

# 杭州西溪国家湿地公园 1993 年以来景观演变及其驱动力分析\*

程 乾<sup>1\*</sup> 吴秀菊<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 浙江工商大学旅游学院, 杭州 310035; <sup>2</sup> 浙江工商大学设备处, 杭州 310035)

**【摘要】** 在遥感和 GIS 技术支持下,以杭州西溪国家湿地公园的 TM 影像为主要数据源,研究了西溪湿地近 10 年景观空间格局特征和演变情况,探讨了景观演变的驱动因素.结果表明,景观多样性指数由 1993 年的 1.7854 上升到 2001 年的 1.8438 和 2003 年的 2.2096,景观多样性指数在 1993 年以后持续上升.景观破碎化指数由 1993 年的 0.0036 增加到 2001 年的 0.0042 和 2003 年的 0.0047,表明西溪整个景观破碎化程度随时间而加深,各类景观受人类活动的干扰在增强.人为活动成为西溪湿地格局演变的主要驱动因素.房地产开发是地处城市边缘的西溪湿地景观演变的主要内在动力,景观整体多样性演变受到景区社会经济发展水平和各种政策的强烈影响.

**关键词** 西溪湿地 景观演变 驱动力

文章编号 1001-9332(2006)09-1677-06 中图分类号 Q149; TP 79 文献标识码 A

**Landscape pattern change and its driving forces in Xixi National Wetland Park since 1993.** CHENG Qian<sup>1</sup>, WU Xiujü<sup>2</sup>(<sup>1</sup>College of Tourism, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310035, China; <sup>2</sup>Department of Facility and Laboratory Management, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310035, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(9): 1677 ~ 1682.

Under the support of GIS technology and the TM images of Xixi National Wetland Park, this paper studied the past ten years' landscape pattern change and its driving forces of Xixi Wetland. The results showed that the landscape diversity index increased from 1.7854 in 1993 to 1.8438 in 2001 and 2.2096 in 2003, and the landscape fragmentation index increased from 0.0036 in 1993 to 0.0042 in 2001, and 0.0047 in 2003, suggesting that the landscape fragmentation was increased with time. Human activity was the main driving force, while the exploitation of real estate was the main internal factor of the landscape pattern change of Xixi wetland. In addition, social and economic development level had a strong effect on the overall diversity of the landscape.

**Key words** Xixi wetland, Landscape change, Driving force.

## 1 引言

湿地是水陆相互作用形成的特殊自然综合体,包括天然或人工、长久或暂时性的沼泽地、泥炭地或水深不超过 6 m 的水域地带.湿地与森林、农田一起,并列为全球三大生态系统,淡水湿地被当作濒危野生生物的最后集结地.湿地因具有巨大的水文和元素循环功能,被称为“地球之肾”,因具有巨大的食物网、支持多样性的生物而被看作“生物肺”,是自然界最具生产力的生态系统和人类最重要的生存环境<sup>[2]</sup>.景观格局是由自然或人为形成的一系列大小、形状各异、排列不同的景观要素构成,是各种复杂的物理、生物和社会因子相互作用的结果<sup>[10,18]</sup>.湿地景观格局取决于湿地资源的地理分布和组成,与湿地生态系统抗干扰能力、恢复能力、稳定性、生物多样性有着密切的联系.同时,湿地景观格局又不发展变化.分析湿地景观格局随时间的

动态过程可以揭示湿地景观变化的规律和机制.基于遥感与 GIS 技术,国内外已经进行了一些关于湿地景观格局变化及动力机制的研究<sup>[1,7]</sup>,但多集中在自然沼泽地区<sup>[11,12]</sup>、河流三角洲地区<sup>[13,14,16]</sup>、面积较大的湖泊地区<sup>[15,17,19]</sup>、河流附近湿地<sup>[21,26]</sup>和海岸湿地<sup>[5,20]</sup>等.在湿地景观演变的动力分析方面侧重于自然因素<sup>[8,9]</sup>,而对城市湿地的研究较少,对其变化原因的分析尚不够详细<sup>[25]</sup>.

本文借助遥感和 GIS 技术,以西溪国家湿地为对象,分析该区 1993 ~ 2003 年湿地景观格局的总体变化及单一景观要素格局的变化,并对其变化原因进行分析,旨在揭示近 10 年来该地区湿地景观格局与自然生态过程和社会经济活动的关系,为该地区湿地资源的合理利用及可持续发展等提供依据.

