

锯缘青蟹养殖池塘中沉积物磷释放的初步研究

卢光明¹, 乐观宗^{1,2}, 钟明杰^{1,3}, 徐永健¹

(1. 宁波大学 生命科学与生物工程学院, 浙江 宁波 315211; 2. 奉化市莼湖镇政府海洋与渔业办公室, 浙江 奉化 315505; 3. 浙江省海洋开发院, 浙江 舟山 316010)

摘要: 本研究采用孵化法模拟计算池塘表层沉积物-水界面磷通量,并结合现场调查和室内模拟实验探讨温度、盐度、pH和微生物等环境条件变化对该沉积物中磷释放的影响。初步计算了锯缘青蟹 [*Scylla serrata* (Forsk.)] 养殖池塘8月和11月2个月份沉积物-水界面活性磷酸盐的交换通量,分别为104.9 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 、70.1 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。温度、盐度、pH和微生物梯度这4个因子均对沉积物磷释放有影响。温度实验中,释放量随着温度的上升而增加,其中35℃下磷释放量达到0.027 mg,为15℃下(0.015 mg)的1.8倍,20℃时释放量为0.020 mg。盐度实验中,释放量随着盐度的升高而增加,盐度25时的磷释放量达到0.029 mg,约为盐度5时(0.003 mg)的10倍。不同pH条件下磷释放量由大到小依次为酸性、碱性、中性,存在微生物的组其沉积物磷的释放量要明显高于灭菌组,在培养的前4天几乎为灭菌组的2倍。[中国水产科学,2010,17(5):1115-1120]

关键词: 沉积物; 扩散通量; 磷释放; 环境因子

中图分类号: Q14

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2010)05-1115-06

磷是养殖水环境生态系统中物质循环的重要环节,作为浮游植物生长的限制性营养元素之一,养殖水体中磷的多寡能促进或限制水产养殖生态系统中物质和能量的转化。在养殖水体中磷的主要来源是养殖排污、海水交换、沉积物释磷等,其中沉积物可能是养殖池塘中磷的一个重要来源^[1]。沉积物-水界面间的磷交换和扩散对上覆水体的水质具有重要的影响,研究沉积物-水界面间磷的扩散通量具有重要的环境意义。浙江三门是中国最大的锯缘青蟹 [*Scylla serrata* (Forsk.)] 养殖基地。养殖区气候温和湿润,四季分明,年均气温为16.1~17.0℃,沿海海水表层水温为17.0~19.0℃,盐度为20~35,每升水体含硝酸盐15.8 μg ,磷酸盐1.0 μg ,硝酸盐25.7 μg ,每立方米海水有浮游生物668 mg,为全中国之最。同时,港湾退潮流速大于涨潮流速,泥沙很少沉积,使港湾

稳定,盐度适中,饵料生物丰富,近海无工业污染,水质清晰。据监测表明,湾内海水符合一、二类海水标准^[2]。本研究选择三门锯缘青蟹养殖池塘作为研究对象,定量地估算了沉积物-水界面间磷的扩散通量,并研究了环境因子对沉积物中磷释放的影响。

1 材料与方法

1.1 样品采集

样品采自台州三门锯缘青蟹养殖池塘,采样时间分别为2006年8月和11月,分别作为夏季和秋季的沉积物-水界面交换通量的研究,将内径为8 cm PVC管插入池底,缓慢拔出,以保证沉积物不下漏,PVC采样管采上岸后,马上利用塑料薄膜扎紧采样管底部,防止移动过程中沉积物掉落,整个采样过程尽量保持沉积物表面完好,每次取得沉积物柱样

收稿日期:2009-11-24; 修订日期:2010-01-21.

基金项目:908专项资助项目(908-02-04-07).

