

1978-2010年杭州城市湿地动态变化定量研究

李 静^{1,2}, 王秀珍^{1,3*}, 黄敬峰⁴(1.新疆农业大学 草业与环境科学学院, 乌鲁木齐 830052; 2.伊犁州城乡规划设计研究院 835000;
3.杭州师范大学 遥感与地球科学研究院, 杭州 311121; 4.浙江大学 农业遥感与信息技术应用研究所, 杭州 310058)

摘 要 城市湿地以其重要的生态价值而被誉为“城市之肾”,然而近年来由于城市化进程加速,导致城市湿地面临着严重的退化与恶化的威胁。本研究运用RS和GIS技术对杭州市1978、1984、1991、1995、2000、2005、2010年的遥感影像(MSS、TM、ETM⁺)进行土地利用类型信息提取,分析了杭州市近30年来城市湿地随城市扩展的动态变化情况,并且借助土地利用空间变化模型量化了城市湿地的空间位移。研究结果表明,32年间,杭州市城市湿地区在面积上总体锐减260.06 km²,其中主要集中在人工湿地和沼泽湿地的减少,在空间上人工湿地和沼泽湿地正以平均每年95 m的速度向城市周边萎缩。通过研究用量化的数据反映了杭州城市湿地的退化程度,为杭州城市湿地保护和城市发展规划提供了理论支持。

关键词 遥感 城市湿地 动态变化 杭州

中图分类号 X32

文献标识码 A

文章编号:1001-7119(2013)03-0201-07

Quantitative Study on Dynamic Change of Hangzhou Urban Wetland during 1978–2010

Li Jing^{1,2}, Wang Liuzheng^{1,2*}, Huang Jingfeng⁴

(1.College of Grassland and Environment Sciences,Xinjiang Agricultural University,Urumqi 830052,China;

2.Yili Institute of Urban Planning and Design,Yili 835000,China;

3.College of Remote Sensing and Earth Sciences, Hang Normal University, Hangzhou 311121,China;

4.Key laboratory for Agricultural Remote Sensing and Geoinformation Technology,Zhejiang University, Hangzhou 310058,China)

Abstract Urban wetland is called “kidney of the city” with its important ecological value, but in recent years due to the acceleration of urbanization, the urban wetland is facing a serious threat of degradation and deterioration. In order to quantize the area and spatial displacement of urban wetland of Hangzhou and their dynamic changes during 1978-2010, technology of remote sensing (RS), geographical information systems (GIS) and the quantified model of land use space change are used in this paper to process and analyze the remote sensing images (MSS, TM, ETM⁺) of 1978, 1984, 1991, 1995, 2000, 2005 and 2010 respectively. The results show that in recent 32 years, Hangzhou urban wetland area has overall decreased by 260.06 Km², in which the artificial wetland and marsh wetland declined the most with a speed of 95.29m per year recession to surrounding city in space. Through the quantitative research, the degradation degree of Hangzhou urban wetland was reflected as theoretical support provided for Hangzhou urban wetland protection and the urban development planning.

Key words: remote sensing; urban wetland; dynamic change; Hangzhou

收稿日期 2012-02-03

基金项目:杭州师范大学遥感与地球科学研究院开放基金资助项目(PDKF2010YG14)

