

人为干扰对城市湿地公园水环境质量的影 响

——以杭州市西溪国家湿地公园为例

郑 囡, 刘红玉, 李玉凤, 曹 晓

(南京师范大学 地理科学学院, 江苏 南京 210046)

摘 要: 杭州市西溪国家湿地公园作为目前国内唯一的集城市湿地、农耕湿地、文化湿地于一体的首个国家湿地公园, 不仅具有休闲旅游、文化教育功能, 而且具有生态保护、调节气候的功能。同时作为一个湿地公园与自然保护区相比必然要承载更多的人为活动, 接受更多的人为干扰。根据西溪湿地公园的实际情况, 选取人为设闸、人工改造水塘、游船行驶和游客徒步旅行 4 种形式的人为干扰, 于 2009 年 4 月至 2010 年 3 月, 利用实地调查采样、实验室分析的方法, 分别对 4 种人为干扰下的湿地水环境质量进行了监测分析, 并应用水质模糊综合评价方法确定最终的水质等级, 以此判断不同的人为管理对水体质量的影响。结果表明, 人为设闸和人工改造水塘都能改善湿地内的水体质量, 而游船行驶和游客徒步旅行则对湿地内水质的影响不大。

关键词: 西溪国家湿地公园; 人为干扰; 水环境质量; 水质综合模糊评价

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)06-0223-06

中图分类号: X132

Impacts of Human Disturbances on Water Quality of Urban Wetland Park — A Case Study in Xixi National Wetland Park in Hangzhou City

ZHENG Nan, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, CAO Xiao

(College of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu 210046, China)

Abstract: Xixi National Wetland Park in Hangzhou City is the only national wetland park which includes urban wetland, agricultural wetland and culture wetland. Not only does it have tourism and education functions, but also can protect the ecosystem and regulate climate. Compared with the natural reserves, Xixi National Wetland Park is more easily affected by human activities. This paper selected gate establishment, pool improvement, boat cruising and pedestrian as study objects, and an investigation is carried out to study their impact on water quality from March to December in 2009. The results showed that gate establishment and pool improvement could improve the water quality, and boat cruising and pedestrian has little impact on the water quality.

Keywords: Xixi National Wetland Park; human disturbance; water quality; fuzzy comprehensive assessment

人为干扰是指由人类生产、生活和其它社会活动形成的干扰体对自然环境和生态系统施加的各种影响^[1]。目前, 人类活动的强烈干扰推动地球系统演化进入了“人类世”的新纪元^[2]。20 世纪以来, 人类对生态系统干扰的作用力和影响范围, 远远超过了自然干扰, 因而该方面研究受到国内外的普遍关注和学科研究的热点。多数人为干扰会导致生态系统正常结构的破坏、失衡和生态功能的退化。但是干扰并不总是对生态系统的一种破坏行为, 适度的干扰可以增加

生态系统的生物多样性, 而生物多样性的增加往往又有益于生态系统稳定性和环境质量的提高^[1]。目前国内很多研究是着眼与人类的不良行为或破坏性干扰对生态环境造成的影响^[3-4], 而且大多是探究这些行为对植被或动物群体造成的损害并提出了相应的预防和治理措施^[5-7]。对于人为干扰对水体质量的研究不多, 特别是针对一些管理性质或合理的人为干扰对环境的影响等方面的研究还较欠缺。

杭州市西溪国家湿地公园有其本身的特殊性, 它

收稿日期: 2011-01-08

修回日期: 2011-04-14

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于关键生态过程的城市湿地公园景观健康评价: 以西溪国家湿地公园为例”(40871084); 国家自然科学基金项目(40701174); 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目; 南京师范大学研究生科研创新计划项目

作者简介: 郑囡(1985—), 女(汉族), 山东省济南市人, 硕士研究生, 主要从事湿地生态评价与 GIS 应用研究。E-mail: zhengnan420@126.com。

通信作者: 刘红玉(1963—), 女(汉族), 黑龙江省密山市, 教授, 主要研究领域为湿地资源及其保护。E-mail: liuhongyu@njnu.edu.cn。

是在已经被严重破坏的湿地环境基础上进行人为规划和建设,具有生态保护与利用的性质。依据湿地公园自身特性,选取公园内典型的管理和利用方式的人为干扰,研究其对水环境质量的影响,将对整个湿地公园的保护与发展具有现实意义。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

