

汤亚洲,陈沐松,李 财. 蓝藻降解对湖泊沉积物钨迁移转化的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(19):300-304.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.19.061

蓝藻降解对湖泊沉积物钨迁移转化的影响

汤亚洲¹, 陈沐松², 李 财²

(1. 安徽理工大学,安徽淮南 232000; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所,江苏南京 210002)

摘要:目前湖泊水体富营养化问题依然严重,蓝藻水华频繁暴发,蓝藻降解会形成局部死水区,导致沉积物重金属的释放,然而对于蓝藻降解如何影响沉积物钨的释放目前还不清楚。本研究采用高分辨扩散平衡装置(HR-peeper)原位获取蓝藻降解沉积物溶解态钨和锰的浓度剖面变化信息发现,蓝藻降解期间沉积物-水界面溶解氧浓度迅速降低形成厌氧条件;在厌氧条件下溶解态钨和锰的浓度显著增加,沉积物剖面溶解态钨的浓度平均值与对照组相比增加了29%~79%,溶解态锰的浓度平均值与对照组相比增加了38%~67%。沉积物中增加的钨会进一步扩散至上覆水中,显著增加上覆水体中溶解态钨的浓度。进一步分析发现,溶解态钨和锰浓度剖面分布一致,且0~30 mm深度沉积物溶解态钨和锰呈显著正相关关系,表明蓝藻降解沉积物中钨的释放主要受到锰的氧化还原控制的影响。

关键词:蓝藻降解;沉积物;钨;锰;迁移转化;溶解氧

中图分类号: X524 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)19-0300-04

水体中的钨由于其毒性强、来源广泛和持久性强而受到广泛关注,尤其是通过生物富集进入食物链后,对人体健康具有潜在危害^[1-3]。沉积物可富集上覆水体中超过85%的钨,因此被认为是水体中钨的汇^[4-5]。但在合适条件下沉积物中汇集的大量钨可以再次释放,并返回至上覆水体中,成为水体钨污染的重要来源^[6]。沉积物中钨的迁移转化主要受铁和锰的氧化还原循环控制。在好氧条件下铁和锰的氢氧化物可吸附钨形成稳定的矿物,并埋藏于沉积物中^[7]。相反,在厌氧条件下,随着铁和锰氢氧化物的还原溶解,所吸附的钨会被释放出来^[8]。Beck等进一步研究发现,河口沉积物中钨的迁移转化主要受锰的氧化还原所控制^[9-10]。太湖是一个典型的富营养化湖泊,每年都会发生季节性的蓝藻水华暴发事件,蓝藻降解会形成局部死水区,导致沉积物中严重厌氧重金属的释放,然而对于蓝藻降解如何影响沉积物钨的释放目前还不清楚,需要进一步研究。

沉积物钨和锰是氧化还原敏感元素,传统的离心过滤采样方法无法准确获得沉积物中钨和锰的浓度变化信息^[11]。本研究利用高分辨扩散平衡装置(HR-peeper)原位采集间隙水样品,克服了样品被氧化的问题,有利于理解蓝藻降解沉积物中钨的迁移转换及对上覆水体的影响特征。

1 材料与方法

1.1 采样点

采样点位于太湖的北部梅梁湾,坐标为31°26'18"N,120°11'12"E。梅梁湾的水域面积为100 km²,水深1.8~2.3 m^[12]。自1980年以来,大量的工业、农业和生活污水通过入湖河道、降水径流至梅梁湾湖区,导致水体富营养化问题严重^[13]。近年来,尽管有关部门严格控制了水污染源的排放,但几乎每年仍会发生严重的蓝藻水华^[14]。

1.2 蓝藻降解模拟试验

2019年7月在采样点用柱状采样器采集5根沉积柱样品(直径9 cm、高50 cm),同时采集10 L含蓝藻水样,用于蓝藻降解的模拟试验,所有样品于3 h内运回实验室。将所有沉积柱样品放置在水温为25℃的水箱中恒温培养。待沉积物柱样品稳定2周后,将480 g的蓝藻(含水)平均分配到3个沉积柱中作为加藻组,剩余2个不加蓝藻的沉积柱作为对照组。选择其中1个加蓝藻的沉积柱和1个不加蓝藻的沉积柱分别在内壁贴上1张氧气平面光

