草滩地，芦苇滩地和水体。

(3) 分类方法。决策树分类法（Decision Tree Classification）是以各像元的特征值为设定的基准值，分层逐次进行比较的分类方法。建立决策树分类模型的关键是要深入理解遥感影像的光谱、空间特征规律和研究区环境特征，了解地物间的总体规律和内在联系<sup>[19]</sup>。决策树分类法具有灵活、直观、清晰、强健、运算效率高等特点，故本文选用决策树方法提取三期影像地物信息。

由图 2 可知：水体在 3、4、5、7 波段上的光谱亮度值较低，且具有从 1 波段到 7 波段依次递减的特征，易与其他地物区分；植被在 4 波段上光谱亮度大幅增大，苔草尤为突出；裸地光谱在第 5 波段最为突出，芦苇和林地在该波段亮度值有较大差异。根据上述光谱特征，建立决策树模型（图 3，以 2002 年影像为例）。

① 中华人民共和国国家林业局. 全国湿地资源调查与监测技术规程. 2001.

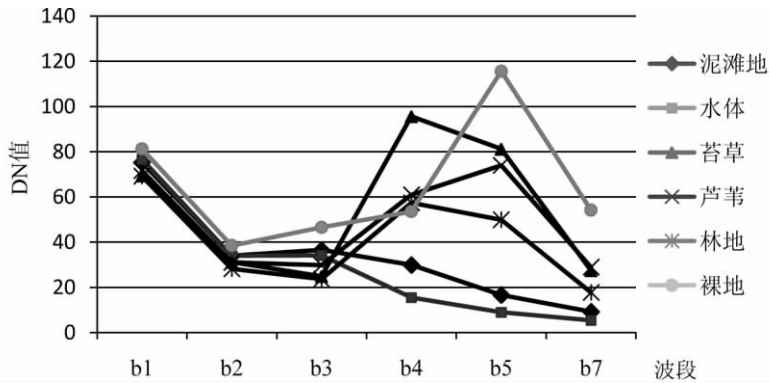


图2 东洞庭湖湿地典型地物光谱曲线

Fig. 2 Spectral curves of various types in the East Dongting wetland

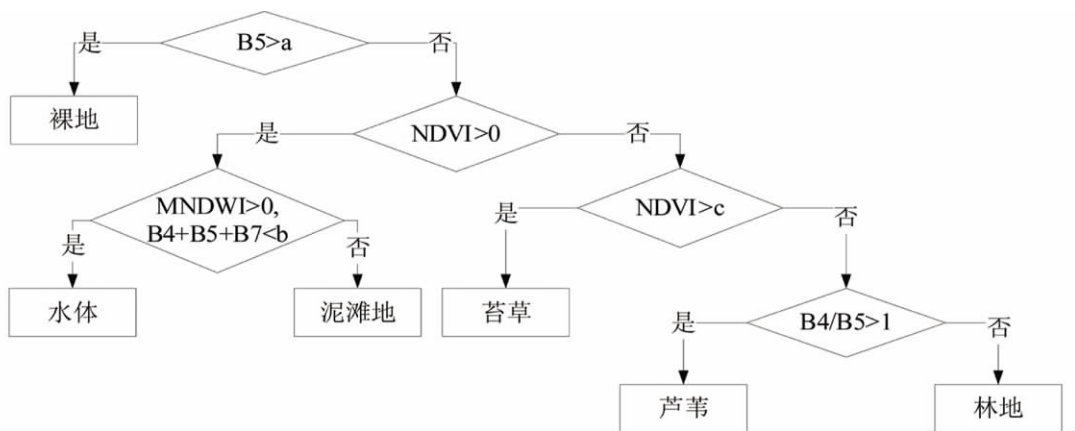


图3 决策树模型

Fig. 3 Decision tree model

首先设定  $B5$  大于某一阈值  $a$  提取裸地, 对其余地物信息利用归一化植被指数 (NDVI), 分为植被与非植被来两个分支; 同时对非植被分支利用改进的归一化水体指数 (MNDWI)<sup>[20]</sup>, 通过设置一定阈值, 构建表达式  $B4 + B5 + B7$  小于某一阈值除去错归地物信息, 提取水体信息, 其余归为泥滩地; 对植被分支, 利用归一化植被指数 (NDVI), 设置一定阈值提取苔草信息。