

姚亚楠,姜爱莉,邢荣莲. 刺参-柄海鞘养殖系统水体和表层沉积物中磷的赋存状态[J]. 江苏农业科学,2016,44(8):316-319.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.08.092

刺参-柄海鞘养殖系统水体和表层沉积物中磷的赋存状态

姚亚楠,姜爱莉,邢荣莲

(烟台大学生命科学学院,山东烟台 264005)

摘要:以刺参-柄海鞘复合养殖系统为对象,分析传统养殖模式和刺参-柄海鞘养殖模式下的水体磷含量及表层沉积物中磷的赋存状态。结果表明:与传统的养殖模式相比,刺参-海鞘混养组在投饵和不投饵模式下水体和表层沉积物中各种磷形态含量均高于刺参套养组;表层沉积物中总磷含量为 358.600~598.700 mg/kg,其中有机形态磷含量低于无机形态磷,无机磷中铁铝结合态磷约占 20%,钙结合态磷约占 80%。这说明刺参-柄海鞘复合养殖系统不会导致沉积物中磷的过量积累,系统受污染程度较小,为刺参的健康养殖提供了科学依据。

关键词:刺参;海鞘;表层沉积物;磷形态

中图分类号: X171.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)08-0316-04

刺参是一种高蛋白、低脂肪、低糖、无胆固醇的营养保健品,具有很高的食用价值^[1],刺参养殖现已成为北方沿海水产养殖产业重要经济支柱之一。我国刺参最主要的生产模式为池塘养殖,养殖方式多以投饵为主,水域环境恶化、疾病危害加重等已成为制约该产业健康发展的瓶颈。造成此问题的主要原因是刺参养殖系统属于半人工控制的生态系统,对于外来干扰自我调节能力小^[2],残饵、粪便及生物残骸等废物堆积在养殖池底,导致养殖池塘生源要素磷的过度积累^[3]。在一定条件下,沉积物中的磷可向上覆水体释放,从而造成

“内源污染”^[4],养殖池塘富营养化。

刺参-海鞘复合养殖系统利用养殖系统中的生物间互利机制^[5],以微藻为摄取型生物控制水体营养盐水平,利用固着型滤食动物柄海鞘使水层的生物量向底质转移,为刺参提供食物,刺参通过摄食和生物扰动改善底质环境,降低水体污染,增强系统的自我调节能力。本试验以该系统为研究对象,分析养殖过程中水体磷含量及表层沉积物磷赋存状态,以期了解池塘的富营养化程度,有效估测池塘的污染风险,旨在为刺参的健康养殖提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验在莱州养殖基地进行,参池为 16 个 5 m × 5 m × 4 m 的池塘。试验所用微藻为烟台大学海洋生化工程研究所保存的单细胞藻类(扁藻、小球藻、角毛藻、底栖硅藻)。藻种大规模培养后接种于池塘,成年、健康的柄海鞘从未受污染的

收稿日期:2015-12-07

基金项目:国家自然科学基金(编号:31070368、31572622);山东省自然科学基金(编号:ZR2014CM031)。

作者简介:姚亚楠(1992—),女,山东菏泽人,硕士研究生,主要从事生物化工研究。E-mail: yyn905905@163.com。

通信作者:姜爱莉,博士,教授,主要从事海洋环境修复研究。E-mail: jal9035@163.com。

- [4] 韩璐,贾志宽,韩清芳. 引进苜蓿品种在半干旱地区的生态适应性研究[J]. 干旱地区农业研究,2004,22(1):115-117.
- [5] 宋兆伟,郝丽珍,黄振英,等. 光照和温度对沙芥和斧翅沙芥植物种子萌发的影响[J]. 生态学报,2010,30(10):2562-2568.
- [6] 陈立君,郭强,刘迎雪,等. 不同温度对大豆种子萌发影响的研究[J]. 中国农学通报,2010,26(10):140-142.
- [7] 辛霞,陈晓玲,张金梅,等. 国家库贮藏 20 年以上种子生活力与田间出苗率监测[J]. 植物遗传资源学报,2011,12(6):934-940.
- [8] 袁晖,何显平,兰立达,等. 大气 CO₂ 浓度和温度升高对紫花苜蓿生物量及其分配的影响[J]. 四川林业科技,2013,34(1):48-51.
- [9] 颜宏,矫爽,赵伟,等. 不同大小碱地肤种子的萌发耐盐性比较[J]. 草业学报,2008,17(2):26-32.
- [10] 李兵兵,魏小红. 徐严麻花秦艽种子吸水 and 萌发特性的研究[J]. 甘肃农业大学学报,2012,47(5):88-93.
- [11] 惠文森. 贮藏时间和温度对藜种子萌发的影响[J]. 西北民族大学学报:自然科学版,2012,33(1):23-26.