收稿日期:2020-06-18

基金项目:国家重点研发计划(编号:2019YFD0901103);国家自然科学基金(编号:41701568)。

作者简介:汤亚洲(1995—),男,安徽安庆人,硕士,主要从事沉积物-水界面污染物的迁移转化及其生态环境效应研究。E-mail:styz78@163.com。

通信作者:陈沐松,博士,助理研究员,主要从事沉积物水界面磷和重金属的迁移转化研究。E-mail:mschen@niglas.ac.cn。

电极膜,用于测定沉积物-水界面溶解氧(DO)的二维剖面变化信息。所有沉积物柱在恒温培养期间均用橡胶塞密封。分别在加蓝藻后的12、48、88 d投入HR-peerper装置,平衡48 h后,缓慢取出并用去离子水清洗干净,用移液管收集孔隙水的样品。

1.3 样品分析

使用电感耦合等离子体发射光谱仪 ICP-MS (NexION 300, PerkinElmer) 测定 HR-peerper 采样装置所采集的间隙水中溶解态钨和锰的浓度。

1.4 数据分析

取沉积物-水界面处上下1 cm内溶解态钨和锰的剖面浓度变化信息,计算钨和锰在沉积物-水界面处的扩散通量,计算公式如下所示:

$$J = J_w + J_s = -D_w \left(\frac{\delta C}{\delta X_w} \right)_{x=0} - \varphi \frac{D_s}{\theta^2} \left(\frac{\delta C}{\delta X_s} \right)_{x=0}; \quad (1)$$

$$\theta^2 = 1 - \ln(\varphi^2). \quad (2)$$

式中: J 为沉积物-水界面处的扩散通量; J_w 为污染物从上覆水到SWI的扩散通量; J_s 为污染物从沉积物到SWI的扩散通量; $(\delta C/\delta X_w)_{x=0}$ 和 $(\delta C/\delta X_s)_{x=0}$ 分别为上覆水和沉积物的溶解态污染物的浓度梯度,距离沉积物-水界面处1 cm内的溶解态钨和锰的浓度用于拟合浓度梯度; φ 为沉积物的孔隙度,本研究沉积物-水界面处1 cm以内的沉积物孔隙度为0.88; D_w 和 D_s 分别是上覆水和孔隙水中溶解态物质的扩散系数; D_s 的扩散系数为 $\varphi^2 D_w$ (若 $\varphi > 0.7$)^[15-16]。所有图片使用 Origin 2017 软件进行绘制,使用 SPSS ver. 23.0 软件进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 溶解氧二维剖面变化特征

蓝藻降解模拟试验中沉积物-水界面二维溶解氧饱和度剖面变化特征见图1。1 d时对照组(无蓝藻添加)沉积物中溶解氧含量很低,饱和度不足10%,上覆水的溶解氧含量相对比较高,氧气的饱和度达到80%以上。而5 d时加藻组中沉积物和上覆水的氧气含量均较低,饱和度接近于0%。加藻组的沉积物和上覆水中溶解氧含量的快速减少主要是由于蓝藻聚集在水体表面,氧气无法进入水体,而蓝藻降解产生的有机物的降解迅速消耗了大量溶解氧,使得溶解氧饱和度迅速接近于0%^[17]。

2.2 溶解态钨和锰浓度剖面的变化

2.2.1 溶解态钨含量的变化 加蓝藻12、48、88 d后溶解态钨浓度的垂向分布见图2-a。对照组中

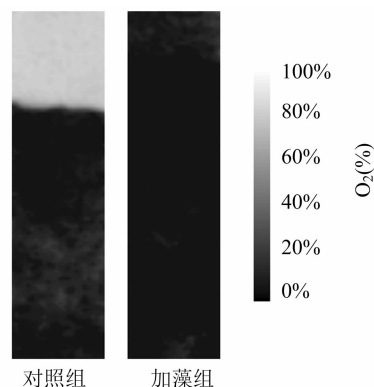


图 a 为对照组 1 d, 图 b 为加藻组 5 d

图1 蓝藻降解模拟试验加藻前后沉积物-水界面二维DO饱和度剖面的变化

上覆水溶解态钨的含量相对较低,随着深度的加深浓度逐渐增加,在沉积物-水界面以下-40 mm处出现浓度峰值,为1.901 g/L,-40 mm深度以下随着深度增加溶解态钨浓度略微有所下降。加藻后12 d上覆水和沉积-35 mm以上溶解态钨浓度较对照组明显增加,浓度峰值也出现了上移的现象,峰值出现在沉积物-水界面以下-10 mm处,-10 mm以下溶解态钨的浓度整体缓慢降低。加藻后48 d沉积物整个剖面溶解态钨的浓度与对照组相比明显增加,上覆水中溶解态钨浓度最高,随着深度增加,沉积物中溶解态钨的浓度逐渐减少。加藻后88 d整个剖面溶解态钨浓度随深度无明显变化,而相对于对照组溶解态钨的浓度明显升高。