\* 国家自然科学基金项目(30460060)和浙江工商大学基金资助项目(X06-04).

\*\* 通讯联系人. E-mail: qiancheng525@163.com  
2005-10-12 收稿, 2006-07-20 接受.

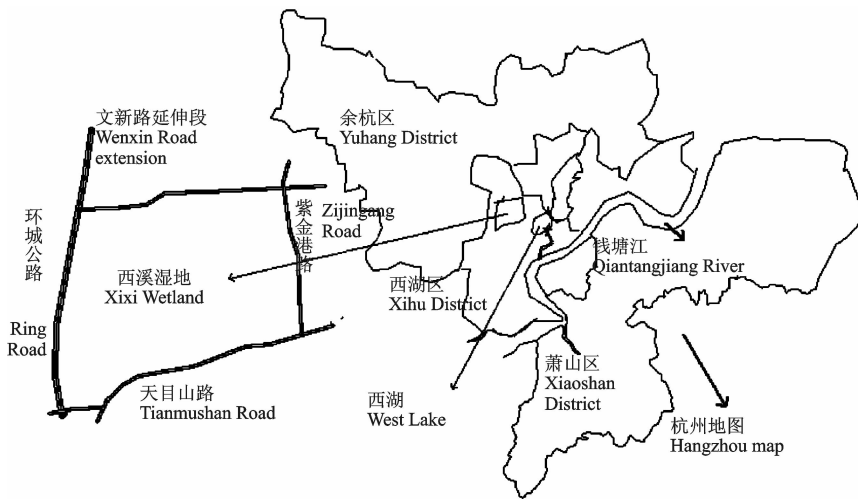


图1 杭州西溪湿地地理区位示意图  
Fig.1 Location of Hangzhou Xixi Wetland.

## 2 研究地区和研究方法

### 2.1 自然概况

杭州西溪湿地集中于城市西部和北部地区,主要包括城市西部西溪湿地和城市北部仁和湿地和塘栖湿地,其中西溪湿地是与城市关系最密切的湿地,从行政区划范围,划分为蒋村湿地、闲林湿地和五常湿地几个大块,西溪风景区的核心是:东起紫云岭绿化带西到绕城公路绿化带南到沿山河(天目山路),北到文新路延伸段,面积约 11.4 km<sup>2</sup> (120°0'26"~120°9'27"E, 30°3'35"~30°21'28"N)<sup>[6]</sup> (图1)。西溪湿地属于亚热带季风气候,季节交替规律明显,夏季多偏南风,冬季多偏北风。年平均气温为 16.2℃,年平均降水量为 1 400 mm。由于降水丰富,利于沼泽湿地的形成和发育,加上流域内平原区地势低平,地表径流不畅,且广泛分布粘性土层阻碍地表水下渗,因而形成大面积湿地。建国以来,西溪湿地农业开发活动非常活跃,大面积湿地转化为农田和鱼塘,而 2000 年开始的房地产开发热潮使大量湿地变成建筑用地。

### 2.2 研究方法

**2.2.1 数据来源** 湿地景观数据来源信息是 1993、2001 和 2003 年 Landsat TM 卫星影像,地面分辨率为 30 m。1:50 000 地形图和土地利用现状图, GPS 野外调查获取的西溪湿地景观格局变化材料和自然基础资料。数据处理平台包括 Arc-View/3.2、Erdars/8.4 和 ArcGIS/8.3 及 1993~2003 年杭州市统计年鉴。

**2.2.2 湿地景观分类** 参照《全国湿地资源调查与监测技术规范》所规定的湿地分类方法,结合西溪湿地类型的实际情况和土地利用状况,并考虑到遥感影像可分辨的最小图斑、人工判读的可能性等因素制定了分级分层结构的西溪湿地分类系统。将一级湿地分为河流湿地、湖泊湿地和人工湿地。二级将河流湿地分为永久性河流(仅包括河床)和河流滩地(包括河漫滩、江心洲);湖泊湿地分为永久性湖泊和湖泊滩地;人工湿地分为水稻田、人工沟渠、库塘和藕池。对于非

