

基于 Landsat 的近 20 余年东洞庭湖 湿地草洲变化研究

唐 玥^{1,2}, 谢永宏^{1*}, 李 峰¹, 陈心胜¹

(1.中国科学院亚热带农业生态研究所, 亚热带农业生态过程重点实验室, 洞庭湖湿地生态
系统观测研究站, 湖南 长沙 410125; 2.中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 利用多时相 Landsat TM/ETM+ 影像, 采用决策树分类法解译水域、泥沙滩地、草洲 3 种湿地类型, 结合数字高程模型和相关水文信息, 通过矩阵转移和贝塞尔曲线插值的方法, 对低水位条件下东洞庭湖湿地草洲的时空变化特征进行分析。结果如下: (1) 1989~2011 年, 草洲面积增加 305.06 km², 泥滩地面积减少 274.28 km², 水域面积呈波动状态; (2) 草洲的主要扩张区域为长洲、新生洲、飘尾洲沿湖盆边缘部分、牛头洲大面积区域、武光洲-柴下洲、中洲-团洲部分; (3) 草洲面积按高程分布呈先增后减特征, 草洲覆盖的优势区域与非优势区域的高程分界点逐渐降低, 水域和泥滩地分布的优势区域高程范围缓慢下移。草洲植被的生长分布和淹水条件关系密切, 泥沙淤积和水文条件的改变都能导致淹水条件的变化, 进而推进东洞庭湖草洲范围的扩张。此研究对于进一步明确洞庭湖湿地演变趋势及其形成机制具有重要意义。

关键词: 遥感; 东洞庭湖湿地; 草洲; 淹水天数

中图分类号: X143 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-8227(2013)11-1484-09

洞庭湖为我国第二大淡水湖泊, 具有调节江河径流、净化水质、维护生物多样性和改善生态环境等多种生态服务功能, 充分发挥其服务功能对于维系长江中下游社会-经济-生态可持续发展具有重要意义^[1]。同时, 洞庭湖作为东北亚冬候鸟重要栖息地和湿地生态系统保护地, 生物多样性极为丰富, 目前已记录有高等植物 235 种, 鱼类 114 种, 其他水生生物 68 种, 鸟类 158 种^[2]。然而, 近百年来尤其是 1949 年后, 由于自然灾害、人类不合理的开发利用(如围垦、过渡捕捞、开沟种杨等)以及大范围高强度人为干扰(如三峡水库等大型水利工程)等多重因素的影响, 导致湖泊面积迅速萎缩, 湖泊调蓄能力严重衰退, 江湖关系恶化, 洪涝灾害加剧等多种生态环境问题日趋严峻。尤其是近年来, 水资源短缺事件的频发引发了人们对洞庭湖湿地生态环境持续恶化、生态系统服务功能持续下降的担忧^[3]。因此, 洞庭湖湿地的演变趋势和方向是当前所面临的重要科学议题。

湿地处于水陆交接的脆弱地带, 生态平衡极易受到破坏。湿地植被是湿地生态系统中最敏感、最基本的组成部分, 对湿地生态系统的结构和功能具有强烈的改造修复作用, 一直以来都是湿地研究的热点之一。随着 GIS 技术的发展, 越来越多的学者利用 GIS 技术对湿地植被资源进行动态监测, 利用多光谱、多时相、大面积的遥感数据对湿地空间格局特征等进行了研究^[4~10]。水文过程对湿地生态系统的形成和演化具有重要的调控作用, 如水位条件是影响湿地草洲分布的关键因子之一^[11]。然而, 目前国内外的研究中, 极少能够将准确的水位信息与湿地植被分布及变化联系起来开展研究, 而水位信息的不明确会对遥感分类造成困难, 甚至导致结果不准确。本文以东洞庭湖为例, 利用多时相的 Landsat TM/ETM+ 影像, 根据日水位信息确定最终遥感数据, 将由水位影响造成的错误尽可能减小, 得出多年东洞庭湖湿地草洲的时空分布特征, 并结合 1:10 000 地形图和城陵矶日观测水位, 探讨草洲

收稿日期: 2012-11-02; 修回日期: 2012-12-21

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(2012CB417005); 国家自然科学基金面上资助项目(31200271; 30770362)

作者简介: 唐 玥(1986~), 女, 陕西省宝鸡人, 硕士研究生, 主要从事湿地景观研究。E-mail: tangyue-ty@163.com

* 通讯作者 E-mail: yonghongxie@163.com

变化的时空分布特征及其与水位条件的关系,以期
为洞庭湖湿地保护及其可持续管理提供依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

东洞庭湖湿地(112°19′~113°05′E, 28°28′~29°35′N)位于湖南省东北部,长江荆江段南侧,总面积约 1 322.55 km²,是洞庭湖东、南、西 3 个湖泊中保留最完整的湖泊^[12]。东洞庭湖湿地是洞庭湖的主体部分,约占洞庭湖面积的一半,具有丰富的湿地植被资源^[13]和典型的周期性水文过程。该区已于 1992 年被联合国教科文组织列入《国际重要湿地名录》,1994 年被国务院确定为国家级自然保护区。东洞庭湖湿地属亚热带湿润气候,日照充足,雨量充沛,年均气温 17℃,降水量 1 200~1 300 mm,无霜期 285 d^[14]。东洞庭湖湿地水域随季节变化很大,呈现“涨水为湖,退水为洲”的动态景观。年内汛期可持续 3~4 个月。4 月水位开始上升,6~8 月水位达到最高峰,9 月水位下降,12 月至次年 3 月为水位最低值。东洞庭湖区承纳湘、资、沅、澧四水,经城陵矶流入长江,对长江水量具有强大的调节作用。该区生物资源丰富,仅植物就有 170 科 637 属 1 428 种,是我国湿地多样性最丰富的地区之一^[15]。

