

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.04.015

三次样条插值方法在太湖水质评价中的应用

毛新伟¹,陆铭锋¹,高琦¹,林其彬²

(1.太湖流域管理局水文水资源监测局,江苏无锡 214024;2.无锡滨湖都市建设投资有限公司,江苏无锡 214000)

摘要 采用三次样条插值方法对全太湖代表性水质指标和反映富营养化、藻类密度的指标进行线性插值,绘制太湖主要水质指标浓度空间变化图,直观反映了太湖水质总体状况和空间分布特征,较好地解决了监测站点密度不够的问题。虽然评价结果在水质变化较大的局部湖区存在一定误差,但该方法对于大面积湖泊水质评价工作具有借鉴价值。

关键词 太湖;水质评价;水质指标;三次样条插值

中图分类号:X824 文献标识码:A 文章编号:1004-6933(2011)04-0058-04

Application of cubic spline interpolation method in water quality evaluation of Taihu Lake

MAO Xin-wei¹, LU Ming-feng¹, GAO Qi¹, LIN Qi-bin²

(1. Monitoring Bureau of Hydrology and Water Resources, Taihu Basin Authority, Wuxi 214024, China; 2. Wuxi City Binhu District Urban Construction Investment Co., Ltd, Wuxi 214000, China)

Abstract: The cubic spline interpolation method was used to linearly interpolate the indexes of water quality, eutrophication, and algae density in the Taihu Lake. The spatial variation map of the concentration of main water quality indexes in the Taihu Lake was drawn, which directly reflected the overall situation of water quality, and well compensated for the Lack of monitoring sites. Although the evaluation results had some deviations in certain areas where water quality changed greatly, the evaluation method can provide a reference for water quality evaluation of large lakes.

Key words: Taihu Lake; water quality evaluation; water quality indexes; cubic spline interpolation

1 问题的提出

太湖是我国第三大淡水湖泊,水域广阔,水面面积 2338 km²。20 世纪 80 年代末开始,随着太湖周边地区经济社会的发展,太湖水质渐趋恶化,水资源保护问题得到政府和社会各界的日益重视。为有效监测评价太湖水资源状况,太湖流域管理局水文水资源监测局在太湖湖区布设了 33 个代表性水质监测点(见图 1),主要监测指标包括 GB3838—2002《地表水环境质量标准》中基本项目 24 项以及叶绿素 a、浮游植物等^[1]。这些监测站点的布设反映了太湖不同位置的水质状况,也基本上能够反映太湖总体的水质状况。

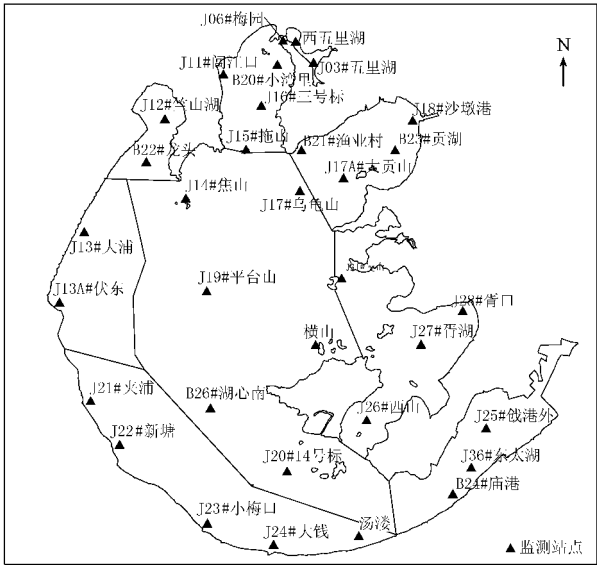


图 1 太湖水质监测站点分布示意图

作者简介:毛新伟(1973—),男,山东平度人,高级工程师,主要从事太湖流域水文水资源监测及保护工作。E-mail: xinweimaochina@yahoo.com.cn