湿地,根据研究需要将其分为在城市规划中占很大比例的城镇建设用和其他农用非湿地。即将西溪湿地具体分为永久性河流、河流滩地、永久性湖泊、湖泊滩地、水稻田、库塘、藕池、人工沟渠、建设用地和其他非湿地 9 类。

**2.2.3 景观指数计算方法** 对景观空间格局的研究是分析景观结构、功能及过程的基础。通过景观空间格局的分析可以把景观的空间特征与时间过程联系起来,以便寻找景观变化规律<sup>[23]</sup>。景观格局指数是定量分析景观格局而设计,反映景观结构组成和空间配置某些方面特征的指标<sup>[3, 23, 24]</sup>。

本文主要选取了景观破碎化指数、均匀度指数、多样性指数、优势度指数,计算方法如下<sup>[4]</sup>:

$$\text{景观破碎化指数} = (P_i - 1) / Q$$

式中,  $F_i$  为破碎指数,  $A_i$  为景观类型  $i$  的斑块数,  $A$  为研究区所有景观类型的平均面积。

$$\text{均匀度指数} = \frac{1}{H}$$

$$E = -\log_2 \left( \sum_{i=1}^m P_i \right) / H_{\max}$$

$$\text{多样性指数} = H$$

$$H = \sum_{i=1}^m (P_i \times \ln P_i)$$

式中,  $P_i$  为  $i$  种景观类型占总面积的比例,  $m$  为研究区中景观类型的总数,  $H_{\max} = \log_2 m$ , 为景观的最大多样性指数,  $E$  为优势度指数。

$$D = H_{\max} + \sum_{k=1}^m P_k \ln_k$$

式中,  $P_k$  为  $k$  种景观类型占总面积的比例,  $m$  是研究区域景观类型的总数,  $D$  为研究区域内各类景观所占比例相等时的多样性指数,  $H_{\max}$  为最大多样性指数,  $E$  为优势度指数。研究景观多样性的重要指标,表示景观多样性对最大多样性的偏离程度,或描述景观由少数主要景观类型控制的程度。优势度指数  $D$  越大,表明偏离程度越大,即组成景观各类型所占比例差异大,或者说一种或几种少数景观类型占优势;优势度指数  $D$  越小,表明偏离程度越小,即组成景观各类型所占比例

差异相当,或者说没有哪种景观类型占优势;优势度为 0,表示组成景观各类型所占比例相等,或景观完全均质,即由一种景观类型构成.

### 3 结果与分析

#### 3.1 西溪湿地景观格局演变

3.1.1 景观类型的总体构成 斑块是景观的基本单元,景观斑块面积和数量变化可以反映一个地区景观格局的变化.西溪湿地 10 年各类景观斑块面积变化主要表现为(表 1):建设用地面积迅速增加,农业用地面积(水稻田、库塘、藕池等)有所增多,而原始湖泊、河流面积迅速减少,2001 年前后景观类型面积变化比较迅速.这一方面说明随着时间推移,社会经济活动对湿地的干扰加强,另一方面也在一定程度上说明湿地的破碎化程度加深.原因主要是围湖成塘以及大量的建设用地使得湖泊面积下降,但湿地景观类型斑块数量,如库塘和建设用地数量有所上升;建设用地面积随着城市化进程迅速增大,原来零碎、小面积的城建用地斑块不断扩张、合并,建设用地斑块数量而面积增加,是因为近年来西溪湿地建设用地扩展的规模很大,许多区域已连成一片.由于自然生态景观斑块面积的减少较多,而人文类景观类型面积迅速扩大,整个湿地景观更倾向于人文性.区域内河流、湖泊和滩地景观类型面积减少是自然生态价值降低的标志.

3.1.2 景观多样性 景观多样性反映了景观组分的多少和各景观组分所占比例的差异.一般来说,其值越大,表明景观内各组分所占比例越均匀.总体来说,西溪景观的多样性程度较高,各类景观组分面积比例较为均衡.景观多样性指数由 1993 年的 1.7854 上升到 2001 年的 1.8438 和 2003 年 2.2096,表明湿地景观整体结构由于人类活动的影

响而变得均衡.湿地面积迅速减少和城建用地的大量增加,导致了 2001 和 2003 年景观组分的均匀度上升.景观多样性指数变化较好地反映了西溪湿地景观转变过程,湿地面积的迅速减少和建筑面积快速增长是这一过程的突出特征.