- [12] Rajjou L, Duval M, Gallardo K, et al. Seed germination and vigor [J]. Annu Rev Plant Biol, 2012, 63: 507-533.
- [13] Tlig T, Gorai M, Neffati M. Germination responses of *Diplotaxis harra* to temperature and salinity [J]. Flora, 2008, 203(5): 421-428.
- [14] 管博,周道玮,田雨,等. 盐碱及变温条件对花苜蓿种子发芽的影响[J]. 中国草地学报,2010,32(1):58-63.
- [15] 张东晖,云锦凤,刘芬,等. 不同贮藏时间披碱草种子劣变及活力测定[J]. 草业科学,2008,25(4):116-118.
- [16] 钟声,黄梅芬,戴聪莉,等. 室温保存不同年限的牧草种子发芽率测定[J]. 草业科学,1998,15(6):26-28.
- [17] 肖杰易,韩风,杨成前,等. 叶下珠种子贮藏时间与发芽关系的研究[J]. 现代中药研究与实践,2011,25(1):13.
- [18] 卢军. 低温和长期储藏对烟草种子萌发的影响[J]. 种子, 2015, 34(3): 65-67.
- [19] 马文广,崔华威,李永平,等. 不同药剂处理对低温逆境下烟草种子发芽和幼苗生长的影响[J]. 科技通报,2011,27(6):873-880.

烟台海域栉孔扇贝养殖器具上采集。

1.2 试验设计

试验前7 d排干池塘内的水,暴晒池塘底部,之后铺上约6~8 cm厚的底泥(放入前用孔径为1 mm的筛网过滤及高锰酸钾消毒处理),底泥之上布置1~2 kg的石头,按相同的布局分散在池底部,为刺参提供适宜的生活环境,增加刺参在箱底的活动面积,提高摄食率。按设置放置附着基并加池塘水(水深为1.5~2.5 m)以培养附着基上的微生物,接种培养单细胞藻类,3~5 d后藻类密度达到约500个/mL。按试验要求加入一定规格和数量的刺参和柄海鞘,柄海鞘采用吊养方式,将附着柄海鞘的尼龙绳悬挂于养殖池中,距水面约50~75 cm。

试验设4个处理组:A[小规模刺参(S) 10~15 ind/m²,大规格刺参(L) 5~6 ind/m²,不投饵]、B[小规格刺参(S) 10~15 ind/m²,大规格刺参(L) 5~6 ind/m²,柄海鞘800 g/(wt·m³),不投饵]、C[小规格刺参(S) 10~15 ind/m²,大规格刺参(L) 5~6 ind/m²,投饵]、D[小规格刺参(S) 10~15 ind/m²,大规格刺参(L) 5~6 ind/m²,柄海鞘800 g/(wt·m³),投饵]。每个处理设置3个重复,试验过程及时将死亡生物取出,并补充同规格的生物,保持养殖过程中生物数量稳定。

投饵模式每3 d投喂1次,干质量投饲率为全部刺参全体湿质量的5%(刺参饵料主要成分包括粗蛋白15%、粗脂肪2%~5%、粗纤维10%、粗灰分45%,购自山东青岛大海帝饲料有限公司),投喂前先用少量海水浸泡,投喂时均匀泼洒于养殖池中,使之在池底的分布保持均匀。刺参夏眠期间停止投喂。

每个池塘配备2台增氧机,每天06:30及18:30各开1次,每次2 h。养殖期间,根据潮汐情况进行换水,平均每天换掉池塘内30%~50%的水。冬季水温较低时,根据水质情况进行换水^[6]。

按照刺参的生长规律,整个试验分为以下阶段:(1) 2011-04-11—2011-07-10,刺参春季生长期;(2) 2011-07-11—2011-10-20,刺参夏眠期;(3) 2011-10-21—2011-11-20,刺参秋季生长期;(4) 2011-11-21—2012-02-20,刺参冬眠期;(5) 2012-02-21—2012-05-20,刺参第2个春季生长期。