但是,如何直观地了解太湖各水域水质情况,全面地进行空间综合分析以及变化趋势分析,客观反映近年来特别是“引江济太”期间的太湖水质状况,33个代表性监测站点远远不够。笔者利用太湖湖区2005—2007年3年中每月一次的实测水质数据,在分湖区水质分析工作的基础上,借助GIS工具,采用三次样条插值的数学方法对全太湖代表性水质指标进行线性插值,绘制太湖主要水质指标浓度空间变化图,对太湖水质状况进行评价分析。

2 三次样条插值法的数学原理及应用

样条插值法是一种特殊分段多项式进行插值的方法,可以使用低阶多项式样条实现较小的插值误差,应用最广的是三次样条插值法,因为它既满足一般实际问题的要求,而且建立过程也不太复杂。三次样条插值法运用的数学函数为三次样条函数,对于三次样条插值函数的数学描述如下:

设对 $y = f(x)$ 在区间 $[a, b]$ 上给定一组节点 $a = x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_n = b$ 和相应的函数值 $y_0, y_1, \dots, y_n$, 如果 $s(x)$ 具有如下性质:

- ① 每个子区间 $[x_{i-1}, x_i]$ ($i = 1, 2, \dots, n$) 上 $s(x)$ 是不高于三次的多项式;
- ② $s(x), s'(x), s''(x)$ 在 $[a, b]$ 上连续;则称 $s(x)$ 为三次样条函数。如再有
- ③ $s(x_i) = y_i$ ($i = 0, 1, 2, \dots, n$), 则称 $s(x)$ 为 $y = f(x)$ 的三次样条插值函数^[2-3]。

目前样条函数应用领域很广,随着计算机技术的发展,已广泛应用于重工业的计算机辅助设计和制造,以及各种图形的绘制、地理信息系统、实验数据的拟合、计算机动画制作等。三次样条插值函数适用于水利和风洞实验等许多特定专业特定研究方向中,水利研究一般应用于高程、水深、污染聚集度测量等工作中^[4]。

笔者应用GIS软件的样条插值方法,根据太湖

湖区监测站点2005—2007年每月的实测水质数据,在分湖区水质分析基础上,借助GIS工具,采用三次样条插值技术,根据太湖中已知的33个监测点数值插值到GIS栅格图像中,尽可能实现较小的插值误差。按照GB3838—2002《地表水环境质量标准》分类标准,主要绘制太湖6个主要水质指标(COD_{Mn} 、 NH_3-N 、TP、TN、Chl-a、浮游植物生物量)浓度空间变化图,从而能够更加直观地了解太湖各项水质指标的浓度空间变化特征以及太湖各湖区和引水线路的年内、年际变化特征和水质变化的影响因子等。

3 评价结果分析

3.1 COD_{Mn} 质量浓度变化特征分析

太湖水体中 COD_{Mn} 水质指标总体为Ⅱ~Ⅲ类水平,但近年来部分湖湾连续出现未达到Ⅲ类标准的现象。湖区各监测站点质量浓度范围为1.0~20 mg/L,极个别站点部分时段达30~45 mg/L。

从绘制的 COD_{Mn} 质量浓度空间变化分布图中(图2),可见 $\rho(COD_{Mn})$ 总体较高,呈西、北部湖区偏高,东部湖区总体较低的分布特征。西北部湖区以梅梁湖西部、竺山湖以及西部沿岸区一带总体较高;南部沿岸区近几年也连续出现较高值,湖心区、太湖东南部地区的东太湖以及胥湖东部相对较低。

3.2 NH_3-N 质量浓度变化特征分析

太湖水体中 NH_3-N 水质指标总体为Ⅱ~Ⅲ类,尚处于较低水平,但部分湖湾仍达到Ⅴ~劣Ⅴ类水平。根据2005—2007年监测结果,湖区各站点质量浓度为0.02~9.20 mg/L。

从绘制的 NH_3-N 质量浓度空间变化分布图中(图3),可见太湖氨氮指标总体状况相对较好,总体呈西北部湖区偏高,东南部湖区总体较低的分布特征,除梅梁湖、竺山湖和西部沿岸区总体较高外,其他湖区均保持相对较低的水平。