1.2 数据源与研究方法

1.2.1 数据源

(1) DEM 数字高程模型。本地地形数据为长江水利委员会 1995 年实测的 1:10 000 洞庭湖湖盆数字高程模型(赤山湖总圩垸部分被剔除),根据地理坐标截取东洞庭湖部分(图 1)。

(2) 水文数据。城陵矶位于东洞庭湖北端、长江与洞庭湖的交汇处,是长江三口和湖南四水的入湖水沙经调蓄再度入江的唯一出口。城陵矶水文站所使用的七里山流量断面为沙质河床,仅有缓慢的冲淤趋势,年内冲淤变化不大。水位的周期变化规律相对平稳,受其他因素影响较小。在本文中,以城陵矶水文站 1985~2011 年的日水位数据代表东洞庭湖的水文变化。

(3) Landsat TM/ETM+ 遥感影像数据。根据城陵矶日水位数据、DEM 数字高程图以及中国科学院洞庭湖湿地生态系统观测研究站多年植被调查结果,选取日水位在 22 m 以下的遥感影像,以避免因水位较高而草滩无法完全显现导致遥感解译结果的错误。1985~2011 年 1、2、12 月的平

均水位小于 22 m,此时潜在草洲区域全部出露,同时植被处于非生长期,短期内草洲覆盖区域无大的变化;3 月份平均水位为 22.25 m,植被萌芽,随着水位的升高,对草洲分布范围的影响加大;因此,选择草洲植被萌芽生长的时间分界点的水位为遥感影像选取基本原则。同时,为增加遥感影像的可比性,将遥感影像所对应的水位日数据控制在 21~22 m。根据洞庭湖湿地站近 6 a 的野外调查资料,如果在 23 m 以下,草洲基本都能显现出来。由于水位信息的限制,同时 1989 年以前满足上述条件的遥感影像气象条件无法满足,最终选取的遥感影像信息见表 1。

1.2.2 解译方法及处理平台

对东洞庭湖 DEM 数字高程模型进行针对遥感影像的空间配准,然后以其为范围制作掩模裁剪遥感影像。其中 2005 和 2011 年的 Landsat 条带问题通过 ENVI 的 Landsat_gapfill 条带修复补丁进行修复。本文采用基于专家知识的决策树分类法提取草洲、泥滩地和水域信息。决策树是一个类似于流程图的树形结构,从共有信息量最大的节点开始分支,利用每种特定类型的属性特征建立节点,逐步分类;具有高计算速率、高准确率的特点。

以 2011 年为例,具体操作是:通过目视解译选取 387 个训练样本(每一类不少于 100 个)同时结合波普曲线确定不同湿地类型的植物特征波段阈值,综合植被归一化指数(NDVI)初步建立决策树逻辑关系;然后利用中国科学院洞庭湖湿地生态系统观测研究站的 2012 年实际调查资料(共 325 个样点)校正 2011 年 2 月 24 日决策树各节点阈值,最终确定决策树模型。由于遥感影像的获取季节为冬季,此时芦苇基本全部收割完毕,湖草也已枯萎,通过对已知芦苇场及湖草区域训练样本的多次提取,确定 $NDVI \geq 0.3$ 且 $band4 > 57$ 的区域为草洲。训练样本提取过程中,水域和泥滩地(湿润土壤)在波段 4 最为明显,颜色由黑至浅灰,可分离植被;波段 7 对于岩石的辨识度极好,进一步分离出呈灰色至白色的泥滩地,黑色为水体;剩余部分除波段 4 呈黑色的水域外还可能包括植被新近零星生长过植被的裸地,其显示为湿润土壤,利用 EDVI 值和波段 4 区分水体和湿润土壤,后根据区域调查资料确定未分类点的类型。最后利用 ENVI4.8 建立决策树模型(图 2)进行分类。其他年份根据其 2011 年的波普曲线的细微差异做出微调。

分类完成后利用 ENVI 中的混淆矩阵对 5 期影

像进行精度评价。对 1989、1995、2000、2005、2011 年数据通过目视解译分别选取 311、293、300、285、272 个地表真实感兴趣区,精度评价结果中总体精度和 Kappa 系数依次为:1989 年,91.930 2%、0.872 0;1995 年 92.172 6%、0.893 0;2000 年,92.721 5%、0.894 6;2005 年,95.352 6%、0.919 2;2011 年,95.799 1%、0.928 4;结果良好。后期分析以 ArcGis10.0 为平台计算。

1.2.3 分析方法

(1) 矩阵转移法分析草洲覆盖区域变化

利用 ArcGis 10.0 的地图代数模块,通过对东洞庭湿地类型的 5 期基础图及 4 段转移变化期(1989~1995、1995~2000、2000~2005、2005~2011 年)进行合适的数学运算求得湿地类型之间中未变化部分,减少部分及其去向,增加部分及其来源,得出湿地类型的转移矩阵。

(2) 贝塞尔曲线插值分析草洲分布高程变化

贝塞尔曲线被广泛地在计算机图形中用来为平滑曲线建立模型。给定点 $P_0、P_1、\dots、P_n$,其贝塞尔曲线即:

$$B(t) = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} P_i (1-t)^{n-i} t^i = P_0 (1-t)^n + \binom{n}{1} P_1 (1-t)^{n-1} t + \dots + P_n t^n, t \in [0,1]$$

