

长寿湖表层沉积物中氮的赋存形态及污染评价

胡鹏飞, 何太蓉

(重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 400047)

摘要:为揭示长寿湖表层沉积物中营养盐的赋存特征,于 2009 年 4 月采集了该湖 15 个样点的表层沉积物,利用化学提取法测定并分析了表层沉积物中氮的赋存形态和污染程度。结果表明:(1) 长寿湖表层沉积物中总氮(TN)的含量为 1 240.0~5 110.0 mg/kg,其组成部分为有机氮(ON)、无机氮(IN)中以氨态氮(NH_4^+-N)为主。(2) 各形态氮的变异系数均为 0.1~1.0,属于中等强度变异。(3) 水流作用对长寿湖表层沉积物中氮的分布和迁移起到重要作用,养殖活动对其影响并不显著;水位高低对氮的分布也有一定影响。(4) 相关性分析表明,总氮(TN)的含量和空间分布几乎完全受到有机氮(ON)控制,无机氮(IN)的变化主要受到氨态氮(NH_4^+-N)的影响。(5) 长寿湖表层沉积物的污染较为严重,应加强治理。

关键词:沉积物; 氮; 赋存形态; 污染评价; 长寿湖

中图分类号:X524

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)04-0163-05

Forms and Pollution Assessment of Nitrogen in Surface Sediments of Changshou Lake

HU Peng-fei, HE Tai-rong

(College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

Abstract: In order to illuminate nutrient occurrence characteristics in surface sediments of Changshou Lake, sediments samples at 15 sampling sites were collected in April of 2009. Forms and pollution degree of nitrogen in the surface sediments of Changshou Lake were analyzed by chemical extraction in this paper. Results were as followed. (1) Content of total nitrogen (TN) ranged from 1 240.00 mg/kg to 5 110.00 mg/kg. The main form of total nitrogen (TN) was organic nitrogen (ON). Ammonium nitrogen (NH_4^+-N) was the dominant part of inorganic nitrogen (IN). (2) Coefficient of variation of every nitrogen forms ranged between 0.1 and 1.0, which belonged to moderate intensity of variation. (3) Current of water played an important role in the distribution and migration of nitrogen, the impact of aquaculture was not obvious. But the water degree had some influences on distribution of nitrogen. (4) The correlation analysis among different nitrogen forms suggested that the concentrations and distribution of total nitrogen (TN) were mainly controlled by organic nitrogen (ON), and inorganic nitrogen (IN) was affected by ammonium nitrogen (NH_4^+-N) almost. (5) The surface sediments showed moderate degree pollution, so local government should strengthen the monitoring and management of Changshou Lake urgently.

Key words: sediments; nitrogen; forms; pollution assessment; Changshou Lake

内源污染引起的水质恶化是我国湖泊水域生态系统面临的重大环境问题之一^[1-5]。水体富营养化过程由外源污染和内源污染共同控制^[6],沉积物作为湖泊生态系统中最主要的内源,影响着营养物质的积累和间歇性再生^[7],当外源污染得到一定控制后,作为内源负荷的沉积物将对水体产生显著影响。沉积物

是湖泊的重要氮储库^[8-9],对氮的地球化学行为具有重要意义。氮的循环过程较为复杂,作为水生生态系统循环过程中的重要控制因子,不同形态氮对水生藻类的生长及行为具有不同的影响^[10-11]。研究沉积物中氮的赋存形态及其环境意义,是准确理解沉积物—水体系统氮循环过程的重要环节,对湖泊生态系统的

收稿日期:2011-12-18

修回日期:2012-02-18

资助项目:重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室 2007 年度访问学者基金项目(KLVF-2007-4);重庆市科委软科学计划项目(CSTC2011CX-rkx0280);地理学重庆市高等学校“十二五”市级重点学科资助

作者简介:胡鹏飞(1986—),男,安徽省肥西人,硕士研究生,主要从事环境灾害与生态保护研究。E-mail:hpfei1986@yahoo.com.cn

通信作者:何太蓉(1973—),女,重庆市丰都人,博士,教授,主要从事自然资源与环境研究。E-mail:he_torong@263.net

保护具有重要意义^[12]。

长寿湖是由“一五”期间重点工程(修建于 1956 年)的狮子滩水电站大坝拦截长江一级支流龙溪河而形成的人工淡水湖,是重庆市境内最大的人工湖。关于长寿湖水体富营养化的研究较多^[13-16],但是关于沉积物中氮的赋存形态的研究尚未见报道。本文基于对长寿湖污染较严重的中西部湖区(东部湖区为自然保护区)表层沉积物中氮的赋存形态及其污染程度的分析,以期获得氮的详细地球化学行为信息,为合理开发及治理长寿湖提供理论参考。