对于剩余的植被信息, 建立模型  $B4/B5 > 1$  提取芦苇, 否则归为林地, 完成全部类别湿地地物信息的提取。主要计算公式为:

$$NDVI = (B2 - B4) / (B2 + B4) \quad (1)$$

$$MNDWI = (B2 - B5) / (B2 + B5) \quad (2)$$

经过错分校正后, 得到三期影像分类结果 (图4)。

### 3.2 湿地植被变化分析方法

#### (1) 转移矩阵

转移矩阵可以量化地识别出各土地利用类型在不同监测时点间的未变化部分、转移部分及其去向、新增部分及其来源, 是一种常用的土地利用地物类型变化分析方法。转移

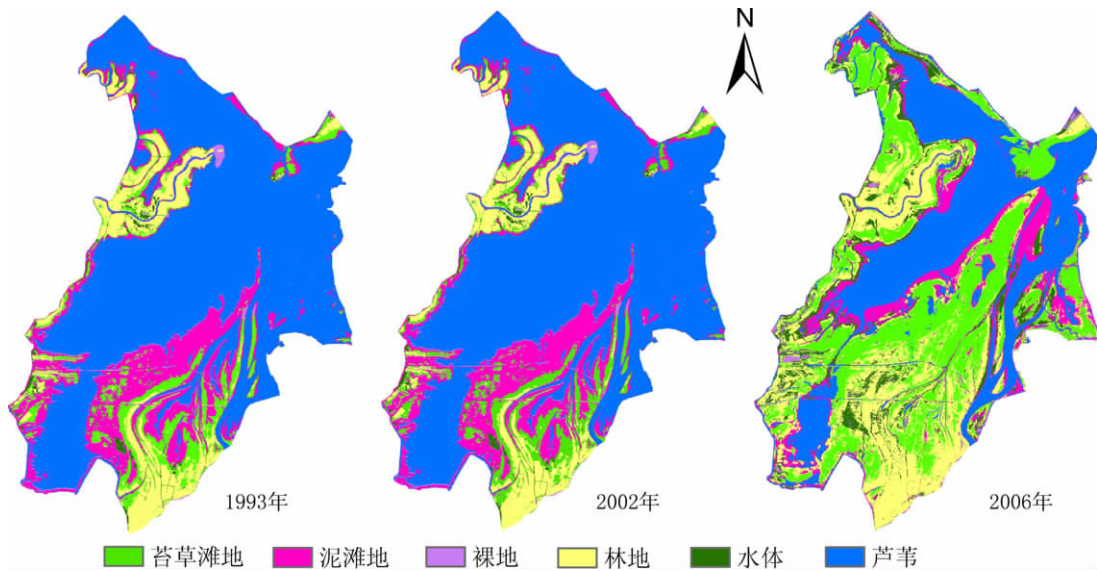


图 4 三期分类结果图

Fig. 4 Classification result maps of three periods

矩阵的数学表达式如下:

$$S = \begin{Bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{Bmatrix}; A_i = \sum_{j=1}^n S_{ij}; B_j = \sum_{i=1}^n S_{ij} \quad (3)$$

$s_{ij}$  表示地物类型  $i$  转变为地物类型  $j$  的转移量,  $A_i$  表示  $t_1$  时期第  $i$  种地物类型的面积;  $B_j$  表示  $t_2$  时期第  $j$  种地物类型的面积。

