

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.04.019

太湖重污染湖区底泥沉积物特性

吴俊锋, 谢 飞, 陈丽娜, 何 卿, 任晓鸣, 姜磊娜

(江苏省环境科学研究院, 江苏 南京 210036)

摘要 对竺山湖及太湖西岸湖区底泥沉积物的粒径、含水率、有机质、TN、TP 含量进行研究, 探讨竺山湖湾东部、竺山湖湾西部、太湖西岸北部、太湖西岸南部底泥污染物表层及垂向分布规律。结果表明, 竺山湖湾沉积物中有机质、TN、TP 含量高于西沿岸湖区, 底泥再悬浮释放污染物风险较大, 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, 为太湖重污染湖区制定清淤方案提供了依据。

关键词 竺山湖; 太湖西岸; 沉积物; 底泥; 富营养

中图分类号 X171.4 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2011)04-0074-05

Characteristics of bottom sediment in heavily polluted area of Taihu Lake

WU Jun-feng, XIE Fei, CHEN Li-na, HE Qing, REN Xiao-ming, JIANG Lei-na

(Jiangsu Provincial Academy of Environmental Science, Nanjing 210036, China)

Abstract: The characteristics of bottom sediment, including particle size, moisture content, organic matter, total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), in the Zhushan Lake and the west bank area of the Taihu Lake were studied. The surface and vertical distributions of bottom sediment contaminant in the west of the Zhushan Lake, northern west bank of the Taihu Lake, and southern west bank of the Taihu Lake were discussed. The results show that the contents of organic matter, TN, TP in the sediments of the Zhushan Lake are more than that in the sediments of the west bank area of the Taihu Lake, which lead to high pollutant release from sediment re-suspension. The contents of vertical organic matter and TN in the sediment of the northern section of the west bank which was dredged show no significant change, while TP content shows a descending trend from surface to bottom. This study provides a basis for the dredging of the heavily polluted area of the Taihu Lake.

Key words: Zhushan Lake; west bank of Taihu Lake; sediment; bottom sludge; eutrophication

1 研究背景

竺山湖为太湖西北部的半封闭型湖湾, 北起百渚港, 南至马山咀至师渚港一线, 面积 72.2 km², 涉及无锡滨湖区、无锡惠山区、宜兴市和常州武进区。太湖西岸湖区, 北起社渚港, 南至大港河, 湖区面积约 187.8 km²。研究区域地理位置如图 1 所示。

该湖区陆域经济高度发达, 人口众多, 污水大量排放。直接或间接汇入竺山湖及太湖西岸湖区的主要入太湖河道达 12 条之多, 承接了全太湖污染物总量的 60% 以上。历年监测资料显示, 竺山湖和太

湖西岸湖区是全太湖水污染最为严重、湖泛和蓝藻发生频率最高、湖泊生态系统退化最严重的湖区。研究表明, 富营养化已经成为湖泊生态系统结构退化的主要原因, 这种退化往往导致湖泊功能的衰退, 包括生物多样性丧失、优质鱼类(如肉食性鱼类)减产和环境容量降低^[1-2]。因此控制湖区的富营养成为重污染湖区水环境综合整治的重要方面。

湖泊底泥是营养元素的聚集地, 对湖泊富营养化贡献很大^[3]。底泥沉积物既可充当湖泊水体营养盐的汇也可转变为源, 而氮、磷则是富营养化的制约因子^[4]。输入到湖体的营养物质(氮、磷)等一部

