

西溪国家湿地公园水质时空分异特征研究

李玉凤, 刘红玉*, 曹晓, 郑囡, 郝敬锋

(南京师范大学地理科学学院, 江苏省环境演变与生态建设重点实验室, 南京 210046)

摘要: 西溪湿地公园作为第一个国家湿地公园和城市湿地公园的代表, 具有特殊的功能特征. 利用2009年春夏两季对西溪湿地水质的月监测数据, 揭示城市湿地公园水质时空分异和污染特征. 结果表明, ①湿地水质空间分异与公园功能特征密切相关. 其中, 自然水塘的TN、TP平均值分别为0.78 mg/L和0.07 mg/L; 观赏水塘TN、TP平均值分别为1.37 mg/L和0.17 mg/L; 自然河溪水质TN、TP的平均值分别为2.91 mg/L和0.18 mg/L; 游览水道TN、TP平均值分别为1.91 mg/L和0.09 mg/L; ②湿地水体富营养化程度时间变化显著. 西溪湿地水质的春季富营养化程度小于夏季, 总体处于中度富营养化状态; ③不同功能湿地水体富营养化程度差异明显. 水塘水体富营养化程度低于河溪富营养化程度, 其中, 自然水塘水质的富营养化程度低于观赏水塘的水质, 相反, 游览河溪水质富营养化程度低于自然河溪的水质. 因此, 加强对观赏水塘和自然河溪的管理, 是提高西溪湿地水质的有效方法.

关键词: 水质; 富营养化; 西溪湿地; 城市湿地; 湿地功能

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2010)09-2036-06

Characteristics of Temporal and Spatial Distribution of Water Quality in Urban Wetland of the Xixi National Wetland Park, China

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

(Jiangsu Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, College of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

Abstract: As the first national wetland park and the representatively urban wetland, Xixi wetland must provide the services of tourism and recreation especially. Based on the data which had been collected monthly from March to August in 2009, the objectives of this paper were to describe the characteristics of water quality in temporally and spatially. The results indicated that: ① the characteristics of water quality in spatially are significantly corrected with the function of wetland. Total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) average concentrations are 0.78 mg/L and 0.07 mg/L respectively in natural ponds, while the concentrations of TN and TP in ornamental ponds are 1.37 mg/L and 0.17 mg/L respectively. The concentrations of TN and TP are 2.91 mg/L and 0.18 mg/L in natural streams and 1.91 mg/L and 0.09 mg/L in sight-seeing streams; ② the nutrition in Xixi wetland is different in temporally. The nutrition in Xixi is at the level of moderate eutrophication, while the nutrition is higher in summer than it in spring; ③ the level of eutrophication in pounds is lower than it in streams, of which the level of eutrophication in natural ponds is lower than it in ornamental ponds and the level of eutrophication in natural streams is higher than it in sight-seeing streams by contraries. In order to improve water quality in Xixi wetland, the valid measure is to strengthen the management of ornamental ponds and natural streams.

Key words: water quality; eutrophication; Xixi Wetland; urban wetland; wetland function

随着城市进程的不断发展和城市湿地正在遭受严重破坏和吞噬. 为此, 近年来我国在快速城市化过程中, 非常重视湿地保护工作^[1]. 自2005年起, 我国城市湿地公园建设迅猛发展, 尤其在经济发达城市区域, 许多城市试图通过建立城市湿地公园方式, 保护、恢复和利用湿地, 并探索出一条协调城市化过程中的湿地保护与合理利用的区域发展模式^[2]. 目前, 城市湿地公园作为一种特殊的城市湿地类型, 国际上尚没有明确的定义. 城市湿地公园在调节城市小气候、保护城市生物多样性等重要的生态功能的同时, 它还具有为人类提供观光休闲和生态体验的重要社会功能, 是集湿地生态保护、生态观光休闲、生态科普教育、湿地研究等多功能于一体的生态型

主题公园^[3,4].