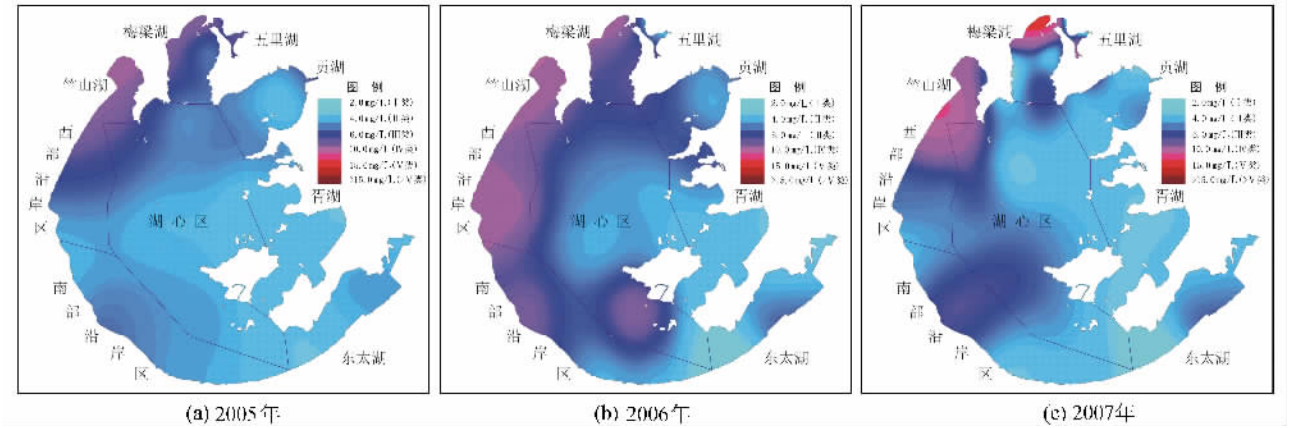


图2 2005至2007年太湖 $\rho(COD_{Mn})$ 空间变化

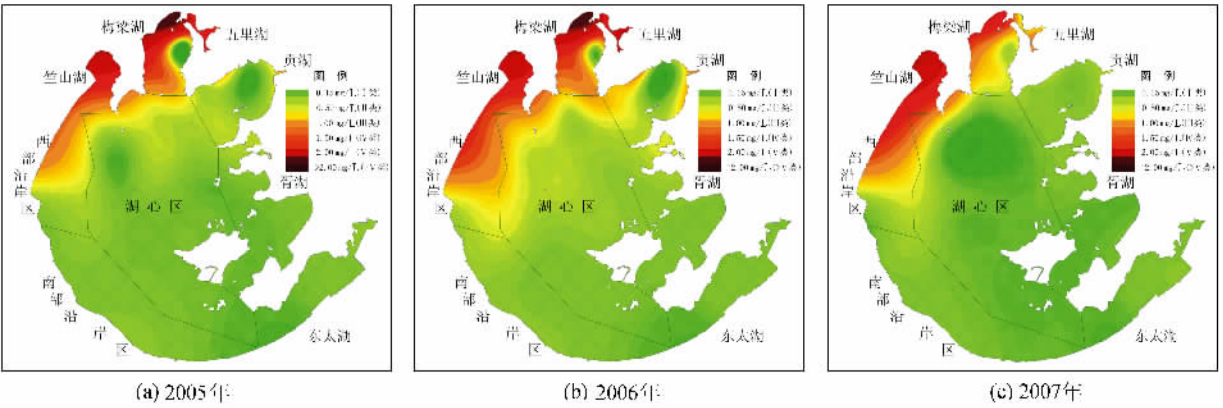


图 3 2005 至 2007 年太湖 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 空间变化

3.3 TP 浓度变化特征分析

太湖水体中 TP 水质指标总体为Ⅳ~Ⅴ类水平，是太湖水质超标最为严重的项目之一，根据 2005—2007 年监测结果，湖区各站点 $\rho(\text{TP})$ 为 0.012 ~ 0.686 mg/L。

从绘制的 TP 指标浓度空间变化分布图中(图 4)，可见近几年太湖 TP 与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度空间变化基本相同，总体呈西、北部湖区偏高，东部湖区总体较低的分布特征。西北部湖区以梅梁湖北部和竺山湖北部总体较高，竺山湖南部至西部沿岸区一带也相对较高；另外，在南部沿岸区的南部水域近年也时有出现较高值。东太湖和胥湖东部水域相对较低。