作者简介:李静(1987-),女,硕士研究生,从事城市遥感和环境遥感研究。E-mail: xjau_lijing@163.com。

*通讯作者:王秀珍(1961-),女,研究员,从事遥感和信息技术应用。E-mail: wxz05160516@126.com。

0 引言

湿地号称“地球之肾”,具有调节气候、涵养水源、蓄洪防旱、控制突然侵蚀、促淤造陆、净化空气、净化水质、维持生物多样性和生态平衡、维持自然界的演变过程、提供人类所需的生物产品及娱乐享受等功能^[1,2],因此自古以来就是人类生存的发源地和建造城市的立地条件。城市湿地是城市生态环境的基础要素,主要指分布于城市(镇)区的湿地,包括河流湿地、湖泊湿地、沼泽湿地以及河口海岸湿地^[3],其对改善城市区域气候、提高城市居民生活舒适度、美化城市景观等方面都具有重要意义^[4]。然而,随着城市发展的演化,城市湿地已从一种原始的天然湿地逐渐地演变为以人类活动为主导、自然生态系统为依托、生态过程复杂的社会-经济-自然复合生态系统。从分类学的角度,城市湿地则被定位于人工湿地、半人工湿地与自然湿地的复合体^[5]。

随着全球环境的变化、城市化进程不断加快、城市环境问题日益突出,湿地被侵占、改造以至消亡,严重威胁到人类自身的健康发展^[6],因此,对城市湿地的研究显得空前重要。2002年汪爱华和张树清以景观生态学理论为基础,采用遥感(RS)和地理信息系统(GIS)相结合的方法,探讨了三江平原沼泽湿地的动态变化特征^[6]。2003年张志锋和宫辉力等运用遥感技术对北京野鸭湖湿地的面积和空间位置变化进行了初步研究^[7]。2005年张洪岩、龙恩等人利用多期卫星数据、气象资料以及当地人口、耕地和牲畜存栏数等资料对向海湿地过去20年湿地的各类信息进行了分析^[8]。同年黄娟琴应用SPOT-5多光谱数据及TM/ETM遥感数据,对1991-2003年间杭州市区的湿地资源进行调查分析^[9]。2006年严登华等人对1986-2000年东北区沼泽湿地的动态变化特征进行了研究^[10]。2009年黄颖、周云轩等人运用决策树模型对上海城市湿地进行提取分析^[11]。2010年赵玉灵等人对江苏盐城湿地进行信息提取并计算其动态变化率^[12]。纵观湿地研究近况,对湿地的研究已成规模,但是对城市湿地及其时空动态变化的定量研究尚且不多,本文以浙江省杭州市城市湿地为研究对象,运用RS和GIS技术以及土地利用空间变化模型为支撑,来量化由于城市扩展等人类活动对城市湿地面积变化和空

间位移的影响,为杭州城市湿地的合理保护、有序利用和可持续发展提供理论支持。

1 研究区概况

目前,杭州市区由上城区、下城区、拱墅区、江干区、西湖区、滨江区、萧山区、余杭区八个区组成,总面积3068 km²。本研究重点是杭州市区湿地(城市湿地)的动态变化研究,故萧山区和余杭区不列入本研究范围(研究区域范围实际为2001年以前的市区范围如图1),为了表述方便,以下研究区域均由杭州市区代替。杭州市区总面积707 km²,位于120° 00' 至120° 25' E, 30° 4' 至30° 25' N,地处东南沿海的长江三角洲南翼,是长江三角洲地区的重要中心城市和中国东南部的交通枢纽。杭州有着江、河、湖、山交融的自然环境,西北部和西南部系浙西中山丘陵区;东北部和东南部属浙北平原,市区内河网密布,是著名的鱼米之乡,贯穿市区的主要河流有钱塘江、京杭大运河、贴沙河、上塘河等。



图1 浙江省杭州市区位置图

Fig.1 The location of Hangzhou city in Zhejiang province

2 数据与方法

2.1 数据与预处理

本研究主要采用了杭州市1978-2010年之间以4~6年为时间间隔的7景遥感影像,数据由国际科学数据服务平台获取(<http://datamirror.csdb.cn/>)(具体如表1)。为了便于区分未利用地、水域、植被、建筑物等地面目标物,并排除由于年际降水量在不同月份分布不均等不良因素影响,7景影像除2000年为10月中旬数据外,其他6景均选择6、7、8月份夏季丰水期时相。另外,为了提高解译效果及检验分类精度,选用杭州市2005年土地利用总体规划现状图(1:10000)和野外实