对湿地水体的研究已经取得了很大进展, 但是多集中在对自然湿地的研究, 主要包括两方面: 一是通过定点监测研究和评价水质时空变化特征^[5,6], 二是以流域为基本单元, 研究水体污染物负荷及其与土地利用的关系^[7~9]. 其中自然的水文地貌和植被条件是研究自然湿地的基础, 而城市湿地作为城

收稿日期: 2009-11-17; 修订日期: 2010-01-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(40871084); 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目; 江苏省“青蓝工程”项目(184080H10240); 南京师范大学研究生科研创新计划项目

作者简介: 李玉凤(1985~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为湿地景观生态学, E-mail: pandalee_0826@163.com

* 通讯联系人, E-mail: liuhongyu@njnu.edu.cn

市中一种特殊的景观系统,具有重要的生态环境和社会服务功能^[1]。同时,城市湿地公园也是人类利用和保护湿地资源的典型矛盾体,如何处理好保护和利用之间的矛盾是湿地公园可持续发展的必要条件。本研究旨在揭示不同人为利用方式和强度下的湿地公园水质状况,并跟踪监测其时间动态,评价水质的富营养化程度,以期在城市湿地公园合理利用和保护提供科学依据。

1 研究区域及概况

西溪湿地位于杭州市的西部,距西湖不到 5 km,是与城市关系最密切的湿地之一(图 1)。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,超负荷运转的西溪湿地生态环境遭到强烈破坏。为了保护此处独具特色的次生湿地,2005 年西溪湿地被确定为第一个“国家湿地公园”。西溪湿地公园东起紫金港路绿化带,西到绕城公路绿化带,南到天目山路,北到文二西路^[10],总面积为 11.5 km²。西溪湿地公园景观以网状河流和“鱼鳞状”水塘镶嵌为特征^[11],水域面积占整个面积的 46%。目前,西溪湿地公园的管理与运营重点是兼顾湿地保护与合理利用。湿地保护主要体现在部分湿地免受人为干扰,日常禁止游人进入,而部分区域开展生态旅游活动,对湿地进行合理利用。

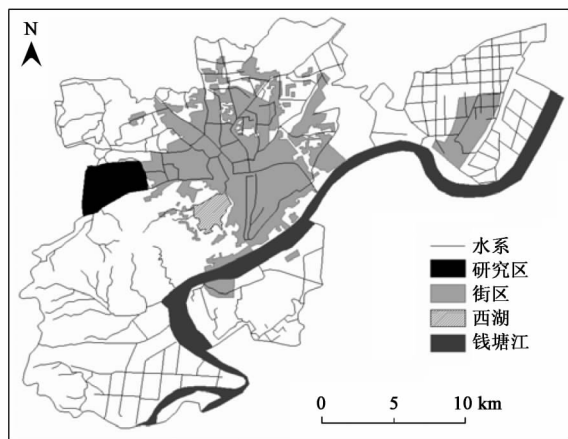


图 1 研究区在杭州市位置示意

Fig.1 Location of study area in Hangzhou

2 数据来源及分析方法

2.1 湿地分类和水质监测

由于城市湿地公园的特殊功能,其分类方法区别于自然湿地。由于城市湿地公园与人类活动影响关系密切,本研究根据人为利用方式和强度的差异

对样点进行分类,即按照对湿地的使用功能划分,将西溪湿地分为自然水塘、观赏水塘、自然河溪和游览河溪 4 类。其中,自然水塘是指不被人类活动影响,处于自然状态下的水塘;观赏水塘是指具有以观赏为主的、人工管理的水塘;自然河溪是指不被人类影响的自然状态的河溪;游览河溪是指以供人游憩为主的水道。

对西溪湿地进行水质监测,时间为 2009 年 3 ~ 8 月的每月月底。共设采样点 79 个(图 2),其中包括 49 个河溪样点和 30 个水塘样点。河溪样点包括 28 个自然河溪样点和 21 个行船游览河溪。水塘样点中包含 13 个自然水塘和 17 个观赏水塘,监测时利用 GPS 采集样点地理坐标信息。水样采集表层 50 cm 的水,每次采样时间持续 3 d。监测的水质指标包括现场测定的水温(t)、透明度(SD)、pH 值、溶解氧(DO)和实验室分析测定的 TP、TN、氨氮、高锰酸盐指数和叶绿素 a(Chla)^[12]。SD 的测定采用赛氏盘,其他现场指标通过 YSI556 多参数水质分析仪测得,测定 3 组数据,取平均值得到各指标值。实验室分析的氨氮(NH_4^+-N)采用水杨酸-次氯酸盐光度法, r (TN)采用紫外分光光度法,总磷(TP)采用钼锑抗分光光度法,叶绿素 a 采用丙酮分光光度法^[13],每个样品设置一个空白(CK),3 个平行,最后取平行样的平均值作为各指标值。

