

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.02.002

# 重污染河道疏浚程度对底泥中总氮释放的影响

沈 乐

(江苏省水文水资源勘测局南京分局,江苏 南京 210008)

**摘要** 采集正在进行疏浚的河道表层、中层、下层底泥于室内静态条件下进行 TN 释放试验,研究疏浚程度对具有明显分层现象的河道底泥中的 TN 释放影响。结果表明:重污染河道底泥的 TN 释放共分为 3 个阶段:快速释放阶段、过渡阶段、释放平衡阶段;重污染河道底泥疏浚程度越高,疏浚后底泥 TN 质量浓度越低,越有利于减少底泥中 TN 的释放。重污染河道采用水力疏浚仅能去除表层淤泥,底泥 TN 负荷仍较高。

**关键词** 城市污染河道;底泥;总氮;疏浚程度

中图分类号:X503.23 文献标识码:A 文章编号:1004-6933(2011)02-0006-03

## Impact of dredging on nitrogen release from sediment in seriously polluted river

SHEN Le

(Nanjing Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210008, China)

**Abstract**: Based on experiments of nitrogen release using samples taken from the surface, middle, and bottom layers of the sediments of a dredged river under static conditions, the effect of dredging on nitrogen release from layered sediment was examined. The results indicate that the TN release process can be divided into three phases: rapid release, transitional release, and balance release. The more dredging was conducted, the lesser the TN concentration in sediment after dredging, and the greater the reduction of TN release from sediment. However, the nitrogen load in the remaining sediment was still high after dredging of the surface sediment.

**Key words**: polluted river in cities; sediment; total nitrogen; dredging

我国许多城市水体受外源污染物的影响,水质发生恶化。这些污染物积聚在底泥中,直接影响底栖生物的生存环境,间接影响整个生物食物链系统。当外界条件改变后它们可能重新释放,使得水体污染加剧,影响河道水生生物的生境。水体底泥疏浚是削减内源污染的重要手段<sup>[1]</sup>,该技术目前已经得到广泛应用<sup>[2-5]</sup>,多数疏浚工程改善了湖泊污染水域的水质状况。但迄今为止,关于重污染河道疏浚程度对底泥中营养盐释放的影响研究得较少,特别是关于氮的释放方面。笔者选择污染严重、水质恶化、水生态系统遭到严重破坏的苏州市河道作为研究对象,就苏州市重污染河道不同疏浚程度对底泥中氮的释放规律影响展开研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

苏州市河网密集,选取一条接纳制药厂废水的重污染河道——冶方浜进行试验研究。用彼得逊采泥器采集冶方浜表层、中层与底层底泥各约 30 cm。将底泥中碎石、贝壳及动植物遗体等异物清除后装入塑料袋。同时,采集回来的底泥静置并沥去水分,立即监测底泥中的底栖生物、含水率、pH、泥质、颜色和新鲜水样的 TN。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 试验方法

为了探索重污染河道水力疏浚后各层底泥在水

体中氮的释放规律,分别取 10 kg 表层、中层、底层底泥各两组于 6 个底部直径 36 cm、高 72 cm 的圆形试验桶内,取 20 kg 河水于第 1 组试验桶内作为上覆水,同时取 20 kg 自来水于第 2 组试验桶内作为上覆水。每 2~6 d 进行 1 次水质监测,监测取样 250 mL。整个实验在自然光照下进行。

### 1.2.2 分析方法

含水率:重量法;pH 值:pH 玻璃电极法; $E_h$ :便携式  $E_h$  计;TN(水样):过硫酸钾氧化亚铁滴定;TN(底泥):高氯酸-硫酸硝化-K 氏定氮法;TP(底泥):高氯酸-硫酸酸溶-钼锑抗比色法。以上方法具体参考文献 [6]。

## 2 结果与讨论

### 2.1 底泥特性

河道底泥垂直方向上具有明显的分层现象。一般情况下,表层为流动与半流动污泥,含水率很高;中层为软泥层,含水率较高;底层为硬泥,含水率较低。苏州市河市郊段底泥三段式层序结构表现就很明显 [7]。