3.4 TN 浓度变化特征分析

太湖水体中 TN 水质指标总体为Ⅴ-劣Ⅴ类水平，也是太湖水质超标最为严重的项目之一，湖区各监测站点质量浓度基本在 0.37 ~ 12 mg/L 之间，极个别站点部分时段达 15 ~ 26 mg/L。

从绘制的 TN 质量浓度空间变化分布图中(图 5)，可见太湖总氮指标浓度分布总体呈西、北部湖区偏高，东、南部湖区总体较低的分布特征。梅梁湖北部最高，梅梁湖中西部、竺山湖以及西部沿岸区总体也较高，湖心区北部水域受西北部湖区影响，近几年也连续出现较高值。

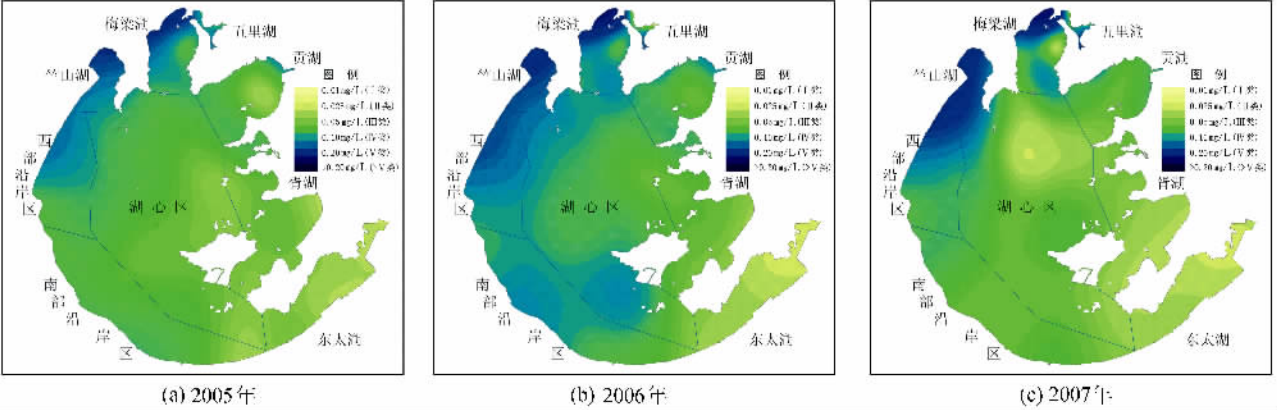


图 4 2005 至 2007 太湖空间变化

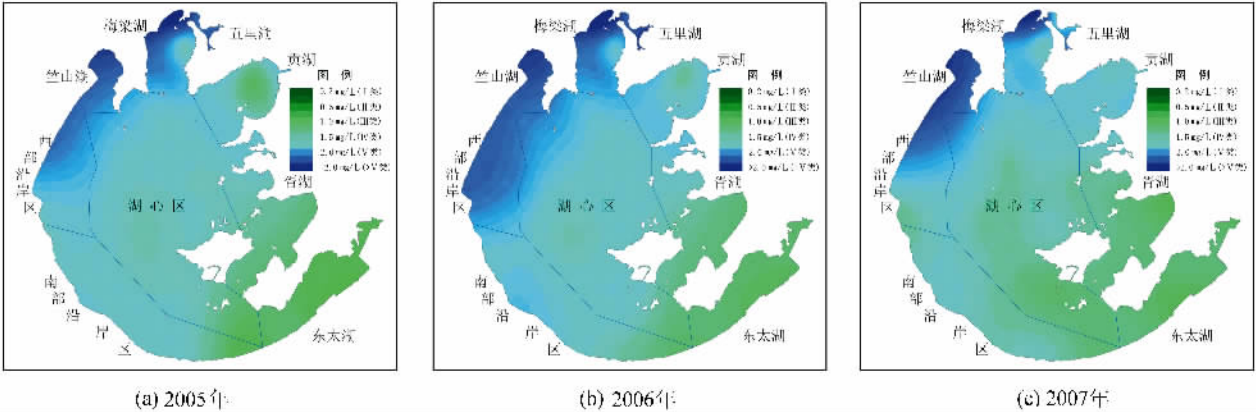


图 5 2005 至 2007 太湖 $\rho(\text{TN})$ 空间变化

3.5 Chl-a 浓度变化特征分析

叶绿素虽然不是国标中地表水水质参评指标，但能反映水体的初级生产力，是表征水体藻类含量的生物指标，也是反映水体富营养化程度的重要指标。对于分析蓝藻发生时间和影响范围具有较好的参考价值^[5]。近年来太湖 Chl-a 浓度较高，湖区各监测站点 $\rho(\text{Chl-a})$ 基本在 $1.0 \sim 300 \text{ mg/m}^3$ 之间，极个别站点部分时段达 $500 \sim 3000 \text{ mg/m}^3$ 。

从绘制的 Chl-a 指标浓度空间变化分布图中(图 6)，可见太湖 Chl-a 的浓度总体较高，高值区主要分布在梅梁湖、竺山湖、西部沿岸区和南部沿岸区，西部沿岸区和南部沿岸区附近也相对较高，东太湖水域和湖心区部分水域较低。