西溪国家湿地公园东起紫金港路绿化带,西至绕城公路绿化带,南到天目山路,北到文二西路,面积约 11.5 km² (120°0′26″—120°9′27″E, 30°3′35″—30°21′28″N)。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 °C,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,加上区域内地势低平,因而形成了鱼鳞状水塘的特殊湿地景观^[8]。其中水体在整个的湿地环境中占很重要的一部分,面积约占整个湿地公园面积的 40.38%。历史上的西溪湿地地广人稀,面积达到 60 km²。近 20 a 来,城市迅猛向湿地进逼,当地居民圈水养鱼,围荡造田、办厂建屋,西溪湿地面积大量锐减。使得湿地内河道淤塞,水流不畅,生态恶化。自 2003 年 8 月起,为了保护这块特殊的城市湿地,杭州市政府在坚持贯彻“生态优先,最小干预,修旧如旧,注重文化,以民为本和可持续发展”这 6 项基本原则的基础上启动了西溪湿地综合保护工程,并且国家批准建立了西溪国家城市湿地公园。通过 5 a 的生态恢复与建设,该公园取得了巨大的成效,西溪湿地的生态环境得到了较大的改善和恢复^[9-10]。

1.2 研究方法

1.2.1 人为干扰类型划分 杭州市西溪国家湿地公园作为目前国内唯一的集城市湿地、农耕湿地、文化湿地于一体的首个国家湿地公园,不仅具有休闲旅游、文化教育功能,更具有生态保护、调节气候的功能^[9],而作为一个湿地公园与自然保护区相比必然要承载更多的人为活动,接受更多的人为干扰。为了系统揭示这些人为干扰对湿地生态保护的影响,将公园不同干扰方式划分为人为设闸干扰、人工改造水塘干扰、游船行驶干扰和游客徒步旅行干扰这 4 种类型进行研究。(1) 人为设闸干扰。为了阻断部分水质较差的外流水源汇入西溪湿地公园,在几条河流汇入公园处设置了拦水闸门,改变了原来水系之间的交流。(2) 人工改造水塘干扰。西溪湿地公园为了满足游客的需求以及改善水塘的水质,将很多水塘进行人为的开挖、清淤和人工种植水生植物,改变了水塘原有

的湿地生态结构和功能。(3) 游船行驶干扰。由于湿地公园接纳的游客绝大部分选择乘坐游船的方式进行旅行观赏,游船的形式就会对河流天然的流动带来一定的干扰。(4) 游客徒步旅行的干扰。指进入公园的一部分游客通过徒步旅行与水体接近产生的影响。以上 4 种行为均会对湿地原本的自然环境和生态系统带来一定程度的干扰,其中前两种属于管理性质的干扰;后两种属于利用性质的干扰。

1.2.2 监测指标 根据国家环保局最新实施的水体质量评价要求以及以往对西溪湿地公园水体环境的研究^[11],应该选取在水体污染中起主要作用、对水体环境危害严重的指标作为评价对象。依据西溪湿地水体情况,选取的指标包括:氧平衡因子溶解氧和高锰酸盐指数,营养盐类总磷,氨氮,叶绿素 a 等。于 2009 年 4 月至 2010 年 3 月,每个月对这些指标进行监测和分析。其中溶解氧值采用 YSI-556 多参数水质监测仪进行现场检测,高锰酸盐指数采用高锰酸钾滴定法,总磷采用钼锑抗分光光度法,氨氮采用水杨酸分光光度法,叶绿素 a 采用丙酮分光光度法。每个样品设置一个空白样(CK),取平行样的平均值作为各指标^[12]。

1.2.3 监测样点 为了系统揭示不同人为管理类型对湿地水环境质量的影响,分别在管理特征明显处设置样点进行水环境质量监测。

(1) 人为设闸干扰。五常港是一条南北向穿过西溪湿地公园的河流,其中有几条支流在这里汇入,公园在直流进入公园处设置闸门拦截河水流入。为此,分别在两处闸门的外侧和内部设置采样点进行水质对比分析,分为闸一(内、外)和闸二(内、外)。

(2) 人工改造水塘干扰。选取经过人工开挖和改造的 4 个水塘 A₁, A₂, A₃, A₄ 和没有经过人为开挖的 4 个自然水塘 B₁, B₂, B₃, B₄ 进行样点布设和监测工作。

