

## 基于 RS 与 GIS 的武汉城市湖泊演化研究

黄浦江<sup>1,2</sup>, 刘艳芳<sup>1,2\*</sup>, 刘畅<sup>1,2</sup>, 姜庆虎<sup>1,2</sup>

1. 武汉大学资源与环境科学学院, 湖北 武汉 430079; 2. 武汉大学地理信息系统教育部重点实验室, 湖北 武汉 430079

**摘要:**以武汉市主城区为例,利用 1995 和 2005 年 Landsat 5 两期 TM 影像与 2000 和 2010 年 Landsat 7 两期 ETM+影像的解译结果,基于景观分形理论与 GIS 的空间分析功能相结合的研究方法,分别构建湖泊变化强度指数和湖泊分形维数变化指数。从湖泊面积变化和湖泊形态变化,以及湖泊水域和其他土地利用类型的转移变化特点与影响进行综合分析。来丰富湖泊演化的分析方法,并总结高速城市化背景下湖泊的变化规律,从而更深入地了解和认识人类活动因素与湖泊水域动态变化之间的响应关系,同时提出若干城市湖泊治理与管理的方式。研究表明,(1) 15 年间的湖泊水域面积总量的变化呈现萎缩的趋势,年变化量在逐渐减小,湖泊萎缩的速度得到了一定的控制。(2) 1995—2010 年湖泊分形维数也呈逐期较小趋势,说明湖泊几何形状趋于简单化,人为活动对湖泊的影响加大。(3) 15 年来主城区 28 个主要湖泊的变化强度指数均为负值,呈萎缩趋势。但从 2000 年开始,少数湖泊变化强度指数为正值,萎缩趋势得到初步的控制。(4) 1995—2010 年间湖泊的水域面积主要转移成为建设用地和耕地。其转移面积占转移总面积的 87.02%。围湖造田和城市化率的迅速提高对城市湖泊的演化影响深刻。(5) 城市化背景下湖泊面积与形态变化的规律并非完全与城市化发展速率呈正比的关系,当城市化率上升到一定的阶段后,城市内部对生态环境的保护与要求也不断提高。为改善城市环境和城市内部的生态用地,湖泊应得到立法等强制性保护。

**关键词:** 武汉市; 湖泊演化; 湖泊分形维数; 湖泊变化强度指数

**中图分类号:** X14

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-5906 (2012) 09-1588-06

**引用格式:** 黄浦江,刘艳芳,刘畅,姜庆虎. 基于 RS 与 GIS 的武汉城市湖泊演化研究[J]. 生态环境学报, 2012, 21(9): 1588-1593.  
HUANG Pujiang, LIU Yanfang, LIU Chang, JIANG Qinghu. Study on Evolution of Urban Lakes in Wuhan Based on RS/GIS [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2012, 21(9): 1588-1593.

湖泊作为一个独立的生态系统,它的形成、发展和演化对区域的自然与人文环境的塑造具有重要的作用<sup>[1-2]</sup>。城市湖泊作为城市生态系统中最重要的重要组成部分,其所具有的城市水源、防洪蓄水、旅游休憩、调节气候等功能为城市的可持续发展提供了重要的推动力<sup>[3-4]</sup>。

武汉市素有“百湖之城”的美誉,湖泊众多,水资源丰富<sup>[5]</sup>。同时武汉作为我国实施中部崛起的中心城市,近年来经济发展迅速,城市化率不断提高,使得城市湖泊面积萎缩,水质污染,生态功能下降,严重影响了城市的可持续发展<sup>[6]</sup>。这一问题也引起了学者的关注。曾中平等利用遥感影像提取了 4 年不同的武汉市主城区湖泊的水域面积,利用湖泊萎缩指数对湖泊进行时空变化的初步定量研究<sup>[7]</sup>。宁龙梅等利用景观生态学的方法对武汉市湿地景观格局变化进行了分析<sup>[8]</sup>。张毅等<sup>[9]</sup>则对武汉市湖泊从古至今的演化特征进行了分析并提出了进一步开发利用的方式。其它学者则更多的关注湖泊水质

