

## 杭州湾北部沉积物中磷形态及其空间分布特征

高春梅, 庾旸, 张艺玟, 李慧, 徐航, 栾奎峰

## Forms and spatial distribution of phosphorus in sediments of northern Hangzhou Bay

GAO Chunmei, YU Yang, ZHANG Yiwen, LI Hui, XU Hang, LUAN Kuifeng

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20210603479>

### 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

#### 杭州湾北部棘头梅童鱼繁殖群体生物学特征初步分析

Preliminary analysis of biological characteristics of reproductive stocks of *Collichthys lucidus* in Northern Hangzhou Bay  
上海海洋大学学报. 2018, 27(5): 781 <https://doi.org/10.12024/jsou.20180302244>

#### 围隔海域水质评价及底栖曲浒苔对水质修复能力评估研究

The evaluation of water quality in enclosed mariculture bay and assessment of bioremediation abilities of *Ulva flexuosa*  
上海海洋大学学报. 2017, 26(4): 519 <https://doi.org/10.12024/jsou.20161101905>

#### 钱塘江杭州段表层沉积物中重金属的生态风险及其生物累积

Ecological risk and bioaccumulation of heavy metals in the surface sediments in Qiantang River  
上海海洋大学学报. 2018, 27(5): 710 <https://doi.org/10.12024/jsou.20171102176>

#### 杭州湾东北部渔业资源群落结构的季度变化

Fishery resources community structure seasonal change in North-eastern Hangzhou Bay  
上海海洋大学学报. 2019, 28(4): 597 <https://doi.org/10.12024/jsou.20181202460>

#### 磁性铁铝改性沸石覆盖对河道底泥磷释放的控制效果

Efficiency of sediment capping with magnetic iron/zirconium-modified zeolites to control phosphorus release from sediments  
上海海洋大学学报. 2019, 28(2): 267 <https://doi.org/10.12024/jsou.20180602355>

文章编号: 1674-5566(2022)02-0445-07

DOI:10.12024/jsou.20210603479

## 杭州湾北部沉积物中磷形态及其空间分布特征

高春梅<sup>1,2,3</sup>, 庾 旸<sup>1</sup>, 张艺玟<sup>1</sup>, 李 慧<sup>4</sup>, 徐 航<sup>4</sup>, 栾奎峰<sup>4,5</sup>

(1. 上海海洋大学 海洋生态与环境学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 极地研究中心, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 海洋环境监测与评价中心, 上海 201306; 4. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 5. 上海河口海洋测绘工程技术研究中心, 上海 201306)

**摘要:** 采用过硫酸钾紫外分光光度法测定杭州湾北部沉积物中总磷, 利用 SMT 分级提取法对沉积物中无机磷进行提取并分析无机磷中各形态磷的含量, 有机磷的含量则为总磷含量与无机磷含量的差值, 探讨了不同形态磷的分布特征。结果表明: 沉积物中总磷 TP 的范围为 722.25 ~ 874.49  $\mu\text{g/g}$ , 整体呈现靠近海岸逐渐增大的趋势, 无机磷(IP)占 63%, 钙结合态磷(Ca-P)、有机磷(OP)、铁铝结合态磷(Fe/Al-P)、可交换态磷(Ex-P)为磷的主要赋存形态。Ca-P 沿杭州湾北部自南向北呈减小趋势; Fe/Al-P 在杭州湾北面含量较高, 随着向外海延伸, 其含量逐渐降低; Ex-P 的空间分布与铁铝结合态磷的分布相似, 沿着远离海岸方向基本呈现减小的趋势。OP 在海岸至外海的方向上无明显规律, 其空间分布与 IP 的空间分布呈现近似相反的结果。生物有效磷(BAP)占总磷比例为 42.22% ~ 56.99%, 含量较高, 在一定的条件下会被释放出来, 从而被水生生物所利用。因此, 推测杭州湾北部磷具有一定的释放风险, 需要在生态环境治理中制定相应的措施加以防范。

