

武汉城市湿地景观格局时空结构 演化及驱动机制研究*

孔春芳¹, 王静¹, 张毅², 徐凯¹, 吴冲龙¹, 刘刚¹

(1. 中国地质大学(武汉)计算机学院, 湖北武汉 430074;

2. 华中师范大学城市与环境科学学院, 湖北武汉 430079)

摘要: 运用景观生态学的理论与方法, 定量研究武汉城市湿地景观的特征、分布格局及变化过程, 探索其时空演化特征与驱动机制。研究表明: ① 1987-2005年, 武汉城市湿地总面积减少了137.50 km², 其中自然湿地面积减少了281.87 km², 相反, 人工湿地面积增加了144.37 km²。② 武汉城市湿地景观的多样性减小, 均匀度降低, 优势度增大, 说明武汉城市湿地景观趋于同化。③ 水库坑塘湿地的破碎度最大, 说明水库坑塘湿地受人类活动的影响最大。④ 河流湿地、湖泊湿地的质心向西南迁移, 水库坑塘湿地的质心向东南迁移。⑤ 武汉气候的变暖与趋干、人口的快速增长、经济的快速发展以及快速城市化导致武汉城市湿地景观格局的变化。

关键词: 城市湿地; 动态演化; 遥感; 地理信息系统; 驱动机制; 景观生态学

中图分类号: Q149 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579(2012)04-0119-10

Evolution of Wuhan Urban Wetlands Landscape Pattern and Its Driving Mechanism

KONG Chunfang¹, WANG Jing¹, ZHANG Yi², XU Kai¹, WU Chonglong¹, LIU Gang¹

(1. School of Computer, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Institute of Urban and Environment Science, Central China Normal University, Wuhan 430079, China)

Abstract: Urban wetlands play a significant role in the sustainable development of the urban eco-environment. The time-spatial evolution character and rules of the wetland landscape pattern in Wuhan were quantitatively analyzed using landscape ecological methodologies. The following results have been obtained: ① The decrease in urban wetland area was 137.50 km² and in natural wetland area was 281.87 km²; on the contrary, the increase in artificial wetland area was 144.37 km². ② Urban wetland landscape diversity decreased, evenness reduced, and dominance increased from 1987 to 2005. These changes reflect that urban wetland landscape types gradually tend to be assimilative. ③ The fragmentation of reservoir and pond wetlands was the largest, which indicated that the impact of human activities was the biggest for the reservoir and pond wetlands. ④ The centroids of river and lake wetlands moved southwest and the centroids of reservoir and pond wetlands moved southeast. ⑤ The increasing warm and dry climate, the rapid population growth, and the rapid economic development as well as the rapid urbanization are major reasons for the structural changes in urban wetland landscape pattern from 1987 to 2005.

Key words: urban wetlands; dynamic evolution; Remote Sensing (RS); Geographic Information System (GIS); driving mechanism; landscape ecology

* 收稿日期: 2012-02-02

基金项目: “863”计划重点资助项目(2008AA121602); 教育部人文社科基金资助项目(12YJCZH094); 生物地质与环境地质国家重点实验室开放基金资助项目(BGEG1014)

作者简介: 孔春芳(1973年生), 女, 博士, 副教授; E-mail: annkcf@126.com

城市湿地是城市生态系统的重要组成部分, 具有重要的生态环境和社会服务功能, 为实现城市可持续发展提供重要的水资源和生态环境保障, 因此, 合理的开发利用湿地资源是城市可持续发展的重要前提^[1]。然而, 由于自然原因、人口增长以及日益加速的城市化进程使得城市内与城市周围的湿地资源被大面积开垦、改造, 造成了城市湿地景观的结构变化与某些生态功能的改变或丧失, 从而致使城市湿地面积减少、水质恶化、植被退化、生态功能减退等^[2], 严重威胁到湿地区域乃至城市社会经济的可持续发展^[3-4]。

近年来, 越来越多的学者运用各种方法与技术对湿地资源进行了大量的研究, 取得了许多成果。如利用 3S 技术对湿地资源进行监测与分析研究^[5-7]; 湿地资源的动态变化与分析研究^[8-9]; 湿地景观格局动态变化及驱动机制研究^[10-13]; 湿地景观的综合生态效应与生态服务功能建设研究^[14-16]; 湿地景观生态系统的发展、保护与利用研究^[17-18]; 湿地景观生态系统的多样性保护研究^[19-20]; 以及湿地景观生态系统的评价与管理方面的研究^[21-23]。这些研究对我国湿地资源的合理利用与开发、以及湿地科学的发展都具有重要意义。但是, 这些研究却很少涉及城市湿地景观格局的时空动态变化及驱动机制方面的研究, 特别是对于具有“百湖之市”美誉的武汉市的城市湿地景观的研究则更少。因此, 本文在 RS 和 GIS 技术支持下, 应用景观生态学原理与方法, 对武汉城市湿地景观格局、过程、变化以及驱动机制进行分析研究, 揭示其演变特征与演化规律, 探求引起其发生动态变化的驱动因素, 为城市湿地资源的合理利用与开发、城市生态环境的改善与治理, 以及“湖城武汉”生态环境的可持续发展提供科学依据与信息支撑。

1 研究区概况

武汉市是中国中部地区的特大城市, 是长江中下游地区最大的工业城市和经济中心。它位于长江和汉水的交汇处, 东经 113°41' ~ 115°05', 北纬 29°58' ~ 31°22', 全市土地面积 8 467 km²。武汉市地处北亚热带季风区, 属亚热带湿润季风气候, 气候温暖, 雨量充沛、夏热冬冷、四季分明, 年均气温 16.3 °C, 年均降水量达 1 220 mm。

武汉市地质结构以新华夏构造体系为主, 地形属残丘性河湖冲积平原, 地势北高南低, 中部低平, 山丘、湖泊与平陆相间。市内得水独厚, 长江

在境内流程为 145 km, 汉水流经市区长为 62 km。除长江、汉水之外, 境内有三河 (金水河、通顺河、府环河) 三水 (滢水、倒水、举水) 六条较大的支流, 还有小河港 350 余条。到 2003 年初, 武汉市 0.1 km² 以上的湖泊有 138 个, 主要分布在蔡甸区、黄陂区、东西湖区、江夏区等区, 主城区湖泊占总量的 20%^[24], 素有“百湖之市”的美誉。除此之外, 市内还有典型的自然湿地景观 (包括河流、湖泊、滩地、沼泽) 和人工湿地景观 (包括水稻田、水库坑塘、人工沟渠) 等多种湿地资源, 它们在维护武汉市生态系统平衡、水循环、构建江湖联系、蓄洪防洪等方面发挥着重要的作用, 具有极其重要的研究价值。

