

# 珠江流域河网底泥的氮磷污染特征及释放机理<sup>\*</sup>

贾晓珊, 徐昕荣, 李适宇, 夏北成  
(中山大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510275)

**摘 要:** 针对均属珠江三角洲典型河网之一的三水西南涌及东莞运河, 在考察其底泥氮磷污染特征的基础上, 研究了底泥氮磷向水系的释放机理。结果显示两河底泥氮磷污染的垂直分布均呈表层大于底层的变化规律。底泥表层以下十几 cm 到表层, 2~5 倍以上的含量增加表明氮磷污染近几年急剧加重。底泥氮释放实验的结果表明, 与好氧条件相比嫌氧氮释放量明显增加, 除硝化反应受制于嫌氧条件是其原因之外, 嫌氧氨化作用同样是造成水中氨氮增加的另一重要原因。在底泥磷释放实验中, 尽管没有观察到好氧条件下的磷聚集这一现象, 但是在嫌氧条件下底泥中磷酸根磷含量的明显增加印证了以往研究提出的“嫌氧磷释放”机理。碳源葡萄糖能促进这一“嫌氧磷释放”现象加快进行。

**关键词:** 底泥; 氮; 磷; 释放

**中图分类号:** X522 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579(2005)02-0107-04

底泥不但是河流水污染物迁移的一个主要归宿, 同时也是制约河流水质的重要次生污染源。特别是在富营养化成为水质最重要指标之一的今天, 有关底泥氮磷的污染特征及其在泥水间的迁移变换成为众多学者研究的重点<sup>[1-7]</sup>。尽管这些研究涉及到了不同类型的底泥<sup>[1-9]</sup>、众多的迁移变换条件<sup>[6,7]</sup>, 但是与污染特征基本明确相比, 底泥氮磷在泥水间的迁移变换机理还不十分明确。本研究以珠江三角洲典型河网为对象, 在全面考察其底泥氮磷污染特征的基础之上, 重点研究了底泥氮磷向水体的释放机理。与以往研究不同, 不但考察了水系氮磷成分的变化, 同时也掌握了底泥氮磷成分的改变, 力求在前人已取得的成果基础上对底泥氮磷向水体释放机理的认识有所提高。同时对今后的底泥污染修复方法提供一些理论依据。

## 1 实验材料和方法

### 1.1 底泥样品的采集

本研究选取广东省三水西南涌的上游及东莞运河的中游河段为研究对象。三水西南涌是紧接珠江广州段上游鸦岗的一条重要支流。三水西南涌上游两岸分布许多厂矿企业, 其大量的排污不但造成西南涌的严重污染, 同时也带来广州主要饮用水源地—鸦岗水质的恶化。因此三水西南涌已成为广东省重点治理的对象之一。东莞是广东省近年快速发展的城市, 同时也是环境恶化最严重的城市之一。其

境内大部分的污染物均排入运河并汇入珠江下游。针对上述两河, 2003 年 5 月用硬质塑料柱状采样器进行了实地底泥采集。采集后的柱状泥样, 按间距 5 cm 分割, 装入袋中密封并在 -20 °C 保存备用。除氨氮用采集的新鲜样外, 其余检测项目需将采集样品在避光通风处解冻晾干研磨后过 100 目筛备用。底泥样品中的氨氮、总氮、磷酸根磷、总磷、BOD<sub>5</sub> 及 COD<sub>Cr</sub> 含量分别以后述的方法分析。

### 1.2 氮磷释放实验方法

针对三水(简记: S)及东莞(T)两类底泥, 分别进行好氧氮磷释放(H)、嫌氧氮磷释放(Y)及添加葡萄糖的嫌氧氮磷释放(YG)三系列释放实验。1 000 mL 不含氮磷的低浓度营养盐溶液里加入一定量的新鲜泥样(混合 0~20 cm 柱状底泥)混合均匀置入广口烧杯及已用氮气完全除去瓶内氧气并密封的三角烧杯。广口烧杯及密封的三角烧杯均以磁力搅拌器保持相对低强度的搅拌, 分别模拟好氧及嫌氧氮磷释放。在 YG 系列的磷释放实验中, 添加葡萄糖使其保持相当于 250 mg/L 的初期浓度。所有释放实验在 25 °C 的室温及 pH=7.5 左右的条件下进行。各释放实验开始后, 定时测量混合液中的液相溶解氨氮、总氮、磷酸根磷及总磷浓度; 混合液中的固相氨氮及磷酸根磷的含量。