**关键词:** 杭州湾北部; 沉积物; 磷; 生物有效磷

**中图分类号:** X 131      **文献标志码:** A

磷是海洋动植物生长发育所必须具备的元素, 对海洋生态系统中存在的各种循环过程产生着重要影响。沉积物作为海洋中不可或缺的重要组成部分, 起着储存能量的重要作用, 是海洋生态系统中磷元素的“源”、“汇”和“转换器”<sup>[1]</sup>。沉积物中的磷分为有机磷 OP 和无机磷 IP 2 大类, IP 可再细分为铁铝结合态磷 Fe/Al-P 和钙结合态磷 Ca-P, 各形态磷释放能力差异较大, 其赋存形态是沉积物-水界面营养物质迁移转化和交换的重要因素<sup>[2]</sup>。通过沉积物中不同形态磷的含量和分布可以有效预测水体发生富营养化的风险<sup>[3]</sup>。近年来, 随着经济迅猛发展, 中国一些沿岸海域生态环境问题日益突出, 其中的一个重要表现形式为水体富营养化, 而水体富营养化问题与水体中磷的释放密切相关。

杭州湾位于浙江省宁波市北面及上海市南面<sup>[4]</sup>。杭州湾北部人口密集, 工业和农业发展较

快, 路源径流携带的丰富营养盐的输入、大量生活污水和工业废水都对海湾内海域环境质量造成了不利影响, 导致水域富营养化日益严重<sup>[5]</sup>。笔者详细分析了杭州湾北部不同站点沉积物中无机磷、有机磷及总磷的含量及其时空分布特征, 探讨杭州湾水体中磷的赋存形态及磷营养盐的迁移和转化, 为制定水域污染治理措施提供科学依据和技术支撑<sup>[6]</sup>, 对于保护海洋生态环境有重要意义。

目前, 我国对于沉积物中磷的形态研究中, 主要对有机磷和无机磷进行分别研究, 而同时研究有机磷及无机磷各形态之间的转换较少。同时, 目前的研究主要集中在内陆的淡水湖泊河流域, 围绕滨海海域开展的研究较少。因此, 选取杭州湾作为研究区域对沉积物中的磷形态开展研究。

收稿日期: 2021-06-10      修回日期: 2021-07-19

基金项目: 上海市海洋局科研项目(沪海科 2019-5, 沪海科 2020-5)

作者简介: 高春梅(1976—), 女, 副教授, 研究方向为海洋环境化学。E-mail: cmgao@shou.edu.cn

通信作者: 栾奎峰, E-mail: kfluan@shou.edu.cn

## 1 材料与方法

### 1.1 监测站位与样品采集

2020年6月,在杭州湾大桥附近选取11个站点(图1),范围为 $30^{\circ}30'24''\text{N} \sim 30^{\circ}47'12''\text{N}$ , $121^{\circ}24'00'' \sim 122^{\circ}10'04''\text{E}$ ,沿垂直岸线方向布设3条线,每条线长约30 km,同时在洋山港东侧增加1个采样点,实验区域覆盖杭州湾北部上海区域约 $1\,500\text{ km}^2$ 海域。使用抓斗式采泥器对表层沉积物进行采集<sup>[7]</sup>,单点泥样质量约1 500 g,置于干净的聚乙烯瓶中,放入带冰块保温箱中进行保存,带回实验室进行分析处理。分析前将样品置于干燥的表面皿中,常温自然风干后将其充分研磨<sup>[8]</sup>并过200目筛,干样待测。

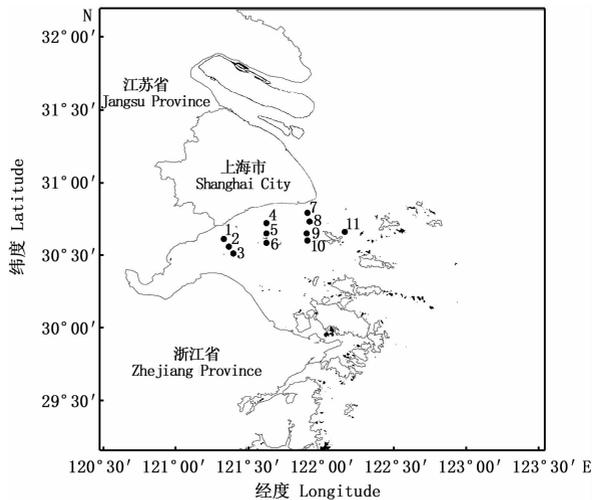


图1 杭州湾地区及采样点示意图

Fig. 1 Sketch map of the Hangzhou Bay with sampling sites

### 1.2 样品的分析与测定

采用过硫酸钾紫外分光光度法对TP进行测定。此法具有适用性广、灵敏度高及测量精度高等优点,且操作简便,因而更便于后续对杭州湾北部沉积物中总磷的含量及其分布特征进行分析处理。