2 研究方法

2.1 武汉城市湿地景观类型划分与编码

湿地景观类型划分是进行湿地景观格局研究的基础, 本文根据国家土地利用分类系统和武汉城市湿地类型特点, 同时结合 TM 影像的光谱特征, 将武汉城市湿地类型划分为河流湿地、湖泊湿地、水库坑塘湿地、滩地湿地、沼泽湿地五大类, 具体分类与编码如表 1。

表 1 武汉城市湿地景观的定义、类型与编码
Table 1 Landscape definitions, types, and coding of urban wetlands in Wuhan

编码	湿地	定义
41	河流	指天然形成的河流。
42	湖泊	指天然形成的积水区常年水位以下的土地。
43	水库坑塘	指人工修建的蓄水区常年水位以下的土地。
46	滩地	指河、湖水域平水期水位与洪水期水位之间的土地。
64	沼泽	指地势平坦低洼、排水不畅、长期潮湿、季节性积水或常年积水, 表层生长湿生植物的土地。

2.2 遥感数据源的选取与信息提取

为了能够更准确地反映不同时期武汉城市湿地景观的变化特征, 本研究选用的遥感影像都是平水期的 Landsat TM 数据, 包括: 1987 年 9 月 26 日、1994 年 9 月 29 日、2005 年 4 月 20 日的 Landsat-TM 影像, 空间分辨率为 30 m; 1993 年出版的武昌县 1:50 000 地形图; 武汉市 20 世纪 90 年代中期 1:100 000 的土地利用图; 湖北省 30 m 分辨率的 DEM 数据; 武汉市行政区划矢量图; 以及 1987 - 2005 年的统计数据等。

运用 ERDAS9.0 遥感图像处理软件对武汉市 1987、1994 和 2005 年的 Landsat-TM 影像进行几何校正、影像增强等处理, 叠加武汉市行政区划矢量图, 裁出研究区影像。根据武汉不同城市湿地景观的光谱特征与几何特征, 选取 Landsat-TM 的 7、5、2 波段进行最佳波段组合, 同时, 参照武昌县 1:50 000 地形图和武汉市 1:100 000 土地利用图, 建立武汉城市湿地景观分类解译标志, 在 ArcGIS9.0 的支持下对三期遥感影像进行人机交互目视解译, 并对有疑问的信息进行野外实地调查求证, 其中, 湿地信息提取以 30 m 分辨率影像为基础, 河流宽度不小于 3 个像素 (90 m), 湖泊面积不小于 3×3 个像素 (0.0009 km^2), 最终得到 1987、1994 和 2005 年的武汉城市湿地景观分布图。利用 ArcGIS9.0 的空间分析与统计功能, 统计武汉市 1987、1994 与 2005 年的各种不同类型湿地景观的斑块数量、面积、最大斑块面积等数据, 建立武汉 1987、1994 与 2005 年的城市湿地空间数据库与属性数据库。

2.3 武汉城市湿地景观格局指数的选取

湿地景观格局是指各种湿地景观要素在景观空间内的分布特征和组合形式, 是湿地景观结构与景观生态过程相互作用的结果。景观格局指数能够高度浓缩景观格局信息, 反映其结构组成和空间配置特征的简单定量指标^[25-26]。本文选择香农多样性指数 (SHDI)、香农均匀度指数 (SHEI)、优势度指数 (D)、破碎度指数 (F) 与分离度指数 (I) 来分析研究武汉城市湿地景观格局的结构、功能及动态变化过程, 具体计算公式及在文中的生态含义见表 2^[4,27]。

表 2 中, $i=1, 2, \dots, m$, 表示湿地景观的斑块类型; $j=1, 2, \dots, n$, 表示某种城市湿地景观的斑块数目; N 为各类湿地景观的斑块总数; N_i 为第 i 类湿地景观的斑块总数; L 为各类湿地景观的总周长; A 为各类湿地景观的总面积; A_i 为第 i 类湿地景观的总面积; \bar{A}_i 为第 i 类湿地景观的平均面积; P_i 为第 i 类湿地景观面积占总面积的比例。

此外, 本文还通过计算不同城市湿地景观类型的面积加权质心变化, 来分析 19 年来武汉各类城市湿地景观格局的空间变化规律和趋势。质心计算方法为^[28]:

$$X_c = \frac{\left(\sum_{j=1}^n C_j X_j\right)}{\left(\sum_{j=1}^n C_j\right)}; Y_c = \frac{\left(\sum_{j=1}^n C_j Y_j\right)}{\left(\sum_{j=1}^n C_j\right)}$$

式中, X_c 和 Y_c 是按面积加权的湿地质心坐标, X_j 和 Y_j 是某一湿地类型第 j 个斑块的质心坐标, C_j 为第 j 个斑块的面积, n 是不同湿地类型的斑块总数目。

表 2 景观格局指数及其生态意义

Table 2 Indices and their ecological meaning of landscape pattern

景观格局指数	计算公式
斑块总面积 (A)	$A = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_{ij}$
斑块平均面积 (\bar{A}_i)	$\bar{A}_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^n A_{ij}$
香农多样性指数 (SHDI)	$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i) \times \lg(P_i)$
香农均匀度指数 (SHEI)	$SHEI = - \sum_{i=1}^m (P_i) \times \lg(P_i) / \lg(m)$
优势度指数 (D)	$D = 1 + \sum_{i=1}^m (P_i) \times \lg(P_i) / \lg(m)$
破碎度指数 (F)	$F = \sum_{i=1}^m (N_i / A_i)$
分离度指数 (I)	$I = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{N_i}{A_i / A}}$

3 结果与分析

3.1 武汉城市湿地景观的面积变化分析

通过目视解译与野外实地调查, 得到 1987、1994 和 2005 年的武汉城市湿地景观的空间分布图 (图 1), 利用 ArcGIS 空间分析与统计功能, 得到三个时相武汉城市湿地景观的属性特征 (图 2)。