表 1 杭州市遥感影像基础数据

Table 1 Remote Sensing Images of Hangzhou City

卫星	传感器	条带号	行编号	空间分辨率/m	拍摄日期(年/月/日)
LANDSAT4	MSS	119	39	79	1978/7/5
LANDSAT5	TM	119	39	30	1984/8/4
LANDSAT5	TM	119	39	30	1991/7/23
LANDSAT5	TM	119	39	30	1995/8/3
LANDSAT7	ETM ⁺	119	39	30	2000/10/11
LANDSAT5	TM	119	39	30	2005/6/3
LANDSAT7	ETM ⁺	119	39	30	2010/8/20

地调查资料为辅助数据。

根据研究的需要,对 7 景遥感影像进行预处理,包括:几何精纠正、配准、图像增强、剪裁等操作。

2.2 湿地分类系统的确定

结合杭州市 MSS、TM/ETM⁺ 遥感影像经预处理后的可识别程度和杭州市实际的土地利用情况,以研究杭州市城市湿地动态变化为核心,提出了对杭州市 MSS、TM/ETM⁺ 遥感影像的五大分类,具体为湿地区、建设用地、林地、园地和未利用地。

针对湿地区的细分,根据《湿地公约》中关于湿地的分类系统标准^[13]和城市湿地的定义^[3],结合杭州市的湿地实地调查情况,提出了杭州城市湿地资源分类系统(如表 2)。

表 2 杭州城市湿地资源分类系统

Table 2 Wetlands resource classification system in Hangzhou City

一级分类	二级分类	实例	
湿地区	沼泽湿地	芦苇沼泽 如西溪湿地	
	湖泊湿地	永久性淡水湖 如西湖、华家池等	
	河流湿地	永久性河流	如钱塘江、贴沙河、余杭塘河等
		水产池塘	如下沙镇乔司农场等
人工湿地	水塘	如西湖区袁浦镇水塘等	
	灌溉地	如西湖区的三墩镇水田区等	
	蓄水區	如九溪的珊瑚沙水库	
	运河、排输水渠系	如京杭大运河等	

2.3 半自动解译法

杭州是一座在江河湖漾中发展起来的现代化城市,要对其中的湿地信息进行提取是件非常复杂的工作^[14]。结合以往学者对城市湿地提取方法的对比研究^[11, 15, 16],本文采用半自动解译法进行湿地信息提取。首先,选取分类样本,采用最大似然法对各期遥感影像进行监督分类,将每期遥感影像分为湿地区、建设用地、林地、园地和未利用地五大类,然后,运用人工目视解译,参考各幅影

像所在年份的 google earth 地面真实影像和目前的具体实地考察信息,对混淆的分类进行人工目视修正,同时以本文确定的杭州城市湿地分类系统为标准,对湿地区进行细分,具体分为河流湿地、沼泽湿地、湖泊湿地和人工湿地四类。

2.4 土地利用空间变化模型

土地利用空间变化模型是根据人口地理学中的人口分布重心原理^[17]求得,具体方法是:把一个大区域分为若干个小区,在大比例尺地图上,根据居民点分布及地形特点,确定每个小区几何中心的地理坐标,然后再乘以该小区该项土地资源的面积,最后把乘积累加后除以全区域该项土地资源总面积。

举例说明第 t 年某种土地资源分布重心坐标(经纬度)计算方法为:

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{it} \times X_i)}{\sum_{i=1}^n C_{it}}$$

$$Y_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{it} \times Y_i)}{\sum_{i=1}^n C_{it}}$$

式中 X_t, Y_t 分别表示第 t 年某类土地资源分布重心的经纬度坐标; C_{it} 表示第 i 个小区该类土地资源的面积; X_i, Y_i 分别表示第 i 个小区的几何中心经纬度坐标; n 表示第 t 年某分区该类土地资源小区总个数。