2.2 富营养化综合评价

水质富营养化是利用由 Carlson^[14] 提出经过 Aizaki^[15] 修订的营养状况指数(trophic state index, TSI)评价的,因其对水体营养化机制进行定量的研究而得到广泛的应用^[16~18]:

$$\text{TSI}(\text{Chla}) = 10 \times [2.46 + \ln(\text{Chla})/\ln 2.5] \quad (1)$$

$$\text{TSI}(\text{SD}) = 10 \times \{2.46 + [3.69 - 1.53 \times \ln(\text{SD})]/\ln 2.5\} \quad (2)$$

$$\text{TSI}(\text{TP}) = 10 \times \{2.46 + [6.71 + 1.15 \times \ln(\text{TP})]/\ln 2.5\} \quad (3)$$

$$\text{TSI}(\text{TN}) = 10 \times \{2.46 + [3.93 + 1.35 \times \ln(\text{TN})]/\ln 2.5\} \quad (4)$$

$$\text{TSI}(\text{高锰酸盐指数}) = 10 \times \{2.46 + [1.50 + 1.36 \times \ln(\text{高锰酸盐指数})]/\ln 2.5\} \quad (5)$$

$$\text{TSI}(\sum) = \sum_{j=1}^m W_j \times \text{TSI}(j) \quad (6)$$

式中, $\text{TSI}(\sum)$ 为综合营养状态指数; W_j 为第 j 种参数营养状态指数的相关权重; $\text{TSI}(j)$ 为代表第 j 种参数的营养状态指数。

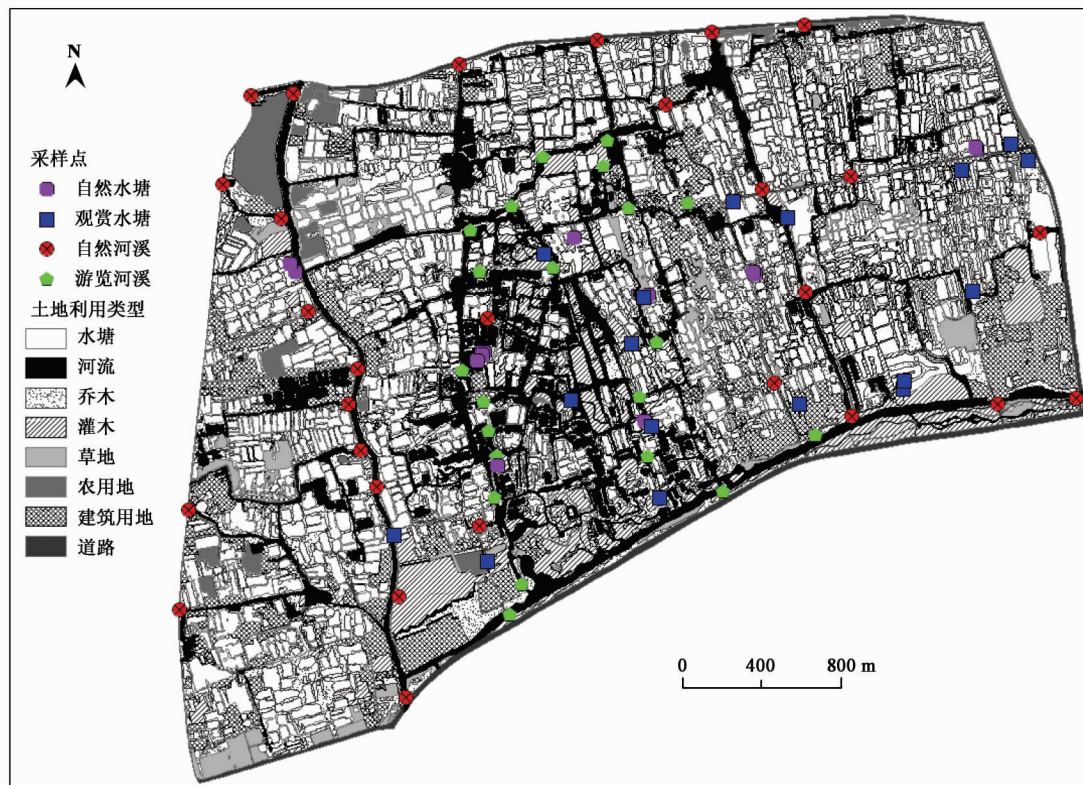


图2 采样点空间分布

Fig.2 Distribution of sample points

以叶绿素 a 作为基准参数,则第 j 种参数的归一化的相关权重计算公式为:

$$W_j = \frac{r_{ij}^2}{\sum_{j=1}^m r_{ij}^2} \quad (7)$$

式中, r_{ij} 为第 j 种参数与基准参数叶绿素 a 的相关系数; m 为评价参数的个数. 当 $0 < \text{TSI}(\sum) \leq 30$, 表明水体属于贫营养化状态; 当 $30 < \text{TSI}(\sum) \leq 50$, 水体属于中营养化状态; 当 $50 < \text{TSI}(\sum) \leq 60$, 水体属于轻度富营养化状态; 当 $60 < \text{TSI}(\sum) \leq 70$, 水体属于中度富营养化状态; 当 $\text{TSI}(\sum) > 70$, 水体属于重度富营养化状态.

3 结果与讨论

3.1 不同功能湿地水质特征

经分析,不同功能湿地其水质差别明显. 由表 1 可见,由于采样时间的不同,不同样点的水温也会有所差别;西溪湿地自然水塘和河溪由于受人为影响较小,溶解氧浓度较高,观赏水塘和游览河溪的溶解

氧较低;西溪湿地水体 pH 值基本偏弱碱性,其中自然河溪的 pH 值最高,其次是自然水塘、游览河溪和观赏水塘;透明度是反映水体中泥沙、微生物、悬浮物、有机质等物质含量的一个重要指标,观赏水塘的透明度略大于自然湿地的透明度,同时游览河溪的透明度大于自然河溪的透明度;高锰酸盐指数是地表水体受有机物污染物和还原性无机物质污染程度的综合指标,观赏水塘中的高锰酸盐指数最高,其次是自然河溪,自然水塘的高锰酸盐指数最低;西溪湿地河溪中 TN 的含量大于水塘中的含量,自然河溪大于游览河溪,观赏水塘大于自然水塘;TP 在观赏水塘和自然河溪中的含量较游览河溪和自然水塘中的含量高;氨氮浓度在自然河溪中含量最高,其次是游览河溪,含量最低的是自然水塘;叶绿素 a 的含量同样表现为自然河溪远远大于其他 3 种类型的湿地,含量最低的也是自然水塘,这与自然河溪自身特征关系密切.

3.2 西溪湿地水质的时间动态

图 3 为不同水质指标在不同功能湿地中的月变化动态. 图 3(a) 为水质叶绿素 a 和 pH 值在 3~8 月的变化情况,以及每月标准偏差的情况, pH 值的变化范

表 1 不同功能类型湿地水质指标平均值及变化范围(最小值和最大值)

Table 1 Average and variation of water quality indices in different classifications of sampling sites (minimum to maximum)

水质指标	自然水塘	观赏水塘	自然河溪	游览河溪
$t/^{\circ}\text{C}$	25.98(13.43~33.91)	25.14(12.99~31.46)	26.21(12.82~34.57)	25.85(13.23~33.29)
$\text{DO}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	5.47(4.47~7.05)	4.71(2.79~6.90)	8.85(4.36~10.09)	4.84(3.77~6.73)
pH	7.61(7.42~7.76)	7.46(7.26~7.87)	7.98(7.57~8.34)	7.57(7.47~7.71)
SD/cm	43(36~46)	45(35~58)	41(32~50)	47(35~51)
高锰酸盐指数/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	8.15(5.48~12.53)	12.34(8.75~19.21)	8.37(6.76~11.29)	7.46(5.58~10.38)
TN/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.78(0.63~0.98)	1.37(1.05~1.87)	2.91(1.78~4.51)	1.91(1.46~2.70)
TP/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.07(0.04~0.10)	0.17(0.05~0.26)	0.18(0.09~0.24)	0.09(0.05~0.15)
氨氮/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.27(0.12~0.44)	0.78(0.27~1.59)	1.38(0.45~1.94)	0.98(0.53~2.14)
叶绿素 a/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	11.38(6.68~16.34)	26.88(22.81~32.67)	45.67(36.82~56.21)	19.17(15.84~22.69)