1.3 试验方法

1.3.1 水体的采样及分析方法 每隔15~20 d于08:00用有机玻璃采水器在水面0.3~0.5 m水层处采取水样,按照《海洋调查规范》^[7]测定水体的总磷(TP)和活性磷酸盐(PO₄³⁻-P)的含量。

1.3.2 沉积物的采样、处理及分析方法 每隔15~20 d于08:00用自制抽屉式采泥器采集表层5 cm沉积物,剔除沉积物样品中砾石及动植物残体,实验室阴凉通风处进行初步晾干,再将沉积物样品摊在清洁的塑料薄膜上,用玻璃棒进行初步研磨,研磨时挑出沉积物中的动植物残体和石粒等,同时注意不要用力过大,以免使沉积物失去原有的组成结构。样品完全风干后,在研钵中研磨,过100目筛,保存备用。

采用欧洲标准测试委员会框架下发展的SMT法分析沉积物中磷赋存状态^[8-9]。分别测定沉积物中的铁铝结合态磷

(Fe/Al-P)、钙结合态磷(Ca-P)、无机磷(IP)及有机磷(OP)的含量,并计算无机磷(IP)和有机磷(OP)在沉积物磷形态中所占比例。

1.4 数据分析

采用SPSS 13.0进行数据分析,以 $P<0.05$ 为差异显著, $P<0.01$ 为差异极显著水平。

2 结果与分析

2.1 水体中磷水平的变化

图1、图2分别表示试验期间不同处理组水体总磷(TP)水平和活性磷酸盐(PO₄³⁻-P)水平的变化曲线。总磷的含量范围为26.290~41.550 μg/L,活性磷酸盐的含量范围为11.590~19.770 μg/L。试验期间水体中的总磷水平和活性磷酸盐水平的变化趋势基本一致,都是先逐渐升高,进入10月之后,随着水温逐渐降低,磷水平逐渐降低。

2种投饵模式下,刺参-海鞘混养组(B和D)的2种磷水平均略高于刺参套养组(A和C),差异不显著($P>0.05$),主要原因是混养组中柄海鞘在养殖过程中代谢产生一定量的磷。

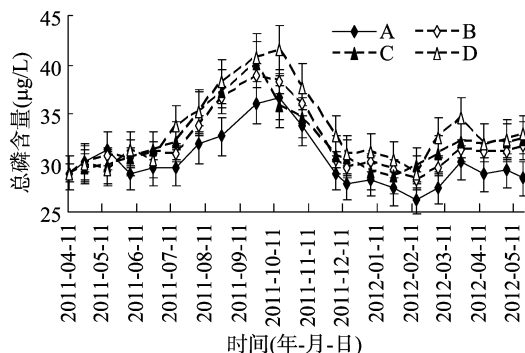


图1 水体中总磷水平的变化

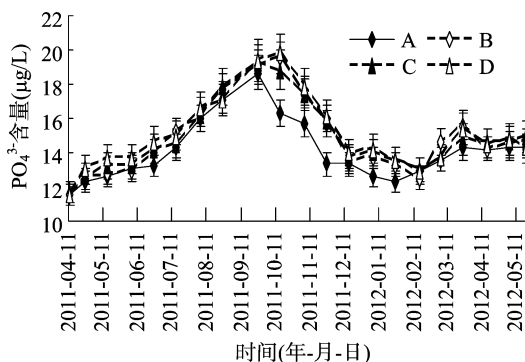


图2 水体中活性磷酸盐水平的变化

2.2 沉积物中磷形态的变化

2.2.1 沉积物中总磷水平变化 图3表示,试验期间沉积物中总磷(TP)水平变化曲线,沉积物中总磷含量为358.600~598.700 mg/kg。不投饵模式下,刺参套养组(A)总磷水平呈下降趋势,这是由于刺参代谢产生的无机磷和少量有机磷少于摄入的有机磷;投饵模式下,刺参套养组(C)总磷水平基本不变,这是因为刺参摄食饵料,对沉积物中磷的摄入量相应减少。在刺参套养系统中引入柄海鞘(B和D)之后,沉积物中总磷水平随养殖时间的延长而增加,这是因为柄海鞘在一定程度上起促进池塘沉积物有机物积累的作用。尤其是在刺参