3.1.3 破碎度 从表 2 可以看出,2001 和 2003 年各类湿地景观类型的破碎化指数高于 1993 年,西溪湿地整个景观的破碎化指数由 1993 年的 0.0036 增加到 2001 年的 0.0042 和 2003 年 0.0047,说明西溪整个景观的破碎化程度随时间变化不断加深,尤其是 2000 年前后,受房地产开发热的影响,各类景观受社会经济活动的干扰在增强,湿地景观的异质性逐渐加大,斑块之间的连通性降低.斑块平均面积减少及斑块破碎化会降低斑块内部抵御外部干扰侵袭的能力,同时斑块连通性降低不利于物种的扩散.从整体破碎化指数来看,景观的破碎化程度随时间推移有所增加,破碎化程度上升较大.2001 年前后各类景观组分的破碎化指数有显著变化,这与 2001 年杭州市大规模的土地开发、房地产活动密切相关.农业用地形态日益破碎,不利于农业的集约化经营,也直接减弱了农田生态系统对区域环境的调节功能.湿地受高速公路的切割,景观连续性被人为隔离,自然植被破碎化程度上升,威胁到水源保护和野生动物的栖息环境和连接通道.

3.1.4 优势度和均匀度 优势度指数和均匀度指数都可描述景观由少数几种主要景观类型控制的程度,两者之间可以互相验证.1993 年整个景观的优势度较低,其值为 0.4754,而均匀度指数为 0.6845,说明该年湿地景观各类型所占的比例差异不大.均匀度与优势度均为描述景观由少数几种主要景观类型控制的程度,这两个指数彼此进行验证,2001

表 1 西溪湿地景观面积构成  
Table 1 Area percent of different landscape types in Xixi Wetland (%)

年 Year	滩地 Lake flat	湖泊 Lake	河流 River	水稻田 Rice land	库塘 Pond land	藕池 Lotus fields	沟渠 Penstock	建设用地 Construction land	其他非湿地 Other land
1993	5.02	14.39	24.05	28.15	10.60	4.40	7.24	4.01	2.14
2001	4.05	11.25	18.56	30.25	13.00	5.11	6.45	10.21	1.12
2003	4.01	10.35	16.12	30.75	13.56	7.45	4.54	11.20	2.02

表 2 西溪湿地景观破碎度指数  
Table 2 Landscape fragmentation index in Xixi Wetland

年 Year	滩地 Lake flat	湖泊 Lake	河流 River	水稻田 Rice land	库塘 Pond land	藕池 Lotus fields	沟渠 Penstock	建设用地 Construction land	其他非湿地 Other land
1993	0.0031	0.3210	0.0012	0.0470	0.0481	0.0785	0.0015	0.2571	0.2755
2001	0.0052	0.3424	0.0015	0.2793	0.1785	0.1587	0.0025	0.4570	0.4781
2003	0.0061	0.3456	0.0018	0.3041	0.1987	0.1874	0.0025	0.5478	0.5876

表3 1993~2003年西溪湿地景观类型转移变化及转移概率

Table 3 Change and transform probability of landscape types in Xixi Wetland during 1993~2003

		2003								
		滩地 Lake flat	湖泊 Lake	河流 River	水稻田 Rice land	库塘 Pond land	藕池 Lotus fields	沟渠 Penstock	建设用地 Construction land	其他非湿地 Other land
1993	滩地 Lake flat	0.467 (0.088)	0.027 (0.012)	0 (0.003)	0.015 (0.002)	0.015 (0.005)	0.002 (0.002)	0.007 (0.005)	0.518 (0.006)	0.2145 (0.005)
	湖泊 Lake	0.0798 (0.003)	4.058 (0.975)	0 (0)	0.018 (0.004)	0.325 (0.008)	0.179 (0.005)	0 (0)	0.465 (0.005)	0 (0)
	河流 River	0.015 (0.004)	0 (0)	1.756 (0.998)	0.047 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0.248 (0.005)	0 (0)
	水稻田 Rice land	0 (0)	0 (0)	0 (0)	8.794 (0.978)	0.132 (0.005)	0.079 (0.002)	0.016 (0.004)	0.216 (0.003)	0.215 (0.025)
	库塘 Pond land	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0.005 (0)	1.325 (0.998)	0 (0)	0 (0)	0.635 (0.008)	0 (0)
	藕池 Lotus fields	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0.011 (0.005)	0 (0)	0.457 (0.005)	0 (0)	0.212 (0.001)	0 (0)
	沟渠 Penstock	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0.015 (0.998)	0.102 (0.002)	0 (0)
	建设用地 Construction land	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	3.579 (0.897)	1.246 (2.542)
	其他非湿地 Other land	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0.148 (0.002)	0.025 (0.005)	0.247 (0)	0.248 (0.074)	0.324 (0.006)	2.542 (0.021)