围在 7.2~8.3 之间,而且呈先增后减的趋势;叶绿素 a 的 3 月份数据缺失,其浓度从 4~8 月呈先减后增的趋势,其月变幅不大,但是叶绿素 a 浓度的标准偏差较大,说明各采样点之间浓度变化两级分化比较严重;图 3(b)是水体 TP 和 SD 的变化情况,TP 从 3~8 月表现为先增后减的趋势,7 月的 TP 含量最高,到 8 月有降低的趋势,这跟水位变化具有一定相关性,7 月水位下降约 3 cm,而 8 月由于降雨量增加,其平均水位上升 24 cm,水位的上升对污染物具有明显的稀释作用;SD 是水体富营养化的一个重要指标,研究表明 SD 与叶绿素 a 关系密切^[19,20],呈现与叶绿素 a 类似的变化趋势,并在 5 月份透明度达到

最低.图 3(c)是 DO、高锰酸盐指数以及水温的变化情况.溶解氧的变化波动较为明显,表现为先增后减再增加的趋势,3 月和 6 月的溶解氧最低,且 7 月和 8 月 DO 的标准偏差较大,说明 7 月和 8 月各采样点 DO 差异显著增强;水温与 DO 的变化呈反向,温度越低 DO 越高,反之亦然;3~8 月间高锰酸盐指数呈先减后增的趋势,在 6 月达到最低,8 月达到最高,表明水体在 8 月有机污染 $\bar{t}$ 严重;图 3(d)是 TN 和氨氮在时间上的变化情况,其中氨氮的最大值出现在 6 月;TN 从 3~8 月呈先减再增再减,3 月的 TN 浓度最高,其次是 6 月,TN 除了 3 月数值偏高以外,其他月份的变化趋势与氨氮和 TP 的变化趋势