污染及其生态环境的变化特征研究<sup>[10-12]</sup>。鉴于前人在城市湖泊研究中注重面积和空间格局变化的基础上,本文将利用遥感技术分别提取出 1995、2000、2005 和 2010 年的湖泊面积动态变化信息,选择 28 个主要湖泊并基于景观分形理论与 GIS 的空间分析功能相结合的研究方法,分别构建湖泊变化强度指数和湖泊分形维数变化指数。从湖泊的空间面积变化以及湖泊形态变化 2 个方面来进行分析,以期丰富湖泊演化的分析方法,并尝试性总结高速城市化背景下湖泊变化规律。土地转移矩阵分析湖泊水域与其他土地利用类型的转移变化特点与影响。以期更深入地了解和认识人类活动因素与湖泊水域动态变化之间的响应关系,同时提出若干城市湖泊治理与管理的方式。对城市湖泊资源的合理开发、利用和保护具有重要意义。

### 1 数据处理与研究方法

#### 1.1 数据处理

本文所采用的遥感数据为 1995、2005 年

**基金项目:** 国家 863 项目 (2009AA122001); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (121010)

**作者简介:** 黄浦江 (1986 年生),男,博士研究生,主要研究方向为区域资源环境与可持续发展。E-mail: geohuangpj@163.com

\*通信作者: 刘艳芳。E-mail: yfliu610@163.com

**收稿日期:** 2012-07-22

Landset 5 TM 与 2000 年、2010 年 Landset 7 ETM+4 个时期的 9 月与 10 月的遥感影像, 均从国际科学数据服务平台中下载获得。影像质量完好, 无云层覆盖。根据研究的需要, 选择(234 波段)利用地形图对图像进行几何精校正, 误差控制在 0.5 个象元内, 在几何精校正的基础上, 进行大气校正处理。预处理后结合野外实地考察资料进行人机交互监督分类。并根据《土地利用现状调查技术规程》和《中国资源环境遥感宏观调查与动态研究》结合武汉市的具体情况, 将研究区的土地利用类型进行归并处理, 最终确立了 7 个土地利用类型: 湖泊、林地、耕地、草地、建设用地、未利用地、河流。

在 GIS 工具的支持下以 1995 年的解译结果作为底图, 生成武汉市主城区湖泊面积矢量图层, 并以此为基础利用不同时期所解译出的湖泊面积影像, 分别建立 2000 年、2005 年与 2010 年湖泊面积信息数据库。得到不同时期的湖泊动态分布图。以 1995 年武汉市主城区 28 个主要湖泊的水域面积为基础与各时期遥感影像所解译得到的结果进行空间叠加, 并利用土地利用转移矩阵, 得到不同时期的湖泊水域与其他土地利用类型流转图与概率图。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 湖泊水域变化幅度

湖泊演变包括了湖泊的面积变化, 空间变换以及质量变化。其中面积变化首先反映在湖泊的总量变化上, 通过分析湖泊的总量变化, 可以了解湖泊变化总的趋势和空间的演变。湖泊变化幅度表达式为<sup>[13]</sup>:

$$L_1 = U_b - U_a \quad (1)$$

$$L_2 = \frac{U_b - U_a}{T} \quad (2)$$

式中:  $L_1$  为研究时段内湖泊的变化总幅度。 $L_2$  为研究时段内湖泊的年变化幅度。 $U_a$ 、 $U_b$  分别为研究期初和研究期末的湖泊面积,  $T$  为研究时段间隔年数。 $L_1 > 0$  则表示湖泊面积增加,  $L_1 < 0$  则表示湖泊面积减小。

### 1.2.2 湖泊分形维数变化指数

应用分形理论进行景观格局研究, 一般是借助景观斑块的分形维数作为描述景观复杂性的指数来研究景观的复杂性<sup>[14]</sup>。不同的分形维数定义反映分形体不同侧面的性质和特征, 针对实际地物的不同特点, 估测分形维数的方法也不尽相同, 本文采用面积/周长法求算景观斑块边界的分形维数<sup>[15-16]</sup>。

景观斑块分形维数理论范围值在[1.0, 2.0]之间, 当值越接近 1.0 时, 表示斑块的几何形状规则, 斑块形状简单, 人为干扰大; 当值越接近 2.0 时, 表