## (2) 质心迁移法

质心是描述地理现象空间分布的一个重要指标, 质心量测可用于对地理分布变化的跟踪, 其公式如下:

$$X_t = \sum_{i=1}^n (C_{it} \times X_i) / \sum_{i=1}^n C_{it}; Y_t = \sum_{i=1}^n (C_{it} \times Y_i) / \sum_{i=1}^n C_{it} \quad (4)$$

式中  $X_t$ 、 $Y_t$  分别表示第  $t$  时期某种地物类型分布的质心坐标;  $C_{it}$  表示某地物类型第  $t$  时期第  $i$  斑块的面积;  $X_i$ 、 $Y_i$  分别表示第  $i$  个斑块的质心坐标<sup>[21]</sup>。

## 4 结果分析

### 4.1 精度分析

根据高分辨率遥感影像结合洞庭湖区土地利用现状图, 确定正确地物样区, 每类地物随机抽取 1000 个样本点建立误差矩阵 (表 1), 评价三期遥感影像分类结果: 1993 年总体精度为 86.84%, kappa 系数为 0.8171; 2002 年总体精度为 88.18%, kappa 系数为 0.8531; 2006 年总体精度为 84.69%, kappa 系数为 0.8051; 三期分类总体精度均在 80% 以上, 各类别制图精度、用户精度均在 70% 以上, 对于中分辨率遥感影像而言已到达要求。三期分类结果共同的特点是植被信息的提取精度较高, 植被中芦苇苔草的提取精度较高, 林地提取精度较低, 这主要是由于林地生长范围分散且种类不单一, 造成林地

光谱混淆，同物异谱现象严重。

表 1 分类结果精度  
Tah 1 Classification accuracy

	裸地		水体		芦苇		林地		草滩地		泥滩地	
	制图精 度 (%)	用户精 度 (%)	制图精 度 (%)	用户精 度 (%)	制图精 度 (%)	用户精 度 (%)	制图精 度 (%)	用户精 度 (%)	制图精 度 (%)	用户精 度 (%)	制图精 度 (%)	用户精 度 (%)
1993	82.97	87.99	99.11	95.98	81.94	71.37	73.81	70.27	75.58	76.09	84.43	88.1
	整体精度=86.84%						kappa 系数=0.8171					
2002	制图精 度 (%)	用户精 度 (%)	制图精 度 (%)	用户精 度 (%)	制图精 度 (%)	用户精 度 (%)	产品精 度 (%)	用户精 度 (%)	制图精 度 (%)	用户精 度 (%)	制图精 度 (%)	用户精 度 (%)
	93.48	90.41	96.01	97.81	77.56	78.46	78.44	74.03	81.07	78.08	86.43	86.13
	整体精度=88.18%						kappa 系数=0.8531					
2006	制图精 度 (%)	用户精 度 (%)	制图精 度 (%)	用户精 度 (%)	制图精 度 (%)	用户精 度 (%)	制图精 度 (%)	用户精 度 (%)	制图精 度 (%)	用户精 度 (%)	制图精 度 (%)	用户精 度 (%)
	91.71	88.93	98.85	95.56	78.86	80.01	71.98	74.33	77.87	76.84	87.27	85.71
	整体精度=84.69%						kappa 系数=0.8051					

4.2 湿地植被时空变化分析

(1) 湿地植被面积变化

基于转移矩阵的计算方法，得到的东洞庭湿地 1993~2002 年、2002~2006 年两个时期不同地物类型间的面积转换结果（表 2）。

表 2 湿地面积转移矩阵（单位：km<sup>2</sup>）  
Tah 2 Transition matrix of wetland area (unit: km<sup>2</sup>)

