

南四湖南阳湖区河口与湖心沉积物理化性质垂向分布特征对比分析

张智慧^{1,2}, 胡向辉^{2,3}, 李宝^{3*} (1. 山东师范大学人口·资源与环境学院, 山东济南 250014; 2. 临沂大学物流学院, 山东临沂 276005; 3. 临沂大学资源环境学院, 山东临沂 276005)

摘要 利用沉积物柱状采样器在南四湖南阳湖区湖心和河口分别采取原位柱状沉积物,对比分析了河口与湖心沉积物理化性质垂向分布特征。结果表明,南阳湖河口区与湖心区沉积物含水率、孔隙度、粒度、有机质、总磷和氨氮的垂向分布差异明显。湖心区沉积物孔隙度、粒度、有机质、氨氮和总磷含量随深度增加逐渐减小,沉积物颗粒中值粒径由40 cm以上的19~29 μm减至40 cm以下的7.28 μm,氨氮和总磷含量分别由表层(0~10 cm均值)的137和610 mg/kg降至56和410 mg/kg(30~40 cm均值)。河口区沉积物理化指标在45 cm以上较为接近,45 cm以下陡增。其中,有机质含量较表层增加4~6倍,河口区较湖心区沉积序列有“倒置现象”,河口泥沙沉积是导致其差异的主要原因。

关键词 理化性质;垂向分布;沉积物;南四湖

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)17-288-03

Vertical Distribution of Sediment Physicochemical Properties at Estuary and Center of Nanyang Zone from Nansi Lake
ZHANG Zhi-hui^{1,2}, HU Xiang-hui^{2,3}, LI Bao^{3*} (1. Institute of Population, Resource and Environment, Shandong Normal University, Jinan, Shandong 250014; 2. School of Logistics, Linyi University, Linyi, Shandong 276005; 3. School of Resources & Environment, Linyi University, Linyi, Shandong 276005)
Abstract Intact in situ sediment cores were collected by core sampler at estuary and center of Nanyang Zone from Nansi Lake, the vertical distribution of sediment physicochemical properties was analyzed. Results showed that the vertical distribution of sediments water content, porosity, grain size, organic matter, total phosphorus, ammonia nitrogen at estuary and center of Nanyang Zone were significantly different. Sediments porosity, grain size, organic matter, ammonia nitrogen and total phosphorus concentration in center decreased with depth, and the median diameter of sediment particle reduced from 19-29 μm in surface 40 cm to 7.28 μm under 40 cm, the concentration of ammonia nitrogen and total phosphorus reduced from 137 and 610 mg/kg (0-10 cm average) to 56 and 410 mg/kg (30-40 cm average), respectively. Sediment physicochemical properties at estuary were closer in surface 45 cm, and then significantly increase below 45 cm, where the sediment organic matter increased about 4 to 6 times than the surface. The sedimentary sequence at estuary had “inversion phenomenon” compared with the center, and the different depositional environment may be the main cause.
Key words Physicochemical property; Vertical distribution; Sediment; Nansi Lake

沉积物是湖泊环境中重要的组成部分,是上覆水体污染物质的源和汇^[1-2]。一方面,沉积物固体颗粒可以将氮磷营养元素、重金属、有机污染物等通过吸附、氧化、络合、沉淀等作用沉积下来,成为流域各种物质的汇。另一方面,在湖泊外源污染或湖底环境发生变化时,沉积物中赋存的污染物会随环境条件变化发生一系列物理化学生物反应,从沉积物中转化、解吸、释放出来,形成上覆水体的污染源。沉积物中污染物的释放能力受到沉积物理化性质的直接影响,沉积物赋存物质垂向分布的浓度梯度导致其向上覆水的扩散释放。众多研究表明,沉积物的组成、含水率、孔隙结构、形貌分布、表面物理化学性质等因素,对沉积物中污染物的迁移转化具有重要影响^[3-5]。沉积物不断积累沉积,形成不同时期富有差异的沉积层次,反映出不同时间湖泊环境的污染程度及水动力状况,湖泊沉积物被称为湖泊环境的记录簿^[6-7]。因此,自然环境具有复杂的空间异质性,不同区域的沉积环境及污染物分布有明显差异,对同一湖区不同位置的沉积物理化指标进行对比分析尤为重要。