1 研究区概况

长寿湖位于重庆市长寿区境内,地理坐标为北纬 29°50′—30°04′,东经 107°15′—107°25′。长寿湖的主要水源为龙溪河,其流域面积 3 248 km²,多年径流量为 54.0 m³/s,是重庆市辖区内流入长江的主要次级河流。长寿湖内港汊纵横交错,200 多个大小岛屿星罗棋布,水域面积约 6 667 hm²,平均水深 15 m,最大水深 50 m,为重庆市境内最大的淡水湖。长寿湖的最初功能为发电和蓄水灌溉,随着养殖业、旅游业的蓬勃发展,现已成为集饮用、灌溉、旅游、养殖、发电为一体的多功能水体。近年来,由于养殖业、旅游业以及龙溪河流域工农业生产的影响,长寿湖水质受到严重污染,龙溪河流域综合治理已经引起重庆市的重点关注。

2 材料与方法

2.1 样品采集及预处理

2009 年 4 月在长寿湖布设了 15 个沉积物采样点。用抓斗式采样器采集表层沉积物(0—5 cm),具体情况见表 1,封存于聚乙烯袋中,冷藏带回实验室,经研磨,过 80 目筛,封存后供分析。

2.2 分析方法

沉积物样品中的总氮(TN)测定采用杜马斯燃烧法,氨态氮(NH₄⁺—N)测定采用氯化钾浸提—靛酚蓝比色法,硝态氮(NO₃⁻—N)测定采用紫外分光光度

法。由于杜马斯燃烧法测定总氮的精度很高^[17-18],并且沉积物中亚硝态氮(NO₂⁻—N)含量通常可以忽略不计^[19],因此有机氮(ON)的含量可由总氮与氨态氮和硝态氮二者之和的差值粗略得出。实验数据的统计分析采用 SPSS 17.0 软件。所有实验测试在重庆市出入境检验检疫局化矿金中心实验室完成。

表 1 各采样点采样情况

采样点编号	地点	纬度	经度	水深/m
1	三星岛侧	29°54′37″	107°14′57″	9.5
2	人头山岛	29°55′14″	107°15′23″	15.0
3	桃花荡	29°55′46″	107°15′44″	8.0
4	竹子滩渡口	29°55′59″	107°16′30″	24.5
5	加勒比岛	29°56′23″	107°17′02″	18.0
6	寿岛/三台	29°56′33″	107°17′48″	15.0
7	寿岛北	29°56′44″	107°18′24″	21.0
8	运河中	29°57′25″	107°18′05″	5.0
9	高峰岛后万金山	29°57′40″	107°17′33″	8.0
10	高峰岛	29°58′02″	107°17′01″	21.0
11	老槽口前 3 km	29°58′31″	107°16′42″	20.5
12	老槽口	29°58′42″	107°15′54″	6.0
13	二蹬岩	29°59′18″	107°15′58″	16.0
14	李家寨	29°59′59″	107°15′56″	5.0
15	高山	30°00′29″	107°16′18″	8.5

3 结果与分析

3.1 不同形态氮的含量特征

长寿湖各采样点表层沉积物中不同形态氮的含量存在差异。总氮含量在 1 240.0~5 110.0 mg/kg 之间,平均含量为 3 198.0 mg/kg;有机氮是总氮的主要组成部分,平均占总氮的 97.16%,无机氮只占极微小的比例,平均占 2.84%;无机氮中氨态氮与硝态氮的含量相差较大,氨态氮为无机氮的主要部分,平均占无机氮的 78.1%,硝态氮只占 21.9%。根据戎静等^[20]的研究,变异系数的大小可以反映底泥氮的空间变异强度,通过长寿湖各形态氮的变异系数值可以确定其变异强度。长寿湖表层沉积物中各形态氮的变异系数均为 35%~43%,为中等强度变异(表 2)。