将 DEM 数字高程模型与解译结果合并运算,得不同年份不同湿地类型的高程分布范围,利用贝塞尔曲线(Bazier)插值求得草洲优势生长区域和水域及泥滩地的高程分界点。由于水位的微小差异也能改变泥滩地的出露面积,故将泥滩地和水域合并分析其与草洲的分界点高程,统称非草洲区。基于贝塞尔平滑曲线的连续性,曲线某点的值为此点切线的值,而非统计值,是一个连续的理想化模型。本文所得某高程的草洲面积为一定高程下草洲面积的理想值,即此点切线的值。在此曲线中,高程线被切分至无限小而成为一点,某一高程段的面积应为过横坐标两点与横轴垂线范围内贝塞尔曲线和横轴所夹面积的值。

2 结果

2.1 湿地面积的时间变化

通过决策树分类法得五期湿地草洲分布状况(图 3)及各湿地类型面积(表 2)。结果发现,湖盆边缘、澧湖东南部的武光洲-柴下洲芦苇场以及君山、城陵矶以南的元咀、牛头洲等是草洲发

生变化的主要区域。1989~2011 年,草洲面积持续增加,由 577.35 km² 增加为 882.41 km²,共增加了 305.06 km²;泥滩地面积持续减少,由 1989 年的 424.33 km² 减少为 2011 年的 150.6 km²,共减少 274.28 km²;水域面积呈波动状况,变化范围为 261.05~342.51 km²。草洲面积占东洞庭湖的总面积持续增加,由 1989 年的 43.65% 增加为 2011 年的 66.72%,共增加了 23.07%。可见,草滩挤占了泥滩地而不断扩张,现仍处于扩张中。

2.2 草洲覆盖的空间变化

东洞庭草洲面积增加的区域特征为:

(1)1989~1995 年主要集中在北洲、团洲、望君洲部分、藕池河东支、西平湖洲等地,1995~2000 年仅在藕池河较为明显,2000~2005 年为武光洲之北的四港子、五港子等以及飘尾洲北部增加较多,2005~2011 年草洲增加主要集中在沿湖盆边缘的飘尾洲部分、君山西北方向部分、麻塘西部等区域(图 4)。

(2)1989~2000 年武光洲、柴下洲的西部,1995~2005 年望君洲西北以及 2000~2011 年长洲东北部分、新生洲沿湖盆部分、澧湖东南角的鱼棚拐和新一港出现先减后增现象(一方面是遥感影像获取的水位轻微差异造成的解译误差,另一方面由于变化期间的淹水时间过长使得湖草淹死退化为光滩),结合图 3 得知以上区域在相应变化期内草洲面积呈增加趋势。

(3)1989~2011 年,草洲主要扩张区域为长洲、新生洲、飘尾洲沿湖盆边缘部分、牛头洲大面积区域、武光洲-柴下洲区域、中洲-团洲部分。东洞庭湖减少部分集中在风车拐、北洲、五港子、六港子等少数区域(图 4)。

通过 Arcgis 10.0 运算得湿地类型的转移矩阵(表 3)。发现四段转移变化期草洲新增区域的平均速率依次为 28.73、32.30、25.37 和 25.35 km²/a,减少区域速率为 13.12、17.15、15.50 和 10.96 km²/a,净增长速率分别为 15.61、15.15、9.87 和 14.39 km²/a。由泥滩地转化来的草洲占实际草洲增加区域的面积比例逐渐减少,依次为 95.82%、96.65%、90.28%、69.52%。可见,东洞庭湖的草滩地在近 23 a 来一直处于快速扩张之中。可以推测,由水域-泥沙滩地-草洲的演变时间缩短,由于影像的水位信息相近,可知泥沙淤积造成的洲滩抬升对草洲面积增加的影响逐渐增强。

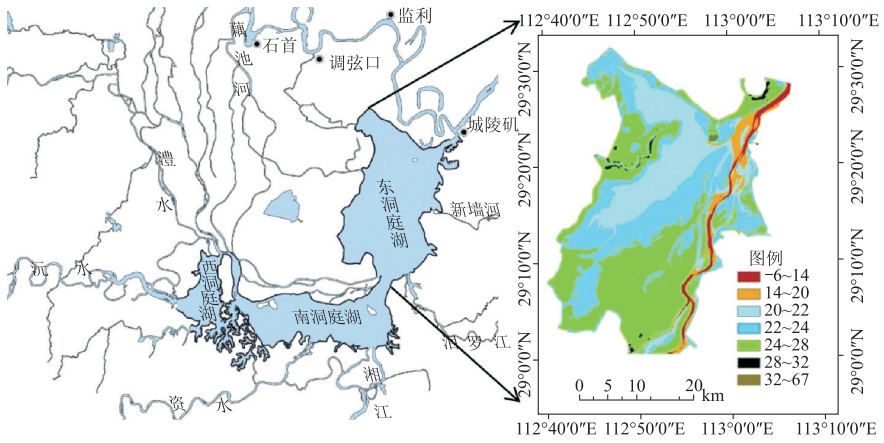


图 1 东洞庭湖地理位置及 DEM

Fig.1 Location of the East Dongting Lake and DEM

表 1 TM 影像数据源信息

Tab.1 Data Information for TM Image

日期	影像类型	水位(m)
1989-01-26	Landat4-5 TM	21.44
1995-12-05	Landat4-5 TM	21.49
2000-02-26	Landsat7 ETM+	21.06
2005-01-06	Landsat7 ETM+	21.18
2011-02-24	Landsat7 ETM+	21.66