南四湖是我国北方最大的淡水湖泊,自北向南由南阳

湖、独山湖、昭阳湖、微山湖4个湖泊串联而成,南北狭长,东西略窄,平均水深约为1.46 m,是典型的浅草型湖泊。随着周边经济的发展,南四湖污染程度不断加重,尤其以位于南四湖北部的南阳湖区污染更为突出。近年来,山东省政府加大了对南阳湖区污染的治理力度,疏浚工程也规划在案,然而对其不同区域沉积物理化指标的分析较少。笔者以南四湖污染最为严重的南阳湖区为研究对象,对河口区与湖心区沉积物的主要理化指标进行对比分析,以期对南阳湖区的污染治理与疏浚规划提供数据支撑与理论参考。

1 材料与方法

1.1 采样点分布 南四湖南阳湖区入河口众多,湖泊不同区域水动力作用复杂,湖泊沉积环境存在差别。根据前人相关研究及实地考察,将南阳湖沉积物代表性采样点分别布设在泗河入河口区(NYH1)及南阳湖湖心区(NYH2)(图1)。采样点的选择均避开人为活动的干扰,沉积物采集的厚度均在50 cm以上。采样点的经纬度分别为:NYH1(35°13'11.0"N,116°39'51.1"E),NYH2(35°9'26.7"N,116°39'50.9"E)。

1.2 样品采集及预处理 用装有85 mm×600 mm有机玻璃管的沉积物柱状采样器,分别在NYH1及NYH2两处采取3根平行柱样品,在现场采用上顶法按表层10 cm每间隔2 cm,10 cm以下每隔5 cm进行切层,PE保鲜袋密封,带回实验室于4℃下保存,待处理分析。将部分新鲜沉积物自然风干,研磨过100目筛,备用。

基金项目 教育部大学生创新创业训练项目(201210452001);国家自然科学基金项目(21207058)。

作者简介 张智慧(1989-),男,山东微山人,硕士研究生,研究方向:水环境及其生态修复技术。* 通讯作者,副教授,博士,从事湖泊沉积物与水界面过程研究。

收稿日期 2015-04-27

1.3 样品分析 沉积物的主要理化指标包括含水率、孔隙度、有机质、粒度、总磷及氨氮。将样品在 105 °C 下烘干至恒重,测量含水率;通过在 60 °C 下烘干法,测定孔隙度^[8]。沉积物粒度采用马尔文激光粒度仪测定,并选用中值粒径指标;有机质用沉积物烧失重(LOI)来表示,将在 105 °C 下烘干的样品放入马弗炉中煅烧(550 °C) 6 h,计算有机质烧失量;总磷(TP):称取 0.2 g 左右干样,在马弗炉中 450 °C 下煅烧 3 h,转移到离心管中,加入 20 ml 3.5 mol/L 的 HCl,室温震荡 16 h,离心提取上清液,用钼酸铵分光光度法检测;氨氮:取 2 g 左右新鲜沉积物于离心管中,加入 25 ml 2 mol/L 的 KCl,震荡 30 min,离心取上清液,用纳氏比色分光光度法检测。