夏眠期间,此时柄海鞘代谢旺盛^[10],产生大量的假粪沉积于池底,底栖硅藻大量繁殖,致使总磷水平提高幅度较大。2种投饵模式下,刺参套养组总磷水平均极显著低于刺参-海鞘混养组($P < 0.01$)。

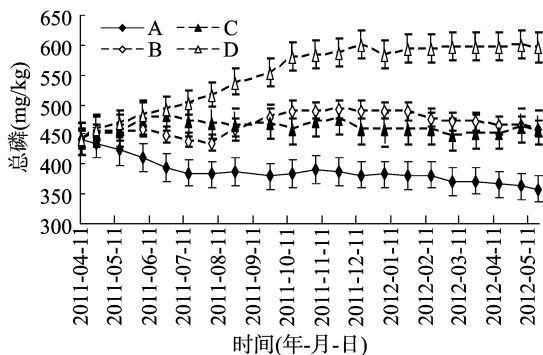


图3 沉积物中总磷水平的变化

2.2.2 沉积物中有机磷和无机磷水平的变化 图4、图5分别表示试验期间沉积物中有机磷(OP)和无机磷水平变化曲线,有机磷含量为145.400~302.200 mg/kg,无机磷含量为192.500~358.700 mg/kg。试验过程中沉积物中有机磷水平的变化与刺参的生长周期相符,在刺参的夏眠期和冬眠期沉积物中有机磷水平呈上升趋势,无机磷水平下降;而刺参生长期有机磷水平均呈下降趋势,且刺参秋季生长期有机磷水平高于春季生长期有机磷水平,无机磷则与有机磷水平呈相反态势。这主要是因为刺参是典型的沉积食性动物,以摄食沉积物的有机质为营养,包括残饵、微生物(混在泥沙中的底栖硅藻、细菌、原生动物、蓝藻等)和动、植物的有机碎屑及粪便等,可以有效降低沉积物的积累。进入夏眠期和冬眠期之后,刺参停止摄食^[11],使有机磷积累较多,同时底栖硅藻得以繁殖,有机质增加,并且底栖硅藻大量吸收无机磷,促使沉积物中无机磷释放。刺参、柄海鞘混养模式下,在刺参夏眠期无机磷水平基本保持不变,这是因为柄海鞘在此阶段处于代谢盛期,产生大量无机磷,为底泥中微藻的生长提供了磷源。

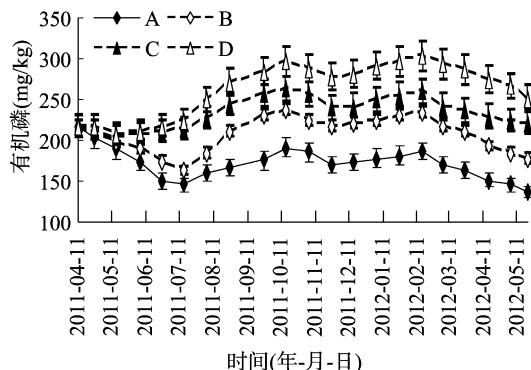


图4 沉积物中有机磷水平的变化

2种投饵模式下,刺参套养与刺参-海鞘混养组相比,后者有机磷和无机磷水平均较高,两者差异极显著($P < 0.01$),可能是由于柄海鞘排泄假粪,增加沉积物表面有机质,有机磷水平上升,同时柄海鞘代谢产生无机磷,水体中浮游微藻被柄海鞘摄食,对水体中无机磷吸收量减少,无机磷水平上升。

