

# 30年来武昌湖湿地退化过程与原因

周葆华, 尹 剑, 金宝石, 朱 磊

(安庆师范学院资源环境学院, 安庆 246011)

**摘要:** 湖泊湿地是敏感脆弱的生态系统, 极易受气候变化和人类活动的影响。通过对长江中下游沿岸武昌湖湿地 1980-2010 年生态系统变化进行分析, 具体包括: (1) 选择 Landsat MSS 影像进行遥感解译, 结合 GIS 技术分析武昌湖集水区的景观变化情况; (2) 统计研究区 1980 年以来的气象水文数据, 分析湿地生态系统主要气候因子的变化趋势; (3) 结合气候因子和土地利用变化, 初步分析武昌湖湿地生态系统变化的自然-人工原因。结果表明, 1980 年以来, 湿地景观发生较大程度的变化: 湖域面积减少了近 40%, 尤其是下湖青草湖水域面积从 52.76 km<sup>2</sup> 减少为 13.92 km<sup>2</sup>, 萎缩约 73.62 %。跨湖公路建成以后, 集水区与人类活动关系密切的建设用地面积显著增加。武昌湖湿地温度呈明显的上升趋势, 而降雨、蒸散发等气候变量变化趋势均不显著。建设用地、气温与湿地退化的相关性显著, 降雨和蒸散发与湿地退化无明显相关性, 公路的跨湖修建加速了湿地的退化速度。

**关键词:** 武昌湖; 气候变化; 人类活动; 湿地退化

DOI: 10.11821/dlxb201411010

湿地生态系统具有丰富的生物多样性、重要的环境调节功能和生态效益, 是下垫面水陆交互作用形成的独特生态系统, 同时也是非常敏感的生态系统<sup>[1]</sup>, 极易受到气候变化和人类活动的影响<sup>[2-3]</sup>, 发生生态退化<sup>[4-6]</sup>。因此, 自然—人工影响下湿地退化的研究一直是当前科学界关注的热点问题<sup>[7]</sup>。

气候变化对湿地的影响主要表现在气候因子对湿地水量、能量过程的影响, 进而改变湿地水文特征<sup>[8]</sup>。在众多气候因子的变化中, 降水是维持湿地水量的关键因素, 降水量的减少会明显加剧湿地面积的萎缩, 甚至改变湿地类型<sup>[9]</sup>。Ottfried 等<sup>[10]</sup>、Andersen 等<sup>[11]</sup>、Jiang 等<sup>[12]</sup> 分别通过气候模型、水文模型结合灰度相关法研究气候因子对半干旱或半湿润区域内湿地退化的影响。结果表明, 降雨的变化与区域湿地面积相关性较大; 气候变暖通过减少湿地水量供给和需求来影响湿地系统的水循环和生态特征<sup>[8]</sup>, IPCC 第四次评估报告指出, 近百年来, 全球气候呈现变暖的显著变化, 特别是在过去 30 年里, 全球变暖对人类社会和自然系统产生了许多负面影响<sup>[13]</sup>, 气温升高导致区域气候突变增多, 极端气候事件频发, 从而使湿地景观发生了较大程度的改变<sup>[14]</sup>。此外, 湿地蒸散发作为湿地水文过程的重要组成部分, 是湿地水分消耗的主要途径<sup>[9]</sup>, 也是联系植被与水文过程的重要纽带, 是影响湿地变化的又一个重要的气候因子<sup>[15]</sup>。综合来看, 在众多气候因子中降雨量、气温和蒸散发的变化对湿地水文影响较为突出, 是造成湿地退化的主要气候因素<sup>[8]</sup>; 人类活动尤其是水利工程、湿地围垦、城市化进程等改变了湿地的水量供需过程, 也导致了湿地系

收稿日期: 2013-10-16; 修订日期: 2014-05-13

基金项目: 安徽省高校省级自然科学重点项目 (KJ2010A228); 安徽省高校省级自然科学基金项目 (KJ2011B085)

[Foundation: The Key Program of the Natural Science Foundation of the Anhui Higher Education Institutions of China, No.KJ2010A228; The Natural Science Foundation of the Anhui Higher Education Institutions of China, No.KJ2011B085]

作者简介: 周葆华 (1963-), 女, 安徽潜山人, 教授, 中国地理学会会员 (S110000725M), 主要从事生态环境与生态经济研究。E-mail: zhoubh@aqtc.edu.cn

通讯作者: 尹剑 (1984-), E-mail: yinjianbnu@163.com

统在时间和空间上发生变化<sup>[16]</sup>。随着干预和影响自然水文过程的人类活动不断增强,湿地受人类活动影响也愈加强烈<sup>[17]</sup>。因此,湿地退化是在气候变化和人类活动共同作用下的结果<sup>[18]</sup>,在研究湿地退化过程时必须同时考虑气候变化和人类活动双重因素<sup>[19]</sup>。