通过对初期该地类分布重心和期末该地类分布重心的计算和对比,可以在一定程度上反映该地类在一定时间段内的空间变化情况,是定量研究某地类空间变化情况的有效方法。

3 结果与分析

3.1 分类结果与精度检验

运用半自动解译法,对杭州市七期遥感影像进行分类,以 2005 年分类结果为例,如图 2(a,b) 所示:

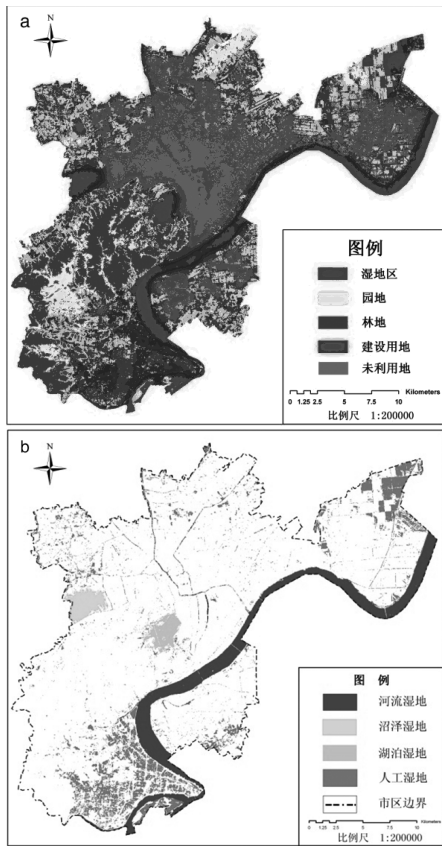


图 2 杭州市 2005 年土地利用分类图(a)和湿地类型分布图(B)
Fig.2 Classification maps of land use(a)and wetland(b)in Hangzhou 2005

以 2005 年杭州市区土地利用现状图、2005 年 google earth 地面真实影像和目前实地考察信息为真实的感兴趣区参考源。运用随机分布方法选取 224 个杭州市区验证样本，对分类后影像进行精度检验。以 2005 年分类影像精度检验为例(表 3)，检验结果表明：分类总精度为 77.68%，总 kappa 系数为 0.72。用户精度对应的误差是错分

误差，生产者精度对应的误差是漏分误差，对湿地区的分类精度，生产者精度平均达到了 87.5% 以上，说明漏分误差平均在 25% 以下，但是从表 3 中可以看出人工湿地漏分现象较为严重；用户精度平均为 92.08%，说明该分类结果有小部分的错分情况。

针对河流湿地、沼泽湿地、人工湿地的生产者精度均达到 100% 的情况，分析其原因有两个方面：第一、对湿地区的细分是在监督分类的基础上做的人工目视解译，特别是沼泽湿地，因其属于水面与植被的复合体，故在人工目视解译过程中，直接勾勒出整个沼泽湿地的周边轮廓，轮廓以内地类全部视为沼泽湿地范围，这种处理方式也使得在精度检验中生产者精度较高。第二、交错于城区的河流多为弯曲细长形状，这样的形态使得随机分布检验样点很难落在上面，河流湿地中面积较大的钱塘江还有湖泊湿地因其本身的光谱特性有别于其他地物，也以此使得落入其中的检验样点与分类结果一致性较强、精度较高。

综合评价 2005 年的分类结果满足了本研究的精度需要。其他 6 期分类结果由于没有与其对应的真实感兴趣区参考源，故没有对其做出类似的精度检验，但是它们的分类方法与 2005 年遥感影像的分类方法一致，在此我们推断其他分类结果同样满足我们的研究需要。