作者简介:卢光明(1986-),男,硕士研究生,主要从事生态养殖研究. Tel: 0574-87600374; E-mail: lugm33@163.com

通讯作者:徐永健(1975-),副教授. E-mail: xuyongjian@nbu.edu.cn

3根,同时用塑料桶在采样点采集上覆池水50 L。8月、11月现场池塘实测数据表明两者溶解氧(DO)、氧化还原电位(Eh)以及pH这3项指标差异不显著;温度和透明度这2项指标差异显著,8月份分别为33.9℃、30 cm,11月份为16.0℃、60 cm。

样品运回实验室后,采用孵化法模拟养殖池塘沉积物-水界面的通量交换过程。即在现场温度盐度的条件下,用PVC管对采回的柱样加上覆水进行培养,根据实测的上覆水体物质浓度变化,计算得出物质在沉积物水界面的扩散通量^[3-4]。把沉积物采样柱放置在实验室中,加入现场采回的上覆水样进行培养,水深30 cm;另外将上覆水加入另一个没有沉积物的PVC管,作为现场池水空白对照,以减少培养过程中的误差。对上覆水微充气,用螺旋止水夹控制充气量,防止水体缺氧及混匀水体。每次取得的水样经0.45 μm的微孔滤膜过滤测定,每次取样时间为0 h、4 h、16 h、40 h、52 h。PO₄-P测定采用海洋监测规范推荐的方法^[5]。

1.2 沉积物-水界面磷交换通量的计算

沉积物-水界面活性磷酸盐交换通量的计算方程式如下:

$$J_{DM} = M_t / A_t$$

$$M_t = V(C_t - D_{t-1})$$

式中, J_{DM} : 沉积物-水界面营养盐直接测定的通量 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$], A : PVC管的表面积 (m^2); V : 沉积物上覆水的体积(L); M_t : 由 $t-1$ 到 t 时刻营养盐的质量变化, C_t : t 时刻直接测得沉积物上覆水中活性磷酸盐的浓度; D_{t-1} : $t-1$ 时刻沉积物上覆水中活性磷酸盐的实际浓度($\mu\text{mol/L}$)。值得注意的是 C_t 为 t 时刻测得沉积物上覆水中磷酸盐浓度,而 D_{t-1} 是 $t-1$ 时刻沉积柱中取出 V_0 体积样品后,又加入 V_0 体积原站水样后的实际浓度,其计算式为:

$$D_{t-1} = [(V - V_0) \cdot C_{t-1} + V_0 \cdot C_0] / V$$

式中, D_t : t 时刻沉积物上覆水中活性磷酸盐的实际浓度($\mu\text{mol/L}$); V_0 : 每次取样体积(L); C_0 : 原始底层水中活性磷酸盐的浓度; C_t : t 时刻直接测得的上覆水中活性磷酸盐的浓度。

1.3 环境因素对沉积物磷释放影响的试验

1.3.1 温度 将底泥放入PVC管中,泥深10 cm,水深25 cm,分别置于15℃、25℃、35℃的培养箱中,模拟沉积物中磷释放。

1.3.2 盐度 将底泥放入PVC管中,分别加入用蒸馏水和海水配制成盐度为5、10、15、20、25的上覆水,泥深10 cm,水深25 cm,于 (28 ± 1) ℃下,模拟沉积物中磷释放。

1.3.3 pH 将底泥放入PVC管中,泥深10 cm,分别加入经过滤的上覆水,用1 mol/L的HCl和1 mol/L的Na₂CO₃调节上覆水pH至3.0、5.0、7.0、9.0,于 (28 ± 1) ℃下,模拟沉积物中磷释放。

1.3.4 微生物 将底泥分别加入到PVC管中,分为未经处理的、加HgCl₂以及加光合细菌的,上覆水经过0.45 μm的微孔滤膜过滤,泥深10 cm,水深25 cm,于 (28 ± 1) ℃下,模拟沉积物中磷释放。

上述实验每日取上覆水测定PO₄-P含量,直至浓度相对稳定。

2 结果与分析

2.1 沉积物-水界面活性磷酸盐交换通量

表1是在8月、11月份2次实验中,上覆水中磷酸盐随时间的变化及沉积物-水界面交换通量。在表中可以看出,上覆水中溶解磷酸盐的浓度都随着培养时间的延长而逐步升高。8月、11月沉积物-水界面活性磷酸盐的交换通量分别为104.9 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 、70.1 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,8月份的通量要高于11月份,这与8月份的沉积物温度较高有关。