(3) 游船行驶干扰。在西溪湿地公园一期内的主游船航道选取 4 个样点 C₁(知乐桥), C₂(航道), C₃(朝天暮桥), C₄(深潭口);同时在无游船行驶的三期工程五常港上选取 4 个样点 D₁(五常港入口), D₂(观月桥), D₃(码头), D₄(五常港出口)进行监测。

(4) 游客徒步旅行干扰。选取了 4 个游客较难接近、受干扰程度比较小的 4 个样点 E₁, E₂, E₃, E₄;同时,与之对比选取 4 个游客容易接近受干扰程度比较大的 4 个样点 F₁, F₂, F₃, F₄ 进行监测。

1.2.4 水质综合模糊评价方法 模糊评价法的基本思路是:由监测数据建立各因子指标对各级标准的隶

属度集,形成隶属度矩阵,再把因子的权重集与隶属度矩阵相乘,得到模糊积,获得一个综合评判集,表明评价水体水质对各级标准水质的隶属程度,其中隶属度以百分比表示,对哪一级的隶属度越大,即可判定此水体为几级水质^[13-15]。

2 结果分析

2.1 人为设闸干扰下西溪湿地水环境质量特征

分别对两个闸门内部所有样点及外部所有样点的监测值,分丰水期、平水期、枯水期以及年度总体情况做平均值(表 1)。从整体来看,闸外水体的高锰酸盐指数、总磷、氨氮以及叶绿素 a 的含量明显要高于闸内水体的,溶解氧值低于闸内的,其中高锰酸盐指数、总磷及氨氮含量偏高。导致闸外水体现状的主要原因是闸门外部属于湿地公园园区以外,紧邻公路与生活生产区,接收了比较多的生活垃圾,又缺乏严格

的管理,使得闸门外水体有机物含量较高且存在富营养化现象。

通过对每个闸门内外水环境质量分丰水期、平水期和枯水期进行模糊综合评价,得到各样点具体的水质等级。由图 1 可以看出,在丰水期闸内的水质等级为 III—IV 类,闸外为 V 类,闸内水质优于闸外;在平水期闸一内水质为 II 类,闸一外为 IV 类,闸二内水质为 III 类,闸二外为 V 类,闸内的整体水质也优于闸外;而在枯水期,闸门内外的水质都为 II 类,闸二外为 III—V 类。由此可知,人为设置闸门在丰水期和平水期能有效地阻断外部较差水源的汇入,保证湿地公园内部水体不受外部的污染。在枯水期闸门内外水环境质量差异不大,设置闸门干扰的效果不明显。从年均值来看,闸门外部水质明显差于闸门内部的,所以整体上说设置闸门这项人为干扰有利于提高西溪湿地公园的水环境质量,有益于保护整个公园的湿地生态系统。

表 1 人为设闸干扰下西溪湿地水环境质量特征

指标	统计指标	mg/L							
		丰水期(6—9月)		平水期(4—5,10—11月)		枯水期(12—3月)		年均值	
		闸内	闸外	闸内	闸外	闸内	闸外	闸内	闸外
高锰酸盐指数	平均值	6.225	11.217	4.997	8.616	3.802	7.146	5.008	8.993
	标准偏差	0.055	2.875	0.334	1.836	0.413	2.691	0.045	2.467
总磷	平均值	0.181	0.269	0.094	0.130	0.096	0.219	0.124	0.206
	标准偏差	0.015	0.175	0.046	0.001	0.014	0.207	0.016	0.127
氨氮	平均值	0.854	1.270	1.314	1.996	0.495	10.625	0.888	1.163
	标准偏差	0.551	1.375	0.602	2.493	0.076	14.695	0.410	1.284
叶绿素 a	平均值	0.042	0.074	0.019	6.598	0.035	0.005	0.021	0.036
	标准偏差	0.023	0.000	0.014	3.224	0.037	0.001	0.001	0.003
溶解氧	平均值	6.256	6.790	6.341	0.030	7.376	6.510	6.233	5.799
	标准偏差	0.214	0.859	1.091	0.008	0.500	2.436	0.602	0.422