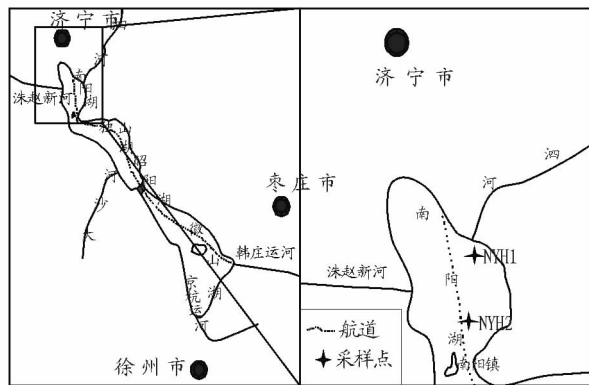


图1 采样点位置

2 结果与分析

2.1 沉积物含水率及孔隙度垂向分布 含水率是对沉积物持水性的度量指标,是沉积物中的含水比重,一般不包括沉积物中的化合结晶水。含水率的大小直接反应沉积物对水分的容纳和吸附情况,因含水率与孔隙度有较好的相关性,所以含水率也反映了沉积物的孔隙度状况及颗粒易悬浮程度。孔隙度是土壤及沉积物固体颗粒物空间的重要衡量指标。沉积物孔隙度越大,表明沉积物各层间弯曲度越小,沉积物中污染物向上覆水的扩散能力越强^[9]。由图 2 可知,南阳湖河口与湖心区沉积物的含水率与孔隙度差异明显,两指标变化趋势相近,湖心区含水率和孔隙度随深度增加而逐渐减小;河口区含水率和孔隙度在表层 0~6 cm 随深度增加而减小,6~40 cm 各层较为接近,变化波动小,在 40~50 cm 急剧增大,而后在 50 cm 以下又有随深度增加而轻微减小趋势。这是由于河口区水动力作用大,沉积了大量砂质矿物颗粒,而在 45 cm 左右有机质等疏松层的出现,导致了含水率和孔隙度的上升。45 cm 以上湖心区沉积物含水率及孔隙度总体大于河口区,而 45 cm 以下河口区大于湖心区。湖心区在表层 0~2 cm 沉积物的含水率和孔隙度最大,分别为 78.60% 和 90.18%,河口区表层 0~2 cm 含水率和孔隙度仅为 37.14% 和 59.63%。

2.2 沉积物粒度垂向分布 河流、湖泊沉积物粒度分布特征蕴含着水动力强弱信息^[10]。据研究,沉积物的中值粒径越小,越容易被波浪扰动引起悬浮,并随水流发生迁移;沉积物中粘土矿物对重金属等污染物的吸附能力很强,沉积颗粒

物越细小,粘土矿物越多,沉积物中碳、氮、磷及重金属的含量也更高^[11-12]。由图 3 可知,南阳湖河口与湖心沉积物粒度的垂向分布差异很大。湖心区沉积物粒度在 0~50 cm 各层均较河口区小,且波动性小。表明湖心区的沉积环境较河口区稳定,水动力作用小,而河口区水流大,对沉积物的分选多为大颗粒泥沙沉积。湖心区沉积物粒度垂向分布较为接近,40 cm 以上沉积物颗粒中值粒径多为 19~29 μm,为中粉砂等级;在 40 cm 以下粒度有明显减小,为 7.28 μm,达到极细粉砂等级。该研究中粒度取值仅为中值粒径,中值粒径减小,表明小于 4 μm 的粘土矿物颗粒含量增加。河口区 20 cm 以上沉积物粒径较大,波动较大,多为极细沙~细沙,明显大于湖心区粉砂颗粒,15~20 cm 出现粒径最大值,为 263.37 μm;河口区沉积物中值粒径在 20 cm 以下明显下降,由细沙过渡到粗粉砂,然后在 45 cm 以下变为细粉砂等级。

2.3 沉积物有机质垂向分布 沉积物中有机质主要为生物腐殖质及人为排放的有机化合物,在湖泊的物质循环过程中具有重要的作用,有机质的含量直接体现了沉积物中营养元素碳的赋存状况,并对沉积物氮磷等营养元素的释放也具有重要影响^[13]。有机质的氧化分解会消耗湖泊中的氧,释放大量可溶物质,加重上覆水体污染。其还可促进沉积物对重金属等污染物吸附、络合作用,影响沉积物污染物的赋存。由图 4 可知,湖心区沉积物有机质含量有随深度增加波动下降的趋势,但波动较大,表层 2~4 cm 有机质含量最大,为 19.05%。河口区沉积物有机质含量在 0~45 cm 很低,均不高于 5%,而 45 cm 以下急剧增加,在 50~55 cm,有机质含量达 16.93%。表明河口区富含腐殖质等有机质的沉积物层埋藏很深,而湖心区因湖泊水动力作用弱,腐殖质等有机质层分布在沉积物表层。45 cm 以上湖心区沉积物有机质含量明显大于河口区,约是河口区的 3~4 倍。