图 2 (a) 和 (b) 说明从 1987 年至 2005 年, 武汉城市湿地总面积减少了 137.50 km^2 , 其中自然湿地面积减少了 281.87 km^2 , 相反, 人工湿地面积增加了 144.37 km^2 。而在自然湿地面积的减少中, 湖泊湿地的面积减少的最多, 减少了 169.32 km^2 , 占总自然湿地减少面积的 60.07%; 沼泽湿地面积减少了 71.56 km^2 , 占总自然湿地减少面积的 25.39%, 河流湿地的面积减少了 36.62 km^2 , 占总自然湿地减少面积的 12.99%; 滩地的面积减少的比较少, 只减少了 4.38 km^2 。而人工湿地面积的增加主要是由于水库坑塘湿地面积的增加。

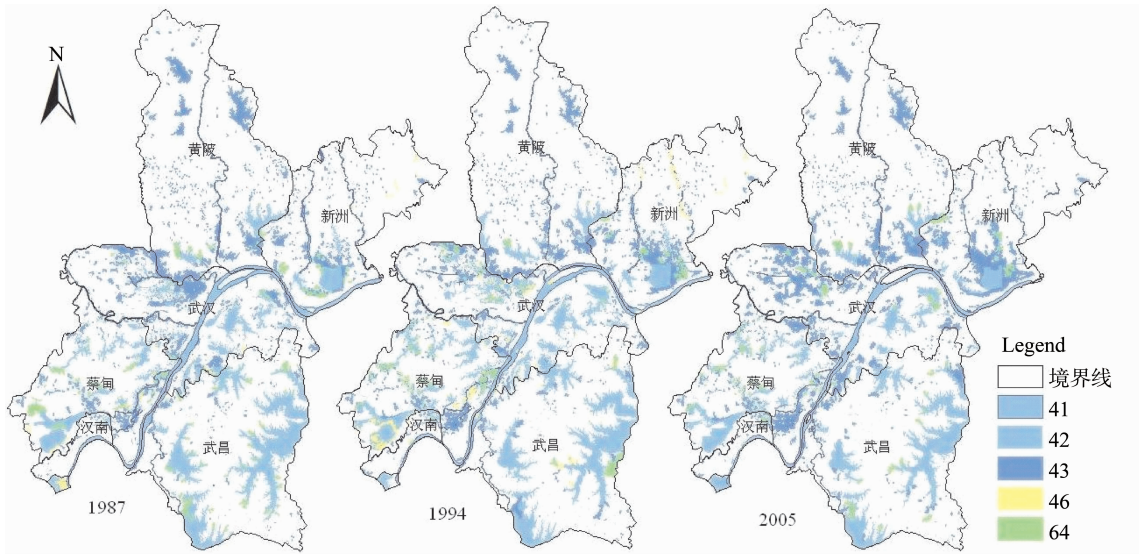


图 1 1987、1994 和 2005 年的武汉城市湿地景观分布图

Fig. 1 The urban wetland landscapes of Wuhan in 1987, 1994 and 2005

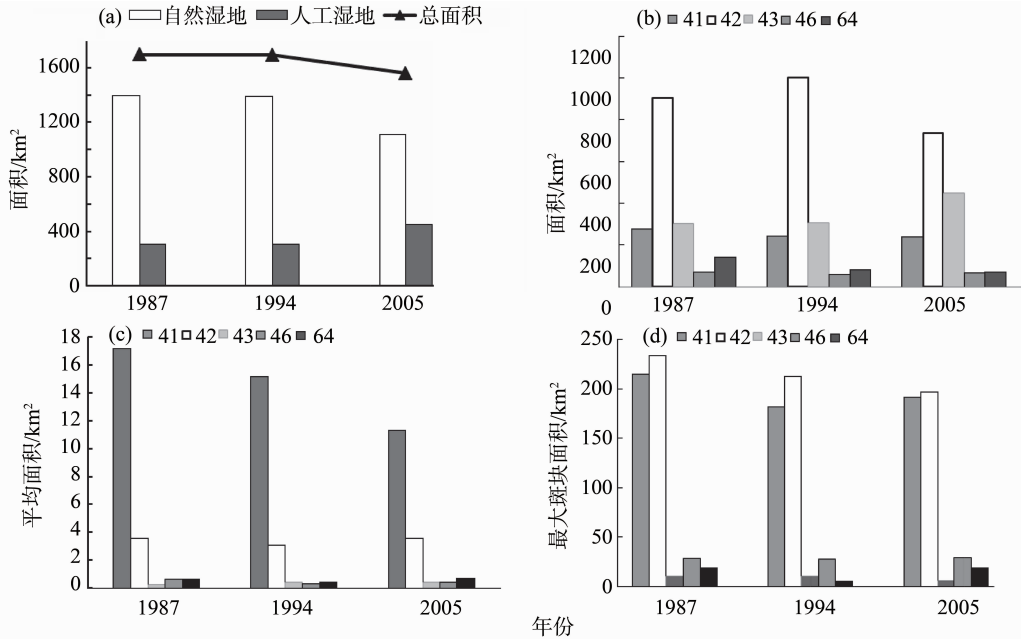


图 2 1987 - 2005 年武汉城市湿地总面积 (a)、各类湿地面积 (b)、斑块平均面积 (c)、最大斑块面积 (d)

Fig. 2 Wetland area (a), patch area (b), average area (c) and maximum area (d) of Wuhan in the past 19 years

图 2 (c) 说明武汉市河流湿地的平均面积最大, 其次是湖泊湿地, 而水库坑塘湿地的平均面积最小, 说明河流湿地的斑块规模的平均水平最大, 破碎化程度最低, 其次是湖泊湿地、沼泽湿地、滩地湿地、水库坑塘湿地的斑块规模的平均水平最小, 破碎化程度最高, 这也说明, 河流湿地受人类活动的影响最小, 而水库坑塘湿地受人类活动的影响最大。另一方面, 河流湿地的平均面积一直在减小, 从 1987 年的 17.14 km^2 减小到 2005 年的 11.31 km^2 ; 湖泊湿地的平均面积先增大, 后减小,