试验得出,表层沉积物含水率最大,这主要是因为疏浚前表层底泥与水体直接接触,致使底泥孔隙率较大,而下层底泥受压实作用而使其孔隙率和含水率较低,和李文红等 [8] 的研究得出相同结论;中层含水率次之;底层沉积物中含水率最少。重污染水体表层底泥含水率大于中层底泥和底层底泥,因此重污染河道底泥含水率随疏浚程度的增加而降低。各层底泥基本特性参数见表 1。

表 1 各层底泥的基本物理和化学特性参数

底泥分层	泥质、颜色	$E_h$ /mV	含水率/%	pH	$u(\text{TN})/(g \cdot kg^{-1})$	$w(\text{TP})/(g \cdot kg^{-1})$	$u(\text{TOC})/(g \cdot kg^{-1})$
表层泥	黑色淤泥	-200~ -220	73	7.12	4.596	2.409	62.836
中层泥	浅黑色软性泥	-180~ -210	52	7.19	3.295	2.106	36.449
底层泥	灰色沉积层硬泥	-120~ -140	27	7.55	0.937	1.603	9.239

由表 1 可见,从表层到底层,底泥颜色逐渐变浅,和玄武湖底泥的分层现象相似 [9];泥质逐渐变硬,pH 值逐渐增加,这是因为随着时间的积累,与上覆水直接接触的上层底泥有机污染物开始被分解,产生有机酸,从而降低了该层泥的 pH 值,这与相关的 pH 变化研究结论一致 [10];氧化还原电位逐渐变高,这是因为随疏浚程度的增加底泥有机质含量逐渐降低,消耗泥水界面处的 DO 量逐渐减少,新生表层的氧化还原电位逐渐上升。同时从表层到底层,底泥营养盐和有机质负荷逐渐降低。

### 2.2 不同疏浚程度的水中 TN 质量浓度变化

上覆水中初始 TN 质量浓度:自来水 0.37 mg/L,

河水 8.96 mg/L。不同上覆水体中底泥 TN 质量浓度随时间变化见图 1 所示。

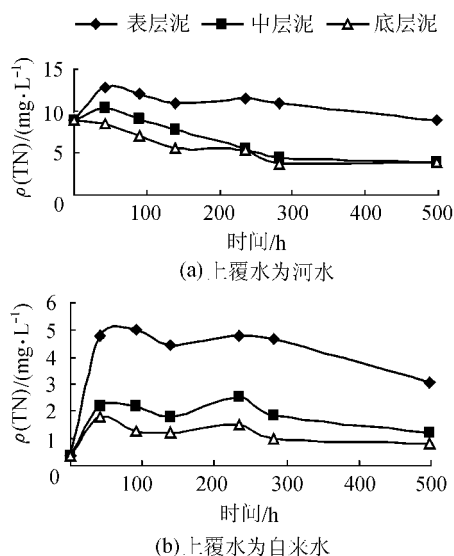


图 1 底泥中 TN 质量浓度的变化

由图 1 可见,重污染河道底泥 TN 释放共分为 3 个阶段:快速释放阶段,过渡阶段,释放平衡阶段。42 h 内底泥中 TN 处于快速释放阶段;42 h 后释放程度减缓,随着底泥中 TN 的释放,底泥-上覆水界面 TN 浓度梯度逐渐减少,138 h 后上覆水中 TN 质量浓度趋于稳定。河水作为上覆水时,底泥中氮完成快速释放后,水体中 TN 质量浓度随时间逐渐降低。

由各阶段 TN 释放随河道底泥深度而发生的变化可见,河道疏浚有利于抑制 TN 从沉积物向水体中的迁移转化,减轻水体污染状况,且河道疏浚程度越大,越有利于减少底泥中 TN 向上覆水体的释放。这是因为表层泥较软,氧化还原电位较低,pH 值较低,比较容易释放营养盐,底层泥较硬,氧化还原电位较高,营养盐释放量会低于表层和中层泥。因此底层底泥疏浚比表层、中层底泥疏浚更有利于抑制沉积物中营养盐的释放。这与范成新等 [11] 关于玄武湖和五里湖底泥疏浚研究的结论不谋而合。