采用SMT(standard measurement test)化学连续提取法对沉积物样品进行连续提取<sup>[9]</sup>,具有操作简便,连续提取步骤较少<sup>[10]</sup>,各种形态磷之间可以相对独立进行测定,实验误差较小等优点,是沉积物中磷形态研究的最佳方法。每次实验分别设置3组空白对照样与3组平行样,以求尽力减小误差。

#### 1.2.1 总磷的测定

将装有样品的比色管中加入一定量的过硫酸钾和硫酸溶液,使用高压灭菌锅进行消解,30 min后取出,冷却后用水稀释,使用紫外分光光度计测定其上清液中的总磷含量。

#### 1.2.2 无机磷的分级提取

沉积物中的无机磷形态复杂,一般分为铝结合态、铁结合态、钙结合态、可交换态等。目前关于磷的赋存形态提取方法各有优缺点<sup>[11]</sup>,考虑到磷释放的可能性和稳定性等综合因素,采用SMT法和三步提取法对杭州湾表层沉积物磷形态进行分级提取无机磷IP、可交换态磷Ex-P、铁铝结合态磷Fe/Al-P以及钙结合态磷Ca-P,具体提取方法见图2。

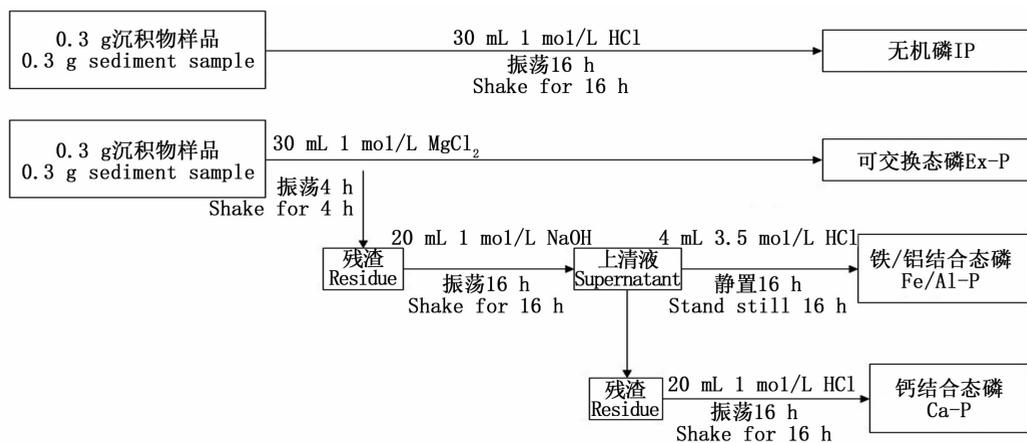


图2 沉积物分级提取步骤

Fig. 2 Extraction procedure of phosphorus fractions

## 2 结果与分析

### 2.1 总磷的含量及空间分布

沉积物中 TP 的含量范围为 722.25 ~ 874.49  $\mu\text{g/g}$ , 根据图 3 得知, TP 的含量呈现不规则、多峰值的分布特征。其中, TP 含量的两个峰值分别在站点 1、站点 7 和站点 8 附近区域。站点 1 靠近九龙山风景区及滨海公园, 风景名胜区内人流量较大, 同时, 站点 1 也濒临金山区, 金山城市沙滩为杭州湾典型的人工潟湖和旅游开发区<sup>[12]</sup>, 度假区内的洗浴中心等公共设施排放出大量的生活污水, 增加了沿岸河水中的 TP 含量。站点 7 和站点 8 靠近临港新片区滴水湖一带, 近几年由于临港新片区的开发, 工业发展迅速, 人口逐年增加, 工业废水和生活污水排放量大量增加, 大量含磷污水使得杭州湾沉积物中的 TP 含量大幅增加。

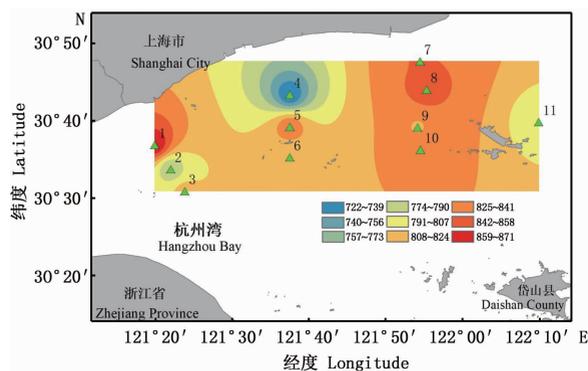


图 3 杭州湾北部沉积物中总磷的空间分布特征  
Fig. 3 Spatial distribution character of TP in surface sediments of northern Hangzhou Bay