但总的趋势是减小; 滩地湿地的平均面积是先减小, 后稍有增加, 但总的趋势是减小; 而水库坑塘湿地平均面积从 1987 年的 0.26 km^2 增加到 2005 年的 0.44 km^2 ; 这说明河流湿地、湖泊湿地、滩地湿地的斑块规模的平均水平与破碎化程度一直在减小, 而水库坑塘湿地的斑块规模的平均水平与破碎化程度一直在增大, 这种结果进一步说明武汉城市湿地景观中, 自然湿地景观的斑块规模一直处于一种减少的趋势, 相反, 人工湿地景观的斑块规模一直处于一种增加的趋势, 这间接说明随着武汉城

市化进程的加强，人类对湿地景观的干扰越来越大。

图 2 (d) 说明武汉城市湿地景观中，湖泊湿地的最大斑块面积最大，但是从 1987 年至 2005 年，湖泊湿地的最大斑块面积由 233.5 km² 减少到 197.06 km²，说明武汉市的最大湖泊湿地的面积一直在减小，突出表现为大湖泊的数量减少，面积迅速减少，小湖泊数量上升，面积变化不大。这预示着武汉市湖泊湿地正在走向衰退，因为小湖泊湿地的生态系统脆弱，极易走向人工或自然衰退之路^[24]。此外，河流湿地、水库坑塘湿地的最大斑块面积也一直在减小。

3.2 武汉城市湿地景观结构组成变化分析

表 3 表明，1987 年，武汉城市湿地景观组成中，湖泊湿地占城市湿地总面积的 53.4%，其次是水库坑塘湿地与河流湿地，分别占 17.84% 与 16.18%，沼泽湿地与滩地湿地所占比例比较小，分别是 8.39% 与 4.19%。1994 年，湖泊湿地所占比例稍有增加，为 59.39%，水库坑塘湿地所占比例也稍有增加，为 18.02%，而河流湿地、沼泽湿地与滩地湿地所占比例却有所下降，分别是 14.36%、4.78% 与 3.46%。2005 年，湖泊湿地在武汉城市湿地中，依然处于绝对优势状态，但所占比例明显下降，为 47.24%，水库坑塘湿地所占比例明显上升，为 28.69%，上升了 10.85%。这说明 19 年来，武汉城市湿地景观的类型结构发生了较大的变化，突出的表现为自然湿地景观所占比例逐渐下降，由 1987 年的 82.15% 下降到 2005 年的 71.31%，相反，人工湿地景观所占比例一直处于一种增加的趋势，由 1987 年的 17.84% 上升到 2005 年的 28.69%。这进一步证明，随着武汉市人口的增多，经济的快速发展，武汉市的自然湿地部分被改造为人工湿地，尤其是湖泊湿地被改造成人工控制的精养渔池，如沉湖与东西湖等；此外，还

表 3 1987 - 2005 年武汉市各类湿地面积变化

Table 3 The changes of urban wetlands in Wuhan from 1987 to 2005 /%

年份	1987	1994	2005
河流湿地	16.18	14.36	15.25
湖泊湿地	53.40	59.39	47.24
水库坑塘湿地	17.84	18.02	28.69
滩地湿地	4.19	3.46	4.28
沼泽湿地	8.39	4.78	4.53
总计	100.00	100.00	100.00

有部分湖泊湿地被分解为若干小湖泊，如梁子湖、东湖等均属此类^[29]。

3.3 武汉城市湿地景观多样性分析

利用表 2 中的计算公式，求出 1987、1994 和 2005 年武汉城市湿地景观的 SHDI、SHEI 与 D ，计算结果如图 3 所示。

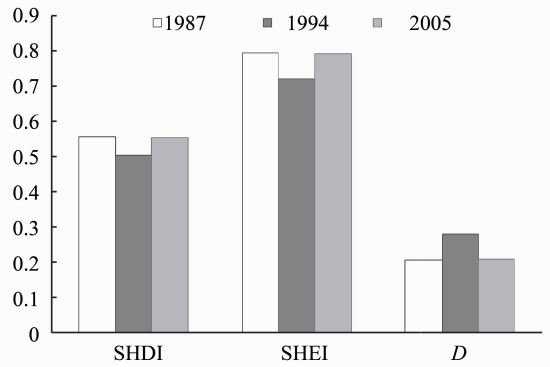


图 3 19 年来武汉城市湿地景观格局的多样性分析
Fig. 3 The diversity analysis of urban wetlands landscape pattern of Wuhan in the past 19 years

图 3 表明，1987 年武汉城市湿地景观的 SHDI 值与 SHEI 值最大， D 值最小，说明 1987 年武汉城市湿地景观的多样性最大，主要以湖泊、河流、以及水库坑塘湿地占优势，湿地类型斑块均匀；从 1987 年至 1994 年，SHDI 值降低，SHEI 值减小， D 值增大，说明这段时间，武汉城市湿地景观的多样性减小，均匀度降低，优势度增大，城市湿地景观的类型逐渐趋于同化；从 1994 年至 2005 年，SHDI 值又稍有增加，SHEI 值也稍有增加， D 值又稍有减少，说明武汉城市湿地景观的多样性增大，均匀度增大，优势度减小，城市湿地景观类型逐渐趋于多样化。但总的来说，从 1987 年至 2005 年，武汉城市湿地景观的 SHDI 和 SHEI 先减小（1987 - 1994），后增大（1994 - 2005），但总的趋势是减小（1987 - 2005）；优势度指数 D 先增大（1987 - 1994），后减小（1994 - 2005），但总的趋势是增大（1987 - 2005）；这说明 19 年来，武汉城市湿地景观的多样性减小，均匀度降低，优势度增大，城市湿地景观趋于同化^[4]。

3.4 19 年来武汉城市湿地景观格局的破碎性分析

利用表 2 中的计算公式，求出 1987、1994 和 2005 年的武汉城市湿地景观的 F 值与 I 值，计算结果如图 4 所示。

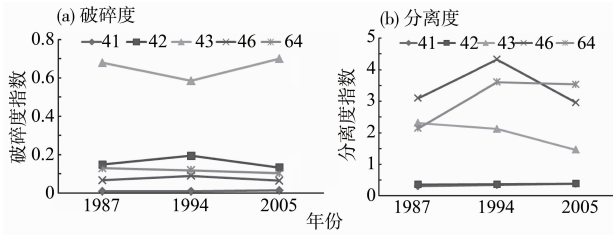


图 4 19 年来武汉城市湿地景观格局的破碎度指数与分离度指数分析

Fig. 4 The *F* (a) and *I* (b) analysis of Wuhan urban wetlands landscape pattern in the past 19 years