### 2.3 不同疏浚程度的底泥中 TN 释放速率

氮在沉积物-水体界面的迁移和转化是一个复杂的过程,硝化和反硝化作用是沉积物-水界面氮迁移和转化的主要形式 [12]。氮的吸附与释放是一个动态平衡过程。由于水体有一定的自净功能,使得水体中氮浓度逐渐降低。

对太湖底泥释放速率 [13] 计算公式进行修订,结果如下:

$$r = [V_n \rho_n - V_0 \rho_0 + \sum_{i=1}^n V_{i-1} \rho_{i-1} - \sum_{i=1}^n V'_{i-1} \rho_a] / (At)$$

式中:  $r$  为营养盐释放速率,  $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ;  $V_n$  为柱中上覆水体积,  $\text{L}$ ;  $\rho_n$ 、 $\rho_0$ 、 $\rho_{i-1}$  为第  $n$  次、初始和  $i-1$  次采样时某底泥营养盐质量浓度,  $\text{mg}/\text{L}$ ;  $\rho_a$  为添加水样中的物质质量浓度,  $\text{mg}/\text{L}$ ;  $V_0$  为初始上覆水水体体积,  $\text{L}$ ;  $V_{i-1}$  为第  $i-1$  次采样体积,  $\text{L}$ ;  $V'_{i-1}$  为第  $i-1$  次添加水体体积,  $\text{L}$ ;  $A$  为水-沉积物接触面积,  $\text{m}^2$ ;  $t$  为释放时间,  $\text{d}$ 。

由于不考虑  $\text{NH}_3$  的水气界面交换, 所计算的 TN 释放速率为表观释放速率。

实验桶内底泥 TN 释放速率随时间的变化情况见图 2。

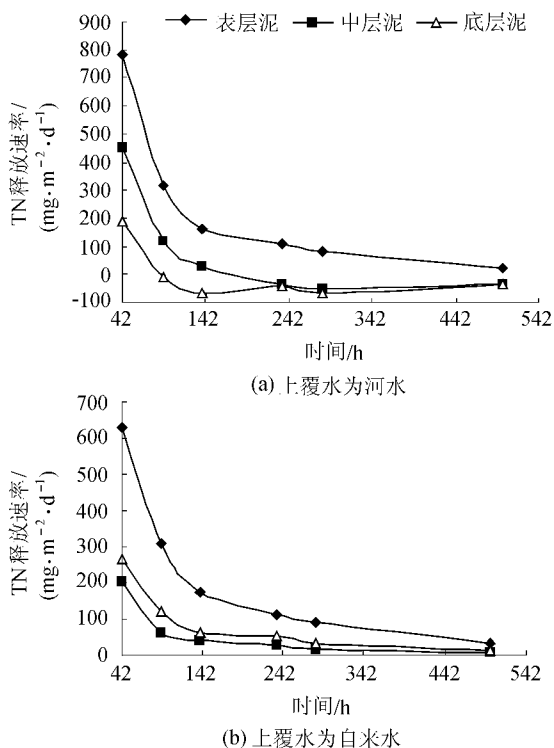


图 2 底泥中 TN 释放速率随时间变化趋势

由图 2 可见中层与底层底泥比表层底泥的氮释放速率要小, 并更早进入稳定状态, 说明仅去除表层底泥的水力疏浚可以抑制底泥 TN 的释放。上覆水为自来水时, 水体中 TN 质量浓度在趋于稳定的过程中, 底泥中的 TN 主要呈现释放状态; 上覆水为重污染河道原河水时, 疏浚后的河道底泥中 TN 呈现吸附状态。由此说明, 底泥对 TN 的吸附释放状态受到上覆水中 TN 质量浓度的影响。