### 1.3 分析项目及测定方法

氨氮: 新鲜泥样用 KCl 提取, 然后蒸馏用

\* 收稿日期: 2004-03-31

基金项目: 国家“985 工程”基金资助项目(32000-3253282); 中山大学“百人计划”重点资助项目

作者简介: 贾晓珊(1962 年生), 男, 教授, 博士生导师, E-mail: eesjxs@zsu.edu.cn

H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 吸收; 总氮: 将预处理后的底泥样品用重铬酸钾—硫酸消化, 然后用浓碱蒸馏再以 H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 吸收; 磷酸根磷: 用硫酸与氢氧化钠浸提法提取, 钼锑抗法显色, 分光光度计进行测定; 总磷: 用高氯酸—硫酸消化样品, 钼锑抗法显色, 分光光度计进行测定; COD<sub>Cr</sub>: 取 0.05 g 样品, 加蒸馏水定容 10 mL, 用重铬酸盐法测定; BOD<sub>5</sub>: 取 1 g 样品, 加蒸馏水定容至 700 mL 后按照标准 BOD 实验方法及用碘量法测定。所有的测定方法均参照文献<sup>[8,9]</sup> 中的标准方法。

2 结果与讨论

2.1 氮磷污染调查的结果

图 1 给出三水西南涌及东莞运河沿底泥深度的氮磷污染分布。如图 1a 和 d 所示, 两地底泥氨氮及总氮沿垂直方向均呈下层含量低且稳定, 越接近表层含量逐渐增加的分布。其表层含量可达底部的 3.4~3.5 (三水西南涌) 及 2.3~2.7 (东莞运河) 倍。另一方面, 两地底泥磷酸根磷及总磷沿垂直方向显示与氨氮及总氮呈一致的分布 (图 1b 和 e), 其表层的含量也分别可达底部的 3.6~5.2 (三水西

南涌) 及 2.5~2.8 (东莞运河) 倍。这些调查结果反映两地底泥氮磷污染近几年急剧加重。由于大量污染物的排入, 河水中不断增加的氮磷负荷使得一些溶解或颗粒态的氮磷物质通过絮凝、吸附、沉降等作用而蓄积于河底, 从而逐步增加了表层沉积物中氮和磷的含量。三水西南涌由于河流流速缓慢从而加重氮磷污染向底泥的蓄积。三水西南涌及东莞运河沿底泥深度的氨氮/总氮及磷酸根磷/总磷比分别显示在图 1c 和 f 中。除三水西南涌的氨氮/总氮外, 其他均变化不大。三水西南涌的底泥 10~30 cm 段落的氨氮/总氮比远远高过其他近 3 倍显示总氮中有机氮转化为氨氮的活动被活泼地进行在该层之中。实际上该层之中有利的嫌氧还原环境及相对丰富的含氮有机物的存在, 都有利于嫌氧氮化微生物的生长。

2.2 氨氮的释放

图 2 为三水西南涌和东莞运河底泥中氨氮在好氧及嫌氧条件下释放实验的结果。在好氧条件下, 随着底泥中氨氮浓度的减少 (图 2 c), 释放到水中的氨氮相应增加 (图 2 a), 达到峰值后开始下降。由于图 2 b 中硝态氮浓度的增加确认着硝化反应的