位于安徽省安庆市的武昌湖湿地,是皖西南沿江湖群的重要组成部分,具有渔业养殖、调节径流、改善气候、区域旅游以及物种保护等重要的生态作用<sup>[20]</sup>。武昌湖湿地范围内人类活动和气候变化交织在一起,导致区域生态系统发生了很大的变化,特别是近30年来,湿地退化现象非常突出<sup>[20]</sup>:跨湖公路阻碍了湖水的连通性,集水区范围内兴建了大量工业、交通设施,影响了集水区的自然汇水过程;湖面被大面积的菰草所占据,使得湖水面积减少了近70%,菰草的生长繁衍导致湖底变浅,泥沙淤积严重;涉水生物物种也因湖泊湿地的景观变化而减少,生物多样性遭到破坏,直接影响了该地区的生态安全和区域可持续发展<sup>[21]</sup>。为此,本文将针对武昌湖及其集水范围内的气候变化情况和土地利用状况,初步分析湿地退化过程及主要原因,从而为退化湿地的生态修复以及促进湿地区域生态安全提供科学依据。

1 武昌湖湿地概况

武昌湖位于安徽省西南部安庆市望江县东北部,是皖河水系中最大的一块湿地,建国后,该湖实行了沿江湖泊与江河水系分离,入湖水源主要来自于雨水汇集。湖面东西长约20 km,南北7.5 km。1993年在该湖上修建了跨湖公路—安(安庆)九(九江)公路,将武昌湖分割为上湖和下湖两个区域。本文选择武昌湖集水区(116.43°E~116.88°E, 30.14°N~30.39°N)进行研究,采用基于DEM的流域划分方法划分集水区<sup>[23]</sup>,获得面积为705.51 km<sup>2</sup> 高程落差459 m的集水范围(图1)。

研究区位于长江中下游平原,扬子台坳中部的东段,新构造运动为缓慢的沉降区,气候型属北亚热带季风湿润气候区,四季分明,雨热同季,雨量充沛。年平均气温16.5℃,多年平均降雨量达约为1400 mm,降水日数为130~150天,主要集中在夏季(约占全年降雨量的39.6%),年均日照时数为2051.8~2064.9 h,无霜期较长,约为250~258天。水质基本达到地面水环境质量的III类标准,溶解氧(DO)为6~8.6 mg/L,化学需氧量

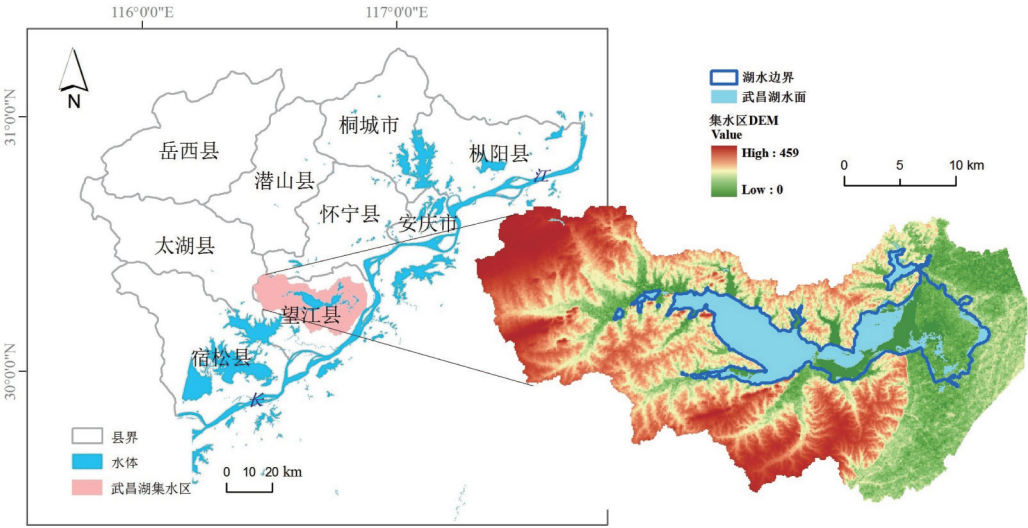


图1 武昌湖湿地区位与范围图

Fig. 1 Location and scope of the Wuchang Lake wetland

(COD<sub>Cr</sub>) 15.9~22.2 mg/L, 生化需氧量 (BOD<sub>5</sub>) 为 2.0~6.28 mg/L, 总氮为 0.8~1.57 mg/L, 总磷为 0.021~0.053 mg/L。经调查, 武昌湖所在的沿江平原区, 河湖密布, 水量充足, 一般年份武昌湖集水区内的农田基本不需要引湖水灌溉。

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源

研究以武昌湖集水区土地利用变化和气象水文特征为切入点, 主要涉及遥感相关数据、气象水文数据两类。

遥感数据取自美国 Landsat 卫星获取的 1980 年以来成像质量较好的 MSS/TM 数据 (<http://glovis.usgs.gov>), 共 15 景。其中 MSS 传感器获取的数据分辨率为 80 m×80 m, 轨道号为 130, 39; TM 数据分辨率为 30 m×30 m, 轨道号为 121, 39。研究使用的 DEM 数据 (30 m×30 m), 基于 ASTER GDEM 数据转换得到 (<http://Masterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>)。