由图 2(a) 可知, 重污染河道疏浚后底泥 TN 释放速率随时间逐渐降低, 随后底泥中 TN 呈现负释放即吸附状态; 疏浚程度越高, 越容易进入该状态。这是因为底泥和河水之间存在一种吸收和释放的动态平衡, 随着底泥中 TN 向水体中的释放, 底泥-上覆水界面 TN 浓度梯度逐渐减少; 当底泥中 TN 的释放已呈现饱和状态, 而水体中 TN 质量浓度依然较高

时, 底泥将吸附水体中的 TN<sup>[14]</sup>。

### 3 结 语

a. 通过底泥特性观察, 发现重污染河道经水力疏浚后底泥含水率随底泥的深度逐渐降低, pH、 $E_h$  逐渐升高, TN、TP 和有机质含量逐渐降低, 泥质逐渐变硬, 颜色逐渐变浅。

b. 重污染河道底泥 TN 释放共分为 3 个阶段: 快速释放阶段, 过渡阶段, 释放平衡阶段。底泥对 TN 的吸附释放状态受到上覆水中 TN 质量浓度的影响。

c. 对具有明显分层现象的重污染河道, 其疏浚程度越高, 越有利于降低底泥中 TN 的释放速率; 当底泥中 TN 的释放已呈现饱和状态, 而水体中 TN 质量浓度依然较高时, 底泥将吸附水体中的 TN, 从而达到净化水质的目的。

d. 水力疏浚能去除河道表层底泥, 有利于降低底泥中 TN 对水体的影响, 抑制底泥中 TN 的释放, 短期内可以改善河道水质, 减轻内源污染对水质的污染, 但河道底泥营养盐及有机负荷仍较高。

e. 为确定污染型河道水体最佳疏浚程度, 除了需要针对河道水体水质和底泥特点, 对不同疏浚程度的水质改善情况进行调查, 还需对水生生物生境恢复的影响进行研究。

### 参考文献:

- [1] 白晓慧, 杨万东, 陈华林, 等. 城市内河沉积物对水体污染修复的影响研究[J]. 环境科学学报, 2002, 22(5): 562-565.
- [2] 张锡辉. 水环境修复工程学原理与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 80-94.
- [3] 李正最, 周正达, 李广源, 等. 洞庭湖河湖疏浚综合效益研究[J]. 水电能源科学, 2003, 21(4): 46-49.
- [4] 安琪, 李发荣. 滇池草海底泥疏浚对水体水质及底泥影响分析研究[J]. 云南地理环境研究, 2002, 14(2): 65-69.
- [5] SEBETICH M J, FERRIERO N. Lake restoration by sediment dredging[J]. Verh Internat Verein Limnol, 1997, 26(2): 776-781.
- [6] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. 2版. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [7] 赵健, 郑祥民, 毕春娟, 等. 苏州河市郊段底泥重金属污染特征及对河道疏浚的影响[J]. 农业环境保护, 2001, 20(1): 27-30.
- [8] 李文红, 陈英旭, 孙建平. 疏浚对影响上覆水体自净能力的研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(3): 318-320.
- [9] 徐洪斌, 吕锡武, 俞燕, 等. 玄武湖底泥营养物释放的模拟试验研究[J]. 环境化学, 2004, 23(2): 152-156.

(下转第 12 页)

鱼类自然资源、保存本土鱼类种质 维护生态平衡。

针对库区水生生物结构失衡的现状,为有效改善水体环境,可进行针对性的水生生物调控,针对性地放养鲴类等底层鱼类以改善库区底泥,放养青鱼等鱼类以吃食异常爆发的底栖动物,投放一定量的肉食性鱼类清除过多的小型鱼类,改善水生态环境及水域生物结构。

通过水域初级生产力及渔产力的正确估算,采用生物操控技术,合理放养鲢、鳙鱼以减缓和调控富营养化进程,将营养物质以鱼产品的形式出库。

合理利用营养物生物吸收技术解决区域营养盐过剩问题,降低水体中浮游植物量和氮、磷含量。对于已经富营养化的水体,可通过增殖沉水植物,加强根际系统的净化,消耗水体的营养物质,降低水中的营养水平,提高水环境质量。

致谢:本研究得到广西壮族自治区水产研究所资源环境首席专家周解研究员的指导和帮助,在此深表感谢!对参加红水河流域水生生物自然资源调查研究的何安尤、龚竹林、杨家坚、梁雪松、吴祥庆、庞燕飞、朱瑜、张益峰、雷建军、施军等同志及多年来长期进行红水河流域水生生物自然资源调查及保护研究的同志也深表感谢!