2.2.3 沉积物中无机磷和有机磷所占比例 图6-a、图6-b分别表示4个处理组在试验期间沉积物中有机磷和

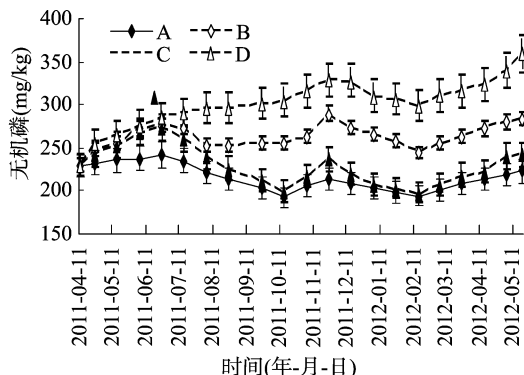
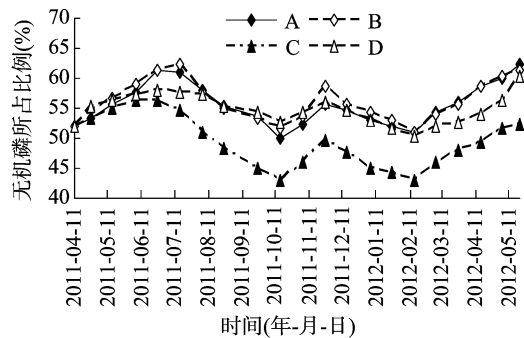
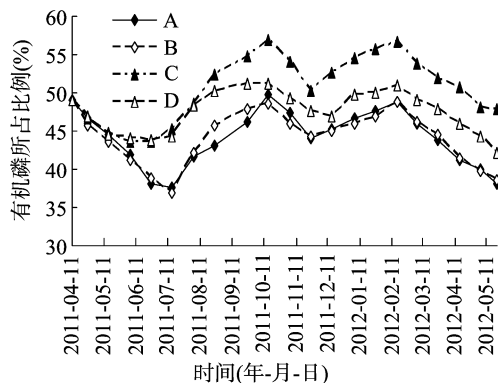


图5 沉积物中无机磷水平的变化

无机磷所占比例的变化曲线。有机磷只有部分可被矿化为生物可利用的磷形态,且需要适宜的环境条件^[12]。试验期间沉积物中磷的形态以无机磷为主,有机磷在沉积物中的含量相对无机磷明显偏低,且每个处理组之间有机磷含量的变化与刺参的生长阶段相符,有机磷矿化被释放到上覆水的潜力并不大。刺参-海鞘混养组和刺参套养组相比较,无机磷所占比例升高,有机磷所占比例降低,可见刺参、海鞘混养可有效降低池塘磷污染风险。



a. 沉积物中无机磷所占比例



b. 沉积物中有机磷所占比例

图6 沉积物中有机磷和无机磷所占比例

2.2.4 沉积物中铁铝结合态磷和钙结合态磷水平的变化

图7、图8分别表示试验期间沉积物中铁铝结合态磷(Fe/Al-P)水平和钙结合态磷(Ca-P)水平的变化曲线。钙结合态磷主要包括自生成因或生物成因的自生磷灰石磷以及与自生碳酸钙共沉淀或外源输入的各种难溶性的磷酸钙矿物^[13]。铁铝结合态磷主要指通过物理和化学作用吸附在铁、铝氧化物和氢氧化物胶体表面上的磷^[14],从铁铝结合态磷的含量和分布可以推测污染物种类、沉积底质类型、沉积环境的