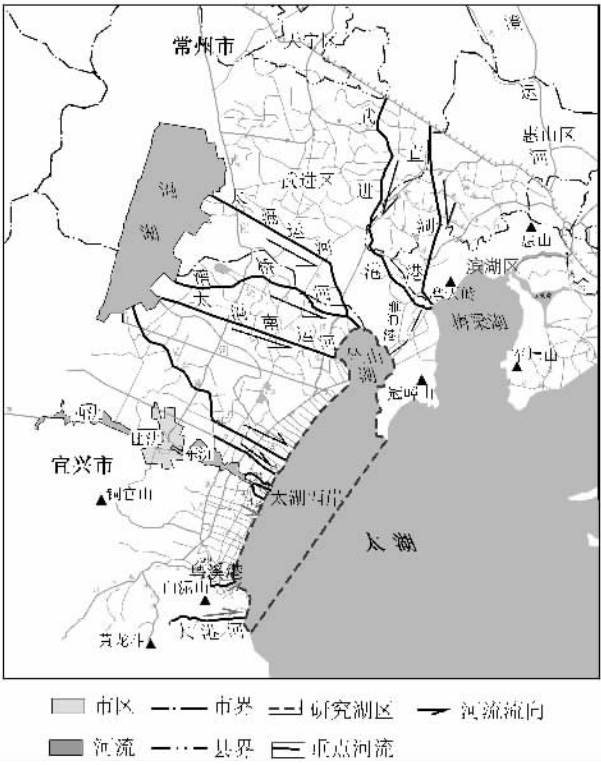


图1 研究区域地理位置

分被水生生物吸收利用,一部分以各种形式溶解于水中,还有一部分则通过物理的、化学的和生物的作用,沉积于湖底,经过长年积累形成底泥。底泥表层积累的营养物质,可以被微生物直接摄入利用,进入食物链,也可能成为水体潜在的内源性污染源。在适当的条件下,部分营养元素可从沉积物中向上层水体释放,使水体营养负荷增加^[5-6]。由于这种内源负荷与现代沉积物营养物含量及底泥蓄积有密切关系,因此针对竺山湖及太湖西岸湖区底泥沉积物的特性进行研究,分析湖底沉积物中营养物赋存分布及其蓄积量,对研究湖泊内源污染和制定可能的清淤方案,进而对控制湖泊的富营养有重要意义。

2 研究方法

2009年,为精确反映湖区水下地形和底泥分布状况,确定湖泛潜在污染源分布特征,笔者对沉积物的水深、泥深、沉积物的理化特性等进行采样调查^[7]。

2.1 调查点位选择

湖底调查区域共约260 km²,整个调查区域共布设测定沉积物理化特性的样点75个,并在各河口区及竺山湖湾加密测定,如图2所示。

2.2 样品的采集

每个断面,按不同的深度,分别采集样品。浅水样点直接用小铲子采集沉积物,深水样点用抓式采泥器采集沉积物。采集到的样品用小铲子将其直接转装入聚乙烯塑料袋中,质量在2000 g(泥质样)至

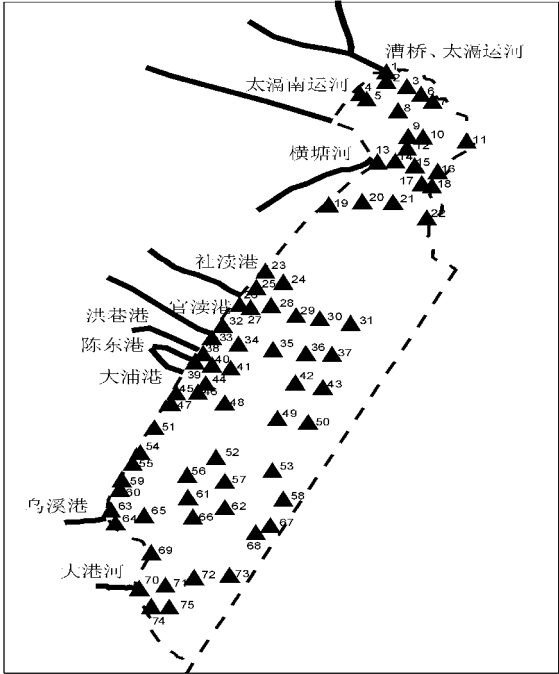


图2 底泥柱状样点图

4000 g(细沙试样)之间。对装好的样品,当即做好记录,放好标签。采集的底泥带回室内风干,并用10目的土壤筛筛除杂物和石块,待用。

2.3 分析测试方法

沉积物粒径采用筛分法、沉降法^[8]测定,含水率采用烘干法测定,有机质(OM)含量采用水合热重铬酸钾氧化-比色法^[9]测定,TN含量采用硒粉-硫酸铜-硫酸钾-硫酸消煮法^[10]测定,TP含量采用碳酸钠熔融法^[11]测定。

3 调查结果与分析

3.1 沉积物粒径

通常情况下,底泥颗粒物粒径越小,吸附性越好,底泥中营养盐的释放量越小。太湖竺山湖及其西沿岸湖区底泥主要为黏土质粉砂和含黏土粉砂,总含量都达80%以上,各湖区基本无差异,底泥粒度组成见表1。