图 4 (a) 表明, 19 年来水库坑塘湿地的 *F* 值最大, 说明水库坑塘湿地受人类活动的影响程度最大; 其次是湖泊湿地, 再其次是沼泽湿地、滩地湿地、最后是河流湿地。同时, 还可以看出, 河流湿地、沼泽湿地的 *F* 值一直在减少, 说明在一定程度上, 河流湿地、沼泽湿地受人类活动的影响程度一直在减小; 水库坑塘湿地的 *F* 值先减小, 再增大, 但总的趋势是增大, 说明水库坑塘湿地受人类活动的影响程度先减小, 后增大, 但总的趋势是增大。而湖泊湿地的 *F* 值先增大, 后减小, 但总的趋势是减小, 说明湖泊湿地受人类活动的影响程度先增大, 后减小, 但总的趋势是减小, 这也说明随着社会的发展, 人们越来越认识到湖泊湿地生态系统的重要性, 特别是 1998 年长江流域爆发特大洪水后, 人们对湖泊湿地的干扰逐渐减少。

图 4 (b) 表明, 19 年来河流与湖泊湿地的 *I* 值一直在增大, 说明这段时间河流与湖泊湿地是向着分散的方向发展; 沼泽地的 *I* 值先增大, 后减小, 但总的趋势是增大, 说明这段时间, 沼泽湿地先分离, 后又向着聚集的方向发展, 但总的趋势是向着分散的方向发展; 滩地湿地的 *I* 值先增大, 后减小, 但总的趋势是减小, 说明这段时间, 滩地湿地先分离, 后又向着聚集的方向发展, 但总的趋势是向着聚集的方向发展; 而只有水库坑塘湿地的 *I* 值一直在减小, 说明这段时间水库坑塘湿地是向着聚集的方向发展。

3.5 武汉城市湿地空间质心变化趋势分析

通过 ArcGIS 软件的空间分析工具生成武汉各类城市湿地类型质心 (图 5a), 可以看出各湿地类型的质心分布于不同的地理位置且 19 年来发生了不同程度的偏移变化。

湖泊湿地是武汉城市湿地中占绝对优势的湿地, 其面积占城市湿地总面积的 53.4%, 且汤逊湖、东湖、梁子湖 (部分)、南湖、严西湖、北

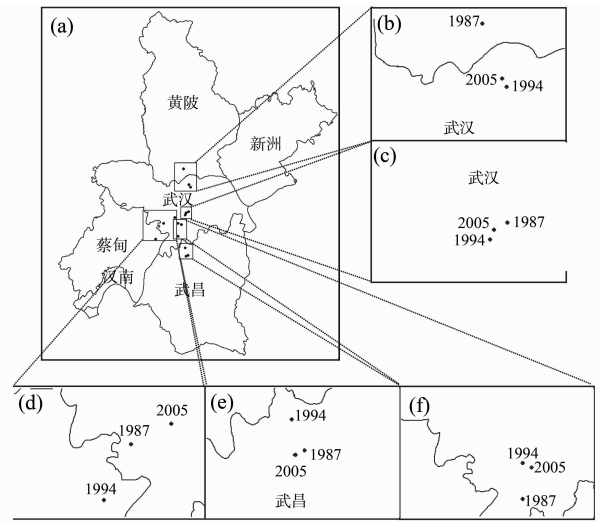


图 5 武汉各城市湿地类型质心位置 (a)、水库坑塘湿地质心变化图 (b)、河流湿地质心变化图 (c)、滩地湿地质心变化图 (d)、湖泊湿地质心变化图 (e)、沼泽湿地质心变化图 (f)

Fig. 5 The location of various urban wetlands' centroids (a), change of centroids of reservoir and pond (b), change of river's centroids (c), change of centroids of bottomland wetlands (d), change of lake's centroids (e), and change of marsh's centroids (f) in Wuhan

湖、鲁湖、青菱湖等几个大湖都分布在武汉市主城区与武昌, 因此, 湖泊湿地的质心位于武昌的西北部, 紧挨着武汉主城区 (图 5e), 1987 - 1994 年, 湖泊湿地的质心向西北方向偏移 3.61km, 而从 1994 - 2005 年, 湖泊质心向东南方向偏移 3.84 km, 总的来说, 从 1987 - 2005 年, 湖泊湿地的质心向西南方向偏移了 1.13 km。

水库坑塘湿地的质心位于武汉市主城区与黄陂 (图 5b), 1987 年的质心位于黄陂, 从 1987 - 1994 年, 质心向东南方向偏移 8.66 km, 1994 年, 水库坑塘湿地的质心位于武汉市主城区, 从 1994 - 2005 年, 质心又向西北方向偏移 1.19 km, 2005 年, 水库坑塘湿地的质心依然位于武汉市主城区, 这主要是由于梅店水库、夏家寺水库、院基寺水库等几个大水库都位于黄陂境内。总的来说, 从 1987 - 2005 年, 水库坑塘湿地的质心向东南方向偏移了 7.53 km。

河流湿地质心位于武汉市主城区 (图 5c), 这主要是由于长江流经整个武汉市, 除此之外, 汉水、“三河” (金水河、通顺河、府环河) 以及“三水” (淝水、倒水、举水) 等一些较大的支流流经整个研究区, 因此, 从 1987 - 1994 年, 河流湿地的质心向西南偏移 1.96 km, 从 1994 - 2005

年, 河流湿地的质心向东北偏移 0.86 km, 总的来说, 从 1987 - 2005 年, 河流湿地的质心向西南方向偏移了 1.27 km。

滩地湿地的质心位于蔡甸与武汉主城区交界处 (图 5d), 1987 年的质心位于武汉主城区, 从 1987 - 1994 年, 质心向西南偏移 7.87 km, 1994 年, 质心位于蔡甸; 从 1994 - 2005 年, 滩地湿地的质心向东北偏移 12.9 km, 至 2005 年, 河流湿地的质心位于武汉市主城区, 总的来说, 从 1987 - 2005 年, 滩地湿地的质心向东北方向偏移了 5.67 km。