气象数据来源于宿松气象站 (116.13° E, 30.17° N)、岳西气象站 (116.37° E, 30.87° N)、桐城气象站 (116.95° E, 31.06° N)、东至气象站 (117.02° E, 30.10° N)、安庆气象站 (117.05° E, 30.53° N) 等, 结合 DEM 采用协同克里格法<sup>[24]</sup>进行插值后求集水区均值的办法获得; 水文和水资源数据来源于安庆市和望江县水利局水资源动态公报和望江县水资源开发利用报告。

2.2 研究方法

研究选取 1980 年以来的同期遥感数据, 对典型年影像进行解译, 分析武昌湖集水区景观变化的具体特征; 基于研究区 1980-2010 年的主要气象数据, 采用非参数统计检验方法<sup>[22]</sup>, 对气候要素进行时间序列分析, 探究 30 年来武昌湖湿地气候变化趋势; 比较对湿地退化影响强烈的气温、降雨、蒸散发等气候因子与湖泊湿地景观变化的相关性, 并结合集水区土地利用变化, 分析人类活动与湖水面积变化的相关程度, 从而获得影响武昌湖湿地退化的主要自然一人为原因。

**2.2.1 集水区土地利用变化解译** 采用遥感影像数据结合历史资料和野外定点采样验证, 分析研究武昌湖集水区近 30 年来的土地利用变化。以 2009 年的 TM 数据为控制影像, 选取 20 个大地控制点, 应用双线性插值法对图像进行几何纠正、重采样后, 误差在半个像元内, 再根据集水区范围进行拼接裁减、辐射校正和几何校正等数据预处理。考虑到研究区景观空间异质性较大, 为了提高解译精度, 对影像进行波段组合、图像融合、直方图拉伸等处理。MSS 选用 4、3、1 波段, TM 选择 5、4、3 波段进行融合, 合成假彩色影像。

在充分考虑研究区域基本特点和历史调查资料情况后, 参考中国土地资源分类系统, 把武昌湖集水区化分为 8 个类型: 水田、旱地、林地、建设用地、裸地、湖泊水体、滩涂和沼泽, 安九跨湖公路作为附加信息叠加在 1993 年以后的数据上。在 ENVI 平台支持下, 建立解译标志, 进行目视解译, 并利用辅助资料验证。为提高解译精度, 进行了实地调研和历史资料的对比, 修定原分类图。将遥感解译图导入 ArcGIS 软件中, 统计各地类面积, 分析集水区变化。

**2.2.2 气候变化分析** 研究基于 1980 年以来的气候参数, 重点分析集水区气温和降水两个变量的变化情况。选择非参数 Mann-Kendall 统计检验方法<sup>[25]</sup>对水文气象时间序列资料进行趋势和突变分析, 原理如下:

(1) 趋势分析方法 对于具有  $n$  个样本的时间序列  $x$ , 构造变量  $S$ :

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j) \quad j > i \tag{1}$$

式中,  $x_i$ 和 $x_j$ 分别表示第*i*和第*j*年的气象水文资料值,  $n$ 为序列的记录个数,  $\text{sgn}(x_i - x_j)$  为:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1, & x_i - x_j > 0 \\ 0, & x_i - x_j = 0 \\ -1, & x_i - x_j < 0 \end{cases} \quad (2)$$

统计检验值 $Z_c$ 用来检验序列值的变化趋势, 计算如下:

$$Z_c = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中,  $|Z_c| \leq Z_{1-\alpha/2}$ 时, 表示研究对象没有变化趋势;  $|Z_c| > Z_{1-\alpha/2}$ , 表示存在显著变化趋势。 $Z_{1-\alpha/2}$ 服从标准正态分布,  $\alpha$ 表示检验的显著水平。在Mann-Kendall中, 通过Kendall倾斜度 $\beta$ , 来检验序列的趋势,  $\beta > 0$ 时, 表示序列呈上升趋势;  $\beta < 0$ 时, 呈下降趋势。计算公式如下:

$$\beta = \text{Media} \left( \frac{x_j - x_i}{j - i} \right), \quad (\forall i < j, \quad 1 \leq i < j \leq n) \quad (4)$$

(2) 突变分析方法 假设研究的变量序列随机独立, 计算统计量( $UF_k$ ):

$$UF_k = \frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{\text{Var}(S_k)}} \quad (k = 1, 2, \cdots, n) \quad (5)$$

式中,  $E(S_k)$ 和 $\text{Var}(S_k)$ 分别表示 $S_k$ 的均值与方差。

按 $x$ 的逆序 $x_n, x_{n-1}, \cdots, x_1$ 重复上述过程, 获得统计变量 $UB_k$  ( $k = n, n-1, \cdots, 1$ ), 同时使:

$$UB_k = -UF_k \quad (6)$$

如果 $UB_k$ 与 $UF_k$ 曲线出现交点, 且交点处满足 $|U| < 1.96$ , 则认为该点为突变点, 检验置信水平 $\alpha = 0.05$ 。

**2.2.3 湿地退化影响因子相关性分析** 在本研究中, 采用基于非参数检验的Spearman秩相关<sup>[26]</sup>来分析各种气候因子和变化显著的地类对湿地退化的影响。基于成像良好的遥感数据的离散性和有限性以及遥感解译的工作量, 研究对多年数据进行了阶段拟合, 再结合遥感解译结果进行相关分析, 具有一定的合理性<sup>[27]</sup>。以1980年的湿地气象、水文与景观特征数据作分母, 分别将各年代的数据作比较处理, 得出无量纲的相对值序列。之后, 对各项数据进行相关分析, 通过湿地面积与各气象要素和湿地水文因子之间的相关系数, 确定影响湿地系统的主导生态因子, 初步探寻湿地退化的驱动机制。