3.2 面积变化

对基于半自动解译方法得到的不同时期杭州市区土地利用类型分类结果进行地类面积统计，结果如表 4 所示：

表 3 2005 年杭州市 ETM+影像分类精度检验混淆矩阵

Table 3 Confusion matrix of 2005 ETM+ classified image in Hangzhou city

Class	Ground Truth(Pixels)							行总计	用户精度/%
	河流湿地	沼泽湿地	湖泊湿地	人工湿地	林地	园地	未利用地		
河流湿地	13	0	0	0	0	0	0	13	100.00
沼泽湿地	0	13	0	0	0	0	1	15	86.67
湖泊湿地	0	0	13	0	0	0	0	15	86.67
人工湿地	0	0	0	19	0	0	0	20	95.00
建设用地	0	0	0	9	0	6	3	82	78.05
林地	0	0	0	0	27	0	0	27	100.00
园地	0	0	0	8	5	24	1	45	53.33
未利用地	0	0	0	1	0	2	1	7	14.29
列总计	13	13	13	37	32	32	6	224	
生产者精度/%	100.00	100.00	100.00	51.35	84.38	75.00	16.67		77.68

总体精度 :77.68% 总 kappa 系数 0.7209

表 4 不同时期杭州土地类型面积统计(单位 km²)

Table 4 Statistic of land of Hangzhou city in different period(Unit km²)

时间	1978 年	1984 年	1991 年	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年
分类	7 月 5 日	8 月 4 日	7 月 23 日	8 月 3 日	10 月 11 日	6 月 3 日	8 月 20 日
沼泽湿地	16.91	15.26	13.75	9.49	7.32	7.3	6.92
湖泊湿地	4.28	4.7	5.34	5.49	5.97	6.49	6.25
河流湿地	52.11	53.32	48	51.16	49.15	51.69	49.82
人工湿地	278.18	187.44	209.9	194.37	136.8	57.22	28.43
小计	351.48	260.72	276.99	260.51	199.24	122.7	91.42
建设用地	89.66	93.79	167.29	180.2	232.17	302.73	432.64
林地	76.59	106.54	80.65	81.87	94.68	84.11	108.24
园地	84.95	153.86	71.37	73.76	158.13	160.1	70.1
未利用地	105.72	93.12	111.73	111.65	23.77	38.42	5.22

表 5 分阶段各地类变化量统计(单位 km²)

Table 5 Changes of lands area of Hangzhou city in different period(Unit km²)

时间	1978-	1984-	1991-	1995-	2000-	2005-	各类型湿地
分类	1984 年	1991 年	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年	总变化量
沼泽湿地	-1.65	-1.51	-4.26	-2.17	-0.02	-0.38	-9.99
湖泊湿地	0.42	0.64	0.15	0.48	0.52	-0.24	1.97
河流湿地	1.21	-5.32	3.16	-2.01	2.54	-1.87	-2.29
人工湿地	-90.74	22.46	-15.53	-57.57	-79.58	-28.79	-249.75
湿地地区总变化量	-90.76	16.27	-16.48	-61.27	-76.54	-31.28	-260.06
建设用地	4.13	73.5	12.91	51.97	70.56	129.91	342.98
林地	29.95	-25.89	1.22	12.81	-10.57	24.13	31.65
园地	68.91	-82.49	2.39	84.37	1.97	-90	-14.85
未利用地	-12.6	18.61	-0.08	-87.88	14.65	-33.2	-100.5

为了更直观的反映 1978-2010 年间杭州市区土地类型组成所占比例发生的巨大变化,我们用饼状图来表示 1978 年和 2010 年杭州市土地类型组成(图 3(a、b)):