表1 调查区域底泥粒度组成

区域	粒径			
	中值/ μm	$<4\mu\text{m}/\%$	$4\sim63\mu\text{m}/\%$	$>63\mu\text{m}/\%$
竺山湖	21.4	9.63	83.58	6.79
西沿岸北部	17.6	8.38	88.89	2.73
西沿岸南部	21.9	8.13	85.81	6.05

从表1可以看出,粒径小于 $4\mu\text{m}$ 的黏土底泥含量以竺山湖最多,粒径大于 $63\mu\text{m}$ 粗沙含量太湖西沿岸北部最低,以此粒径结构来分析,竺山湖沉积物中吸附性好的黏土颗粒多些,因此沉积物中营养物浓度可能要高于其他2个调查区。从中值粒径来看,太湖西沿岸北部湖区的沉积物粒径总体要稍小。

于其他 2 个调查区 ,可能是由于 2008 年清淤工程将上层粒径较大、较松软的底泥清除后所致。

3.2 底泥含水率

底泥含水率会直接影响沉积物中营养盐和污染物向湖水中的释放速率 ,沉积物中的营养盐和污染物一般先进入间隙水再释放到上覆水中 ,因此底泥含水率越高则底泥中营养盐和污染物向上覆水的释放能力越强。

根据湖区底泥表层含水率调查结果 ,竺山湖表层底泥含水率显著高于太湖西岸湖区北段的清淤区及南段湖区 ,尤以湖湾东部最高 ,平均含水率为 57% ,已达到淤泥水平 (>55%) ,而太湖西岸湖区北段及南段湖区底泥表层平均含水率基本无差异 ,均较低 ,说明清淤工程已经比较有效地降低了表层浮泥。

调查湖区底泥含水率垂向分布结果见图 3。

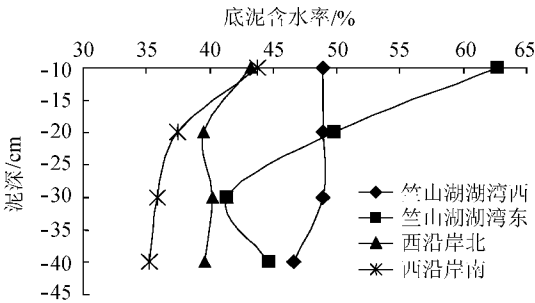


图 3 调查湖区底泥含水率垂向分布

从图 3 可以看出 ,调查区域内底泥含水率均表现为自表向下逐步降低。其中竺山湖湖湾东部降低趋势最明显、西沿岸南次之、竺山湖湖湾西部和西沿岸北段降低程度最小。此现象表明竺山湖湖湾东部 ,受风浪影响较小 ,近些年新沉积的颗粒及碎屑物质在表层堆积较多 ,表层污染较严重 ,这也从另一个方面说明西沿岸北段进行的清淤工程有利于降低底泥的疏松程度 ,防止底泥再悬浮。竺山湖湖湾西部在 20 cm 以下的底泥含水率明显高于竺山湖湖湾东部、西沿岸北段、西沿岸南段湖区 ,平均含水率为 48% ,表明竺山湖湖湾西部长期受风浪影响较小及漕桥河、太 漏运河、横塘河等主要入湖河流入湖污染物的沉积影响 ,表层污泥虽未达到淤泥程度 (>55%) ,但含水率高 (48%) 的底泥很厚 ,大于 40 cm 再悬浮释放污染物的风险较大。

3.3 沉积物有机质(OM)含量

图 4、图 5 为调查湖区沉积物表层及垂向有机质含量分布情况。

根据 75 个样点的调查结果 ,太湖西沿岸及竺山湖整个调查区域表层底泥中有机质含量变化介于 0.14% ~ 3.51% 之间 ,从图 4 可以看出 ,从时间上看 ,与历史数据相比 ,除西沿岸北段清淤区外 ,竺山