### 2.2 无机磷及其形态磷的空间分布特征

杭州湾北部沉积物中 IP 的含量范围为 479.76 ~ 537.43  $\mu\text{g/g}$ , 平均含量为 519.93  $\mu\text{g/g}$ , 是 TP 的主要形态。站点 6 的 IP 含量最高, 达到了 537.43  $\mu\text{g/g}$ , 站点 5 为 534.34  $\mu\text{g/g}$ 。见图 4。外源磷的输入可能是导致 IP 含量增大的重要原因。IP 含量的分布整体呈现出靠近海岸而增大的趋势, 在海岸附近含量较大。

#### 2.2.1 钙结合态磷的含量及空间分布

Ca-P 的含量在 IP 各形态的含量中占最大比例, 含量范围为 308.86 ~ 422.13  $\mu\text{g/g}$ , 平均含量为 380.53  $\mu\text{g/g}$ 。从图 5 可以看出, 不同站点 Ca-P 的浓度大小排序与 TP 的浓度大小排序基本呈

相反关系。杭州湾北部站点 3、站点 6 和站点 11 沉积物中 Ca-P 含量较大主要是由于附近地域大量排放的工业和生活污水、农业生产中未被植物吸收的农药与磷肥及动植物的残骸进入海域所造成。沉积物中 Ca-P 的含量沿杭州湾北部自北向南呈增大趋势。除此之外, Ca-P 的含量与沉积物的矿物成分等也有一定相关性。由于 Ca-P 占 IP 的主要部分, 与海洋沉积物中的占比类似, 并且 Ca-P 可以反映海陆相互作用的强弱, 因此可以看出杭州湾北部沉积物中磷的环境化学行为受海洋影响较大<sup>[13]</sup>。

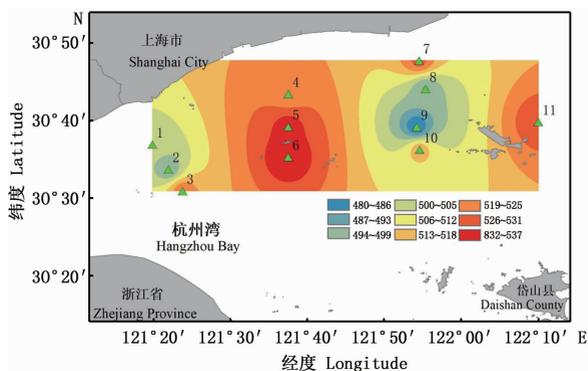


图 4 杭州湾北部沉积物中无机磷的空间分布特征  
Fig. 4 Spatial distribution character of IP in sediments of northern Hangzhou Bay

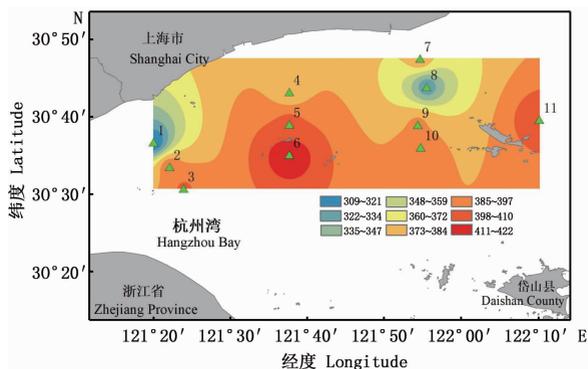


图 5 杭州湾北部沉积物中钙结合态磷的空间分布特征

Fig. 5 Spatial distribution character of Ca-P in sediments of northern Hangzhou Bay

#### 2.2.2 铁铝结合态磷的含量及空间分布

杭州湾北部沉积物中 Fe/Al-P 的含量范围为 58.51 ~ 91.36  $\mu\text{g/g}$ , 平均含量为 72.57  $\mu\text{g/g}$ 。Fe/Al-P 在站点 1、站点 7 和站点 8 区域内含量相对较高(图 6), 这可能和上文已经提到的这几个