沼泽湿地的质心位于武汉市主城区 (图 5f), 从 1987 - 1994 年, 质心向北偏移 5.84 km, 而从 1994 - 2005 年, 质心又向东南偏移 1.68 km, 总的来说, 从 1987 - 2005 年, 沼泽湿地的质心向东北方向偏移了 5.31 km。

1987 - 2005 年, 武汉市的气温逐年升高, 而降水量几乎没变, 使得武汉市的气温变暖变干, 从而减少了湿地水量, 水质恶化, 滩涂沙化, 导致了河流湿地、湖泊湿地的质心向西南迁移, 水库坑塘湿地的质心向东南迁移, 滩地湿地与沼泽湿地的质心向东北迁移。

4 武汉市湿地景观格局变化的驱动力分析

从所建立的武汉城市湿地景观空间数据库中, 可以看出武汉市的湿地主要分布在长江、汉江两岸广阔的江汉平原上。据历史资料记载, 这些湿地景观原来均与长江直接相通, 其形成和演化过程与长江极其密切, 而且这些湿地又彼此毗连, 在洪水季节, 大小相邻的湖泊水库湿地连成一片, 枯水季节, 各个子湖泊水库又各自相对独立。但是自 20 世纪 80 年代以来, 随着经济的发展、人口的增加以及日益加速的城市化, 先后建造防洪大堤、闸门、泵站等水利设施, 江湖湿地、湖库湿地之间的这种天然连通性受到了严重的阻隔, 许多湖泊湿地如洪湖、西凉湖、沙湖、南湖、东湖等与长江的天然联系通道被人为切断。江湖湿地的这种天然连通性被严重阻隔后, 不仅影响长江行洪, 降低湖泊湿地的调蓄功能, 而且还严重切断了江湖之间生物的联系通道, 降低了江湖的生物多样性, 减少了生物量。同时, 大规模的围湖造田使得湿地景观沿岸的植物毁灭, 浮游生物和底栖动物大量减少, 生物多样性急剧下降, 湿地生态系统日趋恶化。相反, 洪涝灾害的频率却越来越高, 灾情越来越重^[30]。造

成这种状况的主要原因是自然、社会及人为因素共同作用的结果。

4.1 气候变化的影响

气候条件对湿地景观的影响主要表现在降水和温度两个方面。充足的降水是湿地的重要补给来源, 降雨减少直接导致湿地水资源补给的不足, 同时会对湿地植被和土壤产生影响。温度升高会导致蒸散量加大, 从而减少了湿地水量^[13]。

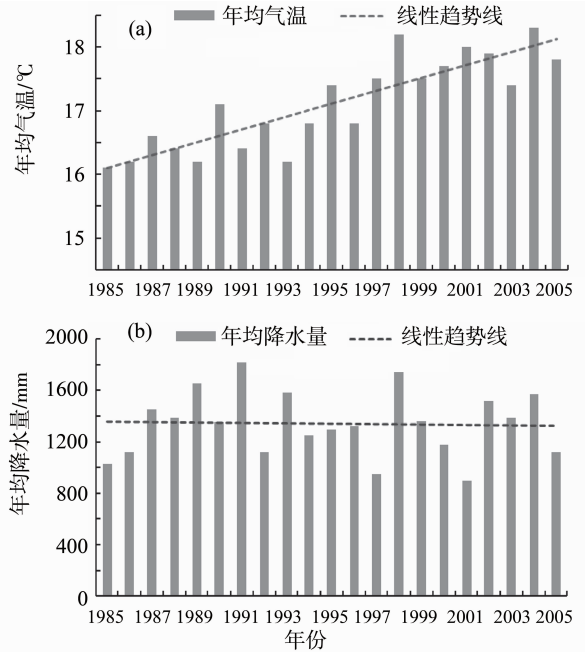


图 6 1985 - 2005 年武汉市年均气温 (a) 与年均降水量 (b) 变化

Fig. 6 Changes of annual average temperature (a) and precipitation (b) of Wuhan from 1985 to 2005

从武汉市统计年鉴提供的 1985 - 2005 年武汉市的降水与温度的数据可以看出, 武汉市 21 年的年均降水量 1 337.7 mm, 年平均气温 17.1 °C, 均高于武汉市的多年平均降水量 (1 220 mm) 与多年平均气温 (16.3 °C) (图 6), 图 6 还表明, 21 年来, 武汉市的年平均气温有逐年升高趋势 (a), 但年降水量变化却大致趋平 (b)。在降水量不变的情况下温度上升必然导致地面蒸发量的增大, 使得武汉市的气候有变暖和趋干的趋势, 造成武汉市的湿地面积在自然因素作用下不断的萎缩。同时, 湿地面积的萎缩又加剧了气温的上升, 因为湿地调节气温的“冷湿效应”减弱了, 气温就加速上升, 这就出现了气温的上升和湿地面积减小互相促进的效果。因此, 可以说气候的变暖趋干是武汉城市湿地景观格局发生变化的一个重要原因, 尤其会使沼泽湿地向草地与耕地转化^[4,31]。

4.2 社会因素

除了自然因素外, 社会因素是武汉城市湿地景观结构发生变化的另一个主要因素。特别是在作为全国的粮食生产基地的江汉平原地区, 人口的增长和经济的发展尤为快速。武汉市人口已经由 1985 年底 608.4 万人, 增长到 2005 年年底的 801.4 万人, 增长了 31.72% (图 7a); 武汉市的国民生产总值由 1985 年的 97.32 亿元, 增长到 2005 年的 2238 亿元, 增长了 23 倍 (图 7b); 人均国民生产总值由 1985 年的 1 610 元, 增长到 2005 年的 26 238 元, 增长了 16.3 倍; 具体增长情况如图 7 所示^[4]。