括号内为转移概率 Values in brackets were transform probability.

年整个景观的优势度指数和均匀度分别为 0.8765 和 0.8084, 相对于 1993 年分别增加了 0.4011 和 0.1239, 说明西溪湿地在近十年变化中, 少数景观类型控制程度加大, 而均匀度有所上升。

**3.1.5 湿地景观类型转化与马尔科夫过程** 是一个特殊的随机运动过程。一个运动系统在  $T+1$  时刻的状态和  $T$  时刻的状态有关, 而和以前时刻的状态无关。这一点可用于湿地景观格局变化预测<sup>[22]</sup>。采用马尔科夫转移矩阵模型对西溪湿地 10 年景观类型转移情况进行分析, 由 1993 年西溪湿地景观类型所占百分比, 求出各湿地景观类型的转化情况, 进而得到 1993~2003 年各个湿地景观利用类型的转移概率矩阵(表 3)。景观类型转化的趋势: 总体上转化为建设用地, 湿地类型较多, 其中转化率最大的是由库塘和滩地转向建设用地。说明近 10 年来, 西溪湿地周边的房地产开发和乡镇建设扩张的速度很快, 建设占用了较多湿地, 包括库塘、河流、湖泊和滩地。另外, 西溪湿地地处杭州市区, 随着城区人民生活水平的提高, 对菜类、鱼类需求加大, 部分湿地被用于农业、渔业等种养业开发, 湿地附近地区的村民开始围湖造田、围湖造鱼塘等, 也造成河流、湖泊面积大量减少。滩地也有向其他景观类型转移的趋势, 向藕池、水稻田和建设用地等转移概率较大, 说明人们在加大湖泊、河流开发的过程中, 对于滩地的开发利用在逐渐增加。

### 3.2 湿地景观演化驱动力分析

在各种自然因素影响湿地景观的同时, 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持续增长模式下, 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因子, 湿地景观的变化明显受到人口因子、土地资源利用政策和经济政策因子的驱动, 就研究区来讲, 房地产开发、人口增长和农田开发建设对湿地景观的演化最为突出。

**3.2.1 自然环境背景** 以西溪湿地附近的气象站观测数据为依据, 分析 1993~2003 年间年平均气温和年降水量变化(图 2)可以看出, 西溪湿地的年平均气温和降水量变化趋势基本一致, 从 1999 年开始, 虽然有时升高, 有时降低, 但总的变化不大。因此, 湿地景观演变受自然环境的影响较小, 是景观演变的非主要驱动因子。

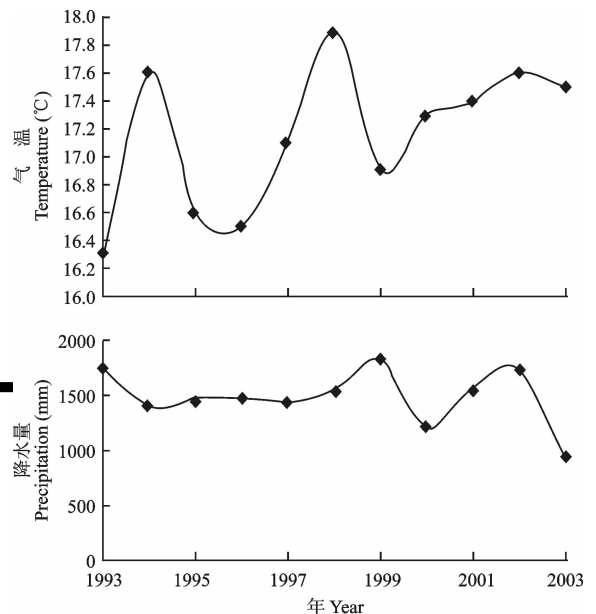


图2 西溪湿地年平均气温和平均降水量变化  
Fig. 2 Annual mean temperature and precipitation in Xixi Wetland.