时期	类别	泥滩地	水体	芦苇	林地	裸地	草滩地	总计 (2002)
1993~2002	泥滩地	6.94	117.57	0.63	0.29	0.92	1.34	127.69
	水体	5.89	369.86	0.17	0.02	0.22	0.39	376.55
	芦苇	75.78	67.26	90.99	11.62	2.48	56.87	305
	林地	26.65	47.63	8.57	3.8	1.83	9.81	98.29
	裸地	4.36	2.68	1.9	0.63	1.19	2.09	12.85
	草滩地	83.11	169.18	13.9	6.35	0.75	29.18	302.47
	总计 (1993)	202.72	774.18	116.16	22.71	7.4	99.68	
2002~2006	泥滩地	35.51	10.37	22.56	36.26	4.28	18.71	127.69
	水体	67.97	270.11	7.54	16.79	2.04	12.09	376.55
	芦苇	16.62	4.19	156.43	63.18	14.77	49.82	305
	林地	7.28	0.78	33.44	32.66	3.77	20.37	98.29
	裸地	1.9	0.22	3.38	2.7	2.56	2.09	12.85
	草滩地	14.97	2.92	75.73	65.32	9.17	134.36	302.47
	总计 (2006)	144.24	288.58	299.09	216.91	36.6	237.45	

由于水位年季变化差异会引起水面范围及面积不同，因此本文滩地和水面作为一个整体分析，减少水位变化对湖区面积变化的影响。根据表 2 可知：水体和滩涂整体范围逐年减少，1993~2002 年间缩减速度较快，年均减少面积为 52.43 km<sup>2</sup>，主要转变为苔草滩地和芦苇滩地；2002~2006 年间年均减少面积为 17.86 km<sup>2</sup>，主要转变为芦苇和林地。

经统计可得 1993 年湿地植被面积为 238.55km<sup>2</sup>、2002 年为 705.76km<sup>2</sup>、2006 年为

753.45 km<sup>2</sup>, 湿地植被的总面积逐年增大; 1993~2002 年间, 湿地各类植被面积均不同程度增加, 芦苇增长最快, 年均增长面积为 28.93 km<sup>2</sup>、苔草 22.53 km<sup>2</sup>、林地 8.40 km<sup>2</sup>; 2002~2006 年间, 苔草面积有所减少, 芦苇面积基本保持稳定, 林地迅速增加, 年均增长率约为 30%; 1993~2006 年整个时间段内, 芦苇、林地、苔草滩地的年均增长面积分别为 14.07 km<sup>2</sup>、14.94 km<sup>2</sup>、10.60 km<sup>2</sup>。

### (2) 湿地植被空间变化

单独提取苔草滩地及林地、芦苇信息, 将人工种植的湿地植被(林地、芦苇)作为整体, 应用叠加分析方法, 得到芦苇和林地以及苔草在不同时期的动态变化结果图(图 5)。

由图 5 可知: 林地与芦苇种植范围由堤垸附近向湿地中心蔓延, 逐渐占据泥滩地及自然生长的苔草滩地; 草滩地分布格局变化较大, 1993~2002 年草滩地扩张较快, 占据大片原泥滩地和水域, 2002~2006 年继续向泥滩地蔓延, 但总体分布范围缩减, 减少部分主要被林地、芦苇所取代。

根据质心计算方法, 首先计算东洞庭湖质心。为更直观反映东洞庭湿地不同区域的植被质心迁移, 依据洲滩分布将研究区划分为西、南、东北三部分分别计算三个时期植被的质心坐标, 结果如图 6 所示。

由图 6, 东洞庭湿地西部从 1993~2006 年三种植被类型的质心没有很大迁移, 基本都集中于区域中心位置, 说明芦苇、林地、苔草在该区域分布均匀, 且在近年来在该区域各处的生长变化均衡; 对于北部和东部区域, 1993~2002 年间芦苇、林地、苔草质心均向西南部发生明显迁移, 其中芦苇偏移距离最大, 2002~2006 年间三者质心没有很大变化, 仍表现出继续向湖心偏移; 东洞庭湿地南部植被质心的迁移最明显(如图 6 中右图所示): 1993~2002、2002~2006 三种植被类型质心均明显向湖心迁移, 其中林地质心迁移的距离最大, 苔草质心向湖心迁移的趋势最显著。就整个研究区域而言: 植被质心呈现从林地—芦苇—苔草逐层靠近湖心的分布特点, 并且各类型植被质心都在不断向湖心迁移。