站点的地理位置情况有关。由于工业生活污水的排放,Fe/Al-P 在杭州湾北部含量较高,随着向海外海方向延伸,其含量逐渐降低。

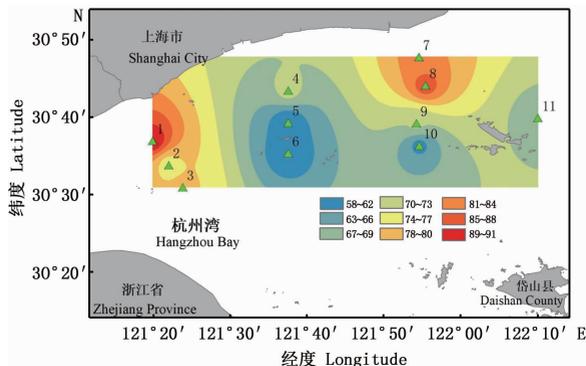


图6 杭州湾北部沉积物中铁铝结合态磷的空间分布特征

Fig. 6 Spatial distribution character of Fe/Al-P in sediments of northern Hangzhou Bay

### 2.2.3 可交换态磷的含量及空间分布

杭州湾北部沉积物中 Ex-P 的含量范围为 30.79 ~ 34.91 μg/g,平均含量为 32.38 μg/g,在各种形态的磷含量中占比最少。站点 3 和站点 8 Ex-P 的含量达到最高峰。见图 7。Ex-P 的空间分布与 Fe/Al-P 的空间分布具有较高的一致性<sup>[14]</sup>,即越靠近海岸,含量越高。

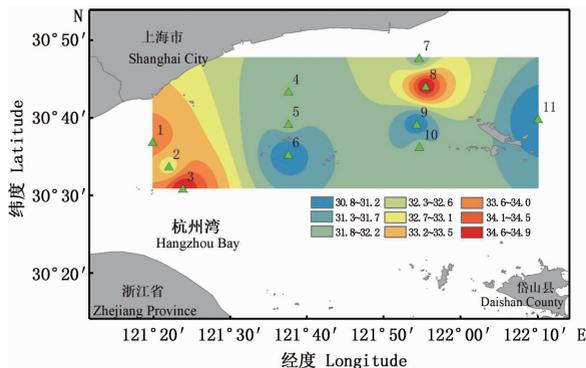


图7 杭州湾北部沉积物中可交换态磷的空间分布特征

Fig. 7 Spatial distribution character of Ex-P in sediments of northern Hangzhou Bay

### 2.3 有机磷的含量及空间分布

由图 8 可知,OP 含量在海岸向海外海延伸的方向并没有明显的上升或降低的趋势。OP 含量范围为 202.32 ~ 373.1 μg/g,平均含量为 302.25 μg/g。在空间分布特征上,OP 与 IP 的空间分布

呈现相反的结果。OP 的来源一部分是由于农业生产中肥料的使用,还有一部分为生活污水中 OP 的排放。因此,在站点 1 与站点 8 这两个人口密集,工农业发达的地区周围,OP 的含量显著增加。

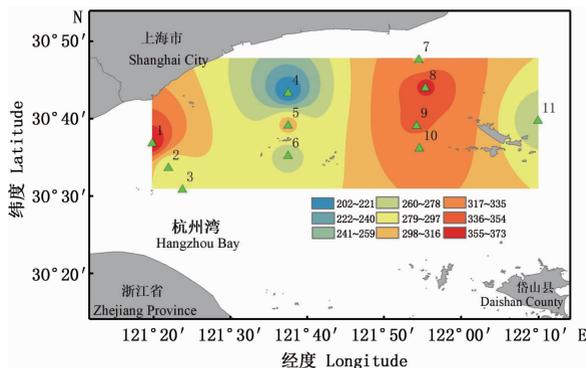


图8 杭州湾北部沉积物中有机磷的空间分布特征

Fig. 8 Spatial distribution character of OP in sediments of northern Hangzhou Bay

### 2.4 生物有效磷的含量及空间分布

生物有效磷(BAP)是指沉积物中以溶解态的磷酸盐形态被释放出来并被水生生物所利用的潜在的活性磷<sup>[15]</sup>。由于目前国际上对 BAP 的具体组成成分未做出明显划分,因此综合考虑杭州湾沉积物的实际情况,将 OP、Fe/Al-P 及 Ex-P 归为 BAP 来进行计算。根据实验结果计算 BAP 的含量及 BAP 在总磷中所占比例(图 10),以此来初步判定杭州湾沉积物中磷的释放风险。