氧化还原度等重要信息,目前判断沉积物污染程度的依据之一即是铁铝结合态磷水平^[15],污染较重的沉积物中铁铝结合态磷含量明显升高。

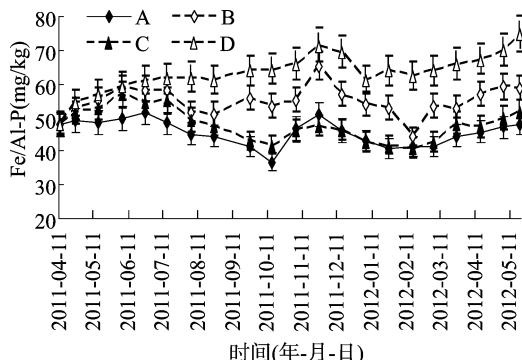


图7 沉积物中铁铝结合态磷水平变化

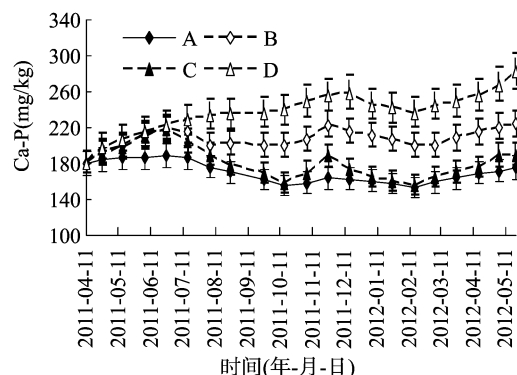


图8 沉积物中钙结合态磷水平变化

试验期间,沉积物中铁铝结合态磷的含量范围为36.900~74.800 mg/kg,钙结合态磷的含量范围为153.400~283.000 mg/kg。2种投饵模式下,刺参套养组与刺参-海鞘混养组相比较,后者铁铝结合态磷和钙结合态磷水平均较高,两者差异极显著($P<0.01$)。由图7、图8可知,2种磷水平变化与无机磷水平变化基本呈相同态势,在刺参春季生长期和秋季生长期均呈上升趋势,在刺参夏眠期和冬眠期均呈下降趋势。钙结合态磷所占比例较大,约为无机磷的80%,且随着刺参的生长阶段变化幅度不大,主要是因为钙结合态磷属于较稳定的磷组分,难以被生物所利用^[16]。铁铝结合态磷约占无机磷的20%,说明养殖系统污染较轻,并且随着刺参的生长阶段变化幅度较大,因为铁结合态磷不稳定,水体的氧化还原条件、酸碱性、生物作用等对其稳定性均构成影响,当铁离子表现为二价态时,易导致铁结合态磷分解而进入水体^[17]。

3 结论

相同投饵模式下,刺参-海鞘混养组沉积物中各种磷水平均高于刺参传统套养组,总磷含量为435.100~

598.700 mg/kg,沉积物中有机磷含量明显低于无机磷,有机磷矿化的潜力不大;无机磷中,活性较弱,基本不会进入上覆水的钙结合态磷占80%,铁铝结合态磷只占无机磷含量的20%。

研究结果表明,刺参-柄海鞘复合养殖系统不会导致沉积物中磷的过量积累和水体富营养化,不易引起生态风险。

参考文献:

- [1] 黄华伟,王印庚. 海参养殖的现状和存在问题及前景展望[J]. 中国水产,2007,10:50-53.
- [2] Bonanni P, Caprioli R, Ghiara E, et al. Sediment and interstitial water chemistry of the Orbetello lagoon (Grosseto, Italy): nutrient diffusion across the water-sediment interface[J]. Hydrobiologia, 1992, 235: 553-568.
- [3] Zhou H D, Jiang C L, Zhu L Q, et al. Impact of pond and fence aquaculture on environment[J]. Water Science and Engineering, 2011, 4(1): 92-100.
- [4] 赵建刚,乔永民. 汕头湾沉积物磷的形态分布与季节变化特征研究[J]. 环境科学, 2012, 33(6): 1823-1831.
- [5] Ju B, Chen L H, Xing R L, et al. A new integrated multi-trophic aquaculture system consisting of *Styela clava*, microalgae, and *Stichopus japonicus*[J]. Aquaculture International, 2015, 23(2): 471-497.
- [6] 高景山. 北方地区刺参池塘养殖技术[J]. 中国畜牧兽医文摘, 2011, 27(4): 64-65.
- [7] 国家海洋局. GB/T 12763—2007 海洋调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [8] Bala K P M, Ramanathan A L. Characterization of phosphorus fractions in the sediments of a tropical intertidal mangrove ecosystem[J]. Wetlands Ecology and Management, 2010, 18(2): 165-175.
- [9] Pardo P, Lopez-sanchez J F, Rauret G. Relationship between phosphorus fraction and major components in sediments using the SMT harmonised extraction procedure[J]. Anal Biochem, 2003, 376: 248-254.
- [10] 张晓凌. 柄海鞘摄食、呼吸和排泄的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2004.
- [11] 袁秀堂, 杨红生, 陈慕雁, 等. 刺参夏眠的研究进展[J]. 海洋科学, 2007, 31(8): 88-90.
- [12] 李楠, 单保庆, 张洪, 等. 沉积物中有机磷在pH和温度影响下的矿化机制[J]. 环境科学, 2011, 32(4): 1008-1014.
- [13] van Cappellen P, Berner R A. A mathematical model for the early diagenesis of phosphorus and fluorine in marine sediments: apatite precipitation[J]. Am. J. Sci., 1998, 288: 289-333.
- [14] 李江, 金相灿, 姜霞, 等. 太湖不同营养水平湖区沉积理化性质和磷的垂向变化[J]. 环境科学研究, 2007, 20(4): 64-68.
- [15] 岳伟忠. 珠江口柱状沉积物磷的分布特征及其环境意义[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(1): 21-27.
- [16] Boström B, Persson G, Broberg B. Bioavailability of different phosphorus forms in freshwater systems[J]. Hydrobiologia, 1988, 170(1): 133-155.
- [17] 潘成荣, 汪家权, 郑志侠, 等. 巢湖沉积物中氮与磷赋存形态研究[J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(1): 43-47.