### 3 结果分析

#### 3.1 研究区景观变化

在Google Earth和望江县地理要素图上另选取一组未发生土地利用变化的样点进行解译精度检验, 解译精度大于90%, 结果较为可靠。图2以区域气候特征常态下的1989年、1995年、1999年、2005年和2009年秋季为例显示武昌湖集水区下垫面景观演变情况。为了突出跨湖公路对湿地的影响, 不依据比例尺, 以红色线状地物形式突出体现。

通过遥感解译和实地调研可知, 武昌湖湿地生态退化显著, 特别是从20世纪90年代以来, 退化速度加剧, 退化过程为水生生态系统—菰草群落为主的草型沼泽生态系统—滩



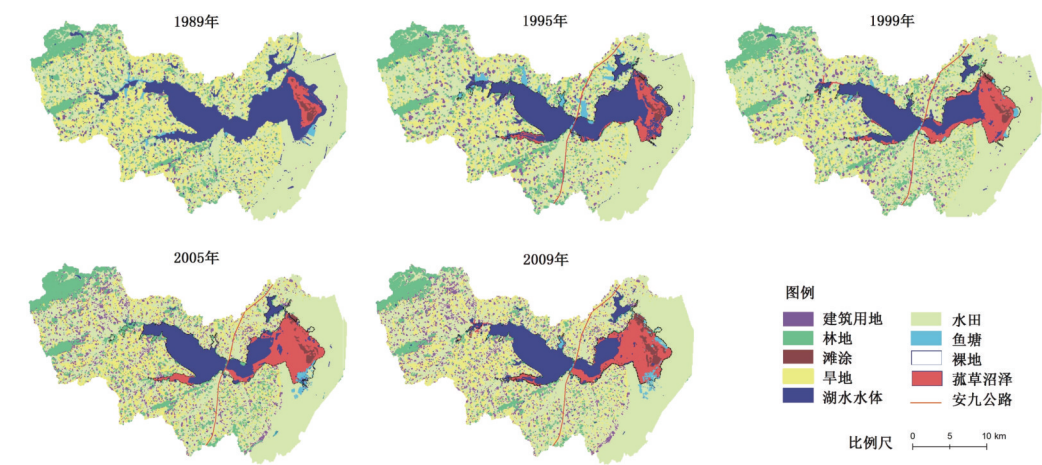


图2 典型年武昌湖集水区景观变化

Fig. 2 The landscapes of Wuchang Lake watershed in typical years

涂陆生生态系统。统计得出：30年来，武昌湖湖水整体面积从 97.99 km<sup>2</sup> 减少为约 52.25 km<sup>2</sup>，萎缩 41.08%，下湖水域萎缩尤其显著，水域面积从 52.76 km<sup>2</sup> 减少为 13.92 km<sup>2</sup>，退化程度达到约 73.62%，大面积的水域演变为滩涂和菰草沼泽，其中沼泽面积增加了 171.38%，滩涂面积也增加了 38.18%。而湖泊湿地集水区内，30 多年来，建设用地面积增加了 211.28% (图 3)，变化最为明显；林地面积减少了 12.83%；水田和旱地面积变化不大，水田增加了 2.42%，旱地减少了 4.71%。

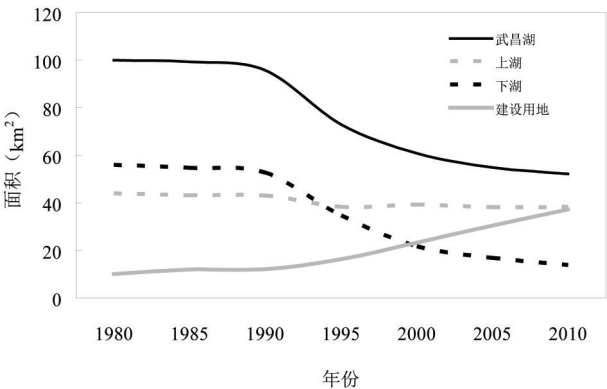


图3 武昌湖湿地、集水区建设用地面积变化拟合曲线

Fig. 3 The area variation fitting curve of Wuchang Lake wetland and built-up land in watershed

3.2 气候变化

3.2.1 气温变化趋势 对武昌湖 1980-2010 年的气温序列做趋势分析及突变检测，研究区年均气温最小值出现在 1980 年 (16.12 °C)，最大值出现在 2007 年 (18.5 °C)，最大值与最小值相差 2.38 °C (图 4a)。

经计算，Kendall 倾斜度  $\beta$  值为  $0.058\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1} > 0$ ，表明 1980-2010 年均气温总体上呈现出上升趋势，且  $Z_c = 4.59 > 3.3$  (置信度为 99.9% 的临界值)，说明武昌湖区域气温上升趋势非常显著；UF 和 UB 曲线 (图 4b) 的交点只有一个，即在 1993 年前后该序列出现了突变点，之后 UF 曲线向正方向变化。这说明在 20 世纪 90 年代该区域气温出现了突发性的上升，表现出相对变暖的趋势。