2.2.2 溶解态锰含量的变化 加蓝藻12、48、88 d后溶解态锰的浓度垂向变化见图2-b。对照组沉积物中溶解态锰的分布与溶解态钨相似,上覆水及表层-5 mm深度沉积物中溶解态锰含量较低,随着深度加深浓度逐渐增加,溶解态锰在沉积物-水界面以下-40 mm处出现浓度峰值,为3.10 mg/L。加藻后12 d,沉积物-30 mm以上溶解态锰的浓度明显增加,浓度峰值出现在沉积物-水界面以下-10 mm处,之后随着深度增加溶解态锰浓度下降。加藻后48 d,沉积物-20 mm以上溶解态锰含量与对照组相比明显增加,剖面上溶解态锰浓度随深度增加而增加。加藻后88 d,上覆整个沉积物剖面溶解态锰浓度的最大值出现在上覆水中,随着深度增加溶解态锰含量明显减少。

对照组和加藻组加蓝藻后12、48、88 d沉积物剖面溶解态钨和锰垂向浓度的平均值见表1。加藻后溶解态钨和锰平均浓度与对照组相比明显增加,加藻组沉积物剖面溶解态钨和锰的平均浓度与对

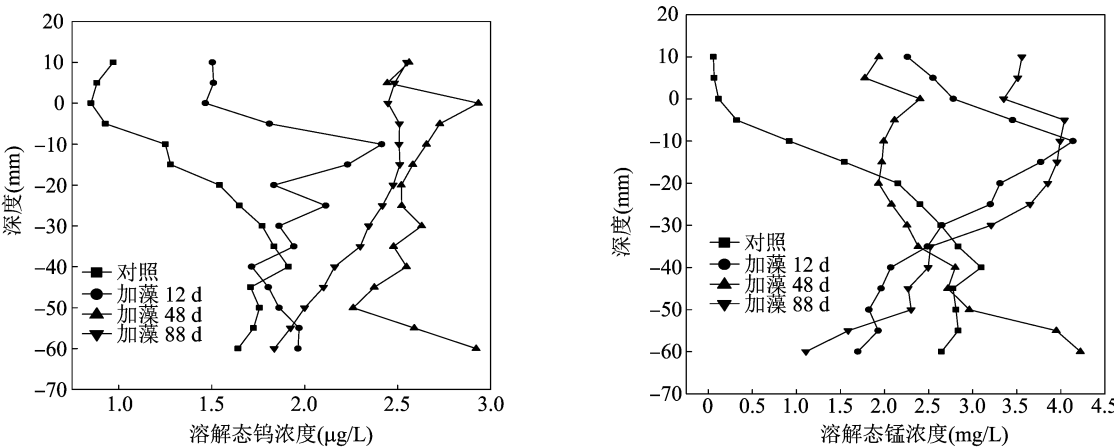


图2 不同处理在加蓝藻后不同时间溶解态铅和溶解态锰的垂向分布

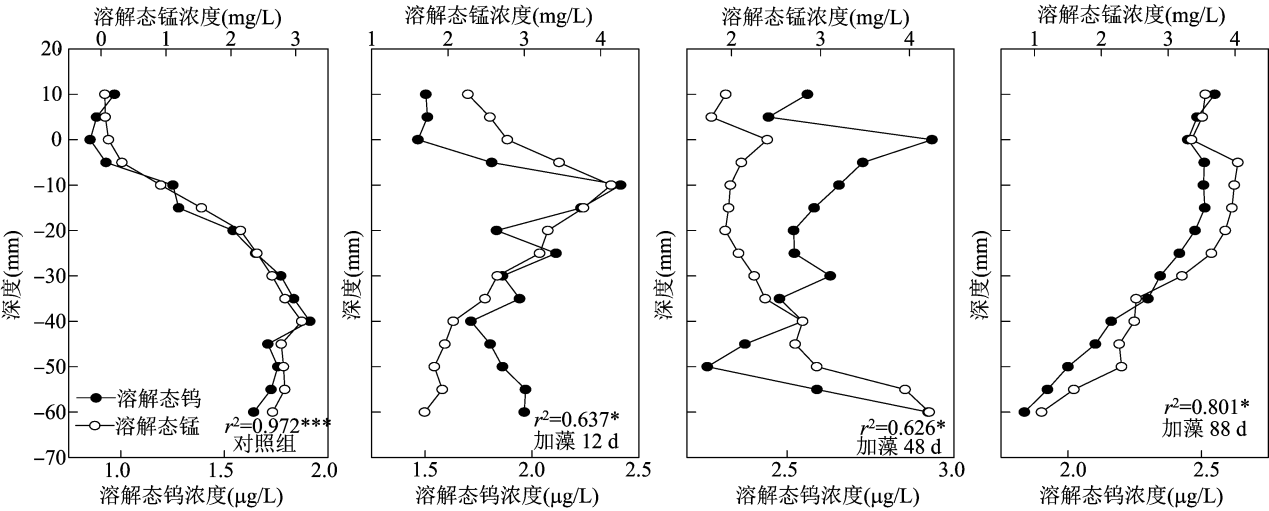
表 1 不同处理沉积物剖面溶解态铅和溶解态锰垂向浓度

处理	溶解态铅浓度 (mg/L)	溶解态锰浓度 (mg/L)
对照组	1.447 ± 0.380	1.814 ± 1.184
加藻 12 d	1.867 ± 0.263	2.672 ± 0.756
加藻 48 d	2.583 ± 0.180	2.499 ± 0.733
加藻 88 d	2.301 ± 0.247	3.027 ± 0.924

照组相比分别增加了 29% ~ 79%、38% ~ 67%。间隙水中溶解态铅和锰的含量增加是由于厌氧条件下氧气和硝酸盐被耗尽,锰氧化物作为有机碳氧化的主要电子受体被还原溶解,吸附在其表面的铅随之被释放进入间隙水中及上覆水中所致^[18]。相关研究表明,可交换态锰、还原态锰和氧化态锰都有可能沉积物中发生迁移转换,形成生物可利用形