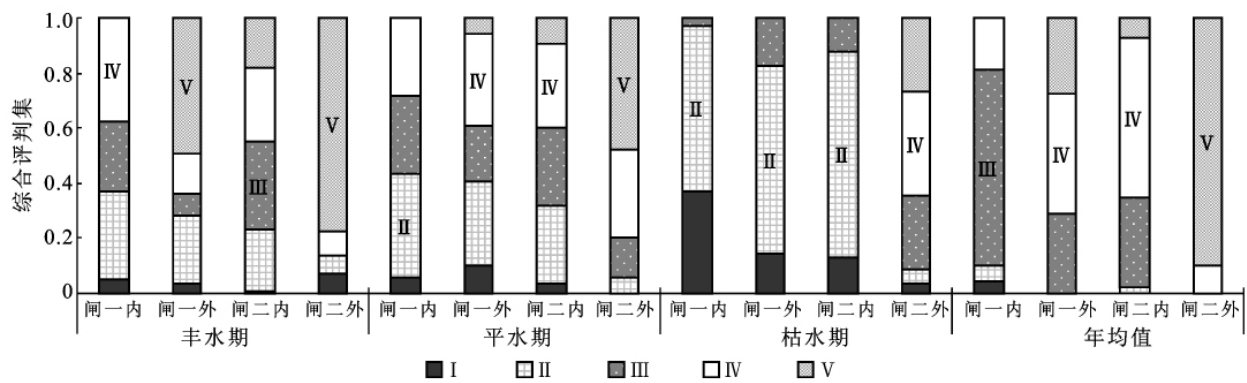


图 1 人为设闸干扰下西溪湿地水质等级

2.2 人工改造水塘干扰下西溪湿地水环境质量特征

将 4 个人工改造水塘以及 4 个自然水塘的监测数据分丰水期、平水期、枯水期以及年度总体情况做平均值(表 2)。从年平均水平来看,自然水塘的高锰酸盐指

数和叶绿素 a 的含量要高于人工改造水塘的,而总磷、氨氮以及溶解氧之间的差异不大。人工改造水塘经过定期清淤,使得底泥向水中释放有机物的量远远少于自然水塘,这就造成了自然水塘中高锰酸盐含量偏高。

表 2 人工改造水塘干扰下水环境质量特征

mg/L

指标	统计指标	丰水期(6—9月)		平水期(4—5,10—11月)		枯水期(12—3月)		年平均值	
		人工改造	自然水塘	人工改造	自然水塘	人工改造	自然水塘	人工改造	自然水塘
高锰酸盐指数	平均值	6.891	12.214	6.030	8.004	5.568	6.398	6.163	8.993
	标准偏差	1.828	4.161	1.786	1.663	1.400	1.659	2.467	1.574
总磷	平均值	0.106	0.234	1.950	0.135	0.095	0.122	0.107	0.164
	标准偏差	0.029	0.168	3.700	0.070	0.041	0.034	0.015	0.075
氨氮	平均值	0.504	0.281	0.311	0.230	0.268	0.182	0.361	0.309
	标准偏差	0.079	0.120	0.076	0.185	0.117	0.089	0.080	0.111
叶绿素 a	平均值	0.021	0.032	0.013	5.667	0.006	0.014	0.013	0.021
	标准偏差	0.011	0.023	0.007	1.559	0.003	0.013	0.003	0.005
溶解氧	平均值	4.939	4.474	5.485	0.019	6.688	7.428	5.704	5.606
	标准偏差	1.783	1.838	0.554	0.011	0.491	1.582	0.544	1.222

进一步对 2 种类型的水塘的水环境质量分丰水期、平水期和枯水期进行模糊综合评价,得到具体水质等级。对比图 2—3,在丰水期人工改造水塘水质等级为 II 类,自然水塘为 IV—V 类;平水期人工改造水塘水质等级为 III 类,自然水塘为 III—IV 类;枯水期人工改造水塘和自然水塘的水质等级都为 II 类。在枯水期,由于水温降低,底泥的释放速度以及水生植物的呼吸、光合作用都相对的减慢或停止,也由于天气原因使得对水塘的人为管理相对减少,所以人工水

塘与自然水塘水质差异不大。从年均值来看,人工改造水塘水质在 II—III 类范围内,自然水塘为 IV—V 类,人工水塘的水质要优于自然水塘的水质,这是因为在人为清淤和开挖过程中,将含有营养物质和各种有机物的底泥以及排放在水塘中的生活垃圾清除,人工种植的水生植物又具有对水体净化的功能,导致水体质量要优于没有经过人为改造的水塘。由此可见,人为改造水塘干扰能提高西溪湿地公园水环境质量,有益于保护整个公园的湿地生态系统。