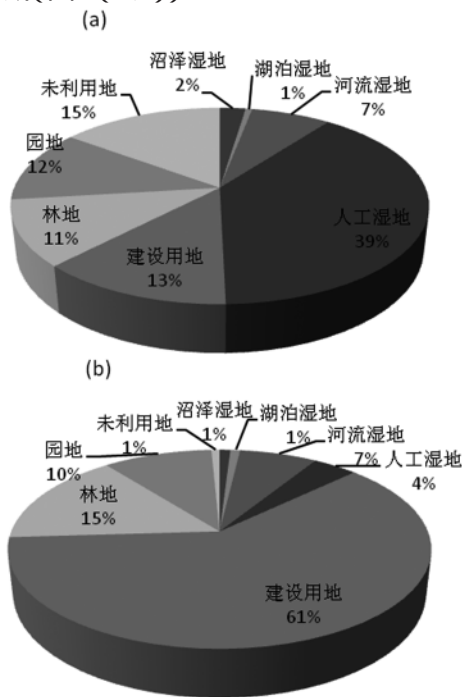


图 3 杭州市 1978 年、2010 年地类组成

Fig.3 The composition of Hangzhou land type in 1978 and 2010

通过表 4 不同时期杭州土地类型面积统计和图 3(a、b)的直观反映,可以看出:1978-2010 年 32 年间湿地地区总面积减少 260.06 km²,其中除了湖泊湿地总体面积有所增加外,其他各湿地类型均有不同程度的减少。沼泽湿地总体减少 9.99 km²,河流湿地总体减少 2.29 km²,人工湿地(水稻、水产池塘、运河、水库、水塘)总体减少 249.75 km²。究其原因,沼泽湿地的减少主要是由于建设用地占用;河流湿地的减少主要是由于修建河道堤坝、大桥等建设占用和河道边界分类误差所致;人工湿地大面积减少的原因则主要是建设用地占用和农业用地结构调整。32 年间与湿地地区减少相对应的是建设用地面积的剧增,从 1978 年的 89.66 km² 增加到了 2010 年的 432.64 km²,其占杭州市区土地面积的比例也由 13% 增加到 61%。各阶段土地类型变化量统计如表 5、图 4。

对各类型湿地总变化量进行分析:首先,湿地地区的减少主要集中于人工湿地和沼泽湿地总体面积的减少,又因为人工湿地在本研究中具体是由水田、水产池塘、运河、水库、水塘五个湿地类型组成,其中运河是指京杭大运河,水库是指九溪珊瑚沙水库,其面积在 30 年间变化并不大,

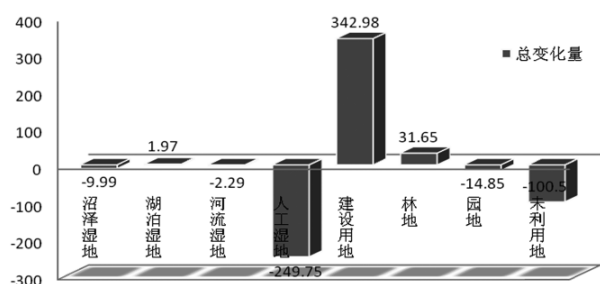


图 4 杭州市 1978-2010 年土地类型总变化量(Km²)

Fig.4 1978-2010 total variation of land type in Hangzhou city (Km²)

所以也可以说,湿地区的减少主要是由水田、水产池塘和沼泽湿地的减少;其次,减少的湿地区又集中转移到了建设用地,30年间建设用地总面积增加 342.98 km²,其中占用未利用地 100.5 km²,占用园地 14.85 km²,其他占用均为湿地区,这一结果足以证明城市扩展对城市湿地的影响。

3.3 空间变化

以遥感影像中提取的杭州城市湿地分布信

息为基础,结合土地利用空间变化模型^[18],以杭州市人工湿地主要集中区域和城市扩展方向为主要分区原则,把杭州城市湿地空间位置明显发生偏移的人工湿地和沼泽湿地进行区域划分,其中沼泽湿地为一个单独分区,人工湿地由于其面积比较大,且分布较为分散(多分布于市区周边),所以将人工湿地划分为三个分区(如图 5 所示)。

针对各年遥感影像分类图,采用同一分区方式进行分区,对每一个分区内的湿地斑块(每个斑块均被定义为一个小区)进行经纬度运算,确定其所在地的地理坐标,然后再乘以该小区的面积,最后把乘积累加后除以该分区湿地资源总面积,最终确定每一个分区的重心经纬度。经分区后,计算结果如表 6。