表 2 长寿湖表层沉积物中各形态氮的含量

测定结果	TN	ON	IN	NH ₄ ⁺ —N	NO ₃ ⁻ —N
最小值/(mg·kg ⁻¹)	1240.00	1096.76	50.62	38.71	10.49
最大值/(mg·kg ⁻¹)	5110.00	5006.96	163.24	137.15	34.92
中值/(mg·kg ⁻¹)	3130.00	3079.38	76.44	62.68	17.89
平均值/(mg·kg ⁻¹)	3198.00	3107.06	90.94	71.02	19.92
标准偏差/(mg·kg ⁻¹)	1131.25	1131.49	35.42	30.69	8.01
变异系数/%	35.0	36.0	39.0	43.0	40.0
占总氮百分比/%	100	97.16	2.84	2.22	0.62

与长江流域重要水体相比,长寿湖表层沉积物中总氮的平均含量高于滇池^[1]、鄱阳湖^[8]、洞庭湖^[8]、巢

湖^[9]以及太湖北部 3 个湖区^[21],低于武汉月湖^[8],可以推断长寿湖表层沉积物中总氮含量水平相对较高。

出现这种结果的主要原因可能是长寿湖为山区深水湖泊,湖水来源广泛,并且底泥受到扰动作用较弱,而长江中下游湖泊多为浅水湖泊,底泥受到的扰动作用较强,部分氮释放到水体中,导致底泥中氮的含量低于长寿湖。武汉月湖为城市湖泊,受到强烈的人为因素影响,氮的含量偏高。

3.2 不同形态氮的空间分布特征及影响因子

以长寿湖大坝附近的1号采样点氮的含量作为基准,利用各采样点氮的含量与基准之间的差值来反映长寿湖表层沉积物中不同形态氮的水平空间变化(图1)。图中纵坐标负值方向离横坐标越远的点表明其含量越低,而正值方向离横坐标越远,则表示含量越高。总氮和有机氮含量变化的总体趋势为其余采样点均低于大坝附近的三星岛侧,氨态氮的含量则为人头山岛(2号)、桃花荡(3号)和竹子滩渡口(4号)3个采样点高于三星岛侧,而硝态氮则为除寿岛/三台(6号)外其余采样点的含量均高于三星岛侧,与前三者差异较大(图1)。

总氮含量的最大值出现在下游长寿湖大坝附近的三星岛侧,说明该区域已沉积大量氮。离长寿湖大坝最近的几个采样点中除了桃花荡(3号)总氮含量较低外,其余均较高,并且竹子滩渡口(4号)出现总氮含量的次高值,湖区的总氮随着水流迁移到了长寿

湖下游湖区,由此可见水流对总氮的迁移具有明显的控制作用,同时有机氮、氨态氮、硝态氮也表现出类似的趋势,更加有力地的说明了水流在氮迁移中的重要作用。

总氮和无机氮的含量在位于高山(15号)的采样点中出现高值,高山(15号)离长寿湖入水口即龙溪河最近,此地出现高值,说明大量外源输入的氮在此沉积。高山(15号)、老槽口钱3 km(11号)、二蹬岩(13号)和李家寨(14号)4个采样点位于长寿湖的生态养殖区,总氮、有机氮和硝态氮含量在该区域变化较大,含量较低,可以推断出养殖活动对长寿湖沉积物中氮的影响并不显著。运河中(8号)、高峰岛后万金山(9号)和高峰岛(10号)等采样点的总氮、有机氮和硝态氮的含量变化相对较稳定,氨态氮含量存在起伏但并不明显。说明长寿湖中游表层沉积物中氮的沉积相对较均衡。

除了位于离长寿湖出水口、入水口最近的三星岛侧(1号)和高山(15号)外,其余水位较低的采样点如桃花荡(3号)、老槽口(12号)和李家寨(14号)的总氮和有机氮的含量相对较低,运河中(8号)、高峰岛后万金山(9号)含量相对也不高,其中运河中(8号)的氨态氮含量相对最低(表2、图1)。由此可以认为水位高低对长寿湖表层沉积物中氮的沉积具有一定的影响。