由图 9 可知,BAP 的含量范围为 304.90 ~ 498.34 μg/g,平均含量为 407.20 μg/g。BAP 占总磷比例为 42.22% ~ 56.99%,平均占比为 49.72%。由图 10 可知,BAP 的含量在站点 1 和站点 8 达到最高值,在站点 4 生物有效磷含量最少。BAP 占总磷的比例也和站点 BAP 的分布规律相同。站点 1 BAP 含量及占比高的原因主要是由于附近娱乐场所等洗浴废污水的排放,而站点 8 则是由于靠近临港新片区,随着新片区的开发建设,区内工业废水的排放对水体中的 BAP 含量有着比较大的影响。在一定的条件下,49.72%的磷会被释放出来,从而被水生生物所利用。在杭州湾北部,表层沉积物中磷有一定的释放风险,因此,需要时刻关注水体及沉积物中磷的转换,避免出现富营养化事件,造成生态系统损害。

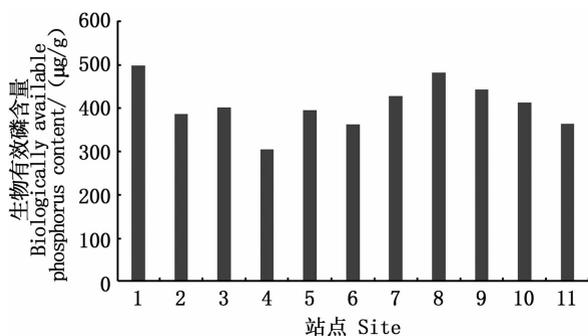


图 9 沉积物中 BAP 含量

Fig. 9 BAP content in sediments

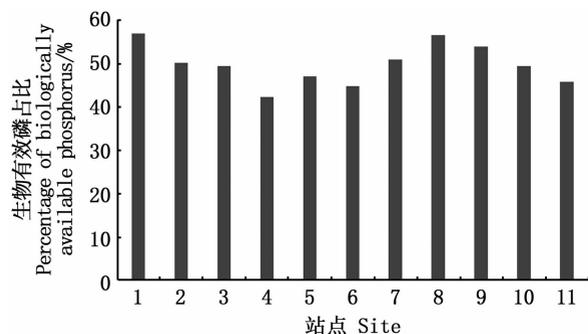


图 10 沉积物中 BAP 在总磷中占比

Fig. 10 BAP percentage in total phosphorus in sediments

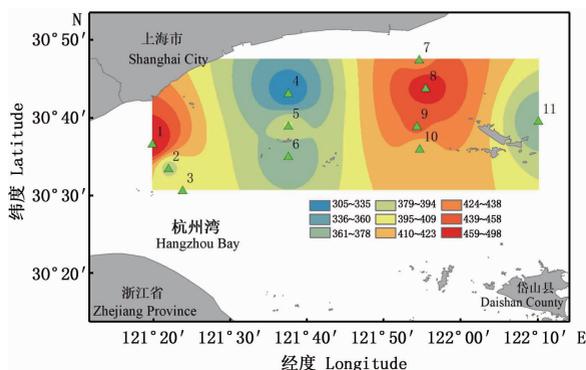


图 11 杭州湾北部沉积物中生物有效磷的空间分布特征

Fig. 11 Spatial distribution character of BAP in sediments of northern Hangzhou Bay

### 3 结论与展望

杭州湾北部沉积物 TP 含量为 722.25 ~ 874.49  $\mu\text{g/g}$ ,与李敏等<sup>[16]</sup>、何会军等<sup>[17]</sup>的研究结果相符,IP 占 TP 含量的 63%,其中  $\text{Ca-P} > \text{Fe/Al-P} > \text{Ex-P}$ ,说明 IP 大部分处于蓄闭状态,不能

被植物吸收利用,很难参与其中的磷素循环,但也具有一定的生物可利用性,会参与水体中磷的地球化学循环,对水质及水体营养化状态具有重要的影响。

杭州湾北部沉积物中 OP 含量占 37%,与 IP 的分布特征呈现相反趋势。OP 在水体中降解会增加磷的负荷,而同时沉积物中的微生物在不同氧条件下也会影响磷的迁移转化。另外,杭州湾周边经济的快速发展,使得沉积物中 OP 的含量逐年增加,这些会导致水体的富营养化。因此,需要密切关注杭州湾周边的经济情况及污水排放状况,避免增加富营养化概率。

BAP 占 TP 比重为 49.72%,在适宜的条件下会被释放出来被生物所利用。由于 BAP 可通过化学和生物的作用转化为溶解态活性磷(SAP)进入水体被藻类生长吸收利用,进而影响磷酸盐在水土界面间的释放速率,因此 BAP 含量在一定程度上可表征沉积物中潜在可供生物利用的活性磷含量。基于数据可知,杭州湾北部表层沉积物中磷具有一定的释放风险,会导致水体的富营养化水平,故应采取相应的措施进行防范。