**3.2.2 政策驱动** 近 10 年来, 西溪景区湿地减少为主景观格局变化深受国家宏观政策影响. 1992 年以来, 随着国家改革开放步伐进一步加快, 杭州市经济发展也进入了快车道, 尤其是 2000 年前后房地产热潮使得西溪湿地出现了前所未有的开发建设热潮. 快速的城市开发和建设改变着西溪景观格局, 各种经济开发区和房地产开发占用了大量农田, 湖泊水域和农田景观面积迅速减少, 景观破碎度增大, 建设用地平均斑块面积持续增加, 呈现了蔓延扩张态势.

**3.2.3 房地产开发驱动** 分析杭州市近 10 年经济发展情况可以看出, 杭州市从 1993 ~ 2003 年人口上升了 60 多万, 且经济快速发展导致流动人口大量增加, 而人民生活水平提高也提高了对住房质量的要求并加速了房地产开发进程, 使城市用地面积大幅度扩展, 尤其是 1998 年国家取消福利性分房政策之后, 杭州开始了大规模房地产开发. 1999 年杭州市区合计出让土地  $7.9 \times 10^4 \text{ m}^2$ , 2000 年开始, 走过公开出让土地初期摸索之路, 杭州正式走上了土地公开出让道路. 2000 ~ 2003 年, 杭州市公开出让土地宗地面积迅速放大, 2000 年为  $32.3 \times 10^4 \text{ m}^2$ , 是上年 4 倍; 2001 年为  $63.6 \times 10^4 \text{ m}^2$ , 再度翻番; 2002 年为  $88.3 \times 10^4 \text{ m}^2$ ; 2003 年为  $320.9 \times 10^4 \text{ m}^2$ , 创下了杭州经营性土地公开出让面积最多纪录.

位于城西的杭州市文三创意区建立导致了城市扩张, 带动了相关基础设施建设、房地产业、商业、餐饮和娱乐等服务业快速发展, 直接影响到西溪湿地生态环境. 从 20 世纪 90 年代开始, 随着杭州西部文三创意区成功开发, 紧邻杭州西部入城口的西溪风景区成为了房地产开发热门首选. 由居住功能引入的一些其他诸如道路等基础设施、商业等公共服务设施的开发不仅改变了原始生态景观特色, 而且可能对生态环境造成很大影响<sup>[2]</sup>. 耕地的大量流失是经济快速发展地区面临的一个普遍问题, 经济发展与结构变化是耕地大量变化的最主要驱动力之一. 景观格局所有变化均在湿地景观基质的基础上发生, 水田减少是西溪景观格局变化的最主要表现. 房地产、交通和水利等各类基础设施建设切割了农田景观, 增大了农田景观边界密度, 降低了湿地景观连通性.

**3.2.4 社会经济驱动因子** 杭州市近 10 年经济发展非常迅猛, 国民经济得到了长足发展, 国内生产总值 (GDP) 从 1993 年的  $4.84 \times 10^{11}$  元上升到 2003

年的  $2.91 \times 10^{12}$  元, 增长了 5 倍. 景观各类组分面积比例以及整体多样性演变主要受宏观社会经济发展影响. 在政策驱动下经济高速增长和快速城镇化过程是景观整体格局变化的根本原因. 可见, 耕地向城市建设用地的大规模转化主要受到由内向外 (从城市到乡村) 和由外向内 (从乡村到城市) 两种作用力共同推动, 前者主要表现为“城市郊区化”, 即在外来投资、产业转型和外来人口逐渐增多驱动下, 第二、第三产业用地迅速向外扩展, 占用农业用地; 后者主要表现为“郊区城市化”, 即由于乡村富裕程度提高和乡镇工业发展, 城市化水平提高, 基础设施建设和工业、居住用地的需求使大量湖泊和农业用地转化为建设用地.