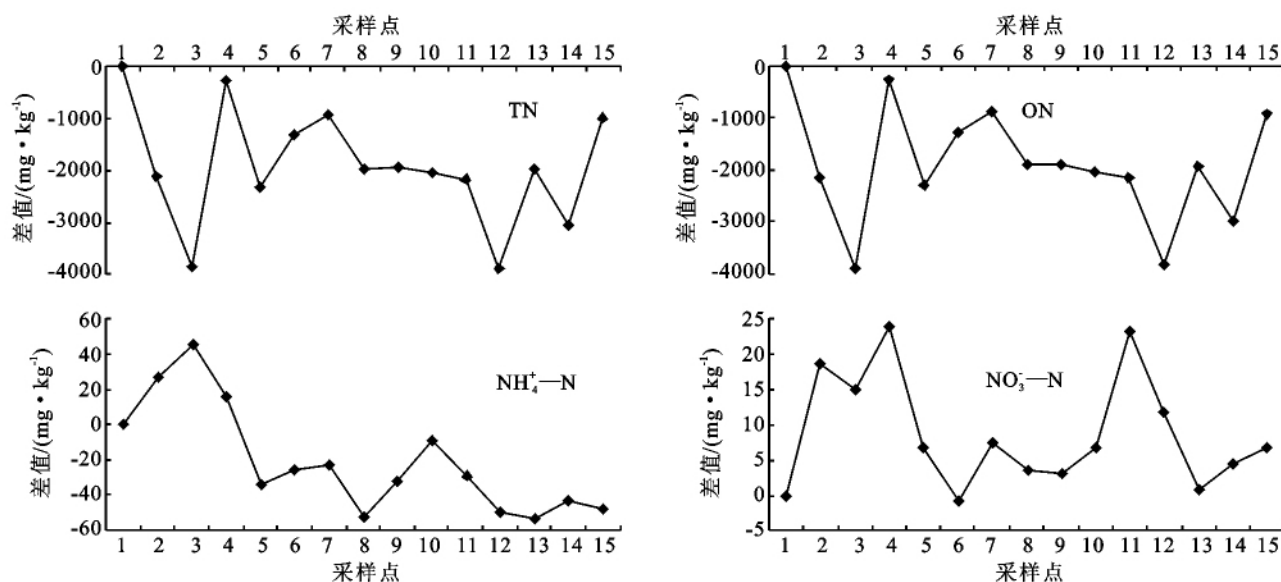


图1 长寿湖表层沉积物中各形态氮的空间变化

3.3 不同形态氮的相关性分析

长寿湖表层沉积物中各形态氮含量水平之间的相关系数矩阵见表3。可以看出,总氮和有机氮之间的相关关系非常显著($R^2=1.000$),说明总氮的含量和空间分布几乎完全受到有机氮的控制,并且二者在来源上保持高度的一致性,无机氮几乎对总氮的含量和分布不产生影响;无机氮和氨态氮具有很强的相关

性,并且显著性水平很高($R^2=0.981$),说明无机氮的含量和空间分布主要受到氨态氮的影响。硝态氮与无机氮的相关性也较高,但显著性水平不高,可以认为随机性较大。

3.4 长寿湖表层沉积物中氮的污染情况评价

3.4.1 以总氮为主的表层沉积物污染评价 采用加拿大安大略省环境和能源部发布的指南中能引起最

低级别生态毒性效应的总氮标准进行污染状况评价^[22-23]。此标准分为 3 级: (1) 安全级, 此时在水生生物中未发现中毒效应; (2) 最低级, 此时沉积物虽已污染, 但多数底栖生物仍可承受; (3) 严重级, 此时底栖生物群落已遭明显损害。各级别之间的临界值分别为 550 mg/kg 和 4 800 mg/kg。长寿湖表层沉积物中总氮的含量为 1 240.0~5 110.0 mg/kg, 均已超过最低级标准, 说明湖区表层沉积物已经对底栖生物具有一定的生态毒性效应, 其中三星岛侧和竹子滩渡口两处表层沉积物的含量超过严重级标准, 分别为 5 110 mg/kg 和 4 870 mg/kg, 可以推断其底栖生物群落已经遭受明显损害。寿岛北和高山等处表层沉积物中氮的含量已经接近严重级标准, 如继续遭受污染, 则可能迅速达到严重级水平, 将对底栖生物群落及生态环境构成严重威胁, 因此要加快对长寿湖的治理。

表 3 长寿湖沉积物中各形态氮的相关关系矩阵 ($n=15$)

氮形态	TN	ON	IN	NH_4^+-N	NO_3^--N
TN	1	1.000**	0.009	0.046	-0.139
ON	1.000**	1	-0.023	0.016	-0.159
IN	0.009	-0.023	1	0.981**	0.664**
NH_4^+-N	0.046	0.016	0.981**	1	0.505*
NO_3^--N	-0.139	-0.159	0.664**	0.505*	1