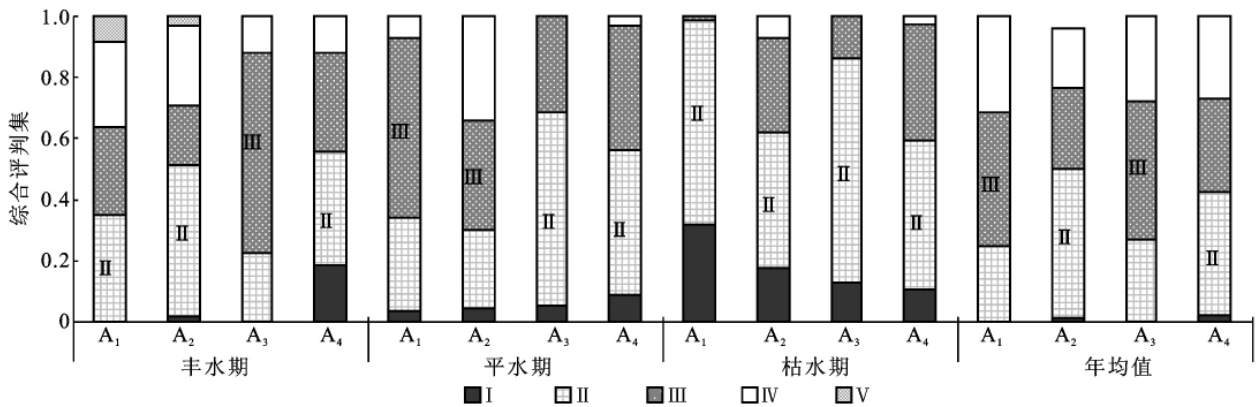


图 2 人工改造水塘水质等级

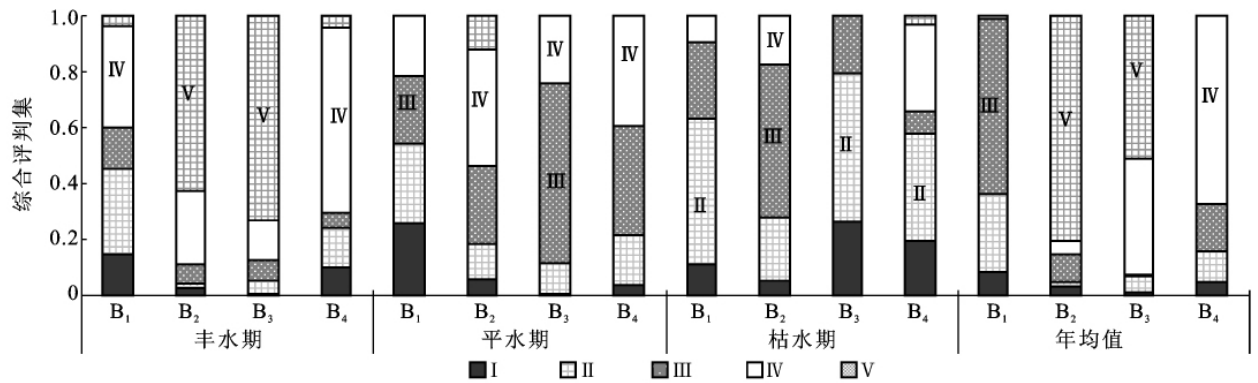


图 3 自然水塘水质等级

2.3 游船行驶干扰下西溪湿地水环境质量特征

对有游船行驶的河道中的 4 个样点以及无游船河道中的 4 个样点的监测数据分丰水期、平水期、枯水期以及一年总体情况做平均值,得到表 3。总体看来,两条河道中的高锰酸盐指数、总磷以及叶绿素 a

含量都不是很高且差异不大。无游船行驶的河道中氨氮的含量高于有游船行驶的河道,溶解氧值则明显低于有游船行驶的河道。溶解氧是差异最为明显的一项指标,这主要因为游船在行驶过程中螺旋桨不断曝气,增加了河道水体中溶解氧含量。