3.2.2 降水变化趋势 武昌湖 1980-2010 年的年均降水序列中，年日均降水量在 1999 年出现最大值 (61.18 mm)，低谷值有多个均在 30 mm 左右；曲线整体上呈现下降趋势，但  $R^2$  值只有 0.0502，减小趋势非常不显著 (图 5a)。

区域降水量的 Kendall 倾斜度  $\beta = -0.226\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{a}^{-1} < 0$ ，表明 30 余年来武昌湖区域降水量总体上呈现减少的趋势，而  $Z_c = |-1.67| \approx 1.64$  (置信度为 90% 的临界值)，表明降水的这种减少趋势不显著；UF 和 UB 曲线 (图 5b) 的交叉点较气温突变曲线多，且全部落在置

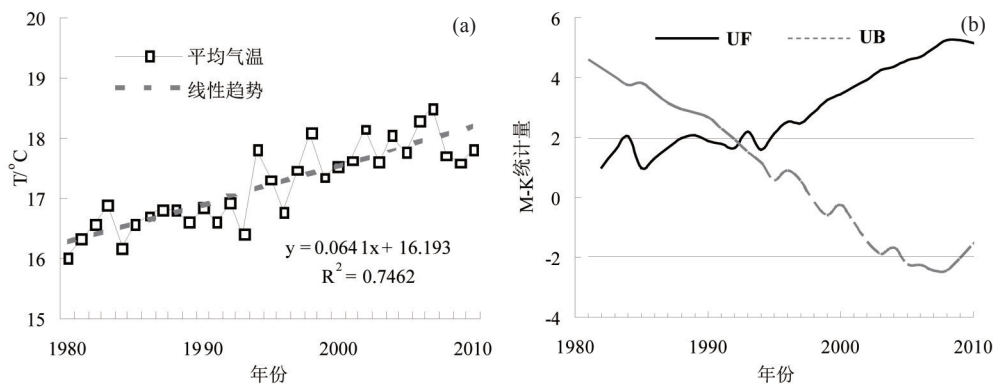


图4 武昌湖湿地 1980-2010 年平均气温变化图 (a) 及突变判别曲线图 (b)

Fig. 4 The daily average temperature variation (a) and the discrimination curve for annual temperature mutation (b) of Wuchang Lake wetland in 1980-2010

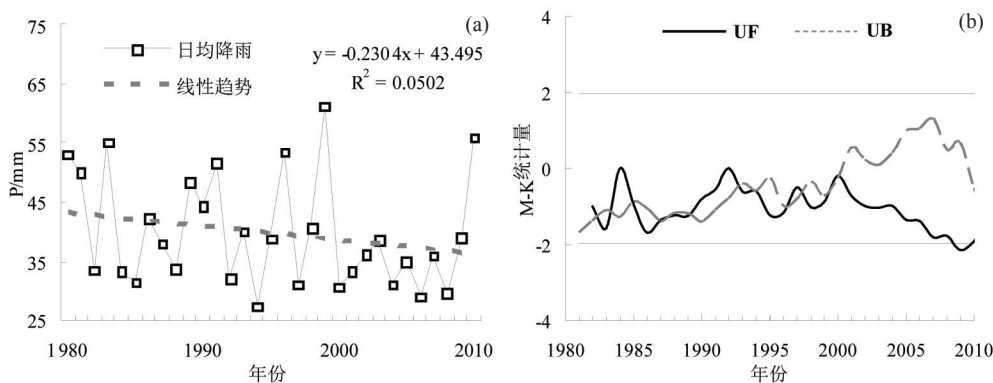


图5 武昌湖湿地 1980-2010 年日均降水量变化图 (a) 及降雨突变判别曲线图 (b)

Fig. 5 The daily average precipitation variation (a) and the discrimination curve for annual precipitation mutation (b) of Wuchang Lake wetland in 1980-2010

信区域内,从而说明1980年以来,降雨变化突变年频发,长序列规律不强,变化特征不是很明显。

**3.2.3 其他气候因子变化趋势** 蒸散发作为湿地水分消耗的重要部分,也是影响湿地退化的重要因子。研究采取FAO56提供的参考作物蒸散发来表示湿地区域的蒸散发能力,根据Penman-Monteith<sup>[28]</sup>公式计算。Penman-Monteith公式涉及风、温、湿、压等气候条件。经计算得到各相关气候因子和蒸散发(潜在蒸散发,下同)相关参数的变化(表1)。

综合来看,1980年以来,武昌湖湿地气候呈现明显的气温升高趋势;降雨变化复杂、总体上有减少的趋势,但不明显;湿地气压、空气相对湿度、日照时数均呈现不同显著程度的下降趋势;而风速、蒸散发未有明显的变化特征。

3.3 湿地退化影响因子

选取气温、降水和蒸散发作为影响湿地水量、能量过程的气候因子。土地利用变化情况反映人为干扰对湿地水源补给(工农业生产、生活用水)的影响。基于遥感解译结果,

表1 武昌湖湿地1980-2010年与蒸散有关的气候变量变化趋势

Tab. 1 The evapotranspiration-related climate variables changes of Wuchang Lake wetland in 1980-2010