### (3) 变化原因分析

洞庭湖湿地植物群落的自然演替轨迹与洲滩湿地的成因有密切的关系。洞庭湖洲滩湿地有 3 种成因, 即河相沉积、湖相沉积与河湖相沉积。3 种不同的沉积方式主要影响湖床抬高的速度, 植物的发生和演替是伴随着河床的抬高而进行的<sup>[23]</sup>。东洞庭湖受长江和四口来水来沙量的影响, 而且泥沙淤积不均匀, 藕池河东支在进入东洞庭湖后, 泥沙不断淤积在河口两侧的新洲、航杆洲, 使河口不断向东洞庭湖的湖心区延伸, 沙洲不断地向下飘尾方向扩展。赤磊河洪道入东洞庭湖后, 水流挟带的泥沙淤积在合兴洲、柴下洲和下飘尾地区, 入湖沙洲不断向东洞庭湖湖心区推进; 除正常来沙之外, 90 年代以来几场洪水尤其是 1998 年特大洪水在短时间内带来了大量的泥沙, 通过沉积或冲刷促进了湿地的发育。1988~1998 年间, 东洞庭湖的淤积面积 797.8 km<sup>2</sup>、淤积量为  $3.48 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, 淤积平均厚度 0.44 m, 最大淤积厚度出现在东洞庭湖的朝南站附近, 为 12.17 m<sup>[24]</sup>。对比 1993 年与 2002 年湿地分类图, 可知, 藕池东支三角洲和武岗洲—柴下洲—飘尾洲洲滩中部的芦苇趋于完整, 苔草滩地继续向湖心推进; 同时泥沙淤积形成的零星的低位洲滩上发育了新的草滩湿地和芦苇湿地, 与湿地的发育过程一致, 符合湿地植被群落的自然演替规律。

此外, 由植被空间变化分析结果可知 1993~2006 年间芦苇和杨树范围迅速扩张, 这主要是由于近年来洞庭湖区造纸业发展迅猛, 导致造纸原料的需求大幅增加。芦苇作为传统的造纸原料, 在湖区一直保持着较大范围的芦苇种植面积; 杨树是新兴的林纸业主要原