**3.2.5 对策措施** 西溪湿地水域面积渐渐萎缩, 从 20 世纪 90 年代开始, 西溪的保护和开发日渐被提上日程. 2003 年, 西溪湿地综合保护工程等重大项目全面启动; 2004 年初, 《杭州市西溪湿地保护区总体规划》被杭州市政府正式批复. 杭州市决心把这里打造成国家级湿地, 乃至世界级湿地. 根据规划, 保护工程分为三期实施: 近期从 2004 年至 2005 年; 中期从 2006 年至 2010 年; 远期从 2011 年至 2015 年. 西溪湿地综合保护工程以科学发展观为指导, 其基本任务是保护自然与文化遗产, 开展科学研究、科普和生态旅游. 在坚持“生态优先、最小干预、修旧如旧、注重文化、可持续发展”原则基础上, 全面加强湿地及其生物多样性保护, 维护湿地生态系统生态特性和基本功能, 恢复湿地原有各类景观, 保持和最大限度地发挥湿地生态系统的各种功能和效益, 实现湿地资源可持续发展.

## 4 结 论

1) 西溪湿地景观特征在最近 10 多年中发生了深刻变化, 西溪湿地整个景观破碎化程度随时间而加深, 各类景观受人类活动干扰在增强, 湿地景观异质性在逐渐加大, 斑块之间连通性降低, 湿地景观各类型所占比例差异不大.

2) 人为活动成为西溪景观格局演变的主要驱动因素. 房地产开发是景观演变的主要内在动力, 景观整体多样性演变受到景区社会经济发展水平和各种政策的强烈影响. 湿地周边的道路等基础设施、商业等公共服务设施的开发不仅改变了原始生态景观特色, 也在很大程度上影响了湿地景观格局变化.