2.2 环境因素对沉积物中磷释放的影响

2.2.1 温度影响 温度变化对沉积物中磷释放会产生一定的影响(图1),当 $T=15$ ℃时,上覆水中的PO₄-P浓度从初始时的0.045 $\mu\text{mol/L}$ 上升到第6天的0.716 $\mu\text{mol/L}$,P释放量为0.015 mg;当 $T=25$ ℃时,PO₄-P浓度从0.045 $\mu\text{mol/L}$ 上升到第6天的0.987 $\mu\text{mol/L}$,P释放量为0.020 mg;当 $T=35$ ℃时,PO₄-P浓度从0.045 $\mu\text{mol/L}$ 上升到第6天的1.294 $\mu\text{mol/L}$,P释放量为0.027 mg;35℃条件下的上覆水中PO₄-P浓度是15℃的1.8倍,可见温

表1 上覆水中活性磷酸盐浓度的变化及沉积物-水界面活性磷酸盐的交换通量
 Tab.1 Concentrations and fluxes of phosphorus across sediment-water interface

$n=3; \bar{x} \pm SD$

时间/h Time	上覆水中溶解磷酸盐的浓度/($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) Concentration of dissolved phosphate in overlying water	
	8月 August	11月 November
	0	0.045 ± 0.006
4	0.624 ± 0.036	0.658 ± 0.020
16	0.737 ± 0.020	0.714 ± 0.015
40	0.981 ± 0.012	0.854 ± 0.048
52	1.250 ± 0.026	0.835 ± 0.011
通量/($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) Flux	104.9 ± 0.265	70.1 ± 0.252

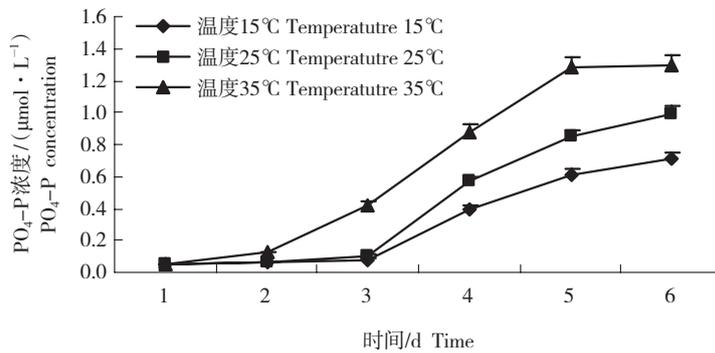


图1 温度对沉积物磷释放的影响

Fig. 1 Effect of temperature on release of phosphorus from sediments

度对沉积物磷释放有明显的促进作用。

2.2.2 盐度影响 盐度变化对沉积物中磷释放同样产生一定影响(图2),当盐度为5时,上覆水中的 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度从 $0 \mu\text{mol/L}$ 上升到 $0.123 \mu\text{mol/L}$,沉积物磷释放量为 0.003 mg ;当盐度为10时,沉积物磷释放量为 0.019 mg ;当盐度为15时,沉积物磷释

放量为 0.020 mg ;当盐度为20时,沉积物磷释放量为 0.021 mg ;当盐度为25时,沉积物磷释放量为 0.029 mg 。沉积物磷释放量随着盐度的升高有明显的增加,盐度的变化体现在溶液中离子活度的变化,随着盐度的升高,溶液中被吸附离子的活度减小,沉积物中磷释放量增大。