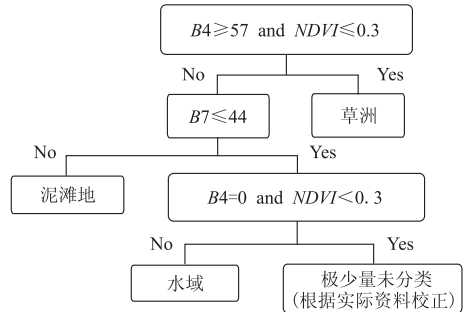


图 2 决策树模型

Fig.2 Decision Tree Model

2.3 草洲分布高程变化

将 5 期解译结果与东洞庭湖数字高程模型合

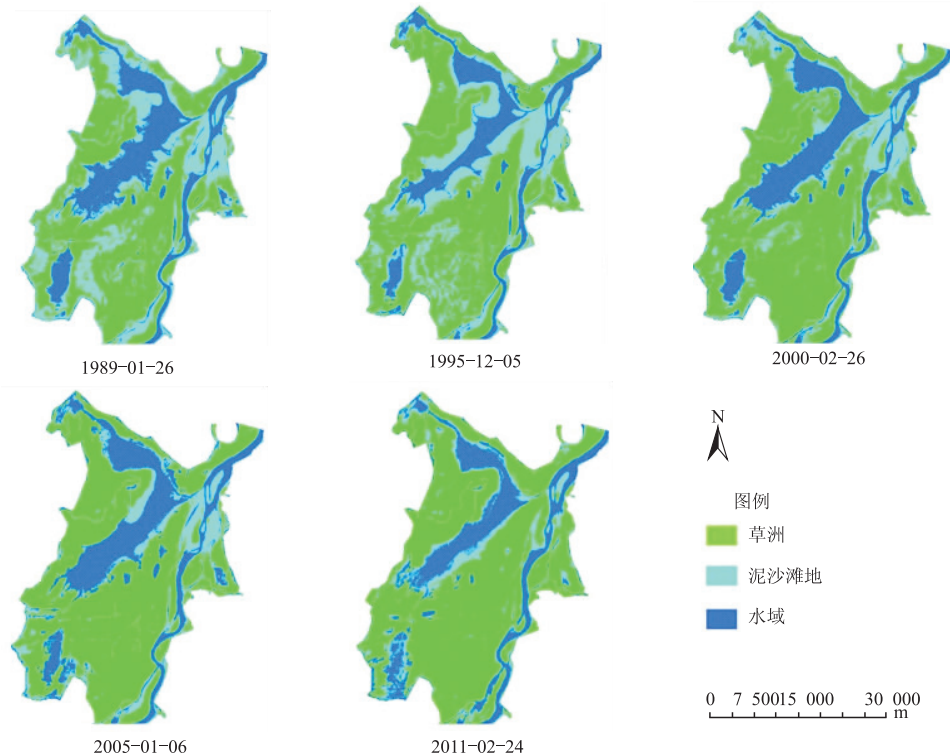


图 3 东洞庭湖不同时期湿地面积

Fig.3 Wetlands Area in Different Years

表 2 不同时期各湿地类型的面积(km²)

Tab.2 Areas of Wetland Types in Different Period

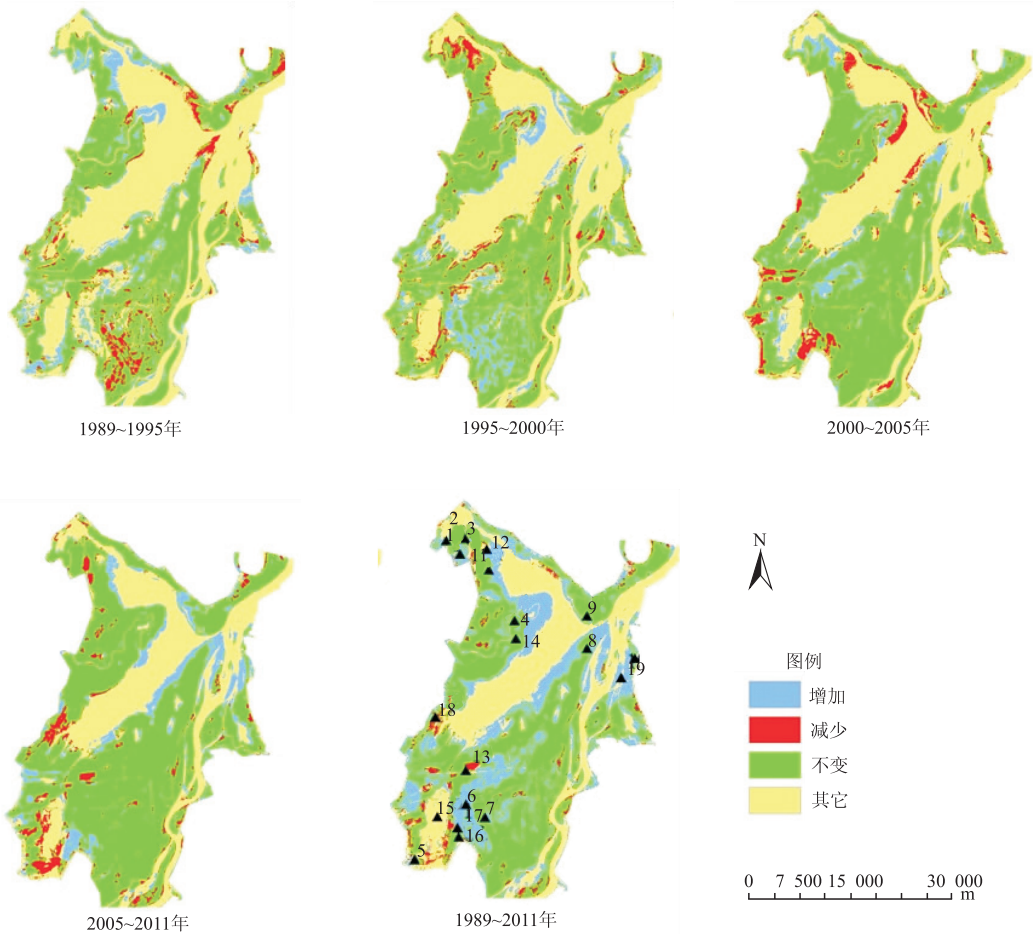
日期	草洲	泥滩地	水域	草洲/湿地
1989-01-26	577.35	424.33	320.86	43.65%
1995-12-05	670.98	390.51	261.05	50.73%
2000-02-26	746.72	271.00	304.83	56.46%
2005-01-06	796.09	183.96	342.51	60.19%
2011-02-24	882.41	150.61	289.53	66.72%