示斑块的几何形状无规律, 斑块形状复杂, 人为干扰小。

$$D_f = \frac{2 \ln(P / 4)}{\ln(A)} \quad (3)$$

式中,  $D_f$  表示景观斑块分形维数;  $P$  为湖泊周长;  $A$  为湖泊面积。

### 1.2.3 湖泊变化强度指数

为了更好的描述每个湖泊在不同时期的相对变化程度, 本文利用湖泊演变强度来定量分析湖泊面积变化强弱的相对强度<sup>[17-18]</sup>。其表达式为:

$$C = \frac{\Delta A_i}{A \times \Delta t} \times 100 \quad (4)$$

式中  $C$  表示湖泊演变强度,  $\Delta A_i$  表示研究时段内第  $i$  个湖泊的变化面积,  $A$  则为第  $i$  个湖泊的总面积, 本文以 1995 年武汉市主城区湖泊面积为基准。 $\Delta t$  为变化时期。 $C$  数值介于-1 和 1 之间, 当  $C$  小于 0 时, 表示湖泊面积扩大, 当  $C$  大于 0 时, 表示湖泊萎缩。

### 1.2.4 土地利用转移矩阵

根据地图代数原理, 对任意两期土地利用类型图  $A_{i \times j}^k$  和  $A_{i \times j}^{k+1}$  的土地利用转移矩阵计算公式如下:

$$C_{i \times j} = A_{i \times j}^k \times 10 + A_{i \times j}^{k+1} \quad (5)$$

该公式使用范围为土地利用类型小于 10 种。 $C_{i \times j}$  式中为  $k$  时期到  $k+1$  时期土地利用变化图,  $A_{i \times j}^k$  为  $k$  时期土地利用类型图,  $A_{i \times j}^{k+1}$  为  $k+1$  时期土地利用类型图,  $i$  和  $j$  分别表示不同的土地利用类型<sup>[19-20]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 湖泊面积总量变化分析

在 GIS 的支持下, 对 4 年所获得的遥感解译结果进行叠置分析, 并得到了 1995 到 2010 这 15 年间的武汉市主城区湖泊面积演化图(图 1)。其结果显示 1995 年武汉市主城区湖泊面积约为 139.72 km<sup>2</sup>, 而到 2010 年武汉市主城区湖泊面积下降到约 89.50 km<sup>2</sup>。湖泊萎缩面积高达约 50.21 km<sup>2</sup>, 年萎缩量为约 3.34 km<sup>2</sup>。15 年间主城区内湖泊面积消失了 35.94%。

在武汉 3 镇的范围, 汉口地区萎缩量在约 9.7 km<sup>2</sup>, 年萎缩量为 0.64 km<sup>2</sup>, 湖泊面积萎缩率在 85%。武昌地区萎缩量在约 36.83 km<sup>2</sup>, 年萎缩量为 2.46 km<sup>2</sup>, 湖泊面积萎缩率为 33.3%。汉阳地区萎缩量约为 11.41 km<sup>2</sup>, 年萎缩量为 0.76 km<sup>2</sup>, 湖泊面积萎缩率在 65.1%。经过对比我们可以发现, 湖泊萎缩速度最快的是汉口地区, 但是就湖面萎缩面积来说,

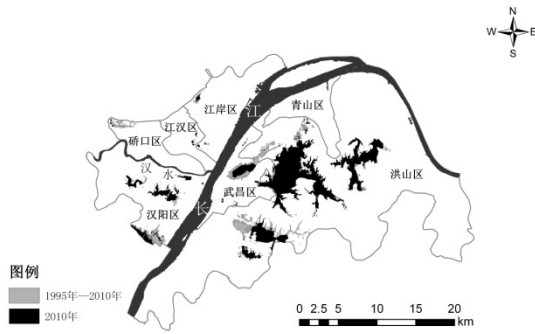


图1 1995—2010年间武汉市主城区湖泊面积萎缩分布图  
Fig.1 The atrophy area of lakes in the main urban zone of Wuhan from 1995-2010

由于武昌地区的湖泊总量巨大,其面积占到了主城区湖泊总面积的约80%,虽然其湖泊面积的萎缩率是3镇中最低的,但萎缩面积却是最大的地区。

## 2.2 湖泊面积演化幅度

湖泊演变包括了湖泊的面积变化,空间变换以及质量变化。其中面积变化首先反映在湖泊的总量变化上,通过分析湖泊的总量变化,可以了解湖泊变化总的趋势和空间的演变。根据公式(1)可得1995—2010年武汉市主城区湖泊面积总变化量,年变化量的数值,结果如表1所示。

表1 不同时期湖泊面积演化幅度  
Table 1 The area of lakes variation in different periods

时间	总变化量 / km <sup>2</sup>	年变化量/ km <sup>2</sup>	占1995年百分比 /%
1995—2000年	-29.28	-5.86	20.96
2000—2005年	-19.74	-3.95	14.13
2005—2010年	-1.19	-0.23	0.85
1995—2010年	-50.21	-3.34	35.94