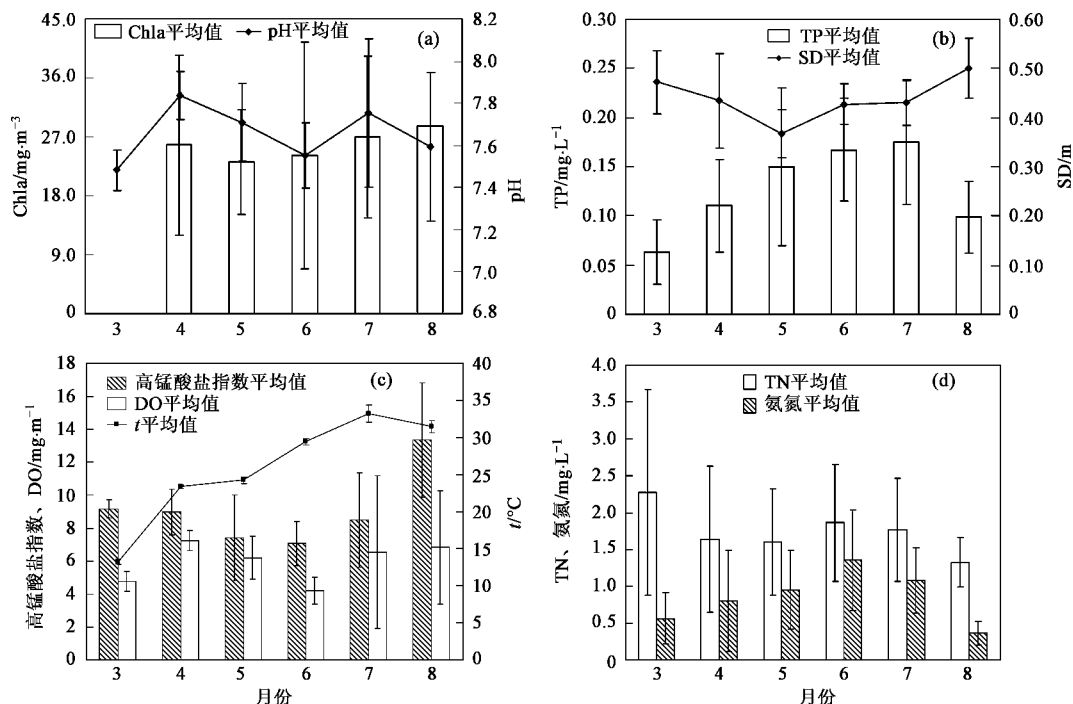


图 3 各种水质指标月变化情况

Fig. 3 Monthly variation of water quality in Xixi wetland

基本一致。

3.3 不同功能水体富营养化状况及月变化情况

根据中国环境监测总站推荐湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定,按照公式(7)计算出各个营养状态参数的权重(表2),最后计算出各样点在不同月份的富营养化状况。综合3~8月的各采样点具体情况,不同功能湿地的水质富营养化状态《差异,表现为富营养化程度由轻到重分别是自然水塘、游览河溪、观赏水塘和自然河溪,富营养化程度依次为轻度富营养化、中度富营养化、中度富营养化和重度富营养化。

表2 营养状态指数权重的确定
Table 2 Weight of nutrient indices

参数	Chla	SD	高锰酸盐指数	TN	TP
r_{ij}	1.000	-0.470**	0.391**	0.683**	0.739**
r_{ij}^2	1.000	0.221	0.153	0.466	0.546
W_j	0.419	0.093	0.064	0.195	0.229

每月不同功能湿地水质富营养化程度如图4所示,自然水塘在3~5月水质处于轻度富营养化状态,而6~8月水体富营养化加重,都处于中度富营养化状态;观赏性水塘水质富营养化状况从3~5月呈不断加重趋势,由中度富营养化加重到重度富营养化,从5~8月,水体富营养化程度表现为先减后增再减的趋势;自然河溪的富营养化在3~8月始终处于重度富营养化状态,8月富营养化程度相对较低;游览河溪的水质全部处于中度富营养化状态,水质明显好于自然河溪的水质,6月的富营养化程度

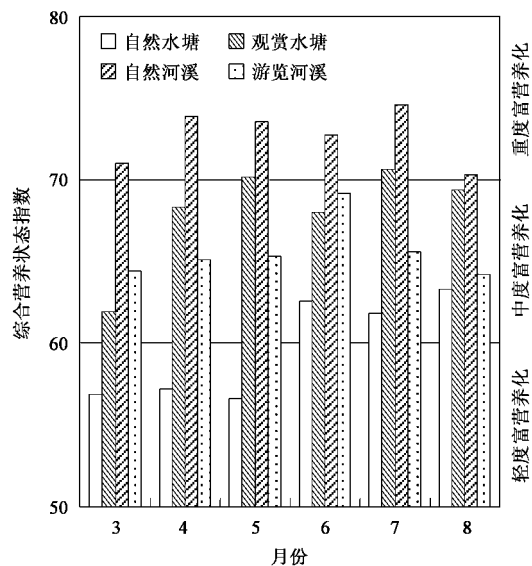


图4 不同功能水体富营养化变化状况

Fig.4 Eutrophication in different classifications

较其他几个月严重,其他月份富营养化状态波动不明显。

从西溪湿地总体富营养化程度可见(图5),各月都处于中度富营养化的状态,在3~8月期间,水体的富营养化程度呈先增后减的趋势,3月水体富营养化程度最轻,6月和7月水体富营养化最大,到8月有降低的趋势。总体可见,春季的水体富营养化要低于夏季的水体富营养化。

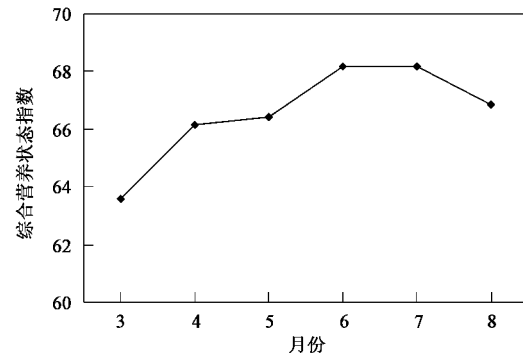


图5 西溪湿地水体富营养化变化状况

Fig.5 Monthly variation of eutrophication in Xixi wetland

4 结论

(1)不同月份西溪湿地的水质差别较大,春季水体富营养化程度低于夏季,而夏季最后1个月的富营养化程度有所下降。其中水塘水质的营养化程度要低于河溪水质,河流和水塘分别属于开放系统和封闭系统,两者水质变化所受的影响因素也▲,但都已是富营养化的状态。