由于磷在海洋生态系统占据非常重要的位置,其与海洋环境要素具有密切的关联,故后续应连续分析在不同季节中磷的存在状态及年际变化,以求可以全方位掌握杭州湾海域磷的存在状态,并对其吸附动力学进行分析,探讨其释放风险,为进一步保护杭州湾环境提供大量的基础数据和参考依据。

感谢上海海洋大学海洋科学学院的张昆宁、薛焯、林丹丹同学在实验过程中给予的支持和帮助,尤其是样品的采集工作。

### 参考文献:

- [1] 聂丽娟,田文龙,管锡东,等. 武汉市湖泊表层沉积物磷形态组成特征[J]. 生态与农村环境学报, 2020, 36(12): 1540-1548.
- NIE L J, TIAN W L, GUAN X D, et al. The characteristics of the composition of various phosphorus forms in lake surface sediments in Wuhan city[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2020, 36(12): 1540-1548.
- [2] 李强,韩成银,戴小琳,等. 白马湖西北部湖区表层沉积物氮、磷形态分布特征及污染评价[J]. 江苏水利, 2019(12): 11-17, 22.
- LI Q, HAN C Y, DAI X L, et al. Distribution

- characteristics and pollution evaluation of nitrogen and phosphorus forms in surface sediments in the northwest lake area of Baima Lake [J]. *Jiangsu Water Resources*, 2019 (12): 11-17, 22.
- [3] 梁威, 邵学新, 吴明, 等. 杭州湾滨海湿地不同植被类型沉积物磷形态变化特征[J]. *生态学报*, 2012, 32(16): 5025-5033.  
LIANG W, SHAO X X, WU M, et al. Phosphorus fraction in the sediments from different vegetation type in Hangzhou Bay coastal wetlands[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(16): 5025-5033.
- [4] 王姮, 张玉荣, 李子孟, 等. 宁波杭州湾新区海域环境质量现状评价[J]. *安徽农业科学*, 2020, 48(21): 59-62.  
WANG H, ZHANG Y R, LI Z M, et al. Evaluation of the current situation of environmental quality in Hangzhou Bay new district, Ningbo [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2020, 48(21): 59-62.
- [5] 李潇, 刘书明, 付瑞全, 等. 杭州湾表层海水营养盐分布特征及富营养化状况研究[J]. *环境科学与管理*, 2017, 42(9): 66-71.  
LI X, LIU S M, FU R Q, et al. Nutrient distribution and eutrophication status of surface seawater in Hangzhou Bay [J]. *Environmental Science and Management*, 2017, 42(9): 66-71.
- [6] 杨漪帆. 泥沙含量和粒径对长江口杭州湾磷的形态和浓度时空分布特征影响研究[J]. *上海环境科学*, 2020, 39(3): 93-97.  
YANG Y F. A study on the influence of silt content and size to the forms and distribution characteristics of phosphorus in Yangtze Estuary and Hangzhou Bay [J]. *Shanghai Environmental Sciences*, 2020, 39(3): 93-97.
- [7] 高春梅, 张中发, 张硕. 海州湾秋季沉积物磷的形态分布及生物有效性[J]. *中国环境科学*, 2018, 38(4): 1499-1509.  
GAO C M, ZHANG Z F, ZHANG S. Speciation and bioavailability of phosphorus in sediments ( autumn ) of Haizhou Bay [J]. *China Environmental Science*, 2018, 38(4): 1499-1509.
- [8] 郑足红, 陈刚. 春晖湖沉积物中磷形态的垂直分布特征[J]. *湖北工程学院学报*, 2019, 39(6): 42-49.  
ZHENG Z H, CHEN G. Vertical distribution characteristics of phosphorus fractions in the sediments of Chunhui Lake [J]. *Journal of Hubei Engineering University*, 2019, 39(6): 42-49.
- [9] 朱广伟, 秦伯强. 沉积物中磷形态的化学连续提取法应用研究[J]. *农业环境科学学报*, 2003, 22(3): 349-352.  
ZHU G W, QIN B Q. Chemical sequential extraction of phosphorus in lake sediments [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(3): 349-352.
- [10] 杨柳, 唐振, 郝原芳. 化学连续提取法对太湖沉积物中磷的各种形态测定[J]. *世界地质*, 2013, 32(3): 634-639.  
YANG L, TANG Z, HAO Y F. Morphometry of phosphorus in the lake sediments of Taihu by chemical sequential extraction method [J]. *Global Geology*, 2013, 32(3): 634-639.
- [11] 檀建国, 郭凤锐. 沉积物中磷的形态分析方法研究现状[J]. *辽宁化工*, 2021, 50(1): 58-59.  
TAN J G, GUO F R. Research status of phosphorus speciation analysis methods in sediments [J]. *Liaoning Chemical Industry*, 2021, 50(1): 58-59.
- [12] 杨娜, 段元亮, 包炎琳, 等. 杭州湾人工潟湖夏季浮游植物群落演替与环境因子的关系[J]. *上海海洋大学学报*, 2020, 29(5): 757-769.  
YANG N, DUAN Y L, BAO Y L, et al. Relationship between summer phytoplankton community succession and environment factors in the artificial lagoon of Hangzhou bay [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2020, 29(5): 757-769.
- [13] 宋祖光, 高效江, 张弛. 杭州湾潮滩表层沉积物中磷的分布、赋存形态及生态意义[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(6): 853-858.  
SONG Z G, GAO X J, ZHANG C. Distribution, existed forms and ecological significance of phosphorus in tide-beach surface sediments of the Hangzhou Bay [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(6): 853-858.
- [14] 黄宏, 罗娜, 张硕. 海州湾海洋牧场表层沉积物中磷形态及释放通量[J]. *水产学报*, 2020, 44(6): 959-968.  
HUANG H, LUO N, ZHANG S. Forms and releasing flux of phosphorus in the surface sediments in Haizhou Bay marine ranching [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(6): 959-968.
- [15] REYNOLDS C S, DAVIES P S. Sources and bioavailability of phosphorus fractions in freshwaters: a British perspective [J]. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 2001, 76(1): 27-64.
- [16] 李敏, 韦鹤平, 王光谦, 等. 长江口、杭州湾水域沉积物中磷的化学形态分布特征[J]. *海洋学报*, 2004, 26(2): 125-131.  
LI M, WEI H P, WANG G Q, et al. Study on the distribution and different forms of phosphorus in sediments from the Changjiang Estuary and the Hangzhou Bay [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, 26(2): 125-131.
- [17] 何会军, 于志刚, 姚庆祯, 等. 长江口及毗邻海区沉积物中磷的分布特征[J]. *海洋学报*, 2009, 31(5): 19-30.  
HE H J, YU Z G, YAO Q Z, et al. Distribution of phosphorus in sediments from the Changjiang Estuary and its adjacent sea [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2009, 31(5): 19-30.