从表1中不难看出,武汉市主城区的湖泊在15年中整体的变化趋势均呈负值,即在不断的萎缩,其中1995—2000年湖泊萎缩面积为29.28 km<sup>2</sup>,年变化率在4.19%。每年消失的湖泊水域面积在5.86 km<sup>2</sup>。可以说这一时期的湖泊面积处在急剧减少的状态。2000—2005年间湖泊水域的萎缩并没有得到根本的遏制,萎缩面积在19.74 km<sup>2</sup>,年变化率保持在4.47%,每年的萎缩量在3.95 km<sup>2</sup>。虽然2000—2005年的湖泊水域面积的萎缩得到了一定程度的控制,但是其变化量依然巨大。2005—2010年湖泊水域面积的萎缩量为1.19 km<sup>2</sup>,年变化率下降到0.32%,幅度是这3个间隔年限中最小。15年间湖泊水域变化的整体特征呈现的是一种逐渐递减的态势。这就与不同时期的武汉市城市发展速度和城市湖泊的管理及保护力度是密不可分的。

## 2.3 湖泊景观分形维数变化分析

根据公式(2)可以得到1995、2000、2005、2010年武汉中心城区湖泊景观的分形维数依次为:1.29、1.28、1.26、1.27,15年的湖泊分形维数整体上呈现下降趋势。说明人类活动对湖泊外形的改造在不断的增大。其中1995—2005年间的分形维数变化呈现较大幅度的下降趋势,而2005—2010年间的分形维数有了小幅度的提升。这说明了在1995—2005年间,人类活动对湖泊有着较强程度的影响。使湖泊形态趋于简单化,湖泊的自相似性增强,湖泊岸线形状发生较大变化。2005—2010年间分形维数的回升,表明了人类活动对湖泊的影响趋于缓和。

## 2.4 主要湖泊时空演化分析

本文根据《武汉市城市湖泊保护条例》中规定的主城区范围内的28个湖泊,根据公式(1)分别计算出各个湖泊1995—2010年的变化面积与年变化面积如图2。

由图2可知,在各个湖泊的变化面积总量中,初始面积较大的严西湖、东湖、外沙湖、南湖的萎缩面积都超过了2 km<sup>2</sup>。变化程度剧烈。初始面积相对较小的南太子湖以下的各个湖泊的萎缩面积在2 km<sup>2</sup>以下。

湖泊面积在空间上的形态变化,不仅仅要考虑到面积的减少,同时减少面积与湖泊初始面积的百分比,更能够体现出湖泊形态变化的剧烈程度。我们可以直观的从图中看到,萎缩面积较大的东湖,其萎缩面积与1995年湖泊的面积进行比较中,变化的百分比为14.52%,其形态变化并不是十分剧烈。内沙湖面积减少量只有0.54 km<sup>2</sup>,而其湖泊消失的面积比却高达91.58%。基本上处于消失的边缘。而备受关注的外沙湖,面积减少了4.76 km<sup>2</sup>,减少的面积比为65.24%,消失了一半以上的面积。其减少的面积与面积比均排名靠前,可以说是武汉市主城区湖泊萎缩的典型代表。

根据公式(3)计算出1995—2000年、2000—2005年、2005—2010年、1995—2010年4个阶段的C数值,如表2所示。

从主城区主要的28个湖泊变化强度指数我们可以看到,15年间,所有湖泊均存在着不同的萎缩。在3个间隔研究期中,1995—2000年中所有的湖泊均在萎缩。但是2000—2005年西湖、北湖、水果湖和四美塘的湖泊变化强度指数为正值,说明这些湖泊存在着扩张的态势。部分湖泊的水域面积得到了一定的保护。我们也发现2005—2010年这5年中机器荡子、菱角湖、后襄河、张毕湖、竹叶海、莲花湖、晒胡、紫阳湖存在着不同程度的湖泊面积的扩张,湖泊萎缩的态势得到了进一步的有效控制。

这一湖泊面积的扩张现象, 主要得益于立法与湖泊改造两方面。2002 年《武汉市湖泊保护条例》和 2005 年配套出台的政府规章《武汉市湖泊保护条例实施细则》, 使依法治湖变得更具可操作性。2002 年开始的武汉市城市主要湖泊的公园改造计