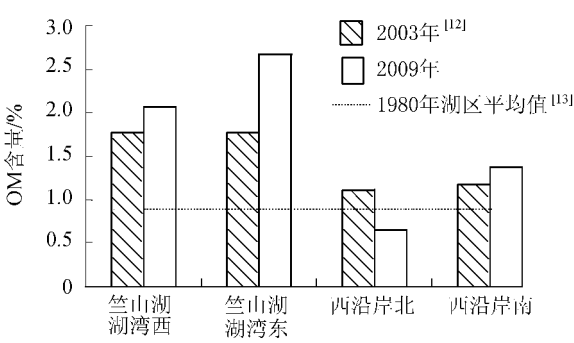


图 4 调查区域表层底泥有机质平均含量分布

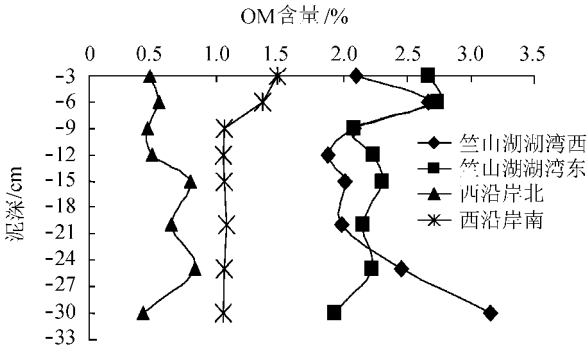


图 5 调查湖区底泥有机质垂向分布

湖湖湾东、西部及太湖西沿岸南部区域表层底泥中有机质含量持续升高 ,表明由于太湖流域工业排放、农村面源污染等因素 ,近 20 年来调查区沉积物环境持续恶化。但是西沿岸北段清淤区表层底泥有机质含量与历史数据相比出现了显著下降 ,说明清淤工程已经较有效地降低了表层浮泥。从空间上看 ,调查区内表层底泥有机质含量的空间分布差异明显 ,以竺山湖湖湾东部最高 ,平均含量为 2.67% ,其次是竺山湖湖湾西部 (2.07%) ,西沿岸南段 (1.38%) ,最小为西沿岸北段的清淤区 ,仅为 0.66% ,说明竺山湖区水体常年处于背风、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 ,导致表层沉积物中有机质含量偏高 ,而清淤则能有效降低表层底泥污染。

从图 5 可以看出 ,与表层底泥有机质含量的空间分布差异类似 ,在不同垂向深度 ,有机质含量平均表现为 :竺山湖湖湾东部 > 竺山湖湖湾西部 > 西沿岸南段 > 西沿岸北段清淤区。除西沿岸北段清淤区外 ,各区底泥均表现为 :① 0 ~ - 9 cm 表层有机质含量迅速降低 ,表明 0 ~ - 9 cm 底泥有机质含量较高 ;② 从 - 9 cm ~ - 30 cm ,西沿岸南段、竺山湖湖湾东部湖区底泥有机质含量无显著变化 ,而竺山湖湖湾西部湖区底泥从 - 9 ~ - 20 cm 无显著变化 ,在 - 20 cm 以下时有机质含量显著升高 ,至 - 30 cm 已达到 3.15% ,甚至高于竺山湖湖湾东部表层有机质含量。究其原因 ,这可能与历年污染有关 ,竺山湖湖湾西部

有多条入湖河流,多年来大量污染物通过河流进入湖体,并沉积在湖底,从而形成了一个底泥高污染层。西沿岸北段清淤区垂向有机质含量无显著性变化,表明清淤工程比较有效地降低了表层浮泥,对于减缓沉积物污染释放有一定作用。

3.4 底泥 TN 含量

图 6、图 7 为调查湖区沉积物表层及垂向 TN 含量分布情况。

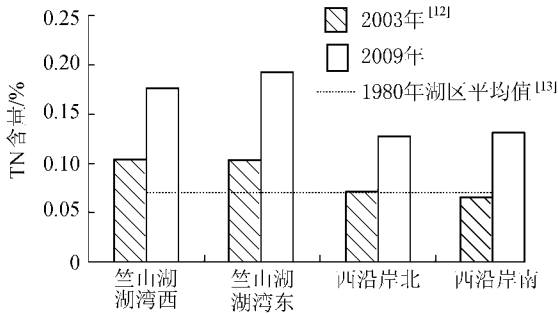


图 6 调查湖区表层沉积物 TN 含量分布

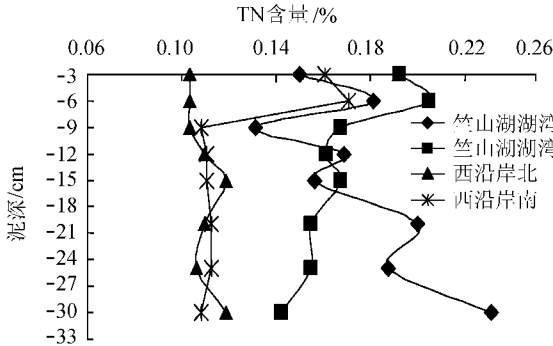


图 7 调查湖区沉积物 TN 含量垂向分布

根据 75 个样点的调查结果,太湖西沿岸及竺山湖整个调查区域表层底泥 TN 含量平均为 0.15%。从图 6 可以看出,从时间上看,与历史数据相比,各区域表层底泥中 TN 含量持续升高,表明由于太湖流域工业排放、农村面源污染等因素,近 20 年来调查区沉积物环境持续恶化,内源释放风险不断加大。从空间上看,与有机质类似,表现为竺山湖湖湾东部(0.192%)>竺山湖湖湾西部(0.177%)>西沿岸南段(0.132%)>西沿岸北段清淤区(0.128%),说明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,导致表层底泥中 TN 含量偏高。