时间序列变量	Zc	趋势置信度	$\beta$	单位
日平均气压	-3.65	99.9%	-0.004	kpa·a <sup>-1</sup>
日平均相对湿度	-3.03	99%	-0.093	100%·a <sup>-1</sup>
日平均风速	-1.17		-0.012	m·s <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup>
日平均日照时数	-1.83	90%	-3.097	h·a <sup>-1</sup>
日平均潜在蒸散发	-0.21		-0.002	mm·a <sup>-1</sup>

研究区建设用地面积变化明显，而与农作物有关的水田、旱地等农业用地面积的变化量及波动情况均不明显，因此，在反映人类活动影响时，主要选择建设用地，主要涉及工业用地、居住用地以及交通建设用地。

表 2 湿地退化的相关因素的 Spearman 秩相关系数矩阵

Tab. 2 Spearman's rank correlation matrix between relative influencing factors for wetland degradation

	武昌湖总面积	上湖	下湖	建设用地	气温	降水	蒸散发
建设用地	-1.00**	-0.71	-1.00**	1.00	1.00**	-0.60	0.14
气温	-1.00**	-0.71	-1.00**	1.00**	1.00	-0.60	0.14
降水	0.60	0.77	0.60	-0.60	-0.60	1.00	0.26
蒸散发	-0.14	-0.37	-0.14	0.14	0.14	0.26	1.00

\*\* 在置信度 (双测) 为 0.01 时，相关性是显著的。

影响武昌湖湿地退化的气候因子的作用由强到弱依次是 (表 2): 气温 > 降雨 > 蒸散发。其中，气温对湿地退化的影响显著; 降雨对湿地面积变化影响不显著，这与降雨突变点多，规律性不强有关; 蒸散发量的变化与湿地退化的关系不明显。根据气候变化非参数检验结果，武昌湖区域气温升高趋势明显，并在 1993 年出现突变，气温升高加速; 武昌湖呈现萎缩态势，且从 90 年代初期开始萎缩速度加剧，气温变化和湿地退化的变化节奏类似，印证了气温与湿地退化的显著相关性。表征人类活动的建设用地面积对湿地面积变化影响显著; 尤其是与下湖湿地面积变化的相关性非常显著。

4 讨论

4.1 研究方法

本研究采用 Mann-Kendall 法对气候变量时间序列进行统计性检验，评价气候变化的趋势性，较只采用线性拟合的方法更加可靠。以湿地及其集水区域作为整体进行研究，对湿地研究的完整性更强，根据土地利用变化情况，从景观尺度上选择建设用地反映人类活动对湿地的影响，也避免了集水区社会经济数据难以准确统计的问题。

4.2 湿地退化表征

本研究在反映湿地退化时，主要考虑了湿地景观格局的变化和水域面积的变化，而生物多样性变化作为湿地生态系统的一个重要指标，应值得重视。此外，湿地退化还涉及湿地水文情景、水质变化、以及湖泊湿地基地地形变化等多种因素，今后的研究将充分考虑这些因素，并结合与之关系密切的自然、人工指标，选取改进的弹性系数等方法，深入系统的分析变化环境下退化湿地的生态系统演变规律，定量辨识气候变化和人类活动的影响。

4.3 影响因子选取

武昌湖湿地是安庆沿长江湖群的一个重要组成部分，是人类活动和自然作用相互交集、水—陆—气和江—湖—河生态系统交汇的典型地区，生态退化受到诸多因子的影响，本研究充分考虑了气候变化的气温、降水、蒸散发等各因子的影响，但在选取建设用地作为分析人类活动影响湿地退化的原因主要如下：

建设用地扩大，森林面积减少，加大了水土流失，另外建设施工也造成泥沙到湖泊的沉积，从而引起沼泽和滩涂的生成。建设用地扩大，表明区域人类活动强烈，增加了 N、P 等植物生长所需营养物质的排放，与气温升高结合，促进了挺水植物菰草群落的大量生长繁衍，湖泊水生环境的改变直接影响到生物多样性的保护，湖泊退化表现为由草型富养化向沼型富养化过渡。

此外，安九公路建设占用了一定的湖水空间，使湖面面积减少。交通的联通使得湖泊更大范围地暴露在人类面前，大大增加了人类活动对湖泊生态系统进行干扰的可能性。公路阻碍了武昌湖上下湖之间的联通，根据实地调查，在公路修建之前，上下湖之间联通水道宽度为 1.5 km，而公路建成后，上下湖之间仅有 100 m 的涵洞相通，严重阻碍水流动

换,改变了湿地的水文状况,使得下湖湖水水流速度下降,利于泥沙的沉积,导致滩涂和沼泽化。从图2也可看出1995年以后的景观图下湖靠跨湖公路附近的区域沼泽化逐渐严重,而且在公路修建后,集水区区内建设用地面积增大迅速,围栏鱼塘增多。表明交通的改善促进了区域的发展,但也增加了人类活动强度,加剧了湿地的退化。