2.4 沉积物氨氮垂向分布 沉积物中的氮有无机氮与有机氮之分,有机氮多需降解为无机氮才能被生物所利用。无机氮主要有氨氮、硝氮和亚硝氮,沉积物中无机氮因其多是可溶性的,可通过间隙水向上覆水释放扩散,与上覆水体关系密切。沉积物中有机氮大多先在有氧条件下经过氨化作用生成氨氮,然后部分氨氮可直接向上覆水体释放迁移;另一部分氨氮可在氧化条件下继续发生硝化反应生成硝氮和亚硝氮,并可进一步发生反硝化反应,形成气态氮^[14]。因此,氨氮是沉积物中氮负荷向上覆水释放潜能的最直接表征。由图 5 可知,南阳湖河口区与湖心区氨氮的垂向分布随深度变化大体呈相反趋势。随深度的增加,河口区氨氮含量波动上升,而湖心区波动下降。河口区氨氮含量在 45 cm 以上涨幅较小,总体含量较 45 cm 以下低,而湖心区氨氮含量在 25 cm 以上明显高于 25 cm 以下层。湖心区沉积物 0~50 cm 各层氨氮含量均比河口区高,和沉积物有机质分布趋势较为一致。这主要因为氨氮的分布受有机质的影响明显^[15]。河口区与湖心区氨氮含量均在 30 cm 附近出现较低值,湖心区表层沉积物氨氮含量约是河口区的 3~4 倍。

2.5 沉积物总磷垂向分布 磷元素作为湖泊环境富营养化

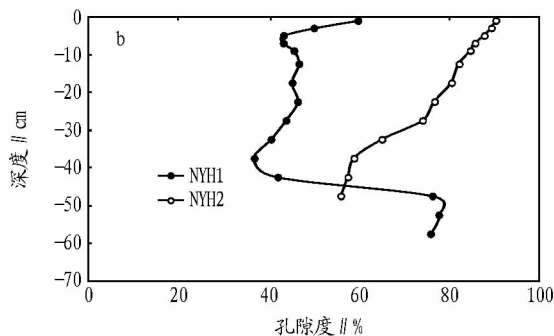
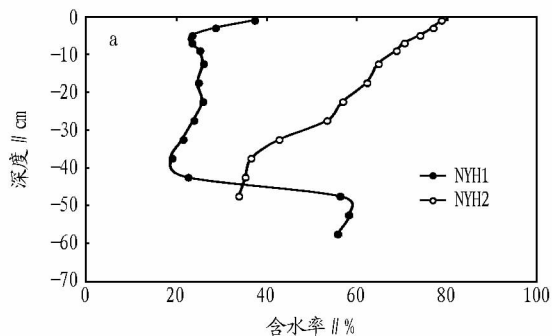


图2 南阳湖沉积物含水率与孔隙度垂向分布

污染得到初步控制的情况下,沉积物中的内源磷负荷对上覆水体的污染释放威胁越来越大。由图6可知,南阳湖河口区与湖心区沉积物总磷含量随深度的增加无明显变化,两区变化波动均较大。总体上,45 cm以上各层,湖心区总磷含量高于河口区,这可能表明泗河并不是南阳湖最主要的外源磷来源,但也有可能受沉积物孔隙度、粒度等性质的影响,对上覆水体中的磷元素吸附能力小。而在45 cm以下,湖心区总磷含量有下降趋势,河口区反而维持在较高含量。河口区和湖心区沉积物总磷含量在表层都相对略高,最大值均出现在表层4~6 cm,总磷含量分别为495.65和639.09 mg/kg。湖心区在25 cm附近出现低值,而河口区低值出现在35 cm附近。