划, 则在城市湖泊保护的方式上进行了尝试。但是扩张面积与原始面积相比依然显得杯水车薪, 湖泊的生态功能并没有得到根本上的恢复。

### 2.5 湖泊水域结构转变类型分析

武汉市湖泊在 1995—2010 年的主要演化特征

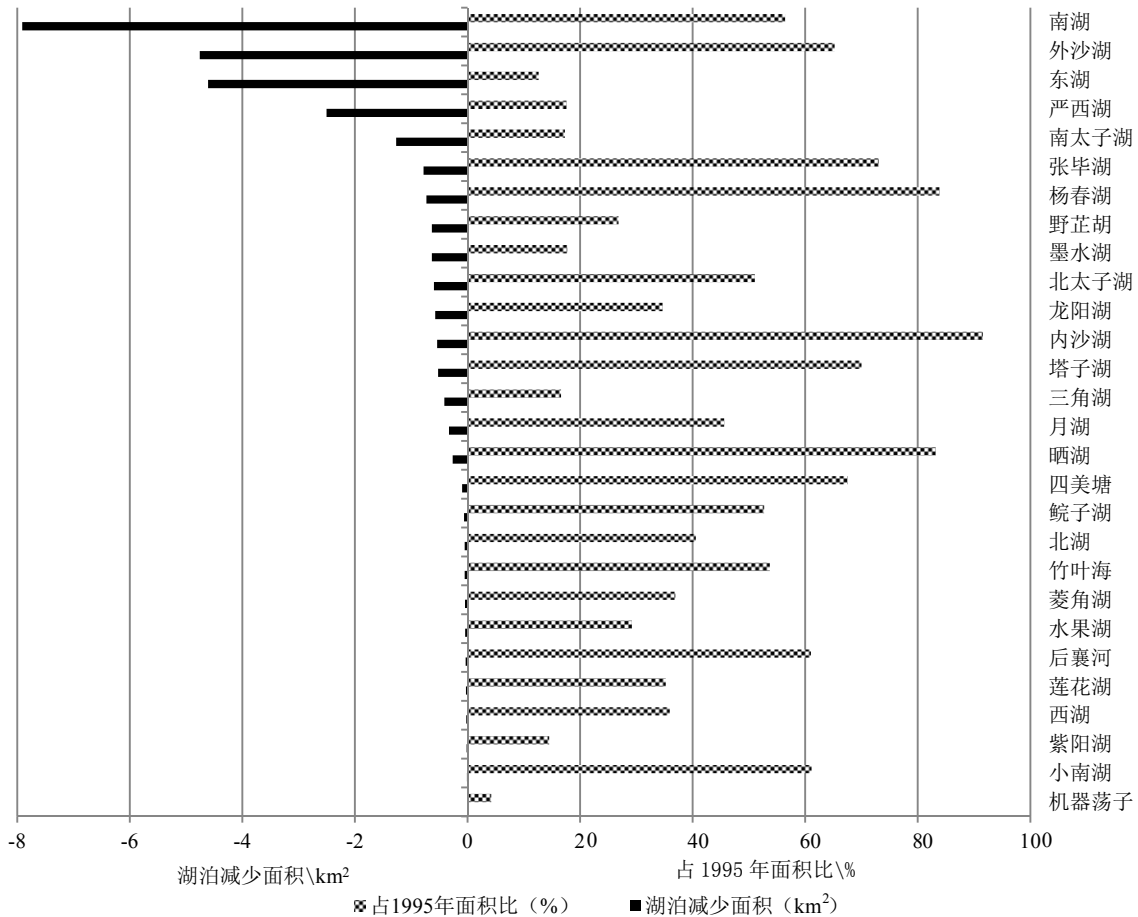


图 2 武汉市主城区 28 个主要湖泊变化

Fig.2 The main 28 lakes change in the main urban zone of Wuhan

表 2 武汉市主城区湖泊变化强度指数 (C 值)