注: * 表示显著相关性水平 $p<0.05$; ** 表示极显著相关性水平 $p<0.01$ 。

3.4.2 以有机氮为主的表层沉积物污染评价 有机氮常用来衡量湖泊表层沉积物是否遭受氮污染的重要指标^[24-25], 其标准见表 4。将长寿湖表层沉积物中有机氮的含量转换为质量分数, 并与表 4 进行对照, 发现表层沉积物有机氮质量分数除了桃花荡 (0.110%) 和老槽口 (0.117%) 两处为Ⅲ类水平外, 其余皆为Ⅳ类水平, 并且介于有机氮污染临界值的 1.5~3.8 倍。桃花荡和老槽口有机氮的质量分数虽然属于Ⅲ类水平, 但已经非常接近Ⅳ类水平的临界值, 极易过渡到Ⅳ类水平, 形势不容乐观。可见强化长寿湖的治理工作已迫在眉睫。

表 4 表层沉积物有机氮评价标准

有机氮含量/%	类型	等级
<0.033	清洁	I
$0.033\sim0.066$	较清洁	II
$0.066\sim0.133$	尚清洁	III
>0.133	有机氮污染	IV

3.5 长寿湖表层沉积物中氮的来源分析

长寿湖的主要水源是龙溪河, 位于龙溪河上游的垫江、梁平两县的生产生活污水排放是导致长寿湖表层沉积物中氮含量过高的一个重要原因。两县工业

发展迅速, 但废水处理工作却相对滞后, 排放的工业污水经龙溪河进入长寿湖, 造成湖区的污染。龙溪河上游两岸分布着大面积的果园, 同时也分布着较多村镇, 农药、化肥的使用和生活污水的排放也对长寿湖形成污染。据报道, 长寿湖周边 10 个场镇, 日产生活废水约 8 000 t、生活垃圾约 32 t, 并且均未修建生活污水处理场和生活垃圾处理场, 生活废水通过小溪直接排入长寿湖^[26], 数字触目惊心。长寿湖中部湖区为旅游区, 经过大力开发, 旅游业比较发达, 但由此产生的污染治理问题却权责不清, 处理相对滞后, 同时该区北部的岛屿上分布着大片果园, 对湖区造成面源污染。长寿湖东部湖区为自然保护区, 受到周边的污染较小。

长寿湖的污染亦具有历史原因, 发达的渔业生产是长寿湖长期污染的一个重要因素。“九五”期间引进并推广的以动物粪便、饲料和化肥为饵料的大面积肥水性网栏养殖技术, 是长寿湖水水质进一步恶化的直接原因, 同时造成大量氮沉积于沉积物中, 成为湖区污染的内源。

4 结论

长寿湖表层沉积物中总氮含量为 1 240.0~5 110.0 mg/kg, 平均含量为 3 198.00 mg/kg; 有机氮是总氮的主要组成部分, 无机氮只占极微小的比例; 氨态氮为无机氮的主要组成部分, 平均占无机氮的 78.10%, 硝态氮只占较小部分; 各形态氮的变异系数均为 0.1~1.0, 属于中等强度变异。水流作用在长寿湖表层沉积物氮的分布和迁移中扮演重要角色, 养殖活动的影响并不显著, 水位高低对氮的分布也有一定影响。相关性分析表明, 总氮的含量和空间分布几乎完全受到有机氮的控制, 无机氮的变化主要受到氨态氮的影响。长寿湖表层沉积物呈现较为严重的污染, 对底栖生物群落及生态环境已经产生不利影响, 应该加强治理。长寿湖表层沉积物中氮的主要来源为龙溪河上游垫江、梁平两县的生产生活污水排放, 旅游业和养殖业也是湖区沉积性氮的重要来源。分析结果可为研究和治理长寿湖提供一定的理论依据, 但尚未探讨氮含量的时间动态变化, 这将成为后续研究工作的主要方向。

致谢: 本研究野外采样工作得到刘存东硕士、张阳阳硕士和庄红娟硕士的帮助, 实验测试得到了重庆市出入境检验检疫局化矿金中心实验室全体工作人员的大力支持, 匿名审稿专家给出了建设性的修改建议, 在此谨致谢忱。

参考文献:

- [1] 朱元荣,张润宇,吴丰昌.滇池沉积物生物有效性氮和磷的分布及相互关系[J].环境科学研究,2010,23(8):993-998.
- [2] 沈丽丽,何江,吕昌伟,等.哈素海沉积物中氮和有机质的分布特征[J].沉积学报,2010,28(1):158-165.
- [3] 姜霞,王秋娟,王书航,等.太湖沉积物氮磷吸附/解吸特征分析[J].环境科学,2011,32(5):1285-1291.
- [4] 梁淑轩,闫信,秦哲,等.白洋淀水体沉积物间隙水与上覆水中氮盐空间分布特征[J].环境与健康杂志,2011,28(1):47-49.
- [5] 李如忠,李峰.巢湖十五里河沉积物生物有效性氮磷分布及相关性[J].环境科学研究,2011,24(8):873-881.
- [6] 俞海桥,方涛,夏世斌,等.不同生态修复措施下太湖西五里湖沉积物氮磷形态的时空分布[J].湖泊科学,2007,19(6):683-689.
- [7] 黄显兵,杜虹,黄洪辉,等.深澳湾表层底质沉积物中凯氏氮和总磷的时空分布[J].中国农学通报,2011,27(6):333-337.
- [8] 王圣瑞,焦立新,金相灿,等.长江中下游浅水湖泊沉积物总氮、可交换态氮与固定态铵的赋存特征[J].环境科学学报,2008,18(1):37-43.
- [9] 王书航,姜霞,钟立香,等.巢湖沉积物不同形态氮季节性赋存特征[J].环境科学,2010,31(4):946-953.
- [10] Cartaxana P, Cacador I, Vale C, et al. Seasonal variation of inorganic nitrogen and net mineralization in a salt marsh ecosystem[J]. Mangroves and Salt Marshes, 1999, 3(2):127-134.
- [11] Berman T, Chava S. Algal growth on organic compounds as nitrogen sources[J]. Journal of Plankton Research, 1999, 21(8):1423-1437.
- [12] 王禄仕,柴蓓蓓,刘虹.水源水库沉积物中氮的形态分布特征研究[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版,2010,42(5):734-740.
- [13] 张晟,李崇明,张勇,等.长寿湖富营养化调查[J].重庆环境科学,2003,25(3):32-35.
- [14] 杨刚,张晟,李崇明,等.重庆长寿湖水水质富营养化的调查与评价[J].西南师范大学学报:自然科学版,2003,28(3):492-494.
- [15] 杨志敏,熊海灵,张晟,等.重庆长寿湖富营养化评价及氮磷平衡研究[J].水土保持学报,2005,19(2):73-75.
- [16] 郭海涛,张进忠,魏世强,等.长寿湖沉积物中磷形态的季节变化特征[J].环境科学,2011,32(7):1994-1999.
- [17] 郭望山,孟庆翔.杜马斯燃烧法与凯氏法测定饲料含氮量的比较研究[J].畜牧兽医学报,2006,37(5):464-468.
- [18] 韩博,金凯,张文娟,等.凯氏定氮法与杜马斯燃烧法测定大豆粗蛋白的比较研究[J].中国畜牧杂志,2010,46(23):67-69.
- [19] 王雨春,万国江,黄荣贵,等.红枫湖、百花湖沉积物全氮、可交换态氮和固定铵的赋存特征[J].湖泊科学,2002,14(4):301-309.
- [20] 戎静,庄舜尧,杨浩.滇池底泥中氮素空间分布异质性分析[J].水土保持通报,2010,30(3):10-20.
- [21] 王秋娟,李永峰,姜霞,等.太湖北部三个湖区各形态氮的空间分布特征[J].中国环境科学,2010,30(11):1537-1542.
- [22] Mudroch A, Azcue D J M. Manual of Aquatic Sediment Sampling[M]. Boca Raton: Lewis Publications, 1995.
- [23] Leivuori M, Niemist L. Sediment of trace metals in the Gulf of Bothnia[J]. Chemosphere, 1995, 31(8):3839-3856.
- [24] 隋桂荣.太湖表层沉积物中OM、TN、TP的现状与评价[J].湖泊科学,1996,8(4):319-324.
- [25] 陈建军,黄民生,卢少勇,等.北京六湖水体和表层沉积物中氮污染特征与评价[J].华东师范大学学报:自然科学版,2011(1):12-20.
- [26] 政协重庆市长寿区委员会.关于视察长寿湖水水质监管情况的报告[EB/OL].(2009-02-10)[2011-09-08].
http://www.ccs.cn/zx/news/2009-2/2238_39963.shtml