(2)根据湿地的不同功能,其水质富营养化程度差异明显。其中自然水塘水质的富营养化程度低于观赏水塘的水质,相反,游览河溪水质富营养化程度低于自然河溪的水质。自然水塘基本保持其原有形态和水生植物种类,而观赏水塘为了满足展示湿地植物的功能,人工栽种了大量植被,由于水体营养丰富,植物过度生长造成水体自净能力的下降,导致其富营养化的加重;游览河溪水质优于自然河溪是因为公园在设计之时,对游览河溪进行了拓宽和清淤等工作,自然河溪水体相对较封闭且流动性不强,水体自净能力低于游览河溪。

(3)西溪湿地水体富营养化程度时间变化明显,但是主要还是集中在中度富营养化程度。从3~8月,富营养化呈先增后减的趋势,最高时段出现在6、7月。总体看来,西溪湿地春季富营养化程度低于夏季。

参考文献:

- [1] 李春晖,郑小康,牛少凤,等. 城市湿地保护与修复研究进展[J]. 地理科学进展, 2009, **28**(2):271-279.
- [2] 邓毅. 城市生态公园规划设计方法[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007. 126-187.
- [3] Grayson J E, Chapman M G, Underwood A J. The assessment of restoration of habitat in urban wetlands[J]. Landscape Urban Plan, 1999, **43**(4):227-236.
- [4] Edward F C, John H, Jacqueline L, *et al.* Insect conservation in an urban biodiversity hotspot: The San Francisco Bay Area[J]. J Insect Conserv, 2002, **6**(4): 247-259.
- [5] 高永霞,朱广伟,贺冉冉,等. 天目湖水质演变及富营养化状况研究[J]. 环境科学, 2009, **30**(3): 673-679.
- [6] 李一平,逢勇,向军,等. 太湖水质时空分布特征及内源释放规律研究[J]. 环境科学学报, 2005, **25**(3): 300-306.
- [7] 李俊然,陈利顶,郭旭东,等. 土地利用结构对非点源污染的影响[J]. 中国环境科学, 2000, **20**(6): 506-510.
- [8] 许其功,刘鸿亮,沈珍瑶,等. 茅坪河流域非点源污染负荷模拟[J]. 环境科学, 2006, **27**(11):2176-2181.
- [9] Meghan B R, JoAnn M B, Cavell B. Long-term effects of changing land use practices on surface water quality in a Coastal River and Lagoonal Estuary[J]. Environ Manage, 2009, **44**(3):505-523.
- [10] 陈久和. 城市边缘湿地生态环境脆弱性研究——以杭州西溪湿地为例[J]. 科技通报, 2003, **19**(5): 395-398.
- [11] 沈琪,刘珂,李世玉,等. 杭州西溪湿地植物组成及其与水位光照的关系[J]. 植物生态学报, 2008, **32**(1): 114-122.
- [12] 刘艳,纪灵,郭建国,等. 烟台邻近海域水质与富营养化时空变化趋势分析[J]. 海洋通报, 2009, **28**(2):18-22.
- [13] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 200-284.
- [14] Carlson R E. A trophic state index for lakes [J]. Limnol Oceanogr, 1977, **22**(2):361-36.
- [15] Aizaki M. Application of modified Carlson's trophic state index to Japanese lakes and its relationships to other parameters related to trophic state [R]. Tsukuba, Japanese: National Institute of Environmental Study, 1981. 13-31.
- [16] 王明翠,刘雪芹,张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准[J]. 中国环境监测, 2002, **18**(5): 47-49.
- [17] 蔡庆华,胡征宇. 三峡水库富营养化问题与对策研究[J]. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 7-11.
- [18] 李文奇,蔡金榜,逢勇,等. 洋河水库富营养化评价及防治对策[J]. 水资源保护, 2007, **23**(2):16-19.
- [19] 王伟,顾继光,韩博平. 华南沿海地区小型水库叶绿素 a 浓度的影响因子分析[J]. 应用与环境生物学报, 2009, **15**(1): 64-71.
- [20] 张运林,秦伯强,陈伟民,等. 太湖水体透明度的分析、变化及相关分析[J]. 海洋湖沼通报, 2003, (2):30-36.