Table 2 Intensity index of lakes change in the main urban zone of Wuhan

所属区域	名称	C 值				所属区域	名称	C 值			
		1995—2000	2000—2005	2005—2010	1995—2010			1995—2000	2000—2005	2005—2010	1995—2010
汉口	西湖	-7.81	1.25	-0.63	-2.40	汉阳	南太子湖	-0.63	-0.77	-2.06	-1.15
汉口	北湖	-8.69	1.16	-0.58	-2.71	汉阳	北太子湖	-9.51	-0.49	-0.19	-3.40
汉口	皖子湖	-0.17	-6.34	-4.03	-3.51	汉阳	三角湖	-1.61	-1.61	-0.09	-1.10
汉口	机器荡子	-0.84	-2.35	2.35	-0.28	武昌	东湖	-0.94	-0.84	-0.75	-0.84
汉口	菱角湖	-6.30	-1.85	0.77	-2.46	武昌	南湖	-5.70	-4.93	-0.65	-3.76
汉口	后襄河	-8.13	-6.10	2.03	-4.07	武昌	晒湖	-16.86	-0.63	0.86	-5.55
汉口	小南湖	-5.56	0.00	-6.67	-4.07	武昌	野芷湖	-2.48	-1.4	-1.49	-1.79
汉口	张毕湖	-10.30	-4.92	0.61	-4.87	武昌	外沙湖	-8.88	-3.29	-0.88	-4.35
汉口	竹叶海	-11.19	-2.54	2.99	-3.58	武昌	杨春湖	-10.26	-5.29	-1.22	-5.59
汉口	塔子湖	-10.72	-1.83	-1.44	-4.67	武昌	严西湖	-1.58	-1.73	-0.20	-1.18
汉阳	月湖	-3.04	-1.62	-4.46	-3.04	武昌	四美塘	-14.90	2.04	-0.63	-4.50
汉阳	莲花湖	-7.95	-1.14	2.05	-2.35	武昌	紫阳湖	-0.32	-4.35	1.77	-0.97
汉阳	墨水湖	-1.45	-2.07	-0.02	-1.18	武昌	水果湖	-6.49	0.76	-0.11	-1.95
汉阳	龙阳湖	-3.18	-1.73	-2.02	-2.31	武昌	内沙湖	-14.28	-2.45	-1.59	-6.10

是在不断的萎缩,这种萎缩主要是在城市发展中进行的围湖造田,建设用地扩张等多种因素综合影响的结果。所以,分析湖泊水域与其它土地利用类型之间的转移,可以从空间上更加直观的以定量方式看到不同湖泊萎缩面积的变化倾向和变化类型。

根据公式(4),利用GIS的空间分析功能对1995、2000、2005、2010年4期数据进行空间叠置分析,得到4个不同时期的武汉市主城区28个主要湖泊水域总面积与其它土地利用类型转移变化。

15年中,湖泊水域主要转变成了建设用地、耕地,其中转变成建设用地的面积最大,达到了16.73 km<sup>2</sup>和6.44 km<sup>2</sup>,转移比率为18.89%和7.27%。而向林地、草地、未利用地的转移率则比较低,分别为1.77%、1.42%和0.71%。

从表3我们可以看到,1995—2000年和2000—2005年这两个研究时段中,湖泊水域面积转换成建设用地的面积分别为5.01和4.03 km<sup>2</sup>,转移比率分别为5.67%和5.37%。转换成耕地的面积分别为6.67和6.65 km<sup>2</sup>,转移比率为7.53%和8.86%。可见在这10年当中,湖泊水域面积向建设用地和耕地面积的转移处在一个总量巨大,变化稳定的趋势上。湖泊用地转移主要有两个方向,一是初期的围湖成塘、围湖造田使得大量天然湖泊转变为农用地,这主要体现在远离市区的湖泊周围;二是随着房地产开发热的到来,湖泊进一步被蚕食,湖泊面积锐减,大量城市和公交建设用地由填占湖泊转移而来,特别明显的是市区湖泊面积被建筑用地侵蚀加剧。

2005—2010年湖泊水域在向其它地类的转换过程中都得到了一定的遏制。湖泊面积的萎缩程度得到了初步的遏制。其中湖泊水域转换成建设用地的面积降低到2.84 km<sup>2</sup>,转移率则降低到4.4%。转移成耕地的面积也降低到1.64 km<sup>2</sup>,转移率降低到2.54%。林地、草地、未利用地的转移比率则依然保持在相对较低的水平上,分别为0.79%、0.26%、0.22%。在这期间湖泊用地则主要转变为城市和公交建设用地,包括城市道路、市政设施和公园配套设施等大量填占湖泊水域。而且这一时期,滨湖地区又成为房地产开发的焦点,先期转变的农用地也

逐渐变为建设用地,而且土地利用程度逐渐提高,造成湖泊面积进一步缩减。

### 3 结论

1995—2010年的湖泊水域面积总量的变化经历了两个阶段:1995—2005年的湖泊水域面积萎缩速度较快;2005—2010年的湖泊水域面积萎缩速度变慢。湖泊面积的萎缩速度得到了初步的遏制。1995—2010年中的3个研究时段的湖泊分形维数也呈逐期减小的趋势。说明湖泊几何形状趋于简单化,人为活动对湖泊的影响加大。