态的锰^[19,20];Pan 等研究发现,淹水沉积物中有较多的可交换态锰和较少的可还原态锰,可氧化态锰则较稳定,说明淹水条件下可还原态锰被转化为可交换态锰^[18]。因此,蓝藻降解沉积物中溶解态铅和锰浓度的增加极有可能是由于沉积物厌氧,可还原态的锰被还原成可交换态锰,同时释放铅,明显增加沉积水中溶解态铅和锰的浓度。

加藻后 12、48、88 d 沉积物剖面溶解态铅和锰浓度剖面分布见图 3。无论是对照组还是加藻组加藻后 12、48、88 d 沉积物溶解态铅和锰浓度的剖面分布一致且溶解态铅和锰在 0 ~ 30 mm 深度之间存在显著的正相关性($r^2 \geq 0.626$, $P < 0.05$)。进一步证明铅可以通过锰氧化物的还原溶解释放至孔隙水中,铅的迁移转化主要受到锰氧化物的吸附和还原溶解控制。



*表示相关性显著,相关性计算取 0~30 mm 深度
图3 不同处理溶解态铅和溶解态锰浓度垂向分布

2.3 溶解态钨的扩散通量

加藻后 12、48、88 d 溶解态钨和溶解态锰在沉积物-水界面处的扩散通量见图 4。溶解态钨和溶解态锰的扩散通量数值在 0.09~0.94 范围内(通量为正代表钨和锰从沉积物向上覆水释放),结果表明,蓝藻降解过程中上覆水溶解态钨和锰均是由沉积物向上扩散的^[15]。加藻后 12 d 溶解态钨和锰的扩散通量最高,这可能与锰氧化物的还原动力学有

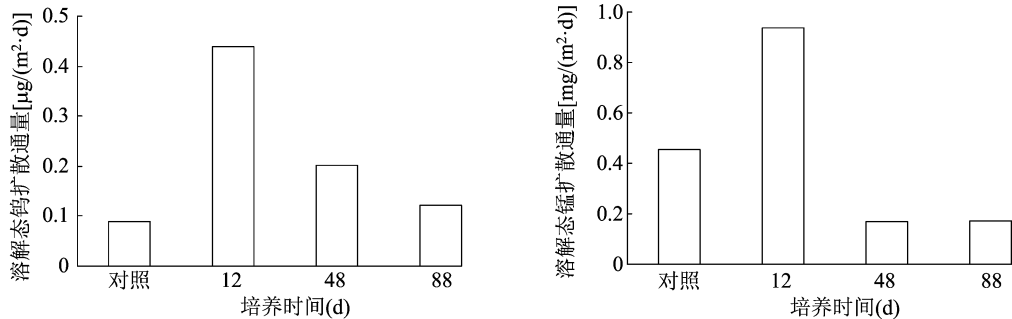


图4 不同处理 SWI 处溶解态钨和溶解态锰的扩散通量

表2 不同处理 SWI 处溶解态钨的扩散通量和上覆水溶解态钨的平均浓度

处理	扩散通量 [$\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]	溶解态钨浓度 (mg/L)
对照组	0.090	0.903 ± 0.061
加藻 12 d	0.440	1.494 ± 0.023
加藻 48 d	0.202	2.647 ± 0.255
加藻 88 d	0.122	2.494 ± 0.051