3.6 浮游植物生物量(PHYBM)浓度特征分析

浮游植物指水中浮游生活微小植物，通常指浮游藻类(包括太湖水体中常见的蓝藻、硅藻、绿藻、隐藻等八类)，是湖泊水生态系统的主要生产者^[6]。近年来湖区各监测站点质量浓度基本在 $1.0 \sim 80 \text{ mg/L}$ 之间，极个别站点部分时段达 $100 \sim 300 \text{ mg/L}$ 。

从绘制的 PHYBM 质量浓度空间变化分布图中(图 7)，可见太湖浮游植物生物量高值区主要分布在梅梁湖、竺山湖、西部沿岸区和贡湖的部分水域，湖心区和东太湖较低，与近年来卫片拍摄的太湖蓝藻主要分布情况基本一致。

4 方法评价与主要结论

4.1 方法评价

利用三次样条插值函数分析太湖水质是对太湖水质分析评价工作方法上的一次尝试，由于样条插值函数实际上是一种改进的分段插值函数，它能在各个分段点处保持曲线的光滑并且保留分段插值函数的低次性特点，因此可以较好地解决监测站点密度不够的问题，比较直观地反映太湖水质总体分布情况和空间分布特征，评价结果对太湖流域开展水资源利用、保护和调配工作具有重要参考价值，采用的评价方法对于开展类似太湖的大面积湖泊水质评价工作具有推广应用价值。

另外一方面，该插值方法也具有一定的局限性，比较适用于渐变的表面属性。笔者使用该方法开展水质分布和评价研究尚属首次，由于其不适用在短距离内属性变化较大的区域(那样的插值结果误差会偏大)，因此，对于太湖水质变化较大的湖区(如梅梁湖北部)以及受入湖河道水质影响较大的湖区(如西部沿岸区)，可能会存在一定的误差。