## 参考文献:

- [1]广西壮族自治区水产研究所.广西壮族自治区内陆水域渔业自然资源调查研究报告[R].南宁:广西壮族自治区水产研究所,1984.
- [2]广西壮族自治区水产研究所.岩滩水库水生生物自然资源调查报告[R].南宁:广西壮族自治区水产研究所,1998.
- [3]广西壮族自治区水产研究所.岩滩水电站库区水生生物资源调查及回顾评价报告[R].南宁:广西壮族自治区水产研究所,2004.
- [4]广西壮族自治区水产研究所.红水河来宾段珍稀鱼类自治区级自然保护区科学考察报告[R].南宁:广西壮族自治区水产研究所,2005.
- [5]广西壮族自治区水产研究所.大唐桂冠合山发电有限公司2×600MW级机组上大压小工程温排水对排水区域水生生物影响预测及评价报告[R].南宁:广西壮族自治区水产研究所,2007.
- [6]张觉民,何志辉.内陆水域渔业自然资源调查手册[M].北京:农业出版社,1991.
- [7]广西壮族自治区水产研究所.广西淡水鱼类志[M].南宁:广西人民出版社,1984.
- [8]广西壮族自治区水产研究所.广西淡水鱼类志[M].南宁:广西人民出版社,2007.

(收稿日期 2010-03-16 编辑 徐娟)

(上接第5页)

- [6] MASHWASH N J. ECOMSED manual[M]. Lethbridge: HYDROQUAL Inc,2002:1-188.
- [7] BURBAN MCNEIL J,LICK W. Settling speeds of flocs in fresh and sea water[J]. Journal of Geophysical Research,1990,95(C10):18213-18220.
- [8] 胡维平,濮培民,秦伯强.太湖水动力学三维数值试验研究-1:风生流和风涌增减水的三维数值模拟[J].湖泊科学,1998,10(4):17-25.
- [9] 张运林,秦伯强.太湖水体中悬浮物研究[J].长江流域资源与环境,2004,10(3):266-271.

- [10] 王鹏.水动力作用下太湖沉积物再悬浮的模拟实验研究[C]//中国环境科学学会.第十三届世界湖泊大会论文集.北京:中国环境科学出版社,2009.
- [11] 罗淑葱,秦伯强.太湖波浪与湖流对沉积物再悬浮不同影响的研究[J].水文,2003,23(3):1-4.
- [12] 汤露露.基于 ECOMSED 模式的太湖风生流三维数值模拟[C]//中国环境科学学会.第十三届世界湖泊大会论文集.北京:中国环境科学出版社,2009.
- [13] 刘兴平.太湖波浪过程的数值模拟[J].江苏大学学报,2009,30(1):80-85.

(收稿日期 2010-05-20 编辑 徐娟)

(上接第8页)

- [10] 李剑超,朱光灿,刘伟生,等.沉积时间和温度对底泥间隙水有机污染物的影响[J].农业环境科学学报,2004,23(4):723-726.
- [11] 范成新,张路,王建军,等.湖泊底泥疏浚对污染源释放影响的过程与机理[J].科学通报,2004,23(4):1523-1528.
- [12] 杨龙元,蔡启铭,秦伯强,等.太湖梅梁湾沉积物-水界面

氮迁移特征初步研究[J].湖泊科学,1998,10(4):41-47.

- [13] 范成新,张路,杨龙元,等.湖泊沉积物氮磷内源负荷模拟[J].海洋与湖沼,2002,33(4):371-378.
- [14] 李文红,陈英旭,孙建平.疏浚对影响底泥向上覆水体释放污染物的研究[J].农业环境科学学报,2003,22(4):446-448.

(收稿日期 2010-01-10 编辑 徐娟)