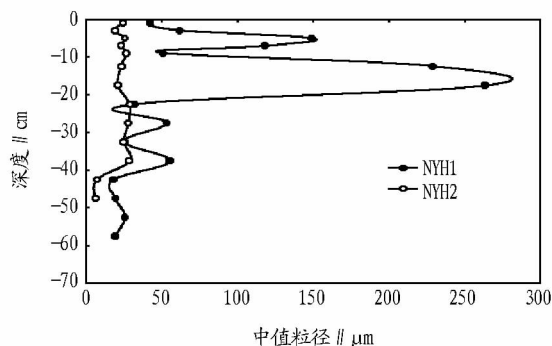


图3 南阳湖沉积物粒度垂向分布

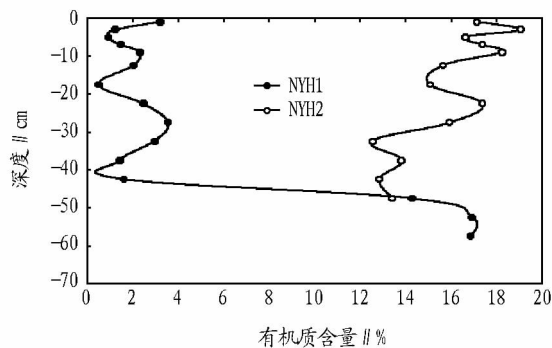


图4 南阳湖沉积物有机质含量垂向分布

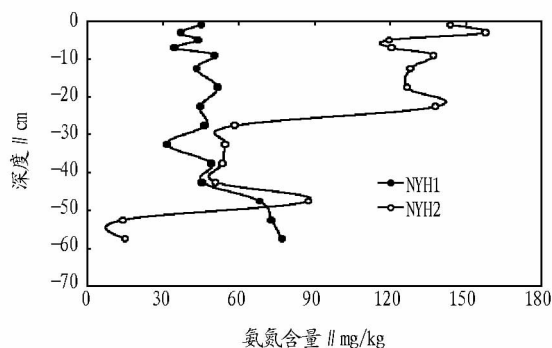


图5 南阳湖沉积物氨氮含量垂向分布

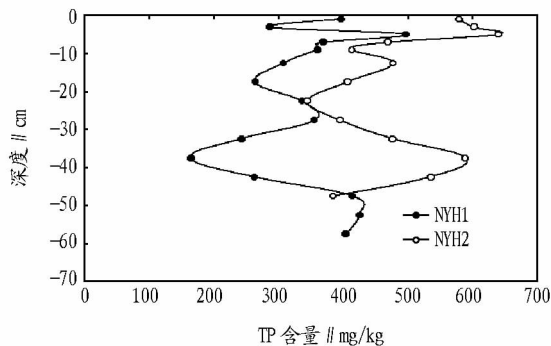


图6 南阳湖沉积物TP含量垂向分布

3 结论

南阳湖河口区与湖心区沉积物的含水率、孔隙度、粒度、有机质、总磷、氨氮的垂向分布差异明显。从有机质的垂向分布上看,河口区与湖心区有“倒置现象”。南阳湖河口区与湖心区氨氮的垂向分布随深度变化大体呈相反趋势。河口与湖心沉积物理化性质差异明显,沉积物污染物的垂向赋存也有明显不同,污染治理亦应区别对待。

参考文献

- [1] MURPHY T P, LAWSON A, KUMAGAI M, et al. Review of emerging issues in sediment treatment[J]. Aquatic Ecosystem Health and Management, 1999, 2: 419-434.
- [2] PALM A, COUSINS I, AXELMAN J. Evaluation of sequentially-coupled POP fluxes estimated from simultaneous measurements in multiple compartments of an air-water-sediment system[J]. Environmental Pollution, 2004, 128: 85-97.
- [3] 汪淼, 严红, 焦立新, 等. 滇池沉积物氮内源负荷特征及影响因素[J]. 中国环境科学, 2015, 35(1): 218-226.
- [4] 吕晓霞, 翟世奎, 于增慧. 长江口及邻近海域表层沉积物中营养元素的分布特征及其控制因素[J]. 海洋环境科学, 2005, 24(3): 1-5.