并,得到不同高程下各湿地类型分布状况,简单划分为草洲区和非草洲区(图 5)。草洲的分布具有明显的优势高程,24~25 m 达到峰值,呈先增后减的变化特征。高程降低至一定程度时,草洲分布优势消失,非草洲区(包括水域和泥滩地)占主导地位。通过贝塞尔插值法求得各年草洲区和非草洲区的高程分界点及相应面积 1989~2011 年依次为:(23.46 m,106.7 km²)、(23.28 m,98.4 km²)、(23.17 m,94.8 km²)、(22.86 m,88.2 km²)、

(22.44 m,87.5 km²),即在此高程上草洲和非草洲区的面积在用贝塞尔曲线插值的条件下是相等的;非草洲区最优分布高程及其对应的面积依次为:(22.03 m,162.4 km²)、(22.03 m,153.8 km²)、(22.00 m,136.7 km²)、(21.93 m,145.8 km²)、(21.86 m,113.5 km²)。从以上结果可以看出,草洲的优势分布高程以及草洲和非草洲的分界点高程自 1989~2011 年不断缓慢下降且面积逐渐减少。因此,草洲面积及分布区域逐步扩张主要由分布高程缓慢下移所引起。

3 讨论

洞庭湖的植被演变过程明显受水文和泥沙淤积所影响,水文和泥沙的调控作用形成了洞庭湖特有的双重植被演替模式:水生演替和洲滩演替^[16]。—



注:1.北洲;2.中洲;3.团洲;4.藕池河;5.西平湖洲;6.武光洲;7.柴下洲;8.飘尾洲;9.君山;10.麻塘;11.望君洲;12.长洲;13.四港子、五港子、六港子;14.新生洲;15.漉湖;16.鱼棚拐;17.新一港;18.风车拐;19.牛头洲

图 4 东洞庭湖不同时段草洲空间变化

Fig.4 Spatial Variation of Grassland in Different Period

表 3 湿地面积转移矩阵(km²)

Tab.3 Transition Matrix of Wetland Area

年份	类别	草洲	泥滩地	水域	合计
1989~1995	草洲	498.63	165.14	7.21	670.98
	泥滩地	74.70	161.69	86.99	390.51
	水域	4.03	30.36	226.65	261.05
1995~2000	草洲	85.21	156.10	5.41	746.72
	泥滩地	81.09	160.36	29.56	271.00
	水域	4.68	74.06	226.09	304.83
2000~2005	草洲	669.24	114.52	12.33	796.09
	泥滩地	53.70	109.91	20.34	183.96
	水域	23.78	46.56	272.17	342.51
2005~2011	草洲	730.31	105.74	46.36	882.41
	泥滩地	39.78	49.58	61.25	150.61
	水域	25.99	28.64	234.90	289.53
1989~2011	草洲	534.08	306.76	41.57	882.41
	泥滩地	26.05	69.82	54.73	150.61
	水域	17.22	47.75	224.56	289.53

注:表中数据为行中湿地类型转化为列中湿地类型的面积。

般情况下,沉水植物、浮水植物和挺水植物的有机残体和泥沙淤积缓慢抬升湖泊潜水区域,生长在近水区域的湖草以水生演替方向为主占据浅水裸地,此为水生演替。同时,洞庭湖植被演替也受泥沙淤积速率的影响,当泥沙淤积加快时,木本植物快速占据洲滩;淤积减缓时,苔草等湿生植被逐渐占据低位洲滩,此为洲滩演替。本研究表明,东洞庭植被不断挤占泥滩地而使草洲面积持续增加。这主要是由于该

时期内洞庭湖不断淤积、水位下降等水沙环境变化造成的。

长期以来,洞庭湖因泥沙输入量大而淤积严重。1951~2008年,湖南“四水”累积输入泥沙 16.3×10^8 t,平均 0.28×10^8 t/a;荆江“三口”输入泥沙 70.9×10^8 t,平均 1.22×10^8 t/a;去除城陵矶出口排出的泥沙总量 23.23×10^8 t后,沉积总量达 64.01×10^8 t,平均 1.1×10^8 t/a^[17]。本文研究结果表明,1989~2000年武岗-柴下洲、飘尾和藕池河东支的草洲覆盖逐渐完整,这与王红娟等^[18]的研究结果一致。通过1988年和1998年的DEM图的详细对比研究发现,东洞庭湖主要淤积区域为藕池河东支入湖口两侧的新洲、舵杆洲;下飘尾洲至君山一带;东洞庭湖入湖口处的柴下洲、上飘尾^[19,20];主要冲刷区域为东洞庭湖南部^[20]。从以上结果可知,淤积区与草洲的变化区域完全吻合。此外,姜家虎等^[19]通过对1988年和1998年的洞庭湖DEM图的对比研究发现,这10a间,湖泊面积萎缩超过40 km²的高程范围为22~27 m,面积最大的为58.7 km²,对应高程是22和24 m。东洞庭湖仍然是湖泊面积萎缩的主体,占到全湖的2/3,最大为56.7 km²,对应高程是22 m,这一高程与本文所得到的草洲-泥滩地分界高程的变化也基本吻合。可以认为,1989~2000年的草洲变化是泥沙淤积驱动的结果,泥沙淤积过程加快了草洲挤占泥沙滩地的速度。