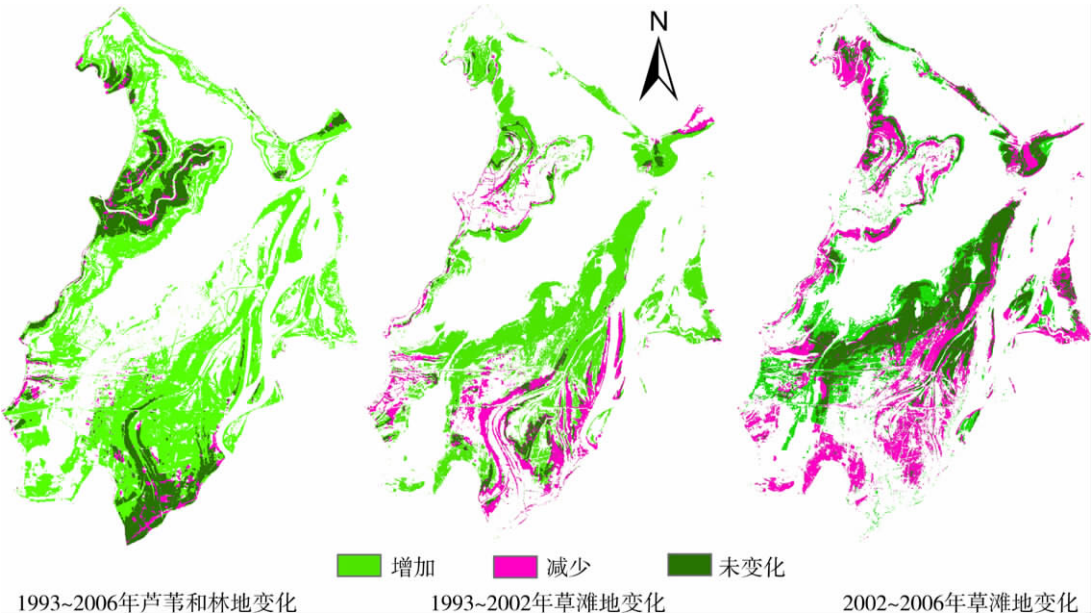


图 5 东洞庭湿地主要植被空间变化

Fig 5 Spatial variation of the main types of vegetation in East Dongting wetland

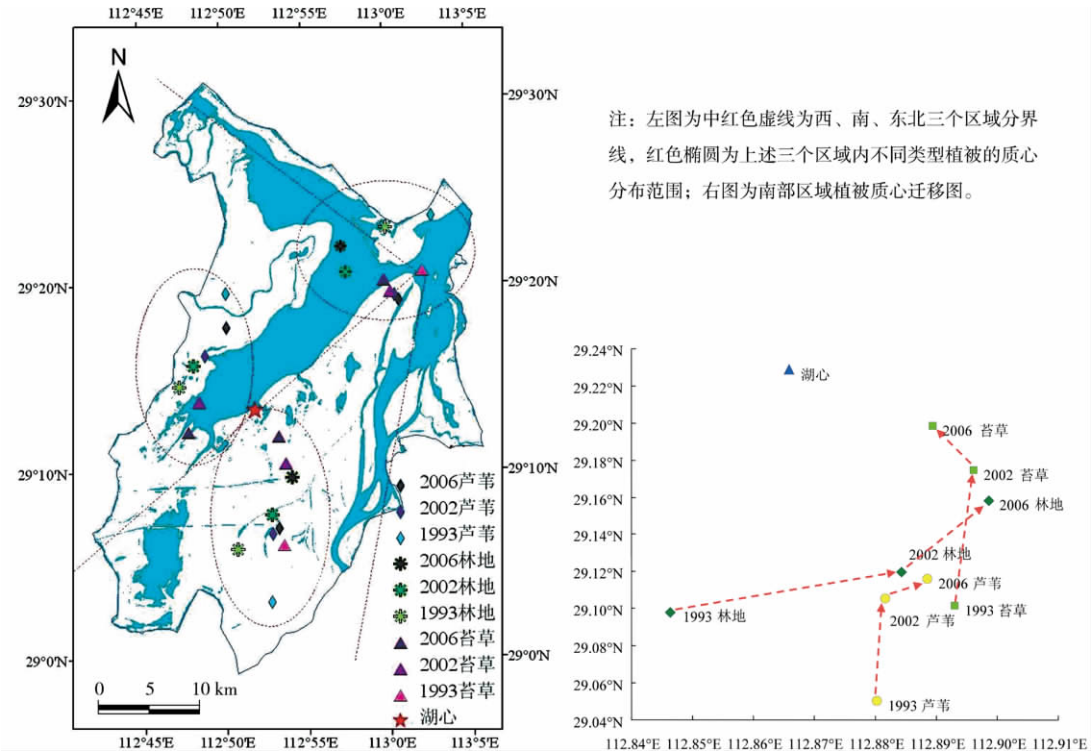


图 6 东洞庭湿地主要植被类型的质心迁移 (1993~2002、2002~2006)

Fig 6 Centroids shifting of major vegetation types in East Dongting wetland (1993~2002 and 2002~2006)