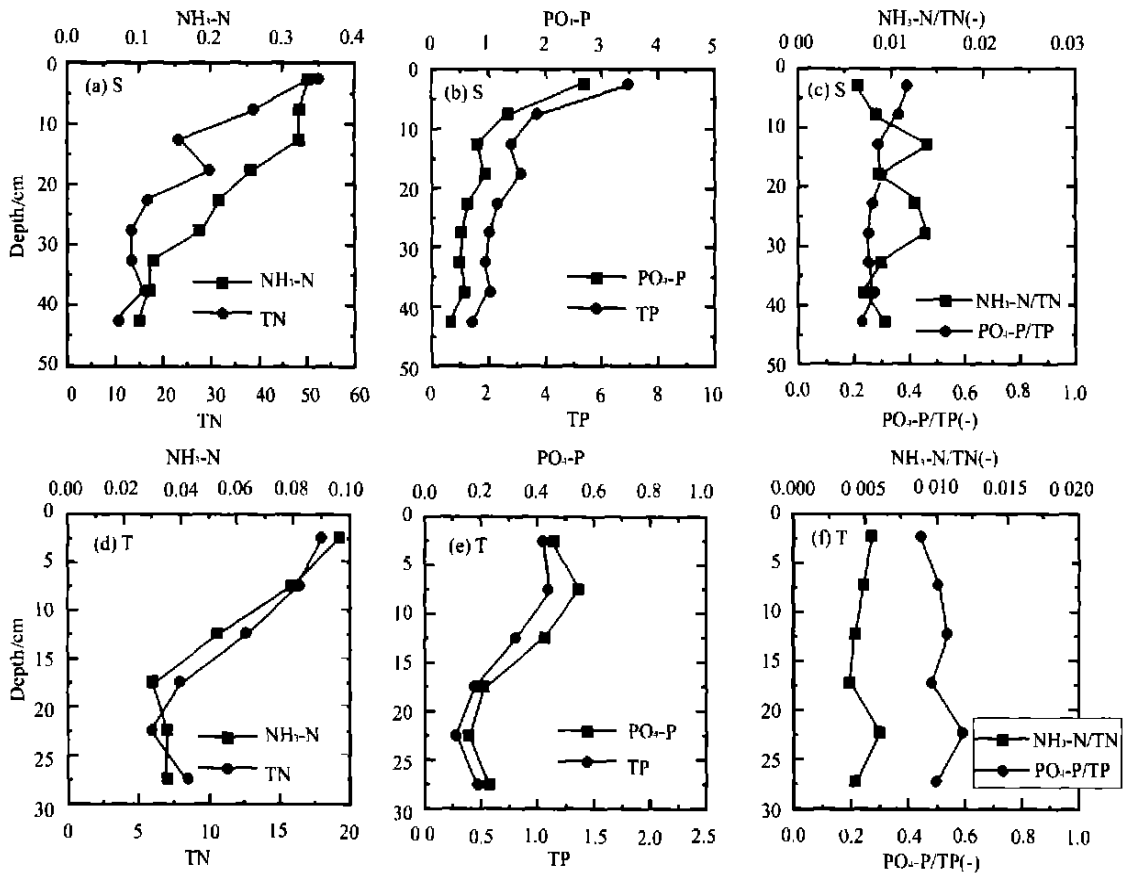


图 1 三水西南涌(a, b, c)及东莞运河(d, e, f)底泥中氮和磷的垂直分布

Fig. 1 The vertical distribution of nitrogen and phosphorus in Sanshui (a, b, c) and Dongguan (d, e, f) river sediments

存在，所以峰值前的氨氮积累显示释放大于经由硝化的减少。峰值后的氨氮减少主要由硝化反应引起。因此，提高水中溶解氧含量或增加硝化菌的菌体量均有利于控制底泥中氨氮向水体的释放。另一方面在嫌氧条件下，与以往的研究结果相一致，在无引起氨氮减少的硝化反应的条件下图 2 b 中，硝态氮浓度的无增加确认着无硝化反应的存在），水中氨氮的增加大于好氧条件下的结果。但是，图 2 c 中初期底泥氨氮浓度的明显增加显示着嫌氧氨化作用同样是造成水中氨氮增加的另一重要原因。