## 5 结论

武昌湖湿地生态系统是脆弱敏感的生态系统,受江-河交汇和水陆交互作用。气候变化打破了湖泊湿地生态系统的平衡,引起气温、降水、蒸散发等因子的变化,加剧了旱涝等灾害引起的波动性,加速了湖泊湿地生态系统的退化。湖泊湿地集水区区内人类活动的增强和人类对湖泊湿地的不合理利用是造成湖泊湿地退化的另一个重要因素。研究表明:

(1) 武昌湖湿地生态系统退化的过程为水域生态系统—菰草群落为主的草型沼泽生态系统—滩涂陆生生态系统,近30年来,武昌湖湿地退化强度为41.08%,上下湖退化强度不同,上湖退化强度为11.34%,下湖退化程度达到约73.62%,20世纪90年代以来,武昌湖湿地退化速度加剧。

(2) 气候因子对武昌湖湿地退化影响的强度是:气温 > 降雨 > 蒸散发,人类活动对湿地退化影响的因素复杂,但建设用地面积与武昌湖湿地退化的程度呈正相关,且关系密切,安九公路的建设加速了湿地的退化,人类活动的干扰程度和方式直接影响湿地退化强度。

(3) 为了改善和恢复武昌湖湿地生态系统,保障区域生态环境安全,应加强武昌湖湿地自然保护区建设,强化湿地流域内土地利用规划,实施湿地生态恢复工程,建立湿地监测管理信息系统,完善湿地保护管理的协调机制,实现武昌湖湿地地区的生态农业、生态林业和生态旅游等产业的融合发展。

## 参考文献 (References)

- [1] Yang Zhifeng, Cui Baoshan, Huang Guohe et al. Hydro-ecological processes, water-environmental effects and integrated control of ecological security for wetlands in Huang-Huai-Hai Region of China. *Advances in Earth Science*, 2006, 21(11): 1119-1126. [杨志锋, 崔保山, 黄国和 等. 黄淮海地区湿地水生态过程、水环境效应及生态安全调控. *地球科学进展*, 2006, 21(11): 1119-1126.]
- [2] Deng Wei, Pan Xiangliang, Luan Zhaoqing. Advances in wetland hydrology. *Advances in Water Science*, 2003, 14(4): 521-527. [邓伟, 潘响亮, 栾兆擎. 湿地水文学研究进展. *水科学进展*, 2003, 14(4): 521-527.]
- [3] Fu Guobin, Li Kerang. Progress in the study on the relationship between global warming and wetland ecological system. *Geographical Research*, 2001, 20(1): 120-128. [傅国斌, 李克让. 全球变暖与湿地生态系统的研究进展. *地理研究*, 2001, 20(1): 120-128.]
- [4] Wassen W J, Grootjans A P. Ecohydrology: An interdisciplinary approach for wetland management and restoration. *J. Vegetation*, 1996, 126: 1-4.
- [5] Rodriguez-Iturbe I. Ecohydrology: A hydrological perspective of climate-soil-vegetation dynamics. *Water Resour. Res.*, 2000, 36(1): 3-9.
- [6] Gitay H, Finlayson C M, Davidson N C. A Framework for assessing the vulnerability of wetlands to climate change. Ramsar Technical Report No.5/CBD Technical Series No.57.
- [7] Bullock A, Acreman, M. The role of wetlands in the hydrological cycle. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2003, 7(3): 358-389.
- [8] Dong Liqin, Zhang Guangxin. Review of the impacts of climate change on wetland ecohydrology. *Advances in Water Science*, 2011, 22(3): 429-436. [董李勤, 章光新. 全球气候变化对湿地生态水文的影响研究综述. *水科学进展*, 2011, 22(3): 429-436.]
- [9] Burkeet V, Kusler J. Climate change: Potential impacts and interactions in wetlands of the United States. *Journal of American Water Resources*, 2000, 63(2): 313-320.
- [10] Ottfried D, Michael R, Kai S. Wetlands with controlled drainage and sub-irrigation systems-modelling of the water