3 结论

本研究发现,蓝藻降解能明显降低沉积物-水界面的溶解氧饱和度,在厌氧条件下沉积物中溶解态钨和溶解态锰的浓度明显增加。进一步分析发现,沉积物溶解态锰和溶解态钨之间具有相似的剖面垂向分布且两者浓度在垂向分布上相关性显著,表明钨浓度的增加主要来源于锰的厌氧还原溶解释放作用。沉积物中增加的钨进一步释放至上覆水体中,能明显增加水体中钨的浓度。

参考文献:

- [1] Zhang H, Jiang Y H, Ding M J, et al. Level, source identification, and risk analysis of heavy metal in surface sediments from river-lake ecosystems in the Poyang Lake, China [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2017, 24(27): 21902-21916.
- [2] Yi Y J, Yang Z F, Zhang S H, et al. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy

关。加藻后蓝藻降解造成沉积物厌氧,锰氧化物作为有机物氧化的主要电子受体被还原溶解进入间隙水中,加藻后 12 d 锰氧化物的还原作用最剧烈,间隙水中钨和锰通过扩散作用进入上覆水^[18]。不同处理溶解态钨的扩散通量和上覆水溶解态钨浓度的平均值见表 2,发现加藻后溶解态钨的扩散通量和上覆水的平均浓度均增加。说明蓝藻降解沉积物中钨的扩散增加了上覆水体中钨的浓度值。

- metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin [J]. Environmental Pollution, 2011, 159(10): 2575-2585.
- [3] Ahmad N I, Noh M F M, Mahiyuddin W R W, et al. Mercury levels of marine fish commonly consumed in Peninsular Malaysia [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2015, 22(5): 3672-3686.
- [4] Zeng H H, Wu J L. Heavy metal pollution of lakes along the mid-lower reaches of the Yangtze River in China: intensity, sources and spatial patterns [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2013, 10(3): 793-807.
- [5] Zahra A, Hashmi M Z, Malik R N, et al. Enrichment and geo-accumulation of heavy metals and risk assessment of sediments of the Kurang Nallah - Feeding tributary of the Rawal Lake Reservoir, Pakistan [J]. Science of the Total Environment, 2014, 470: 925-933.
- [6] Lee S, Moon J-W, Moon H-S, et al. Heavy metals in the bed and suspended sediments of Anyang River, Korea: implications for water quality [J]. Environmental Geochemistry and Health, 2003, 25(4): 433-452.
- [7] Sundby B. Transient state diagenesis in continental margin muds [J]. Marine Chemistry, 2006, 102(1): 2-12.
- [8] Stockdale A, Davison W, Zhang H, et al. The association of cobalt with iron and manganese (oxyhydr) oxides in marine sediment [J]. 2010, 16(4): 575-585.
- [9] Beck A J, Cochran J K, Sanudowilhelmy S A. The distribution and speciation of dissolved trace metals in a shallow subterranean estuary [J]. Marine Chemistry, 2010, 121(1): 145-56.
- [10] Ni Z X, Zhang L, Yu S, et al. The porewater nutrient and heavy metal characteristics in sediment cores and their benthic fluxes in Daya Bay, South China [J]. Marine Pollution Bulletin, 2017, 124(1): 547-554.