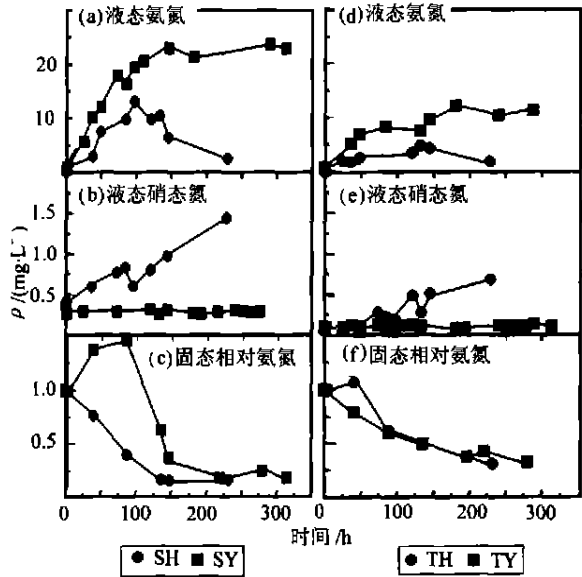


图 2 三水西南涌(a, b, c)和

东莞运河(d, e, f)底泥氨氮释放实验的结果

Fig 2 Changes of solution ammonia, nitrate and relative ammonia of sediment in Sanshui and Dongguan sediment release experiments

三水西南涌底泥实验结果相比，东莞运河底泥在好氧条件下的氨氮释放显示出完全一致的规律。在嫌氧条件下，东莞运河底泥中氨化作用不明显(图 2d, e, f)。实际上，图 1c 和 f 中底泥氨氮/总氮比值的变化已揭示了两者的不同，与东莞运河底泥相比，三水西南涌底泥中 10~30 cm 底泥中氨氮/总氮比值明显高于其他层次，显示着嫌氧氨化微生物相当富积于本层中。因此，从底泥氮污染修复的角度来说，提高底泥中嫌氧氨化微生物的菌体量有利于非氨氮的有机氮类尽快转化并去除。

2.3 磷的释放

图 3 分别为三水西南涌及东莞运河底泥中磷酸根磷在好氧及嫌氧条件下释放实验的结果。两者底泥中磷在好氧及嫌氧条件下具有完全一致的释放规律。在好氧条件下，随着底泥中磷含量的减少(图

3b, d)，释放到水中的磷相应增加(图 3a, c)，当底泥中磷含量不再减少时水中的磷相应也不再增加。同时，没有观察到好氧条件下的磷聚集这一现象表明处于嫌氧状态的底泥中，好氧聚磷微生物的菌体量非常低。在嫌氧条件下，底泥中磷含量的明显增加(图 3b 及 3d)印证了以往研究提出的“嫌氧磷释放”机理。由于其他形态的磷转化为磷酸根磷而使得底泥中其含量增加，同时造成水中磷酸根磷的相应多量的积累(图 3a 及 3c)。

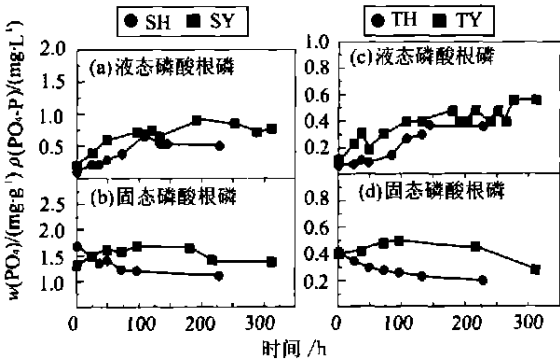


图 3 三水西南涌(a, b)和

东莞运河(c, d)底泥磷释放实验的结果

Fig 3 Changes of solution PO<sub>4</sub> and sediment PO<sub>4</sub> in Sanshui and Dongguan sediment release experiments

在“嫌氧磷释放”机理中，因为其他形态的磷转化为磷酸根磷的过程需要碳源，所以底泥中碳源的多少及种类影响着这一过程。相对于底泥中至多 mg/kg 的 BOD<sub>5</sub>，本研究提供了添加简单碳源葡萄糖(250 mg/L)的比较实验。图 4 分别为三水西南涌及东莞运河底泥中磷在不同嫌氧条件下释放实验的结果。

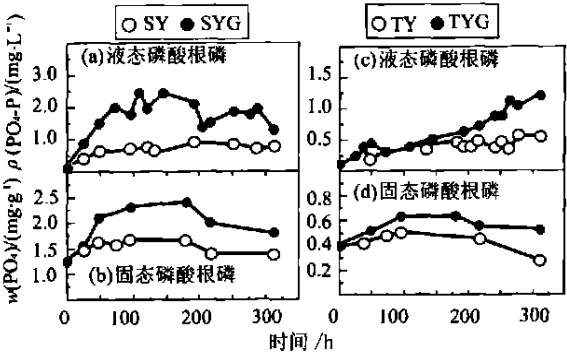


图 4 不同嫌氧条件下三水西南涌(a, b)和

东莞运河(c, d)底泥磷释放实验的结果

Fig 4 Changes of solution PO<sub>4</sub> and sediment PO<sub>4</sub> in Sanshui and Dongguan sediment release experiments under different anaerobic conditions