- balance. *Hydrological Processes*, 2007, 21(14): 1814-1828.
- [11] Anderen H E, Kronvang B, Larsen S E et al. Climate-change impacts on hydrology and nutrients in a Danish lowland river basin. *Science of the Total Environment*, 2006, 365: 223-237.
- [12] Jiang Weiguo, Wang Wenjie, Chen Yunhao et al. Quantifying driving forces of urban wetlands change in Beijing City. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, 22(2): 301-314.
- [13] IPCC. *Climate change 2007: Physical Science Basis Contribution*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 996.
- [14] Woo M K, Young K L. High Arctic wetlands: Their occurrence, hydrological characteristics and sustainability. *Journal of Hydrology*, 2006, 320: 432-450.
- [15] Judy Z D, Richard L S, Donatella Spano. A review of models and micrometeorological methods used to estimate wetland evapotranspiration. *Hydrological Processes*, 2004, 18: 2071-2101.
- [16] Zhang Guangxin, Yin Xiongrui, Feng Xiaqing. Review of the issues related to wetland hydrology research. *Wetland Science*, 2008, 6(2): 105-115. [章光新, 尹雄锐, 冯夏清. 湿地水文研究的若干热点问题. *湿地科学*, 2008, 6(2): 105-115.]
- [17] Niu Zhenguo, Gong Peng, Cheng Xiao et al. Geographical characteristics of China's wetland sderived from remotely sensed data. *Science in China: Series D*, 2009, 52(6): 723-738.
- [18] Wang Yijie, Yu Shen. Patterns of terrestrial anthropogenic impacts on coastal wetlands in three city clusters in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(3): 998-1010. [王毅杰, 俞慎. 三大沿海城市群滨海湿地的陆源人类活动影响模式. *生态学报*, 2013, 33(3): 998-1010.]
- [19] Gong Zhaoning, Zhang Yiran, Gong Huili et al. Evolution of wetland landscape pattern and its driving factors in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(1): 77-88. [宫兆宁, 张翼然, 宫辉力 等. 北京湿地景观格局演变特征与驱动机制分析. *地理学报*, 2011, 66(1): 77-88.]
- [20] Zhou Baohua, Cao Jingjing, Zhu Chaoping et al. Valuation of wetland ecosystem services along the Yangtze River in Anqing, Anhui Province. *Geographical Research*, 2011, 30(12): 2296-2304. [周葆华, 操璟璟, 朱超平 等. 安庆沿江湖泊湿地生态系统服务功能价值评估. *地理研究*, 2011, 30(12): 2296-2304.]
- [21] Yu Ruilin, Zhou Baohua, Liu Chengliang. Changes of the wetland landscape pattern and its driven force along the Yangtze River in Anqing, Anhui Province. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2009, 18(6): 522-527. [余瑞林, 周葆华, 刘承良. 安庆沿江湿地景观格局变化及其驱动力. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(6): 522-527.]
- [22] Hamed H K. Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of Hydrology*, 2008, 349(3/4): 350-363.
- [23] Huang Jinliang, Li Qingsheng, Huang Ling et al. Preliminary delineation and classification of estuarine drainage areas for major coastal rivers in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(11): 3516-3527. [黄金良, 李青生, 黄玲 等. 中国主要入海河流河口集水区划分与分类. *生态学报*, 2012, 32(11): 3516-3527.]
- [24] Peng Bin, Zhou Yangping, Gao Ping et al. Suitability assessment of different interpolation methods in the gridding process of station collected air temperature: A case study in Jiangsu Province, China. *Journal of Geo-Information Science*, 2011, 13(4): 539-548. [彭彬, 周艳莲, 高苹 等. 气温插值中不同空间插值方法的适用性分析: 以江苏省为例. *地球信息科学学报*, 2011, 13(4): 539-548.]
- [25] Xu Zongxue, Zhang Nan. Long-term trend of precipitation in the Yellow River basin during the past 50 years. *Geographical Research*, 2006, 25(1): 27-34. [徐宗学, 张楠. 黄河流域近 50 年降水变化趋势分析. *地理研究*, 2006, 25(1): 27-34.]
- [26] Wang Kaijun, Huang Tianqiang. Spearman rank correlation method based on trend rank. *Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition*, 2010, 26(1): 38-41. [王开军, 黄添强. 基于趋势秩的 Spearman 相关方法. *福建师范大学学报: 自然科学版*, 2010, 26(1): 38-41.]
- [27] Liu Chunlan, Xie Gaodi, Xiao Yu. Impact of climatic change on Baiyangdian wetland. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2007, 16(2): 245-250. [刘春兰, 谢高地, 肖玉. 气候变化对白洋淀湿地的影响. *长江流域资源与环境*, 2007, 16(2): 245-250.]
- [28] Monteith L. *Evaporation and environment. The State and Movement of water in Living Organisms*. Symposium of the Society for Experimental Biology 19. England: Cambridge University Press, 1965, 19: 205-234.

## Degradation of Wuchang Lake wetland and its causes during 1980-2010

ZHOU Baohua, YIN Jian, JIN Baoshi, ZHU Lei

*(School of Resources and Environment, Anqing Normal University, Anqing 246011, Anhui, China)*

**Abstract:** The lake-wetland ecological system is sensitive to climate change and human activities. This study investigated the ecological changes of Wuchang Lake wetland (located at the downstream of the Yangtze River) from 1980 to 2010, and the potential causes of wetland degradation. We first overviewed the landscape changes in the study area by analyzing the Landsat MSS/TM imageries; and then examined the dynamics of hydrometeorology during the study period. Based on the analysis of changes of landscape patterns and variations of hydrometeorological variables, the natural and anthropogenic causes of Wuchang Lake wetland ecosystem degradation were discussed and differentiated. Results show that over the past three decades the total area of Wuchang Lake has decreased by 40%. In particular, area of the Qingcao Lake at the downstream of the lake-wetland system has over 73%, from 52.76 km<sup>2</sup> to 13.92 km<sup>2</sup>. The area of construction land, which manifests the human activity in the watershed, had increased significantly since the building of the Anjiu Road across the lake. The average annual temperature in the study area showed a significant increasing trend, while the annual rainfall and evapotranspiration were relatively stable with little variations. We concluded that the degradation of the Wuchang Lake wetland was accelerated mainly by constructions in the area and the increased temperature, while the annual rainfall and evapotranspiration had little influence.

**Key words:** Wuchang Lake; climate change; human activity; wetland degradation