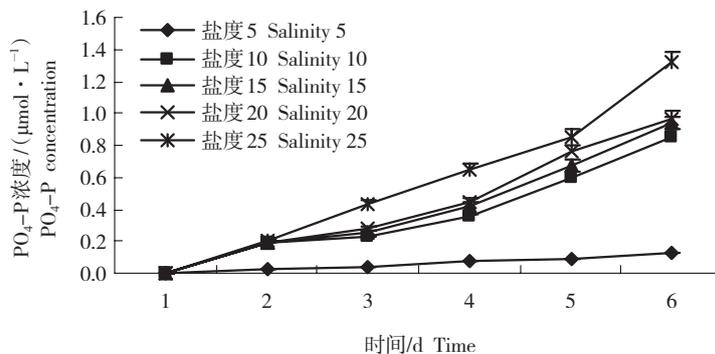


图2 盐度对沉积物磷释放的影响

Fig. 2 Effect of salinity on release of phosphorus from sediments

2.2.3 pH 影响 pH变化对沉积物磷释放也有影响(图3),当pH为3时,上覆水中 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度从起始的 $0.045\ \mu\text{mol/L}$ 上升到 $1.300\ \mu\text{mol/L}$,沉积物磷释放量为 $0.027\ \text{mg}$,释放量最大;当pH为5时, $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度从起始的 $0.045\ \mu\text{mol/L}$ 上升到 $1.083\ \mu\text{mol/L}$,沉积

物磷释放量为 $0.024\ \text{mg}$;当pH为7时,沉积物磷释放量为 $0.022\ \text{mg}$;当pH为9时,沉积物磷释放量为 $0.023\ \text{mg}$ 。不同pH条件下磷释放由高到低依次为酸性、碱性、中性。

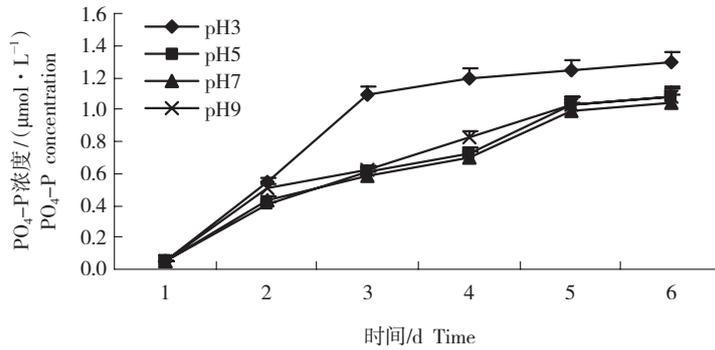


图3 pH对沉积物磷释放的影响

Fig. 3 Effect of pH on release of phosphorus from sediments

2.2.4 微生物影响 微生物对沉积物磷释放的影响如图4,经 HgCl_2 灭菌的组,在3个处理中磷的释放量最少,但是到第6天,未灭菌组与灭菌组的沉积物磷

释放量接近,磷的释放量分别为 $0.020\ \text{mg}$ 、 $0.022\ \text{mg}$;添加了光合细菌的组,沉积物磷释放量最大,达到 $0.028\ \text{mg}$ 。

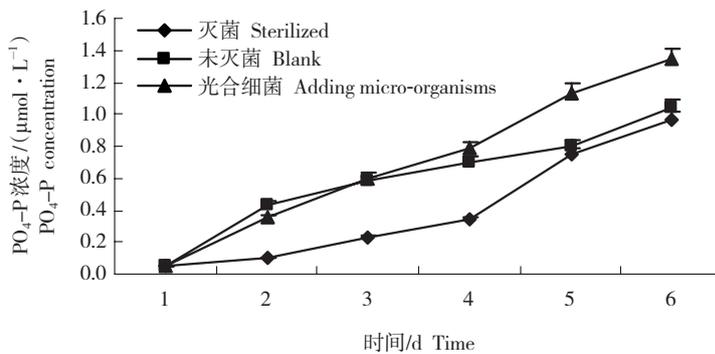


图4 微生物对沉积物磷释放的影响

Fig. 4 Effect of microbe on release of phosphorus from sediments

3 讨论

国内外对养殖池塘沉积物-水界面磷的交换通量研究很少,多数是对海湾和潮滩进行相关方面的研究,本实验得出来的养殖池塘沉积物-水界面磷的交换通量,在8月份、11月份分别达到了