料, 具有较芦苇更大的经济效益, 从而导致了近年来杨树的盲目扩张。洞庭湖区芦苇种植方式一直是比较粗放的原始经营, 其质量退化比较严重, 经济效益不高, 而且芦苇的生长滞洪促淤, 芦苇的收割又影响冬候鸟<sup>[25]</sup>。杨树的迅速蔓延已经打破了东洞庭湿地植被由水生植物—苔草草甸—芦苇、荻类群落—林地的顺向演替过程, 使湖区湿地直接退化成森林湿地。在种植杨树的湖滩, 由于树冠荫蔽作用, 树下原有植被无法生长, 导致湖区湿地植被向物种单一化发展。另外过度种植杨树, 将使湖水流变缓, 使泥沙淤积速度加快, 加速了湿地植被的变化过程。

## 5 结论

(1) 应用决策树分类法对东洞庭湖湿地进行分类可到达较为理想的分类结果, 是具备一定优越性的湿地信息提取方法。

(2) 洞庭湖水体和泥滩地面积不断缩小、湿地植被总面积和其中人工种植的芦苇、林地面积不断增加, 但自然生长的苔草呈现减少趋势, 人工湿地植被类型正在代替苔草成为湿地主要植被类型。造成这种变化的主要原因为河湖泥沙沉积淤积, 另外在湖区大范围种植造纸植被也在一定程度上改变着湿地植被分布格局。

(3) 东洞庭湖湿地植被质心呈现从林地—芦苇—苔草逐层靠近湖心的分布特点; 三类湿地植被质心都在不断向湖心迁移, 其中以芦苇和林地更为显著。

## 参考文献:

- [1] Brian L Becker, David P Lusch, Jianguo Qi. Identifying optimal spectral bands from in situ measurements of Great Lakes coastal wetlands using second-derivative analysis. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 97(2): 238~248.
- [2] Barbara J Kent, Joy Nystrom Mast. Wetland change analysis of San Dieguito Lagoon, California, USA: 1928~1994. *Wetlands*, 2005, 25(3): 780~787.
- [3] Mehrabian A, Naqinezhad A, Mahiny A S, *et al.* Vegetation mapping of the Mond Protected Area of Bhehr Province (South-west Iran). *Journal of Integrative Plant Biology*, 2009, 51(3): 251~260.
- [4] Jessika Tböyrö, Alain Pietroniro. Towards operational monitoring of a northern wetland using geomatics-based techniques. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 97(2): 174~191.
- [5] He C, Zhang Q, Li Y, *et al.* Zoning grassland protection area using remote sensing and cellular automata modeling: A case study in Xilingol steppe grassland in northern China. *Journal of Arid Environment*, 2005, 63: 841~826.
- [6] Hess Laura L, Melack John M, Nove Evelyn M L M, *et al.* Dual-season mapping of wetland inundation and vegetation for the central Amazon basin. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 87: 404~428.
- [7] Fromard F, Vega C, Proisy C. Half a century of dynamic coastal change affecting mangrove shorelines of French Guiana: A case study based on remote sensing data analyses and field surveys. *Marine Geology*, 2004, (208): 265~280.
- [8] Shua B K, Tuluhan Y, Coskun O. Mapping and monitoring of coastal wetlands of Cukurova Delta in the Eastern Mediterranean region. *Biodiversity and Conservation*, 2004, (13): 615~633.
- [9] 雷天赐, 黄圭成, 雷义均. 基于高程模型的鄱阳湖湿地植被遥感信息识别与分类提取. *资源环境与工程*, 2009, 23(6): 844~847.
- [10] 沈芳, 周云轩, 张杰, 等. 九段沙湿地植被时空遥感监测与分析. *海洋与湖沼*, 2006, 37(6): 498~504.
- [11] 张杰, 沈芳, 刘志强. 长江口潮滩湿地植被光谱分析与遥感检测. *华东师范大学学报: 自然科学版*, 2007, (4): 42~63.
- [12] 那晓东, 张树清, 孔博, 等. 三江平原土地利用/覆被动态变化对洪河保护区湿地植被退化的影响. *干旱区资源与环境*, 2009, 23(3): 144~150.
- [13] 徐怡波, 赖锡军, 周春国. 基于 ENVISAT ASAR 数据的东洞庭湖湿地植被遥感监测研究. *长江流域资源与环境*, 2010, 19(4): 452~459.
- [14] 胡金明, 李杰, 袁寒, 等. 纳帕海湿地季节性景观格局动态变化及其驱动. *地理研究*, 2010, 29(5): 899~908.