## 参考文献

- 1 Chang Y (常禹), Bu R-C (布仁仓), Hu Y-M (胡远满), et al. 2004. Dynamics of forest landscape boundary at Changbai Mountains. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **15** (1): 15 ~ 20 (in Chinese)
- 2 Chen J-H (陈久和). 2003. Study on the fragility of eco-environment of wetland on the edge of the city. *Bull Sci Technol (科技通报)*, **19** (5): 395 ~ 402 (in Chinese)
- 3 Chen W-B (陈文波), Xiao D-N (肖笃宁), Li X-Z (李秀珍). 2002. Classification, application and creation of landscape indices. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **13** (1): 121 ~ 125 (in Chinese)
- 4 Fu B-J (傅伯杰), Chen L-D (陈立项), Ma K-M (马克明). 2002. Principles and Applications of Landscape Ecology. Beijing Science Press. 126 ~ 130 (in Chinese)
- 5 Gu D-Q (谷东), Zhang X-T (赵晓涛), Xia D-X (夏东兴), et al. 2005. The study on wetland landscape evolution of the Chaoyanggang Lagoon based on 3S technologies. *Acta Oceanol Sin (海洋学报)*, **27** (2): 91 ~ 97 (in Chinese)
- 6 He H-H (何洪杭), Hua C (华晨), Li Y-B (李忆冰). 2004. Research on the environment situation and ecological protection of Xixi Wetland in Hangzhou. *Huazhong Architect (华中建筑)*, **22** (6): 122 ~ 125 (in Chinese)
- 7 Hess LL, Melack JM, Novo E, et al. 2003. Dual-season mapping of wetland inundation and vegetation for the central Amazon basin. *Remote Sens Environ*, **87**: 404 ~ 428
- 8 Hu Z-B (胡志斌), He X-Y (何兴元), Jiang X-B (江晓波), et al. 2004. Landscape pattern change at the upper reaches of Minjiang River and its driving force. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **15** (10): 1797 ~ 1803 (in Chinese)
- 9 Huang F (黄方), Liu X-N (刘湘南), Wang P (王平). 2005. Spatial pattern of marsh landscape in the middle and lower reaches of Nenjiang River. *Resour Sci (资源科学)*, **27** (4): 140 ~ 146 (in Chinese)
- 10 Huslsholl RM. 1995. Landscape indices describing a Dutch landscape. *Landscape Ecol*, **10** (2): 101 ~ 111
- 11 Jiang W-G (蒋卫国), Wang W-J (王文杰), Xie Z-R (谢志仁), et al. 2003. A study on changes of wetland ecology landscape of Sanjiang Plain using RS and GIS. *Geog Geo-inf Sci (地理与地理信息科学)*, **19** (2): 28 ~ 31 (in Chinese)
- 12 Li X-Y (李旭英), Shang S-Y (尚士友), Ni Z-H (倪志华), et al. 2005. The dynamic analysis of marshland evolution process of Wuliangshai Lake in Inner Mongolia. *J Inner Mongolia Agric Univ (Nat Sci) (内蒙古农业大学学报·自然科学版)*, **26** (1): 27 ~ 29 (in Chinese)
- 13 Liang G-F (梁国付), Ding S-Y (丁彦彦). 2005. Changes of landscape patterns along the Yellow River in Hennan Province from 1987 to 2002. *Acta Geogr Sin (地理学报)*, **60** (4): 665 ~ 672 (in Chinese)
- 14 Liu H-Y (刘红玉), Lü X-G (吕宪国), Zhang S-K (张世奎). 2005. Fragmentation process of wetland landscape in watersheds of Sanjiang Plain, China. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **16** (2): 289 ~ 295 (in Chinese)
- 15 Niu M-X (牛明香), Zhao G-X (赵庚星), Li Z-Y (李尊英). 2004. Extracting of remote sensing information of wetland in Nansihu area based on multi-subarea and multilayer techniques. *Geogr Geo-inf Sci (地理与地理信息科学)*, **20** (2): 45 ~ 52 (in Chinese)
- 16 Sader SA, Ahl D, liou WS. 1995. Accuracy of Landsat-TM and GIS rule-based methods for forest wetland classification in Marine. *Remote Sens Environ*, **53**: 133 ~ 144
- 17 Toyra J, Pietroniro A, Martz LW. 2001. Multisensor hydrologic assessment of a freshwater wetland. *Remote Sens Environ*, **75**: 162 ~ 173
- 18 Turner MG, Ruscher CL. 1988. Changes in landscape patterns in Georgia, USA. *Landscape Ecol*, **1** (4): 241 ~ 251
- 19 Wan R-R (万荣荣), Yang G-S (杨桂山). 2005. Change of land use and landscape pattern in Taihu Lake basin. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **16** (3): 475 ~ 480 (in Chinese)
- 20 Wang S-G (王树功), Li X (黎夏), Zhou Y-Z (周永章), et al. 2005. The change of mangrove wetland ecosystem and controlling countermeasures in the Qi'ao Island. *Wetland Sci (湿地科学)*, **3** (1): 13 ~ 20 (in Chinese)
- 21 Wang X-L (王宪礼), Bu R-C (布仁仓). 1996. Analysis on wetland landscape fragmentation in Liaohe Delta. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **7** (3): 299 ~ 304 (in Chinese)
- 22 Wang X-L (王学雷), Wu Y-J (吴宜进). 2002. The application of the Markov Model on the dynamic change of the wetland landscape pattern in Four-Lake Area. *J Huazhong Agric Univ (华中农业大学学报)*, **21** (3): 288 ~ 291
- 23 Wu J-G (邬建国). 2000. Landscape Ecology. Beijing Higher Education Press. 99 ~ 100 (in Chinese)
- 24 Xiao D-N (肖笃宁). 1991. Indices and analysis methods for landscape spatial structure. In: Xiao D-N (肖笃宁), ed. Landscape Ecology: Theory, Method and Application. Beijing China Forestry Press. (in Chinese)
- 25 Xie Z-R (谢志茹), Luo D-L (罗德利), Zhang J-C (张景春), et al. 2004. A study of the wetland spatial pattern of Beijing parks based on RS and GIS technology. *Remote Sens Land Resour (国土资源遥感)*, (3): 61 ~ 64 (in Chinese)
- 26 Yue TX, Liu JY, Jorgensen SE, et al. 2003. Landscape change detection of the newly created wetland in Yellow River Delta. *Ecol Model*, **164**: 21 ~ 31

---

作者简介 程 程, 1968年生, 博士, 副研究员. 主要从事生态环境与信息技术研究, 发表文章 14 篇. E-mail: Qiancheng525@yahoo.com.cn; Qiancheng525@163.com

责任编辑 肖 红

---