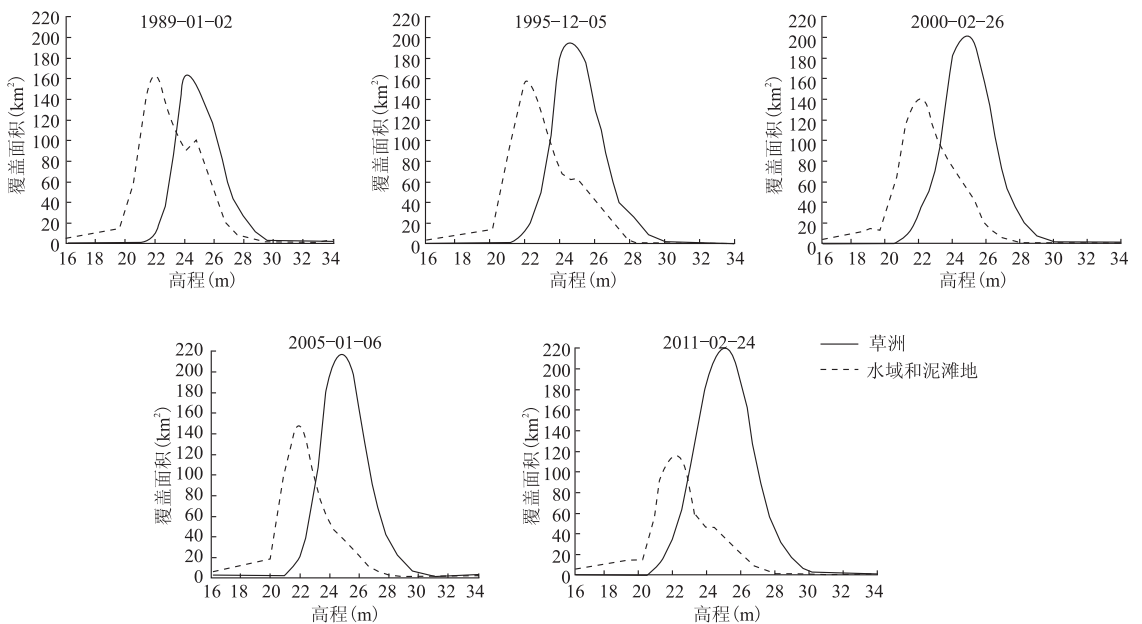


图 5 东洞庭湖草洲区和非草洲区分布高程

Fig.5 Altitude Distribution of Grassland and Non-grassland

2000 年以后,尤其三峡工程运行以后,洞庭湖泥沙淤积量明显减小,其中 2006、2008 和 2009 年的泥沙淤积量分别为 -331×10^4 、 -217×10^4 和 -470×10^4 t,这是洞庭湖历史上首次出现的现象,即泥沙输出量大于泥沙输入量。而本文的研究结果表明,草洲面积在藕池河东支西北的长洲、中洲-团洲等区域以及飘尾洲东北的牛头洲、元咀等地有所增加。可见,2000 年以后草洲的变化区域与 1989~2000 年的是一致的,变化的高程依然在 22~24 m。事实上,洞庭湖一直以来都存在冲、淤周期性变化的情况,即部分地区被冲刷,部分地区被淤积。高俊峰等^[20]对三峡工程运行后湖盆地形变化的预测研究发现,即使三峡工程运行后泥沙淤积大幅度减少,其主要淤积区与 1988~1998 年是一致的。此外,洞庭湖年平均水位 1989~2008 年的多年平均值为 25.26 m,其变动趋势总体上可分为 2 个阶段:1989~2005 年为水位波动段,表现为当年平均水位围绕多年平均值上下波动;2006~2008 年为水位低值段,表现为连续 3 a 低于多年平均值,如 2006 年的比多年平均值低 1.36 m,2007 年的低 0.64 m,2008 年的低 1.32 m^[17,21]。由本文表 3 发现,2000 年以后,由泥沙滩地演变为草洲的面积较 2000 年以前显著降低,降幅达 40~50 km²,且有逐渐降低的趋势,事实上,这与三峡运行后泥沙淤积量减少,因淤积使洲滩抬升所演变的新生泥沙滩地的面积相对减少有直接关系。此外,三峡,且有逐渐降低的趋势,事实上,这与三峡运行后泥沙淤积量减少,因淤积使洲滩抬升所演变的新生泥沙滩地的面积相对减少有直接关系。此外,三峡运行后几年的水位值段,水域演变为草洲的面积相对增大,大于 30 km²。事实上,淤积和水位降低的作用是一致的,即淤积相当于该区域的水位下降。因此,2000 年后草洲时空分布的变化可能是区域淤积和水位变化共同作用的结果。