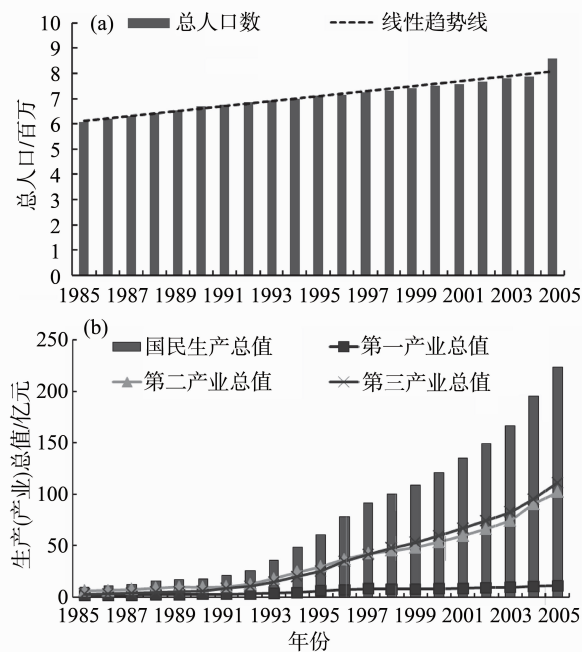


图 7 1985-2005 年武汉市总人口数 (a) 与国民生产总值 (b) 变化

Fig. 7 Changes of total population (a), GDP and its composition (b) of Wuhan from 1985 to 2005

图 7 表明, 21 年来武汉市的人口呈快速增长趋势, 国民生产总值呈强烈增长趋势, 人均国民生产总值的增长速度更为强烈。第一产业的增长速度较为平缓, 而第二产业与第三产业均呈现快速增长趋势。这样快速的人口增长和经济发展, 必将对武汉市土地利用的规模、结构、布局 and 强度产生深刻的影响, 这也必将影响到武汉市的湿地景观的结构、规模、布局等。一方面需要增加相应的居住、交通、公共设施、就业以及娱乐休息等的土地利用类型, 另一方面需要大量的耕地生产出能满足人们需要的粮食和经济作物, 使耕地压力过大以及其质

量下降。因此, 为解决土地资源不足问题, 在相当长的一段时期里, 武汉市进行了大量围湖造田, 围垦养殖, 甚至出现了把湿地转为建设用地的行为。大面积的围垦一方面直接导致了天然湿地面积的急剧减少, 破坏了水禽天然栖息地; 另一方面, 使天然湿地生态系统破碎化、单一化、导致湿地的生态功能退化。

4.3 人为因素

与各种自然因素和社会因素对武汉市湿地景观格局的影响相比, 人为因素的影响是最明显而又复杂的。在资源消耗型社会经济增长模式下, 人类社会经济活动是影响区域水资源、土地资源利用的最活跃的因子。武汉市城市湿地景观的变化明显受到土地资源利用政策和经济政策因子的驱动。

首先, 21 年来, 武汉城市湿地景观演化对土地利用的影响是湿地减少而土地增加的空间过程, 尤其是湖泊湿地与沼泽湿地的面积减少的尤其剧烈。湖泊湿地由 1987 年的 904.99 km² 减少到 2005 年的 735.67 km², 减少了 169.32 km²; 沼泽湿地由 1987 年的 142.18 km² 减少到 2005 年的 70.62 km², 减少了 71.56 km²。同时, 大规模的围湖造田使得湿地景观沿岸的植物毁灭, 浮游生物和底栖动物大量减少, 生物多样性急剧下降, 湿地生态系统日趋恶化。相反, 洪涝灾害的频率却越来越高, 灾情越来越重。

其次, 20 世纪 80 年代中期的围网养殖使天然湿地景观减少, 而人工湿地景观增加的另一个主要因素。人工围网养殖使得水库、坑塘湿地的面积增加, 由 1987 年的 302.34 km² 增加到 2005 年的 446.71 km², 增加了 144.37 km²。但是, 我们应该清楚意识到, 人工围网养殖对湿地水生植物多样性的破坏更为严重。这主要是由于围网养殖对水草的过度收获和对水草的高强度机械作业, 加速了水生植物多样性的丧失, 削弱了城市湿地的自净能力。而过度养殖, 大量投放混合饲料, 加重了湖泊湿地的污染, 湖水透明度降低, 降低了整个湖区的生物多样性, 使得湿地生态系统处于退化态势。

最后, 日益加速的城市化进程和城市的快速扩张以及房地产开发, 使大量的城市周围和内部的湖泊湿地、坑塘湿地被填埋、占用, 开发为商品房或工业用地, 可以说, 围湖造田是人类活动破坏和影响武汉市湖泊湿地的主要方式^[32]。调查表明, 20 世纪 80 年代以来, 因城市发展而出现的湖泊填占使湖泊再一次遭到严重破坏, 如因填占导致内沙湖水面积由 0.39 km² 减少到 0.03 km²、外沙湖由 4.73

km² 减少到 4.13 km², 后襄湖由 0.17 km² 减少到 0.04 km², 更有 8 个湖泊湿地已不复存在。除此之外, 汉口中山大道、解放大道、汉口火车站地区的建设均是以大量湖泊被占为代价的, 西北湖、南湖、晒湖、四美塘、汤逊湖等被填占情况时有发生^[33]。同时, 随着经济的快速发展, 人们的收入有了大幅度的增加, 经济的发展推动了人们生活水平和消费水平的提高, 随着人民购买力的增加, 对于耐用消费品如住房、汽车等的需求也大大增加, 从而刺激了房地产业和交通业的发展, 而这两个行业的发展就意味着需要大量城市建设用地, 从而也就导致城市周围的湿地被填埋、占用。

综上所述, 可以看出, 从 1987 - 2005 年的 19 年间, 随着经济的快速发展、人口的过快增加以及日益加剧的城市化, 使武汉城市湿地景观在时间和空间上均发生了明显的变化。

5 结 论

1) 武汉城市湿地总面积减少了 137.50 km², 其中自然湿地面积减少了 281.87 km², 相反, 人工湿地面积增加了 144.37 km², 而在自然湿地面积的减少中, 湖泊湿地的面积减少了 169.32 km², 占总自然湿地减少面积的 60.07%。沼泽湿地面积减少了 71.56 km², 占总自然湿地减少面积的 25.39%, 河流湿地的面积减少了 36.62 km², 占总自然湿地减少面积的 12.99%。而人工湿地面积的增加主要是由于水库坑塘湿地面积的增加。

2) 武汉城市湿地景观的类型结构发生了较大的变化, 突出的表现为自然湿地景观所占比例逐渐下降, 由 1987 年的 82.15% 下降到 2005 年的 71.31%, 相反, 人工湿地景观所占比例一直处于一种增加的趋势, 由 1987 年的 17.84% 上升到 2005 年的 28.69%。进一步研究发现, 自然湿地景观所占比例的减少中, 湖泊湿地所占比例由 1987 年的 53.4% 下降到 2005 年的 47.24%, 下降了 6.16%, 而水库坑塘湿地所占比例从 1987 年的 17.84% 上升到 2005 年的 28.69%, 上升了 10.85%。