## Forms and spatial distribution of phosphorus in sediments of northern Hangzhou Bay

GAO Chunmei<sup>1,2,3</sup>, YU Yang<sup>1</sup>, ZHANG Yiwen<sup>1</sup>, LI Hui<sup>4</sup>, XU Hang<sup>4</sup>, LUAN Kuifeng<sup>4,5</sup>

(1. College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Center for Polar Research, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Marine Environment Monitoring and Assessment Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 5. Shanghai Engineering Research Center of Estuarine and Oceanographic Mapping, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** Potassium persulfate ultraviolet spectrophotometer was used to determine the total phosphorus (TP) and the phosphorus form was extracted by the SMT (Standard Measurement Test) method in the sediments of northern Hangzhou Bay, the organic P (OP) content was the difference between TP and inorganic phosphorus (IP) content, and the spatial distribution of phosphorus forms was also studied. The results showed: TP in the sediments ranged from 722.25  $\mu\text{g/g}$  to 874.49  $\mu\text{g/g}$  which increased gradually along the coast, 63% of TP was IP, and Calcium-bound phosphorus (Ca-P), Organic phosphorus (OP), Fe-Al-bound (Fe/Al-P) phosphorus and Exchangeable phosphorus (Ex-P) were the main forms of phosphorus. The content of Ca-P decreased from south to north in northern Hangzhou Bay, while the content of Fe/Al-P was higher in northern Hangzhou Bay and decreased gradually as it extended to the open sea; The spatial distribution of Ex-P was similar to that of Fe/Al-P which decreased with the distance from the coast. The spatial distribution of OP had no obvious rule in direction from the coast to the open sea which was opposite to that of IP. Bio-available phosphorus (BAP) accounted for 42.22% – 56.99% of TP that was higher and would be released under suitable conditions, then used by aquatic organisms. Based on the results, phosphorus had a certain release risk in northern Hangzhou Bay, so it was necessary to formulate corresponding measures to prevent in the ecological environment management.

**Key words:** northern Hangzhou Bay; sediment; phosphorus; bioavailable phosphorus