4.2 主要结论

通过分析，可明显看出在 TN、TP 未参评时，近年来太湖水质总体基本维持在劣 V 类水平，太湖水质状况在空间分布上，总体呈西北部湖区较差，东部

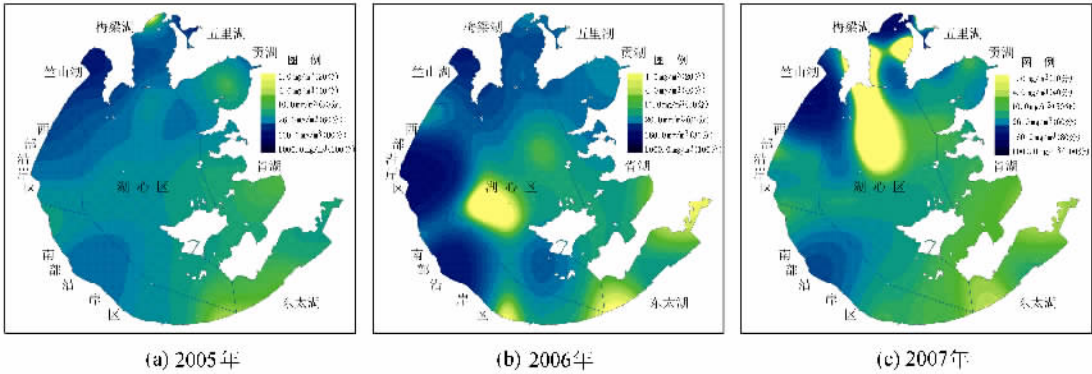


图 6 2005 至 2007 年太湖叶绿素指标浓度空间变化

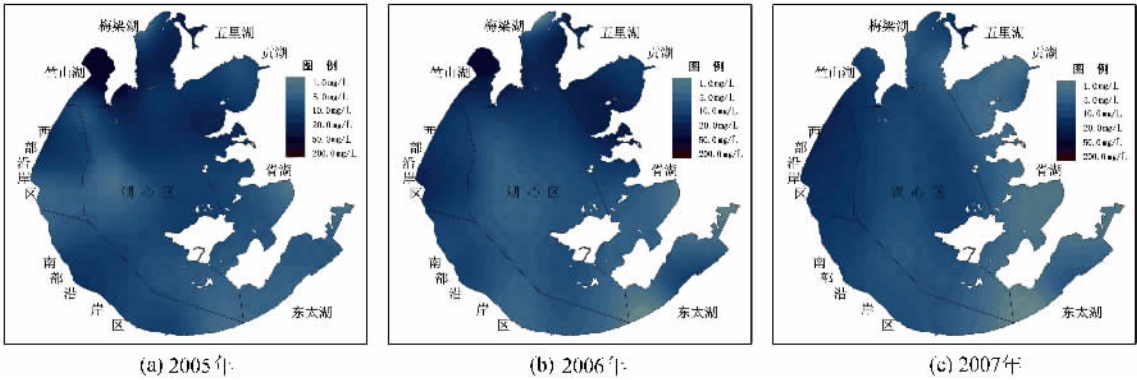


图 7 2005 至 2007 太湖浮游植物生物量指标浓度空间变化

开阔水域样点的含量最高为 0.072% ,其次是西沿岸北段社渚港港口的 0.053% ,清淤过后社渚港附近区域出现表层 TP 含量相对于其他湖区偏高 ,断面上表层沉积物 TP 含量向湖心逐渐减少 ,可能与清淤过后深层底泥的磷释放 ,以及入湖河流携入磷有关。

从图 9 可以看出 ,在垂直方向上竺山湖湖区、太湖西沿岸南、北段湖区均呈现 TP 含量随沉积物深度增大而下降的趋势 ,其中以西沿岸湖区北段差异性最明显 ,表层含量是第 2 层(6 cm)处的 2 倍 ,再往下层减少量不明显。这一现象与此区域清淤过后 ,表层新沉积的含磷物质堆积有关 ,这些物质可能是河流携带入或者藻类堆积腐败物质。竺山湖与太湖西沿岸南段湖区 TP 的垂直分布规律较相似 ,上层 20 cm 以内变化较小 ,20 cm 以下出现波动 ,含量骤减 ,随后又升高。总体来说 ,本次调查区域沉积物 TP 含量呈现表层高 ,下层低的趋势 ,内源性磷负荷相对较低。

4 结 论

太湖竺山湖湾沉积物中吸附性好的黏土颗粒多于西沿岸湖区 ,营养盐释放量较小 ,竺山湖湖湾底泥含水率高于西沿岸湖区 ,再悬浮释放污染物的风险较大 ,竺山湖区域水体常年处于背风、缓流状态下 ,藻类在此堆积较严重 ,水体交换量小 ,并受入湖河流污染影响较大 ,导致沉积物中有机质、TN、TP 含量高于西沿岸湖区。西沿岸北段清淤区垂向有机质、TN 含量无显著性变化 ,TP 含量呈现表层高、下层低的趋势。通过对竺山湖及太湖西岸湖区底泥污染特性进行研究 ,表明清淤能有效降低表层底泥污染 ,对于减缓沉积物污染释放有一定作用 ,为将来对重污染湖区制定清淤方案提供依据 ,进而为控制湖泊的富

营养化作贡献。

参考文献：

[1] CARPENTER S R ,LUDWIG D ,BROCK W A. Management of eutrophication for lakes subject to potentially irreversible change [J]. Ecological Application ,1999 9 :751-771.