表 3 游船行驶干扰下西溪湿地水体质量特征

mg/L

指标	统计指标	丰水期(6—9月)		平水期(4—5,10—11月)		枯水期(12—3月)		年平均值	
		有游船	无游船	有游船	无游船	有游船	无游船	有游船	无游船
高锰酸盐指数	平均值	5.568	5.521	4.926	4.894	3.725	4.071	4.740	4.829
	标准偏差	0.368	0.607	0.538	0.547	0.615	0.044	0.130	0.210
总磷	平均值	0.102	0.173	0.011	0.136	0.098	0.137	0.106	0.148
	标准偏差	0.010	0.046	0.082	0.064	0.021	0.003	0.029	0.024
氨氮	平均值	0.911	1.222	0.470	1.356	0.620	0.730	0.667	1.102
	标准偏差	0.658	0.320	0.113	0.430	0.176	0.358	0.287	0.227
叶绿素 a	平均值	0.011	0.050	0.010	0.020	0.007	0.004	0.009	0.025
	标准偏差	0.002	0.013	0.003	0.014	0.010	0.001	0.005	0.001
溶解氧	平均值	6.433	3.298	5.934	5.024	7.098	6.651	6.488	4.991
	标准偏差	0.964	0.944	0.733	1.064	0.179	0.470	0.434	0.392

同样,通过对两条河道中各样点的水环境质量分丰水期、平水期和枯水期进行模糊综合评价,得到具体水质等级。在丰水期有游船行驶的河道水质等级为Ⅲ类,无游船行驶的河道为Ⅲ和Ⅴ类,略差于有游船的河道;在平水期,两条河道水质等级都为Ⅲ类;枯水期两者都为Ⅱ类水。由此可见,湿地公园中有、无游船行驶的两条河道水环境质量并没有明显差异,游船行驶干扰只是曾加了水体溶解氧的含量,对水质没有太大的影响。

2.4 游客徒步旅行干扰下西溪湿地水环境质量特征

对于游客徒步易接近和徒步难接近的两类水塘的监测数据分丰水期、平水期、枯水期以及年度总体

情况做平均值(表 4)。由表 4 可以看出,无论是游客难接近还是易接近的水体中高锰酸盐指数、营养盐含量以及溶解氧值都不高且差异不明显。

通过对比模糊综合评价之后的水质等级,在丰水期、平水期和年均值,无论是游客易接近还是难接近的水塘,水环境质量都为Ⅲ类;在枯水期,两类水塘的水环境质量都为Ⅱ类,基本类存在差别。这主要因为徒步旅行的乘客的数量远少于乘船游客的数量,游客素质较高很少发生破坏水环境的行为,且为了自身安全很少有游客接近水体。所以即使设置了接近水体的游览道路也不会对西溪湿地公园水环境质量带来很大影响。

表 4 设置游览道路管理下水体质量特征

mg/L

指标	统计指标	丰水期(6—9月)		平水期(4—5,10—11月)		枯水期(12—3月)		年平均值	
		易接近	难接近	易接近	难接近	易接近	难接近	易接近	难接近
高锰酸盐指数	平均值	5.539	5.519	5.138	5.269	5.222	4.459	5.300	5.082
	标准偏差	1.102	0.732	0.608	0.553	1.403	0.643	0.582	0.485
总磷	平均值	0.064	0.076	0.088	0.063	0.089	0.090	0.080	0.076
	标准偏差	0.018	0.033	0.045	0.005	0.022	0.015	0.015	0.008
氨氮	平均值	0.463	0.076	0.233	0.185	0.333	0.228	0.343	0.207
	标准偏差	0.388	0.033	0.166	0.052	0.194	0.166	0.241	0.090
叶绿素 a	平均值	0.014	0.009	0.019	0.006	0.007	0.006	0.013	0.007
	标准偏差	0.007	0.004	0.003	0.003	0.002	0.003	0.009	0.002
溶解氧	平均值	4.481	3.889	5.491	5.035	6.398	7.401	5.457	5.359
	标准偏差	2.411	1.091	1.295	0.809	0.599	0.863	1.117	0.574

3 结论

人为设闸和人工改造水塘这两种人为干扰方式能够提高湿地公园内的水环境质量,保证公园内部水体的水质等级平均达到Ⅱ—Ⅲ类水标准,能够起到保护整个湿地生态系统的作用。对于游船行驶和游客徒步旅行这两种干扰并没有给湿地公园的水体带来有害的影响,通过合理有效的管理和控制,这两种干扰下的水质等级也能够达到Ⅲ类水标准。由此看来,杭州西溪国家湿地公园确实本着生态优先、最小干预的原则对西溪湿地进行保护与利用,适度合理的人为干扰是能够达到提高湿地水体质量的效果。为了保证这几项人为干扰长期保持在合理适度范围内且更加有效的发挥其有益的作用,提出几条建议。