从图 7 可以看出,在表层底泥 0 ~ -9 cm,各区底泥 TN 含量平均表现为竺山湖湖湾东部>竺山湖湖湾西部>西沿岸南段>西沿岸北段清淤区。除西沿岸北段清淤区外,各区底泥均表现为表层 TN 含量迅速降低,表明 0 ~ -9 cm 底泥中 TN 含量较高,这可能与近年藻华、湖泛污染物沉积有关。在 -9 ~ -30 cm 表层底泥,各区底泥 TN 含量平均表现为竺

山湖湖湾西部>竺山湖湖湾东部>西沿岸南段=西沿岸北段清淤区。在表层底泥 -9 cm 以下,西沿岸南段、竺山湖湖湾东部湖区底泥 TN 含量无显著变化,而竺山湖湖湾西部湖区底泥 TN 含量显著升高,至 -30 cm 已达到 0.23%,甚至高于竺山湖湖湾东部表层 TN 含量(0.19%),这与有机质含量变化规律相似,可见竺山湖湖湾西部多条入湖河流多年来携带的污染物 TN 沉积量较大。在表层底泥 -9 cm 以下,西沿岸南段 TN 含量与西沿岸北段清淤区 TN 含量相当,可见西沿岸南段 TN 均沉积在表层,这可能与西沿岸南段发生湖泛有关。西沿岸北段清淤区垂向 TN 含量无显著性变化,平均含量低于其余 3 区,表明清淤工程起到了一定作用。

3.5 沉积物总磷(TP)含量

图 8、图 9 为调查湖区沉积物表层及垂向 TP 含量分布情况。

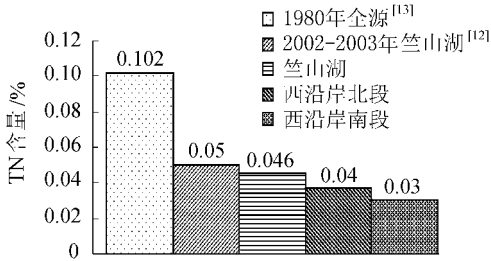


图 8 调查湖区表层沉积物 TP 含量分布

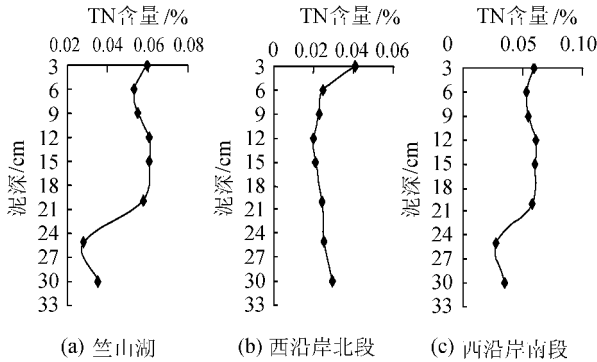


图 9 调查湖区沉积物 TP 含量垂向分布

根据 75 个样点的调查结果,竺山湖及太湖西沿岸沉积物表层 TP 含量平均为 0.0382%，从图 8 可以看出,与 20 世纪 80 年代的全湖表层平均含量 0.102%，2002—2003 年的调查历史结果 0.05% 相比,含量偏低。太湖藻类暴发已多年,属于藻型湖泊,藻型湖泊表层沉积物中磷比草型湖泊更易释放,所以表层沉积物磷含量偏低,也有可能含磷洗衣粉的禁用有关。TP 总体分布规律为:竺山湖湖区含量稍高于太湖西沿岸南、北段湖区,平均含量为 0.046%,以漕桥河、雅浦港口样点区域最高,其次是马山西沿岸湖区。太湖西沿岸湖区的表层 TP 含量平均为 0.034%,其中以西沿岸南段的乌溪港所面

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)