通过对武汉市主城区28个主要湖泊的湖泊变化强度指数的分析,其总量变化均为负值,呈萎缩趋势。但在2000年后,由于湖泊保护有法可依,湖泊改造顺利进行,少数湖泊变化强度指数呈现负值,部分湖泊的萎缩趋势初步控制。28个主要湖泊的水域面积在15年间,主要转移成为建设用地和耕地。其转移面积占转移总面积的87.02%。林地、草地与未利用地的转化面积仅占总面积的12.97%。土地利用的转移状况是与城市化进程中的围湖造田和建设用地扩展的状况相吻合。

由此可见,城市化背景下湖泊面积与形态变化的规律并不是完全与城市化发展速率呈正比的关系,当城市化上升到一定的阶段后,城市内部对生态环境的保护与要求也不断提高。为了改善城市环境,城市内部的生态用地,例如湖泊则会得到立法的强制性保护。湖泊面积的减少将会得到初步遏制与恢复。

综上所述,高速城市化背景下的城市扩张与城市湖泊的面积与形态变化有着密不可分的联系。而湖泊作为最为重要的城市生态用地,其价值对城市的可持续发展有着重要的意义。所以本研究对城市湖泊的保护提出以下几个保护建议:坚持科学规划,明确湖泊管理保护目标任务。统筹保护与开发、协调湖泊生态与城市发展,全面构建湖泊管理和保护规划体系与健康监测评价体系。坚持蓄泄兼筹,构建江湖两利防洪减灾格局。继续实施退田还湖、退渔还湖、洪道疏浚,加强圩区管理,恢复天然湖泊水域面积,建立可靠的蓄洪控制工程体系和防洪安

表3 不同时期湖泊水域转移变化

Table 3 Transition of lake area in different periods

转移土地类型	1995—2000年		2000—2005年		2005—2010年		1995—2010年	
	面积/km <sup>2</sup>	转移比率/%	面积/km <sup>2</sup>	转移比率/%	面积/km <sup>2</sup>	转移比率/%	面积/km <sup>2</sup>	转移比率/%
建设用地	5.01	5.67	4.03	5.37	2.84	4.4	16.73	18.89
耕地	6.67	7.53	6.65	8.86	1.64	2.54	6.44	7.27
草地	0.07	0.09	1.09	1.47	0.17	0.26	1.26	1.42
林地	1.72	1.94	0.31	0.41	0.51	0.79	1.57	1.77
未利用地	0.06	0.08	0	0	0.14	0.22	0.63	0.71

全保障体系。坚持依法治水, 强化湖泊水域岸线利用管理。完善湖泊管理保护法律法规体系, 加大湖泊执法监督力度。树立人与自然和谐相处的理念, 促进湖泊资源的可持续利用。