(1) 持续定期的检测闸门内外水质的变化,当湿地公园外部水质好于内部水质要及时开闸放水,保证公园内部水体与外部水体的交流与循环。当发现外部水体质量劣于内部时,要及时关闭闸门以保证湿地公园内部水体不受污染。

(2) 对于已经改造完成的水塘不应弃之不管,仍要定期检测水体质量、水生植物的生长情况,保证其长期处于健康状态。对于公园内一些水质很差的天然水塘,可以采取相应的措施予以改造,以提高其水体质量。

(3) 在游客容易接近水体的景点多悬挂醒目警示牌禁止游客下水或向水中投放垃圾,避免给水体带来污染,影响水体质量。

致谢:本研究数据监测和分析测试得到了西溪国家湿地公园管理部门的支持,特此表示感谢。

[参 考 文 献]

[1] 盛连喜. 环境生态学导论[M]. 1版. 北京:高等教育出

版社,2002:175-176.

- [2] Crutzen P J. Geology of mankind; The anthropocene [J]. Nature, 2002, 415:23.
- [3] Andreas F. Ecological impacts of hydroelectric power production on the river Ticino1: Thermal effects [J]. Arch. Hydrobiol., 2004, 159(1):43-56.
- [4] 刘霞,牟长城,李婉姝,等. 小兴安岭毛赤杨沼泽 CH₄, N₂O 排放规律及其对人为干扰的响应[J]. 环境科学学报, 2009, 29(12):2642-2650.
- [5] 王国新,王如松,毛春红. 杭州西溪国家湿地公园不良旅游行为及其对景区环境的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(6):1423-1430.
- [6] 尹锴,崔胜辉,石龙宇. 人为干扰对城市森林灌草层植物多样性的影响:以厦门市为例[J]. 生态学报, 2009, 29(2):565-572.
- [7] 刘杰,杨志峰,崔保山,等. 人为干扰下的生态负效应研究综述[J]. 生态学杂志, 2005, 24(11):1317-1322.
- [8] 周膺,曹云,吴晶. 西溪秀隐[M]. 北京:当代中国出版社, 2005:3-4.
- [9] 陈文岳,沈国正,郑洁敏,等. 西溪湿地水环境污染现状及生态治理对策[J]. 农业环境与发展, 2009(2):5-8.
- [10] 何洪杭,华晨,李忆冰. 杭州西溪湿地的环境状况与生态保护对策研究[J]. 华中建筑, 2004, 23(6):122-125.
- [11] 缪丽华. 杭州西溪湿地研究综述[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(11):5043-5044.
- [12] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京:中国环境科学出版社, 2002:223-226, 243-246, 281-282, 620-621.
- [13] 宋新山,邓伟. 环境数学模型[M]. 北京:科学出版社, 2004:262-269.
- [14] 张成才,李红伟,吴瑞锋,等. 基于 GIS 的水质模糊综合评价方法研究[J]. 人民黄河, 2009, 31(5):51-52.
- [15] 周林飞,高云彪,许土国. 模糊数学在湿地水质评价中应用的研究[J]. 水利水电技术, 2005, 36(1):35-38.

(上接第 222 页)

- [7] 彭建,王仰麟,张源,等. 滇西北生态脆弱区土地利用变化及其生态效应:以云南省永胜县为例[J]. 地理学报, 2004, 59(4):629-638.
- [8] 喻锋,李晓兵,王宏,等. 皇甫川流域土地利用变化与生态安全评价[J]. 地理学报, 2006, 61(6):645-653.
- [9] 谢红霞,李锐,任志远,等. 区域土地利用变化对生态环境影响定量评估:以铜川市城郊区为例[J]. 自然资源学报, 2008, 23(3):458-466.
- [10] 文琦,刘彦随,王建兴. 生态脆弱区土地利用格局演变及其生态响应:以榆林市为例[J]. 地域研究与开

发, 2010, 29(2):104-109.

- [11] 杨述河,闫海利,郭丽英. 北方农牧交错带土地利用及其生态环境效应:以陕北榆林市为例[J]. 地理科学进展, 2004, 23(6):49-55.
- [12] 陈忠升,陈亚宁,李卫红. 基于生态服务价值的伊犁河谷土地利用变化环境影响评价[J]. 中国沙漠, 2010, 30(4):870-877.
- [13] 邬建国. 景观生态学:格局、过程与尺度[M]. 北京:高等教育出版社, 2000.
- [14] 徐建华. 计量地理学[M]. 北京:高等教育出版社, 2006:232.