- [15] 王红娟,姜加虎,黄群. 东洞庭湖湿地景观变化研究. 长江流域资源与环境, 2007, 16(6): 732~737.
- [16] 李峰,侯志勇,陈心胜,等. 洞庭湖湿地植被组成及区系成分分析. 农业现代化研究, 2010, 31(3): 347~351.
- [17] 朱晓荣,张怀清,周金星. 东洞庭湖湿地遥感动态监测研究. 林业科学研究, 2008, 21(S1): 41~43.
- [18] 国家林业局湿地公约履约办公室. 湿地公约履约指南. 北京: 中国林业出版社, 2001. 16~17.
- [19] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法. 北京: 科学出版社, 2004. 222~241.
- [20] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究. 遥感学报, 2005, 9(5): 589~595.
- [21] 白军红,欧阳华,崔保山,等. 近 40 年来若尔盖高原高寒湿地景观格局变化. 生态学报, 2008, 28(5): 2245~2252.
- [22] 来红州,莫多闻,苏成. 洞庭湖演变趋势探讨. 地理研究, 2004, 23(1): 75~86.
- [23] 黄进良. 洞庭湖湿地的面积变化与演替. 地理研究, 1999, 18(3): 297~304.
- [24] 高俊峰,张琛,姜加虎,等. 洞庭湖的冲淤变化和空间分布. 地理学报, 2001, 56(3): 269~27.
- [25] 方精云. 长江中游湿地生物多样性保护的生态学基础. 北京: 高等教育出版社, 2006. 185~222.

## Vegetation pattern changes and their influencing factors in the East Dongting Lake wetland

LEI Xuan<sup>1,2</sup>, YANG Bo<sup>3</sup>, JIANG Wei-guo<sup>1,2</sup>, YANG Yipeng<sup>4</sup>,  
Claudia KUENZER<sup>5</sup>, CHEN Qiang<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. College of Resources and Environmental Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China; 4. Application Center for Satellite Environmental Monitoring, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100094, China; 5. German Aerospace Center (DLR), German Remote Sensing Data Center (DFD), Oberpfaffenhofen, 82234 Wessling, Germany)

**Abstract:** The bases for the protection of wetland vegetation cover and for the design of vegetation recovery initiatives is an available vegetation cover framework, including the variational characteristics and the investigation of factors influencing vegetation variability. In this paper, using Landsat TM/ETM+ data, we developed a decision framework for the extraction of wetland landscape information from three periods for East Dongting Lake. We then performed analyses of the changes of vegetation on the basis of transfer matrix and the centriods shifting method. Results are shown as follows. (1) From 1993~2002, the areas of forested land, reed land, and carex covered area increased, among them the reed land increased fastest, with an annual growth of 28.93 km<sup>2</sup>. During 2002~2006, forested land increased rapidly, with an annual growth of 29.655 km<sup>2</sup>, while the carex area decreased, and reeds remained unchanged. (2) The distribution of centroids of forest, reed and carex in the East Dongting Lake wetland layer by layer are close to the lake center, and entroids of these three vegetation types ceaselessly shifted to the lake centre from 1993 to 2006, among which, changes of forest and reed were more remarkable.

**Key words:** remote sensing; the East Dongting Lake; wetland; vegetation; driving forces