(下转第312页)

的重要限制性因子之一,对湖泊富营养化环境改善至关重要。磷元素主要来源为湖泊悬浮颗粒物吸附沉降下来的无机磷及生物循环与人为排放沉积下来的有机磷。湖泊沉积物赋存的磷元素是湖泊富营养化污染程度及长期潜在负荷的重要表征。沉积物-水界面之间磷营养元素的迁移交换对上覆水体产生重要影响^[16]。在当今环保意识增强、外源

以选择了 3 水平的浓度,即 6-BA 选择 1.5 mg/L。而在继代培养中对 6-BA 共设置了 3 个梯度,结果表明各水平间差异极显著,其中以 1.0 mg/L 最好。在生根培养中对 6-BA 共设计 4 个梯度,结果表明,4 个水平下的 6-BA 差异不显著,因而在生根培养中 6-BA 的影响不大。综合来看,在初代培养中需要高浓度的细胞分裂素,在继代培养中 6-BA 的浓度有所降低,而在生根培养中 6-BA 的作用很小,甚至可以不加。

该研究所使用的生长素是 NAA。研究发现,在初代培养中,4 个因素中 NAA 的作用最小,但 4 个水平差异显著,3、4 水平之间差异不显著,但只有 3 水平与其他 2 个水平差异极显著,而 4 水平与其他 2 个水平差异则不显著,因而选择 3 水平的 0.06 mg/L 作为 NAA 的最优浓度。在继代培养中 NAA 的作用明显优于 IBA,IBA 的作用不显著,与他人的结果不一致,可能是所设的浓度不理想所致。而 NAA 的浓度以 0.1 mg/L 为最佳。在生根培养中, NAA 在 4 个因素中也比较重要,4 个水平差异极显著,其中以 0.4 mg/L 诱导的根数最多。综合来看,在这 3 个培养阶段,NAA 的浓度变化较大,且浓度逐渐升高。

糖是培养基中不可缺少的碳源,该试验选用的糖源是蔗糖,在不同培养阶段用量也不完全相同。在初代培养中,蔗糖含量对诱导率产生显著和极显著的影响,4 个水平分出了 2 个等级,在 2 个较好的水平中,只有 2 水平下的结果与其他 2 个水平的结果差异极显著,因此 2 水平下的 20 g/L 蔗糖为最佳浓度。在生根培养中,4 个蔗糖浓度水平下的生根数差异显著或极显著,比较而言 3 水平下的蔗糖浓度最好,即 30 g/L。综合来看,在初代培养中蔗糖需求量不大,而在生根培养中则需要较高浓度的蔗糖。

正交设计是多因素分析的有力工具,可以从许多因素中选出主要影响因素及最佳水平,用较少的试验次数获得较多的信息^[6]。正交设计可以精简试验次数、克服在培养基

配方设计上的盲目性、提高工作效率和试验的可靠性^[7]。近年来正交设计等统计方法应用于许多植物的离体培养^[8-10],并取得良好的试验效果,但在黄菠萝组织培养中尚未见该方法的报道。该试验采用正交设计的方法,仅用较少的试验组合,通过统计学分析,明确了黄菠萝初代、继代、生根培养各阶段的主要因素,同时优化筛选了最佳培养基,简化了研究方案,加快了研究进程。成功应用正交设计法的关键是参试因子和试验水平范围的正确选择。该试验中大多数参试因子产生的效应存在明显差异,筛选出来的培养基中各因子的水平基本在试验水平范围之内,能大体反映全部组合的试验效果,因此该试验对参试因子和试验水平范围的选择是较适宜的。该研究未考虑因子间的交互作用,需要在以后的研究和实践中进一步完善。