根据土地利用空间变化模型计算得到的分区重心经纬度,可以运用勾股定理,计算得到:

表 6 1978-2010 年人工湿地和沼泽湿地各分区重心

Table 6 1978-2010 Corresponding center of gravity of partition in constructed wetlands and marsh

年份	分区	面积/km ²	区域重心经度 X		区域重心纬度 Y	
			度	米	度	米
1978	1 区	125.92	120.14	801714.06	30.32	3358857.03
	2 区	25.15	120.31	818313.86	30.33	3359938.42
	3 区	127.11	120.11	799273.87	30.16	3340412.95
	4 区	16.91	120.08	796552.17	30.28	3353444.91
1984	1 区	86.50	120.11	799216.91	30.32	3358549.24
	2 区	14.39	120.34	821241.33	30.33	3359988.69
	3 区	86.55	120.11	799964.94	30.15	3339707.98
	4 区	15.25	120.08	796348.31	30.27	3353278.59
1991	1 区	89.33	120.11	799486.75	30.33	3359043.57
	2 区	42.19	120.34	820859.55	30.32	3359439.35
	3 区	78.37	120.13	801195.34	30.17	3341641.72
	4 区	13.75	120.08	796189.57	30.28	3353304.00
1995	1 区	74.75	120.11	799063.69	30.33	3358963.04
	2 区	32.48	120.35	822298.99	30.33	3360433.16
	3 区	87.14	120.11	799852.57	30.15	3339815.39
	4 区	9.49	120.07	795643.59	30.27	3352847.85
2000	1 区	48.93	120.11	799203.36	30.33	3359013.98
	2 区	28.48	120.33	820531.57	30.32	3359079.00
	3 区	59.40	120.12	800668.98	30.14	3338713.95
	4 区	7.32	120.07	794962.10	30.27	3353016.13
2005	1 区	10.42	120.12	800018.83	30.33	3359299.14
	2 区	14.38	120.36	822787.95	30.35	3361981.62
	3 区	32.42	120.11	799583.60	30.13	3337770.68
	4 区	7.30	120.07	794920.67	30.27	3352962.27
2010	1 区	5.27	120.11	798930.32	30.33	3359081.35
	2 区	9.91	120.36	823021.93	30.36	3363275.76
	3 区	13.25	120.11	799903.34	30.13	3337835.68
	4 区	6.92	120.07	794938.64	30.27	3352872.27

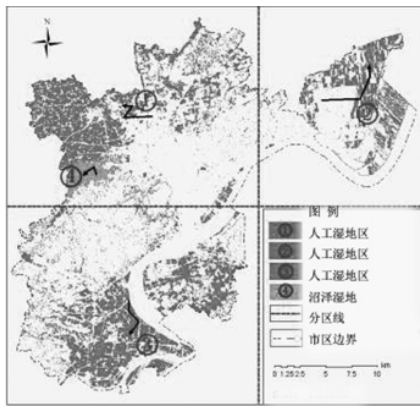


图5 人工湿地和沼泽湿地分区和空间变化示意图(1995年)

Fig.5 Artificial wetland and marsh wetland partition schemes and space variation diagrammatic drawing(1995)

工湿地1区向西偏北重心偏移约1853 m,人工湿地2区向东偏北重心位移约5583 m,人工湿地3区向南偏东重心位移约3065 m,沼泽湿地(4区)向西偏南重心位移约1722 m。为了更加直观的反映各个分区重心变化情况,特在图5中标示了各分区重心变化走势。结合人工湿地和沼泽湿地分区示意图可知:人工湿地和沼泽湿地随着时间的推移和城市扩展的加剧,正以平均每年95 m的速度向城市周边萎缩。