图 4b, d 显示与无葡萄糖添加相比, 在添加葡萄糖的条件下, 底泥中磷酸根磷含量大幅增加最多达 1.6 倍(三水西南涌)及 1.2 倍(东莞运河), 表明碳源葡萄糖能促进不同形态的磷转化进而产生多量的磷酸根磷。由于底泥中磷酸根磷含量的增加同样造成释放到水中磷酸根磷的增加(图 4a, c)。因此, 从底泥磷污染异位修复的角度来说, 控制修复的初期阶段为嫌氧环境并适当添加碳源将有利于有机磷类尽快及充分转化为磷酸根磷并在下阶段去除。

参考文献:

[1] LAU S S S, CHU L M. The significance of sediment contamination in a coastal wetland, Hong Kong, China[ J] . Water Research, 2000, 34: 379—386.

[2] LAU S S S. The significance of temporal variability in sediment quality for contamination assessment in a coastal wetland[ J] . Water Research, 2000, 34: 387—394.

[ 3] XIE L Q, XIE P. Long-term (1956—1999) dynamics of phosphorus in a shallow subtropical Chinese Lake with the possible effects of cyanobacterial blooms [ J] . Water Research, 2002, 36: 343—349.

[ 4] PAUER J J, AUER M T. Nitrification in the water column and sediment of a Hypereutrophic Lake and adjoining river system[ J] . Water Research, 2000, 34: 1247—1254.

[ 5] 刘成, 王兆印, 何耘, 等. 环渤海湾诸河口底质现状的调查研究[ J] . 环境科学学报, 2003, 23: 58—63.

[ 6] 张丽萍, 袁文权, 张锡辉. 底泥污染物释放动力学研究[ J] . 环境污染治理技术与设备, 2003, 4: 22—26.

[ 7] 胡雪峰, 高效江, 陈振楼. 上海市郊河流底泥氮磷释放规律的初步研究[ J] . 上海环境科学, 2001, 20: 66—70.

[ 8] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法. 第三版[ M] . 北京: 中国环境科学出版社, 1998: 252—286.

[ 9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[ M] . 北京: 中国科技出版社, 2000.

Distribution and Release of Nitrogen and Phosphorus in Typical River Sediments, Pearl River Delta Region, China

JIA Xiao shan, XU Xin rong, LI Shiyu, XIA Bei cheng

(School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** The purposes of this study were to investigate the distribution and release of nitrogen and phosphorus in Sanshui and Dongguan river sediments, which were important tributaries of the Pearl River. Results showed that surface sediments had significantly higher nitrogen and phosphorus contents compared bottom sediments for both rivers. It indicates the significantly increasing pollution pressure from nearby industrial activities and urban expansion. In anaerobic condition, these sediments released higher level nitrogen and phosphorus into overlying water than those in aerobic condition. It was due to the amination and P stripper reactions by anaerobes existing in the former. The P stripper reaction was intensified by adding glucose.

**Key words:** sediment; nitrogen; phosphorus; release

(上接第 97 页)

Optimization Model for Calculating Basin Water Supply based on Reservoir Regulation and It's Application

CHEN Yang bo, ZENG Bi qiu

(Department of Water Resources and Environment, Sun Yat sen Universtiy, Guangzhou510275, China)

**Abstract:** An optimization model is presented for calculating basin water supply based on reservoir regulation. The objective function of this model is to maximize the water supply guaranteed rate with several constraints such as water balance, reservoir storage limitation, navigation and power generation constraints. The Dynamic Programming is employed to find the model solutions. The Xizhijiang Basin is used as a study case, and the results are derived by using the model presented in this paper. It has been found from the results that for the years without enough water supply, the water supply scheme derived from the optimization model is more rational than that derived from the simulation model.

**Key words:** reservoir dispatch; water supply; optimization model; water distribution node; dynamic programming

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>