参考文献

- [1] 张泉,朱成仁.黄菠萝采种及育苗技术的研究[J].林业勘察设计,2005(3):44-47.
- [2] 龙作义,苑国,周敬伟.温室效应对塑料大棚黄菠萝育苗的影响[J].牡丹江师范学院学报,2005(2):17-20.
- [3] 于树成,张淑华,闫红霞,等.黑龙江省主要阔叶树种绿枝扦插效果初步分析[J].林业勘察设计,2003(1):25-28.
- [4] 李霞,阎秀峰,刘剑锋.氮素形态对黄檗幼苗三种生物碱含量的影响[J].生态学报,2005,25(9):2159-2164.
- [5] 郭勇,石大兴,孙雁霞,等.黄檗的组织培养和快速繁殖[J].植物生理学通讯,2005,41(6):792.
- [6] 李春喜,姜丽娜,邵云,等.生物统计学[M].北京:科学出版社,2005:177-183.
- [7] 王建华,王义,孙国伟,等.人参组织培养的多因子正交试验研究[J].吉林农业大学学报,2006,28(6):648-651.
- [8] 张菊红,谢好,汪承刚,等.正交设计在欧洲松蓝组织培养中的应用[J].湖北大学学报,2006,28(2):183-186.
- [9] 宋莉英,谭净,高峰.苦瓜愈伤组织诱导的多因子正交试验研究[J].西南师范大学学报,2004,29(3):462-465.
- [10] 李成慧,蔡斌,单丽丽,等.应用正交设计法探讨蝴蝶兰叶片类原球茎的诱导[J].扬州大学学报,2004,25(2):76-78.
- [11] 李强,霍守亮,王晓伟,等.巢湖及其入湖河流表层沉积物营养盐和粒度的分布及其关系研究[J].环境工程技术学报,2013,3(2):147-155.
- [12] 揣小明,杨柳燕,程书波,等.太湖和呼伦湖沉积物对磷的吸附特征及影响因素[J].环境科学,2014,35(3):951-957.
- [13] 王圣瑞,赵海超,王娟,等.有机质对湖泊沉积物不同形态氮释放动力学影响研究[J].环境科学学报,2012,32(2):332-340.
- [14] HOHENER P, GACHTER R. Nitrogen cycling across the sediment-water interface in an eutrophic, artificially oxygenated lake[J]. Aquatic Sciences, 1994, 56(2):115-132.
- [15] FOG K. The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter[J]. Biological Reviews, 1988, 63(3):433-462.
- [16] SMALL G E, COTNER J B, FINLAY J C, et al. Nitrogen transformations at the sediment-water interface across redox gradients in the Laurentian Great Lakes[J]. Hydrobiologia, 2014, 731(1):95-108.

(上接第 290 页)

- [5] 胡康博,王毅力,徐昕照.昆明湖沉积物的组成和理化性质的粒度响应[J].环境科学与技术,2011,34(1):90-95.
- [6] 范成新,张路.太湖—沉积物污染与修复原理[M].北京:科学出版社,2009.
- [7] 范成新,张路,王建军,等.湖泊底泥疏浚对内源释放影响的过程与机理[J].科学通报,2004,49(15):1523-1528.
- [8] URBAN N R, DINKEL C, WEHRLI B. Solute transfer across the sediment surface of a eutrophic lake: I. Porewater profiles from dialysis samplers[J]. Aquatic Sciences, 1997, 59(1):1-25.
- [9] 王志齐,李宝,梁仁君,等.南四湖内源氮磷释放的对比研究[J].环境科学学报,2013,33(2):487-493.
- [10] 殷志强,秦小光,吴金水,等.中国北方部分地区黄土、沙漠沙、湖泊、河流细粒沉积物粒度多组分分布特征研究[J].沉积学报,2009,27(2):343-351.