4 结论

将遥感和地理信息系统技术应用于湿地科学的研究,可以客观动态的反映湿地的时空变化。最近30年来,随着市场经济的不断发展,城市扩展较为迅猛,随之而来的湿地占用也比较严重,本文通过对杭州市1978-2010年城市湿地动态变化的定量研究,发现32年间杭州城市湿地总面积锐减260.06 km²,其中包括人工湿地249.75 km²,沼泽湿地9.99 km²;湿地区在空间分布上也发生了较大的位移,具体表现为向城市周边萎缩;湿地区中唯有湖泊湿地总面积增加1.97 km²,这主要与近年来湿地保护相关部门和公众的投入与重视度有关,例如仅2002年西湖扩建工程使杭州湖泊湿地面积增加约0.27 km²等。

随着湿地保护工作的进一步开展,未来在城市湿地的研究中更要突出高技术、高精度、高利用,以求运用更为前沿的数据源和技术,结合多方资料进行验证,提高研究成果的可信服度,使

理论真正结合实践,为未来湿地保护工作和城市合理规划布局提供可靠理论支撑,同时也为后期研究城市湿地的城市生态效应奠定了数据基础。

致谢:感谢浙江大学农业遥感与信息技术应用研究所读博士李波对本研究数据的支持,感谢浙江大学建筑工程学院王福民副教授、农业遥感与信息技术应用研究所读博士石晶晶、盛莉对本文提出的宝贵意见!

参考文献:

- [1] 谢志茹.北京城市公园湿地生态环境质量评价[D].北京:首都师范大学,2004.
- [2] 侯鹏,蒋卫国,曹广真.城市湿地热环境调节功能的定量研究[J].北京林业大学学报,2010,03:191-196.
- [3] 孙广友,王海霞,于少鹏.城市湿地研究进展[J].地理科学进展,2004,23(5):1-7.
- [4] 王娟.城市绿地生态效应[J].草原与草坪,2004,107(4):24-27.
- [5] 朱颜明,黎劲松,杨爱玲,等.城市饮用水地表水源非点源污染研究[J].城市环境与城市生态,2000,13(4):1-4.
- [6] 汪爱华,张树清.RS和GIS支持下的三江平原沼泽湿地动态变化研究[J].地理科学,2002,22(5):1-5.
- [7] 张志锋,宫辉力,赵徽,等.基于3S技术的北京野鸭湖湿地资源的动态变化研究[J].遥感技术与应用,2003,18(5):1-6.
- [8] 张洪岩,龙恩,程维明.向海湿地动态变化及其影响因素分析[J].自然资源学报,2005,20(4):1-8.
- [9] 黄娟琴.杭州市区湿地资源遥感调查与监测研究[D].杭州:浙江大学,2005.
- [10] 严登华,王浩,何岩,等.中国东北区沼泽湿地景观的动态变化[J].生态学杂志,2006,03:249-254.
- [11] 黄颖,周云轩,吴稳,等.基于决策树模型的上海城市湿地遥感提取与分类[J].吉林大学学报,2009,39(6):1-7.
- [12] 赵玉灵,郁万鑫,聂洪峰.江苏盐城湿地遥感动态监测及景观变化分析[J].国土资源遥感,2010,86:1-6.
- [13] 国家林业局《湿地公约》履约办公室.湿地公约履约指南[M].北京:中国林业出版社,2001.
- [14] Ozesmi S L, E B Marvin. Satellite remote sensing of wetlands [J]. Wetlands Ecology and Management,10:381-402.
- [15] 王迅,徐丹丹,李文龙.玛曲湿地遥感影像提取及精度分析[J].国土资源遥感,2009,04:96-100.
- [16] 杨柳.基于ETM+影像的扎龙湿地遥感分类研究[D].长春:东北师范大学,2003.
- [17] 祝卓.人口地理学[M].北京:中国人民大学出版社,1991.
- [18] 王秀兰,包玉海.土地利用动态变化研究方法探讨[J].地理科学进展,1999,18(1):1-7.