### 参考文献:

- [1] 魏显虎, 杜耘, 蔡述明, 等. 湖北省湖泊演变及治理对策[J]. 湖泊科学, 2007, 19(5): 530-536.
- [2] 欧阳志云, 赵同谦, 王效科, 等. 水生态服务功能分析及其间接价值评价[J]. 生态学报, 2004, 24(10): 2091-2099.
- [3] 蔡海生, 张学玲, 黄宏胜. "湖泊-流域"土地生态管理的理念与方法探讨[J]. 自然资源学报, 2010, 25(6): 1049-1058.
- [4] 刘永, 郭怀成, 黄凯, 等. 湖泊-流域生态系统管理的内容与方法[J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5352-5360.
- [5] XU K, KONG C F, LIU G, et al. Changes of urban wetlands in Wuhan, China, from 1987 to 2005[J]. Progress in Physical Geography, 2010, 34(2): 207-220.
- [6] DU N R, OTTENS H, SLIUZAS R. Spatial impact of urban expansion on surface water bodies-A case study of Wuhan, China[J]. Landscape and Urban Planning, 2010, 94(3-4): 175-185.
- [7] 曾忠平, 卢新海. 城市湖泊时空演变的遥感分析: 以武汉市为例[J]. 湖泊科学, 2008, 20(5): 648-654.
- [8] 宁龙梅, 王学雷, 吴后建. 武汉市湿地景观格局变化研究[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(1): 44-49.
- [9] 张毅, 邓宏兵. 武汉市城市湖泊演化及开发利用初探[J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2005, 39(4): 559-563.
- [10] 汪常青, 吴永红, 刘剑彤. 武汉城市湖泊水环境现状及综合整治途径[J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(5): 499-502.
- [11] 魏华, 成水平, 柴培宏, 等. 2009年秋季武汉大东湖北湖水系水生植物调查[J]. 湖泊科学, 2011, 3: 401-408.
- [12] 时志强, 张运林, 刘明亮, 等. 湖北东湖、梁子湖和洪湖颗粒物吸收光谱特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2011(06): 736-743.
- [13] 张杨, 刘艳芳, 丁庆, 等. 1996-2006年武汉市土地利用/覆被变化研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(11): 2534-2539.
- [14] 潘文斌, 黎道丰, 唐涛, 等. 湖泊岸线分形特征及其生态学意义[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2728-2735.
- [15] 李新国, 江南, 王红娟, 等. 近30年来太湖流域湖泊岸线形态动态变化[J]. 湖泊科学, 2005, 17(4): 294-298.
- [16] 曾忠平, 裴韬, 彭兰霞. 武汉南湖区土地利用结构信息熵与湖泊形态变化分形分析[J]. 资源科学, 2008, 30(7): 1061-1067.
- [17] SU W Z, GU C L, YANG G S, et al. Measuring the impact of urban sprawl on natural landscape pattern of the Western Taihu Lake watershed, China[J]. Landscape and Urban Planning. 2010, 95(1-2): 61-67.
- [18] 万玮, 肖鹏峰, 冯学智, 等. 近30年来青藏高原羌塘地区东南部湖泊变化遥感分析[J]. 湖泊科学, 2010, 22(6): 874-881.
- [19] SHI YUSHENG, XIAO JIEYING, SHEN YANJUN, YASUSHI YAMAGUCHI. Quantifying the spatial differences of landscape change in the Hai River Basin, China, in the 1990s[J]. International Journal of Remote Sensing. 2012, 33: 14, 4482-4501
- [20] 李雁, 赵坤, 方精云, 等. 城市湖泊地区的土地利用变化--以武汉东湖为例[J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(3): 229-233.

## Study on evolution of urban lakes in Wuhan based on RS/GIS

HUANG Pujiang<sup>1,2</sup>, LIU Yanfang<sup>1,2\*</sup>, LIU Chang<sup>1,2</sup>, JIANG Qinghu<sup>1,2</sup>

1. School of Resource and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430079, China;

2. Key Laboratory of Geographic Information System, Wuhan University, Wuhan, 430079, China

**Abstract:** This study, taking the main urban area of Wuhan city as research object, used interpretation results of the TM image of Landsat5 in 1995 and 2005 and ETM+ image of Landsat7 in 2000 and 2010, based on a quantitative research by a comprehensive research method with Fractal Theory and GIS landscape spatial analysis function to build lakes varying intensity index and lakes fractal dimension index respectively. The study conducted a comprehensive analysis between the changes of lake area and lake morphology in order to enrich the analysis of lake evolution. It also tries to summarize the lake variation in the context of rapid urbanization, and the type of transfer characteristics and influence by land transfer matrix analysis. Consequently, analysis results help us to understand the response relationship between human activities and the dynamic changes of the lake waters thoroughly. A number of lake harness and management measures have been put forward in the article. The results show that: (1) General characteristics of lake evolution are withering during these 15 years. It has been basically controlled at the low annual rate of change. (2) Fractal Dimension of Lake is decreasing too. It represents that shape of lake is simple and the effect of human activities is intense from 1995 to 2010. (3) Intensity Index of Lake Evolution of main 28 urban lakes is negative in these 15 years while a few lakes' Intensity Index of Lake Evolution is positive from 2000. (4) In 1995 to 2010, the water areas of lake were mainly transferred into construction land and farmland. The transferred water areas account for 87.02% of the total transferred area. It is deeply influence for the urban lakes that reclaiming land from lakes and high rate of urbanization. (5) In the context of rapid urbanization, lakes area and morphological changes are not directly relevant with the urbanization rate. When urbanization rate goes up to a certain stage, the urban ecological protection simultaneously needs to improve. In order to improve the urban environment and ecological field, the lakes should be protected by mandatory Legislation.

**Key words:** Wuhan city; lake evolution; fractal Dimension of Lake; intensity Index of Lake Evolution