[2] SEHINDER D W. Recent advances in the understanding and management of eutrophication [J]. Limnology and Oceanography 2006 51 356-363.

[3] 袁旭音 ,许乃政 ,陶于祥 ,等. 太湖底泥的空间分布和富营养化特征[J]. 资源调查与环境 2003 24(1) :20-28.

[4] 黎颖治 ,夏北成. 湖泊沉积物内部因素对沉积物-水界面磷交换的影响[J]. 土壤通报 2006 37(5) :1017-1021.

[5] 范成新. 湖泊沉积物理化特征及磷释放模拟[J]. 湖泊科学 ,1995 7(4) :341-348.

[6] 包先明 ,陈开宁 ,范成新 ,等. 种植沉水植物和疏浚底泥对氮磷营养水平的影响[J]. 土壤通报 ,2006 37(5) :932-935.

[7] 冉光兴 ,曹卉 ,李巍. 东钱湖底泥环境特征与疏浚方案[J]. 水利水电科技进展 2007 27(2) :73-76.

[8] 高宏 ,暴维英 ,张曙光 ,等. 多沙河流污染化学与生态毒理研究[M]. 郑州 :黄河水利出版社 ,2001.

[9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京 :中国农业科技出版社 2000.

[10] 杨玉兰 ,卢明远. 土壤总氮的分析方法[J]. 土壤通报 ,1991 22(4) :190-193.

[11] 贺阳 ,郭劲松 ,付川. SMT 法和酸溶-全消解法测定土壤全磷的比较[J]. 三峡环境与生态 2009 24(4) :10-12.

[12] 李巍 ,朱丽娟. 太湖(竺山湖及西沿岸区) 生态清淤工程宜兴市一期工程初步设计报告[R]. 上海 :上海勘测设计研究院 2008.

[13] 孙顺才 ,黄漪平. 太湖[M]. 北京 :海洋出版社 ,1993.

(收稿日期 2010-11-01 编辑 :高渭文)

(上接第 61 页)

湖区相对较好的特征。按湖区分析 ,梅梁湖、竺山湖、西部沿岸区水质较差 ,南部沿岸区、胥湖西部水域水质相对较差 ,东太湖及胥湖东部水域水质相对较好 ,3 年中各年平均均好于Ⅳ类水标准 ,主要影响太湖水质类别的指标包括 COD_{Mn}、NH₃-N 等 ,TN、TP 是超标最严重的指标 ,叶绿素、浮游植物生物量含量总体较高。可见 ,太湖水质状况总体不容乐观 ,个别指标超标较多 ,个别湖区水质较差 ,太湖水环境治理工作仍然任重道远。

参考文献：

[1] 太湖流域管理局水文水资源监测局. 太湖主要水质指标

GIS 分布图绘制及变化特征分析报告[R]. 无锡 :太湖流域管理局水文水资源监测局 2009.

[2] 曹东卫. 三次样条函数在水文泥沙颗粒分析中的应用工程水文学[J]. 水利水电自动化 2008(1) :40-42.

[3] 侯云山 ,刘宏兵. 一种约束三次样条函数的构造方法及应用[J]. 信阳师范学院学报 2004(4) :403-405.

[4] 杨虎山. 三次样条插值在实际问题中的应用和实现[J]. 忻州师范学院学报 2008(2) :47-49.

[5] 国家环境保护总局. 《水和废水监测分析方法》编委会. 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 :722.

[6] 张运林 ,秦伯强 ,陈伟民 ,等. 太湖梅梁湾浮游植物叶绿素 a 和初级生产力[J]. 应用生态学报 2004(11) :2127-2131.

(收稿日期 2010-05-20 编辑 :高渭文)