3) 武汉城市湿地景观的多样性减小, 均匀度降低, 优势度增大, 城市湿地景观趋于同化。

4) 水库坑塘湿地的破碎度最大, 说明水库坑塘湿地受人类活动的影响程度最大; 此外, 河流湿地、湖泊湿地以及沼泽湿地是向着分散的方向发展, 而滩地湿地与水库坑塘湿地是向着聚集的方向发展。

5) 河流湿地、湖泊湿地的质心向西南迁移, 水库坑塘湿地的质心向东南迁移, 滩地湿地与沼泽湿地的质心向东北迁移。

总的来说, 从 1987 - 2005 年, 武汉市气候趋干变暖是武汉城市湿地景观格局发生变化的一个重要原因; 其次, 武汉市人口的快速增长, 以及经济的快速发展是武汉城市湿地景观变化的另一个主要因素; 最后, 人为的围湖造田、围网养殖、以及日益加速的城市化进程使得武汉城市湿地景观在时间和空间上均发生了明显的变化。

参考文献:

- [1] 孙广友, 王海霞, 于少鹏. 城市湿地研究进展. 地理科学进展[J]. 2004, 23(5): 94 - 100.
- [2] COSTANZA R, ARGE R, GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387: 253 - 260.
- [3] WEBER C, PUISSANT A. Urbanization pressure and modeling of urban growth: Example of the Tunis metropolitan area [J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 86: 341 - 352.
- [4] 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.
- [5] SHANMUGAM P, AHN Y H, SANJEEVI S. A comparison of the classification of wetland characteristics by linear spectral mixture modeling and traditional hard classifiers on multispectral remotely sensed imagery in southern India [J]. Ecology Modeling, 2006, 194: 379 - 394.
- [6] 宫鹏, 牛振国, 程晓, 等. 中国 1990 和 2000 基准年湿地变化遥感 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2010, 40(6): 768 - 775.
- [7] 陈建, 王世岩, 毛战坡. 1976 - 2008 年黄河三角洲湿地变化的遥感监测 [J]. 地理科学进展, 2011, 30(5): 585 - 592.
- [8] SCHMID T, KOCH M, GUMUZZIO J. Multi-sensor approach to determine changes of wetland characteristics in semiarid environments (central Spain) [J]. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 2005, 43: 2516 - 2525.
- [9] 王树功, 黎夏, 刘凯, 等. 环内伶仃洋河口湾湿地动态变化 (1988 - 2004) [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2007, 46(2): 105 - 109.
- [10] 何桐, 谢健, 徐映雪, 等. 鸭绿江口滨海湿地景观格局动态演变分析 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2009, 48(2): 113 - 118.
- [11] BAKER C, LAWRENCE R, MONTAGNE C, et al. Change detection of wetland ecosystems using Landsat

- imagery and change vector analysis [J]. *Wetlands*, 2007, 27: 610 - 619.
- [12] 曾辉, 高启辉, 陈雪, 等. 深圳市 1988 - 2007 年间湿地景观动态变化及成因分析[J]. *生态学报*, 2010, 30(10): 2706 - 2714.
- [13] 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[J]. *地理学报*, 2011, 66(1): 77 - 88.
- [14] GUNTENS PERGEN G R, DUNN C P. Introduction: Long-term ecological sustainability of wetlands in urbanizing landscapes [J]. *Urban Ecosystems*, 1998, 2(4): 187 - 188.
- [15] LI X Z, JONGMAN R, XIAO D N, et al. The effect of spatial pattern on nutrient removal of a wetland landscape [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2002, 60(1): 27 - 41.
- [16] 郑艳伟, 钱乐祥, 郑卓, 等. 广州番禺湿地生态环境质量时空动态分析[J]. *中山大学学报: 自然科学版*, 2008, 47(5): 104 - 109.
- [17] 崔保山, 刘兴土. 黄河三角洲湿地生态特征变化及可持续利用对策研究[J]. *地理科学*, 2001, 21(3): 250 - 256.
- [18] 任丽燕, 吴次芳, 岳文泽, 等. 环杭州湾城市规划及产业发展对湿地保护的影响[J]. *地理学报*, 2008, 63(10): 1055 - 1062.
- [19] JOYAL L A, MCCOLLOUGH M, HUNTER M L. Landscape ecology approaches to wetland species conservation: a case study of two turtle species in southern Maine [J]. *Conservation Biology*, 2001, 15(6): 1755 - 1762.
- [20] 赵振斌, 赵洪峰, 田先华, 等. 多尺度结合的西安市灞河湿地水鸟生境保护规划[J]. *生态学报*, 2008, 28(9): 4494 - 4500.
- [21] EHRENFELD J G. Evaluating wetlands with in an urban context [J]. *Ecological Engineering*, 2000, 15: 253 - 265.
- [22] BOYER T, POLASKY S. Valuing urban wetlands: a review of non-market valuation studies [J]. *Wetlands*, 2004, 4(24): 744 - 755.
- [23] 蒋卫国, 李京, 李加洪, 等. 辽河三角洲湿地生态系统健康评价[J]. *生态学报*, 2005, 25(3): 409 - 411.
- [24] 邓宏兵. 江汉湖群演化与湖区可持续发展研究[M]. 北京: 经济科学出版社, 2005.
- [25] O'NEILL R V, KRUMMEL J R, GARDNER R H, et al. Indices of landscape pattern [J]. *Landscape Ecology*, 1988(1): 153 - 162.
- [26] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [27] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [28] WANG F. Quantitative methods and application in GIS [M]. LLC: CRC Press, 2006.
- [29] 张毅, 孔祥德, 邓宏兵, 等. 近百年湖北省湖泊演变特征研究[J]. *湿地科学*, 2010, 8(1): 15 - 20.
- [30] 张毅. 湖北省湿地百年时空演化研究[M]. 武汉: 华中师范大学出版社, 2009.
- [31] XU K, KONG C F, WU C L, et al. Dynamic changes in Tangxunhu wetland over a period of rapid development (1953 - 2005) in Wuhan, China [J]. *Wetlands*, 2009, 29: 1255 - 1261.
- [32] 金伯欣. 江汉湖群综合研究[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1992.
- [33] 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.