有学者认为,植被分布的低端往往是由淹水条件决定的,即淹水天数(指一年中某高程的洲滩被水全部淹没的天数)或洲滩出露时间(为淹水天数的反义,指一年中某高程的洲滩露出水面的天数)的变化能反应植被的变化格局^[16,22]。水位变化可直接引起植被淹水条件的变化,同时,泥沙淤积造成的洲滩抬升,变相延长洲滩出露时间,改变了植被的淹水条件,促进了植被的扩张^[23]。湿地的周期性淹水条件阻断或者减缓了大部分植被的生长过程,淹水时间越长对植被生长的影响越大。只有持续性的淹水条

件变化才能对湿地植被区域分布变化产生影响^[24]。1989~2011 年,草洲区和非草洲区的高程分界点逐渐下移,非草洲区的最优高程点同样缓慢下移,植被逐渐向较低位洲滩扩张。分别取 22.0、22.5、23.0、23.5 m 高程,计算淹水天数的变化(由于草洲生长相对于水位变化的滞后性,本文对淹水天数的计算始于 1985 年),可以看出(图 6),这几个高程对应的淹水天数随时间变化不断减少。按照线性模型估算,高程 22 m 的淹水时间由 1985 年的 280 d 减少为 2011 年的 264 d;22.5 m 的由 1985 年的 252 d 减少为 2011 年的 219 d;23 m 的由 1985 年的 252 d 减少为 2011 年的 219 d;23.5 m 的由 1985 年的 240 d 减少为 2011 年的 199 d,即 1985 年 23 m 和 23.5 m 与 2011 年 22.5 m 的淹水天数比较接近。可见,淹水天数的变化与分界高程点的下降具有很好的一致性。淤积或水位的变化引起淹水天数或洲滩出露时间的变化可能是引起东洞庭湖草洲在 1989~2011 年不断扩张挤占泥滩地或水域的主要原因。此外,人类活动对东洞庭湖湿地草洲变化的影响不可忽视。如 20 世纪 90 年代兴起的杨树栽种热潮,大面积草地及泥沙滩地被种植杨树,加快了湿地向陆地生态系统的演替^[22]。在随后的研究中,将不同植被类型的空间分布特征的变化及其与水位周期性变化的关系,将能更深入的阐明水文环境对植被分布的影响机理。

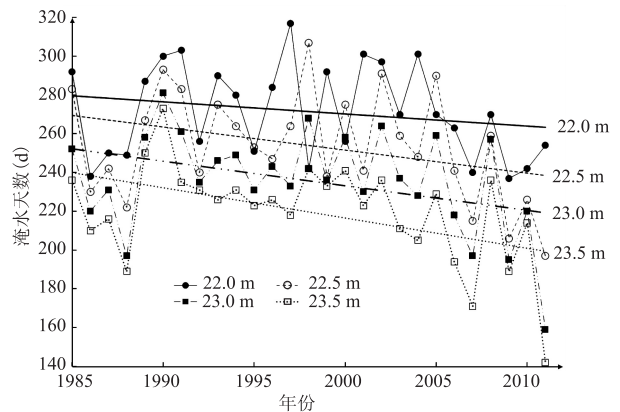


图 6 1989~2011 年东洞庭湖不同高程淹水天数变化
Fig.6 Variation of Submerged Days on Different Elevation of Grassland from 1989 ~ 2011

4 结论

(1)通过 5 期遥感图像的对比及其与水文数据的结合分析知,随着时间的推移,东洞庭湖湿地的草

洲分布区域发生了很大的变化。1989~2011 年,草洲不断侵占泥滩地而逐渐扩张,水域面积呈波动状态。草洲的主要扩张区域为长洲、新生洲、飘尾洲沿湖盆边缘部分、牛头洲大面积区域、武光洲-柴下洲、中洲-团洲部分。

(2)草洲分布的优势区与非优势区的高程分界点也随着水位的变化而下移达 1 m;非草洲区最优高程点缓慢下移;不同高程草洲分布面积先增后减,最优高程在 24~25 m。

(3)泥沙淤积和水文条件的变化对草洲覆盖区域的变化影响显著。草洲面积变化速率的趋势与泥沙淤积变化趋势一致,草洲面积按高程分布变化特征与水位的年内变化相一致,草洲扩张的垂直方向与多年一定高程的淹水天数变化方向一致。

参考文献:

- [1] 谢永宏,李 峰,陈心胜.洞庭湖最小生态需水量研究[J].长江流域资源与环境,2012,21(1):64-70.
- [2] 侯志勇,谢永宏,陈心胜,等.洞庭湖湿地外来入侵植物研究[J].农业现代化研究,2011,32(6):744-747.
- [3] CHANG J, LI J B, LU D Q, et al. The hydrological effect between Jingjiang River and Dongting Lake during the initial period of Three Gorges Project operation[J]. Journal of Geographical Sciences, 2010, 20(5): 771-786.
- [4] 黄进良.洞庭湖湿地的面积变化与演替[J].地理研究,1999,18(3):297-304.
- [5] KENT B J, MAST J N. Wetland change analysis of San Dieguito Lagoon, California, USA: 1928 - 1994 [J]. Wetlands, 2005, 5(93): 780-787.
- [6] 谢冬明,郑 鹏,邓红兵,等.鄱阳湖湿地水位变化的景观响应[J].生态学报,2011,31(5):1269-1276.
- [7] MUNYATI C. Wetland change detection on the Kafue Flats, Zambia, by classification of a multi-temporal remote sensing image dataset [J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(9): 1787-1806.
- [8] JOHNSTON R M, BARSON M M. Remote sensing of Australian wetlands: An evaluation of Landsat TM data for inventory and classification [J]. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 1993, 44: 235-252.
- [9] REBELO L M, FINLAYSON C M, NAGABHATLA N. Remote sensing and GIS for wetland inventory, mapping and change analysis [J]. Journal of Environmental Management, 2009, 90(7): 2144-2153.
- [10] 徐怡波,赖锡军,周春国.基于 ENVISATASAR 数据的东洞庭湖湿地植被遥感监测研究[J].长江流域资源与环境,2010,19(4):452-459.
- [11] 崔保山,杨志峰.湿地学[M].北京:北京师范大学出版社,2006:58-65.
- [12] 熊建新,陈端吕,董明辉.东洞庭湖区水陆交错带的复杂性分析及防洪对策[J].安徽农业科学,2008,14:6023-6024,6027.
- [13] 彭德纯,袁正科,廖起凤,等.洞庭湖区湖沼植被[J].生态学杂志,1986,5(2):28-32.
- [14] 黄清云.东洞庭湖生态服务功能稳定性研究[D].长沙:湖南农业大学硕士学位论文,2007.
- [15] 熊建新,吴南飞.东洞庭湖湿地景观空间结构的完整性分析[J].环境科学与管理,2008,33(4):30-33.
- [16] 谢永宏,陈心胜.三峡工程对洞庭湖湿地植被演替的影响[J].农业现代化研究,2008(6):684-687.
- [17] 谢永宏,黄 群,王晓龙,等.长江保护与发展报告[M].武汉:长江出版社,2011.
- [18] 王红娟,姜加虎,黄 群.东洞庭湖湿地景观变化研究[J].长江流域资源与环境,2007,16(6):732-737.
- [19] 姜加虎,黄 群,孙占东.洞庭湖泥沙淤积与洲滩变化研究[J].人民长江,2009(14):74-75.
- [20] 高俊峰,张 琛,姜加虎,等.洞庭湖的冲淤变化和空间分布[J].地理学报,2001(3):269-277.
- [21] 姜家虎,黄 群.三峡工程对洞庭湖水位影响研究[J].长江流域资源与环境,1996,5(4):367-374.
- [22] 彭佩钦,童成立,仇少君.洞庭湖洲滩地年淹水天数和面积变化[J].长江流域资源与环境,2007,16(5):685-689.
- [23] OWEN N W, KENT M, DALE M P. Plant species and community responses to sand burial on the machair of the Outer Hebrides, Scotland [J]. Journal of Vegetative Science, 2004, 15: 669-678.
- [24] 刘 永,郭怀成,周 丰,等.湖泊水位变动对水生植被的影响机理及其调控方法[J].生态学报,2006(9):3117-3126.

SPATIAL DISTRIBUTION OF EMERGENT HERBACEOUS WETLANDS IN THE EAST DONGTING LAKE DURING THE LAST TWENTY YEARS BASED ON LANDSAT DATA

TANG Yue^{1,2}, XIE Yong-hong¹, LI Feng¹, CHEN Xin-sheng

(1. Dongting Lake Station for Wetland Ecosystem Observation and Research, Key Laboratory of Agro-ecological Processes
in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Science, Changsha 410125, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In this study, the location and distribution of herbaceous wetlands, bottomland and water body in the East Dongting Lake were identified through the decision tree classification, based on multi-temporal Landsat TM/ETM+ images. The spatial distribution and expansion tendency of herbaceous wetlands under low water-level conditions were also estimated using matrix transformation and Bezier curve interpolation, based on the DEM data in 1995 and water-level data from the Chenglinji Hydrological Station. The results were as follows. (1) During 1989-2011, the area of herbaceous wetlands increased 305.06 km² (from 577.35 km² in 1989 to 882.41 km² in 2011). The area ratio of herbaceous wetlands to total area of east Dongting Lake increased 23.07% (from 43.65% in 1989 to 66.72% in 2011). In contrast, the bottomland decreased 274.28 km² (from 424.33 km² in 1989 to 150.6 km² in 2011). The water body displayed a fluctuation status from 261.05 km² to 342.51 km². (2) The herbaceous wetlands area mainly increased on the edges of the lake basin of Changzhou, Xinshengzhou and Piaoweizhou, as well as most areas of Niutouzhou, Wuguang-Chaixiazhou and Zhongzhou-Tuanzhou, whereas mainly decreased in few areas, such as Fengcheguai, Beizhou, Wugangzi and Liugangzi. The matrix transformation analysis showed that the herbaceous wetlands in east Dongting Lake was in a rapid expansion during last 23 years and the development time of “water body-bottomland-herbaceous wetlands” was shortened, which may be related to the uprising of bottomland caused by sedimentation. (3) The spatial distribution of herbaceous wetlands showed a typical unimodal and reached to a peak area when the elevation was 24–25 m, then decreased significantly with the decrease of elevation. However, during 1989–2011, the elevation which was favorable for the distribution of herbaceous wetlands and the inflection point between herbaceous wetlands and other wetland types including bottomland and water body decreased gradually, which may directly result in an expansion of herbaceous wetlands. (4) At the elevation of 22–24 m, the herbaceous wetlands area varied significantly, which might be mainly driven by sedimentation during 1989–2000, and might be influenced by water-level changing together with sedimentation after 2000. Our data showed that the expansion of herbaceous wetlands, i.e. the invasion into bottomland in east Dongting Lake during 1989–2011, might be mainly caused by the bottomland exposition and flooding regime changes, which usually changed according to the variation of sedimentation and hydrological conditions. This study plays an important role in understanding the development trend and formation mechanisms of the Dongting Lake wetland.

Key words: remote sensing; the East Dongting Lake; emergent herbaceous wetlands; submerged day