董玉兵,纪力,孙春梅,等. 漂浮育秧对不同养分浓度水体环境的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(19):304-307.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.19.062

漂浮育秧对不同养分浓度水体环境的影响

董玉兵,纪力,孙春梅,邵文奇,钟平,庄春,章安康,陈川

(江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所,江苏淮安 223001)

摘要:水稻漂浮育秧技术是一项应用于水稻机插秧育秧的新方法。设置不同养分浓度水环境,模拟水体富营养化状态,研究漂浮育秧对富营养化水体环境的影响。试验设置 5 个处理,处理 I 至处理 V 初始养分浓度逐渐升高。结果表明,漂浮育秧可以降低富营养化水体中 NH_4^+ 浓度和 PO_4^{3-} 浓度,水体 pH 值先升高后降低;不同养分浓度水体对水稻秧苗生长几乎没有影响,高养分浓度处理促进了水稻秧苗根系的生长,这有利于水稻秧苗移栽后提高存活率。因此,漂浮育秧是一种环境友好型水稻育秧技术,可以降低富营养化水体养分含量,适合大面积推广应用。

关键词:水稻;漂浮育秧;水体环境;秧苗素质;水体富营养化

中图分类号: S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)19-0304-04

随着城市化的发展,农村劳动力的减少,我国的农业发展逐渐向大田块、高度机械化形式转化。

收稿日期:2019-12-24

基金项目:江苏省农业科学院探索性颠覆性创新计划课题[编号:ZX(17)2009];江苏省重点研发(现代农业)重点及面上项目(编号:BE2019334);江苏省环洪泽湖生态重点实验室自主研发课题(编号:17HZHL001)。

作者简介:董玉兵(1992—),男,山东济宁人,硕士,研究实习员,主要从事机插秧缓控释肥和农田碳氮循环研究。E-mail: dongyubing178@163.com。

通信作者:陈川,研究员,主要从事作物栽培和土壤肥料研究。E-mail: chenchuan3174@sina.com。

因此,水稻种植机械化成为发展的必然趋势。水稻机插秧是培育标准化秧苗与机械精确移栽相结合,它改进了传统插秧技术费时、费力的缺点,是水稻种植机械化发展的基本方向^[1-2]。其中,水稻机插秧育秧为了保证秧块成毯、降低漏秧率,使得播种密度过大,导致苗间竞争激烈、秧苗素质较差^[3]。而传统毯苗机插秧水稻育秧还存在取土难、劳动强度大、根系盘结力小等问题,是制约水稻机插秧育秧向轻简化、工厂化、机械化发展的最主要的阻力^[4-5]。同时,也限制了水稻机插秧机械化的发展。

水稻漂浮育秧技术是应用于水稻机插秧育秧

- [11] Rathnayake K N, Bennett W W, Teasdale P R, et al. Comparing in situ colorimetric DET and DGT techniques with ex situ core slicing and centrifugation for measuring ferrous iron and dissolved sulfide in coastal sediment pore waters [J]. *Chemosphere*, 2017, 188: 119-129.
- [12] Fan X F, Ding S M, Chen M S, et al. Peak Chromium pollution in summer and winter caused by high mobility of Chromium in sediment of a eutrophic lake: in situ evidence from high spatiotemporal sampling [J]. *Environmental Science & Technology*, 2019, 53(9): 4755-4764.
- [13] Qu W C, Dickman M, Sumin Wang S M. Multivariate analysis of heavy metal and nutrient concentrations in sediments of Taihu Lake, China [J]. 2001, 450(1/2/3): 83-89.
- [14] Zeng J, Yang L Y, Chen X F, et al. Spatial distribution and seasonal variation of heavy metals in water and sediments of Taihu Lake [J]. 2012, 21(5): 1489-1496.
- [15] Ding S M, Han C, Wang Y P, et al. In situ, high-resolution imaging of labile Phosphorus in sediments of a large eutrophic lake [J]. *Water Research*, 2015, 74: 100-109.

- [16] Ullman W J, Aller R C. Diffusion coefficients in nearshore marine sediments [J]. *Limnology and Oceanography*, 1982, 27(3): 552-556.
- [17] Ni L X, Gu G X, Rong S Y, et al. Effects of cyanobacteria decomposition on the remobilization and ecological risk of heavy metals in Taihu Lake [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, 26(35): 35860-35870.
- [18] Pan F, Liu H T, Guo Z R, et al. Metal/metalloid and phosphorus characteristics in porewater associated with Manganese geochemistry: a case study in the Jiulong River Estuary, China [J]. *Environmental Pollution*, 2019, 255(1): 113-134.
- [19] Yin H, Cai Y J, Duan H T, et al. Use of DGT and conventional methods to predict sediment metal bioavailability to a field inhabitant freshwater snail (*Bellamya aeruginosa*) from Chinese eutrophic lakes [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2014, 264: 184-194.
- [20] Gao B, Gao L, Zhou Y, et al. Evaluation of the dynamic mobilization of Vanadium in tributary sediments of the Three Gorges Reservoir after water impoundment [J]. *Journal of Hydrology*, 2017, 551: 92-99.