$104.9\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 、 $70.1\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,高于海湾养殖海区沉积物-水界面磷的通量^[5],这与三门养殖池塘与城镇距离较近,有较多的含磷污水流入池塘有关;其次是由于取样季节为夏、秋季,与温度较高有关。磷酸盐随后又通过生物吸收和颗粒物的吸附沉降到池塘底部,形成一个磷的储存库。

在其他条件相同的情况下,沉积物中磷的释放随温度的升高而增强。本实验中35℃条件下的上覆水中 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度是15℃的1.8倍,这可能是由于温度升高,微生物的活性增强,一方面导致了耗氧增多,DO含量减少,从而使Eh降低,使 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} ,磷从正磷酸铁和氢氧化铁沉淀物中释放出来;另一方面也加速了有机质的分解。且对于某些海相沉积物,无机磷主要以钙结合态存在,温度升高导致有机质矿化作用加强,释放出大量的二氧化碳,加速了钙质沉积物的溶解,从而也相应地加强了沉积物中磷的释放作用。而低温条件下,水体中的磷也会向沉积物中迁移,这也降低了沉积物向外释放的通量^[6-7]。王庭健^[8]对南京玄武湖底泥磷释放的模拟实验表明,35℃比25℃时磷的释放量提高了1倍。吴根福等^[9]对西湖底泥磷释放的研究结果显示,温度可影响底泥磷释放。王汉奎等^[10]对三亚湾沉积物中磷释放的实验表明,40℃条件下上覆水中的总溶解磷(TDP)和溶解态无机磷(DIP)含量分别是15℃时的1倍和2倍。

盐度对于沉积物中营养盐的解吸能力的影响主要体现在低盐度条件下。本实验中盐度为5与盐度为10及以上时沉积物中磷的释放量有明显的差异,而盐度10及以上则差别不大。盐度的变化体现在溶液中离子活度的变化,随着盐度的升高,溶液中被吸附离子的活度减小^[11],导致沉积物中磷释放量增大,反之亦然。

研究表明,在没有其他因素的影响下,水体pH为7.0左右时沉积物磷以 HPO_4^{2-} 、 H_2PO_4^- 形态存在,最易被吸收故其释放量最小^[12]。而在酸性和碱性条件下,均有助于沉积物中磷的释放。这是由于低pH状态下,磷酸盐主要以可溶性的 H_2PO_4^- 盐形式存在,使得磷从氢氧化铝以及氢氧化铁胶体沉淀中大量释放出来;升高pH,则体系中的 OH^- 与无定形Fe-Al胶合体中的磷酸根发生交换,使沉积物中磷释放量增加。水合氧化物负电荷数量的增加以及 OH^- 和 H_2PO_4^- 竞争吸附点位这两者的综合作用导致了沉积物中总磷释放量的增加^[13]。

本实验中,在有微生物作用下,沉积物磷释放明显增加,微生物可把底泥中有机态磷转化分解为无机态磷,从而增加底泥磷的释放,此外微生物还可将不溶性磷化物转化为可溶性磷。侯立军等^[14]在对苏州河底泥内源磷释放的实验中发现,在微生物作用下的底泥磷释放量显著高于没有微生物作用的底泥;吴根福等^[9]在杭州西湖底泥释磷的初步研究中发现,培养初期总磷和磷酸根均有所下降,随着培养时间的延长磷的释放逐渐加强,充分说明了微生物对磷释放的影响。

参考文献:

- [1] Zabel M, Dahmke A, Schulz H D. Regional distribution of diffusive phosphate and silicate fluxes through the sediment-water interface: The eastern south Atlantic [J]. Deep Sea Res, 1998, 45 (1-3): 277-300.
- [2] 郑锡建, 顾峰. 三门湾海域水化要素的分布特征及其相关关系 [J]. 海洋通报, 1993, 12 (3): 30-36.
- [3] 陈洪涛, 刘素美, 陈淑珠, 等. 渤海莱州湾沉积物-海水界面磷酸盐的交换通量 [J]. 环境化学, 2003, 22 (2): 110-114.
- [4] 张兴正, 陈振楼, 邓焕广, 等. 长江口北支滩沉积物-水界面无机氮的交换通量及季节变化 [J]. 重庆环境科学, 2003, 25 (9): 31-35.
- [5] GB 17378.1-1998, 海洋监测规范 [S]. 北京: 中国标准出版社. 1998.
- [6] 蔡立胜, 方建光, 董双林. 桑沟湾养殖海区沉积物2海水界面氮、磷营养盐的通量 [J]. 海洋水产研究, 2004, 25 (4): 57-64.
- [7] Gonsiorczyk T, Casper P, Koschel R. Variations of phosphorus release from sediments in stratified lakes [J]. Water Air Soil Poll, 1997, 99 (1/4): 427-434.
- [8] 王庭健. 城市富营养化湖泊沉积物中磷负荷及其释放对水质的影响 [J]. 环境科学研究, 1994, 7 (4): 12-20.
- [9] 吴根福, 吴雪昌, 金承涛. 杭州西湖底泥释磷的初步研究 [J]. 中国环境科学, 1998, 18 (2): 107-110.
- [10] 王汉奎, 董俊德, 黄良民, 等. 三亚湾沉积物中磷释放的初步研究 [J]. 热带海洋学, 2003, 22 (3): 1-8.
- [11] 丘耀文. 大亚湾营养物质变异特征 [J]. 海洋学报, 2001, 23 (1): 85-92.
- [12] 隋少峰, 罗启芳. 武汉东湖底泥释磷特点 [J]. 环境科学, 2001, 22 (1): 102-105.

- [13] Bostrom B, Jansson M, Forsberg C. Phosphorus release from lake sediment [J]. Arch Hydrobiol, 1982, 18: 55–59. 内源磷释放的影响 [J]. 上海环境科学, 2003, 22 (4): 258–260.
- [14] 侯立军, 刘敏, 许世远. 环境因素对苏州河市区段底泥

Phosphorus release in *Scylla serrata* (Forsk.) ponds' sediment

LU Guangming¹, LE Guanzong^{1,2}, ZHONG Mingjie^{1,3}, XU Yongjian¹

(1. Faculty of Life Science and Biotechnology, Ningbo University, Ningbo 315211, China; 2. Management Office of Ocean and Fishery, Fenghua 315505, China; 3. Zhejiang Ocean Development Institute, Zhoushan 316010, China)

Abstract: Phosphorus is the restrictive nutritive element in marine culture ecosystem, whose content can significantly influence material and energy conversion in aquaculture ecosystem. The present study established a calculation method of phosphorus flux on aquaculture pond surface layer and investigated the influence of environmental conditions such as temperature, salinity, pH and microbe on phosphorus release from sediment in Sanmen crab-breeding ponds. Preliminarily, we calculated the exchange flux of active phosphate on sediment-water interface of the crab-breeding ponds in August and November, which were 104.9 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ and 70.1 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, respectively. Through temperature, salinity, pH and microbe gradient test, we found all these factors had obvious influence on phosphorus release. Temperature significantly accelerated the release of phosphorus in sediments by promoting microbial activity. When the temperature reached 35 °C, the release of phosphorus came to 0.027 mg in total, which is 1.8 times as that at 15 °C. Similarly, the increase of salinity could also promote the release of phosphorus in sediments, with significant difference existing between high salinity and low salinity ($P < 0.05$). In the salinity of 25, the release is 0.029 mg, which is almost 10 times as 0.003 mg in salinity of 5. pH experiment showed that total phosphorus release from high to low was in acid, alkaline then neutral conditions, respectively. This may be associated with existing forms of phosphorus element in different pH. Micro-organisms also has a catalytic role for increase in phosphorus release. The release of phosphorus in presence of micro-organisms was significantly greater than sterilized treatment, particularly in the early stage, which indicate that micro-organisms can promote the release of phosphate on sediment-water interface. [Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17 (5): 1115–1120]

Key words: sediment; flux; release of phosphorus; environmental factor

Corresponding author: XU Yongjian. E-mail: xuyongjian@nbu.edu.cn