

城市河道底泥疏浚深度对氮磷释放的影响

邢雅囡 阮晓红 赵振华

(河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室、河海大学环境科学与工程学院 ,江苏 南京 210098)

摘要 利用苏州市古城区南园河底泥柱状样 ,研究了不同疏浚深度下 ,底泥中营养物氮和磷的释放规律 .结果表明 :不同层位底泥样中氮的质量分数随着沉积深度的增加而减小 ,底泥中 TOC 的质量分数及释放量对总氮的累积与释放有较大影响 ,底泥中氮和磷的释放量与疏浚深度有关 ,当疏浚深度为 5 cm 或 15 cm 时 ,从泥水界面向水中扩散的氮和磷的通量均较小 .

关键词 城市河道 底泥 疏浚深度 营养物释放

中图分类号 :X522 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2006)04- 0378- 05

近年来 ,随着城市规模的不断扩大 ,国民经济及工农业生产的快速发展 ,大量富含氮磷的营养性污染物流入河道 ,河道富营养化问题日益严重^[1] .输入水体的营养性污染物 ,有一部分在底质中累积起来 ,成为水体中氮、磷、碳、硫等生源要素(biogenic elements)的重要蓄积库^[2-3] .在一定条件下 ,累积在底质中的氮和磷会重新释放到水里 ,造成二次污染 ,延续水体的富营养化过程 ,从而使水质进一步恶化^[4-7] .疏浚上层富含营养盐的底泥是削减内污染源的主要手段^[8-10] .由于疏浚深度对底泥的内源释放有较大影响^[11-14] ,因此 ,疏浚前必须合理地确定疏浚深度 ,以使疏浚取得最佳效果 .本文从河流污染的内源负荷入手 ,研究了苏州市古城区南园河疏浚深度与底质释放量之间的关系 ,并确定了最佳疏浚深度 .

1 材料和方法

1.1 试验材料

1.1.1 沉积物和水样

2005 年 5 月 15 日 ,笔者利用自制柱状采样器(直径 6 cm)采集了苏州市古城区南园河底泥柱状样 .泥样按表层 0~5 cm、上层 5~10 cm、中层 10~15 cm、下层 15~20 cm 分割并密封遮光后运回实验室 .运回的柱状样分为 2 部分 ,一部分在室温下阴干 ,除去碎石杂物后磨碎过筛并装入自封袋 ,用于底泥理化性质的测定 ,另一部分制成代表 4 个不同疏浚深度(0~5 cm ,5~10 cm ,10~15 cm ,15~20 cm)的柱状样 .

同时还利用自制采水器采集了原点的河水水样(其基本理化性质见表 1) ,并通过虹吸法将经 0.45 μm 玻璃纤维滤膜过滤后的 400 mL 水样加入到制好的柱状样中 ,剩余水样低温(4℃)保存备用 .

表 1 供试水样的理化性质

Table 1 Physical-chemical characteristics of water samples

指 标	$\rho(\text{TP})(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{PO}_4^{3-}\text{-P})(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TN})(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$t/^{\circ}\text{C}$	$\rho(\text{DO})(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	pH 值
测定结果	0.245	0.156	8.72	6.70	25.6	1.6	7.38

注 溶解氧质量浓度 $\rho(\text{DO})$ 、温度 t 和 pH 值为现场测定值 ;总磷的质量浓度 $\rho(\text{TP})$ 、磷酸盐的质量浓度 $\rho(\text{PO}_4^{3-}\text{-P})$ 、总氮的质量浓度 $\rho(\text{TN})$ 和氨氮的质量浓度 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 为实验室测定值 .

1.1.2 室内试验装置

试验装置如图 1 所示 ,主体部分为直径 $d=5\text{ cm}$ 、高度 $h=35\text{ cm}$ 的有机玻璃柱状容器 ,距底部 8 cm 处设置了取样口 .试验时在室温下避光培养 ,每一疏浚深度除设 3 个重复的培养样外 ,还设 3 个只加河水不加泥的空白样作为对照 ,以消除水体中营养盐自身变化的影响 .本文所有数据均为 3 个平行样的均值 .

1.2 试验方法

1.2.1 取样频次

将装柱后的水样培养 3 d 后开始取样,4 ~ 10 d 时,每天取 1 次样;11 ~ 22 d 时,每 3 d 取 1 次样;23 d 后,每 5 d 取 1 次样,直至稳定。

1.2.2 分析指标

从取样口取 100 mL 上覆水,经 0.45 μm 玻璃纤维滤膜过滤后,测定其溶解性 $\rho(\text{TN})$ 与 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 。取样后,向培养容器中补入 100 mL 备用河水。将未经培养的泥样与培养结束后的泥样在常温下风干、研碎,过 100 目筛,并测定其 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 、 $\rho(\text{TP})$ 、 $\rho(\text{TN})$ 和有机质指标。

1.2.3 分析方法

$\rho(\text{TN})$ 用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法测定, $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 用纳氏试剂比色法测定^[15-16], $\rho(\text{TP})$ 用高氯酸-硫酸酸溶-钼锑抗比色法测定, $\rho(\text{TN})$ 用高氯酸-硫酸消化-K 氏定氮法测定, $\rho(\text{TOC})$ 用重铬酸钾-硫酸(油浴)氧化-硫酸亚铁滴定法测定^[17]。

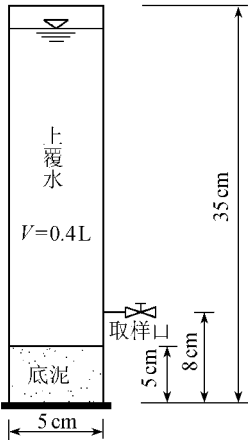


图 1 试验装置

Fig.1 Laboratory equipment

2 结果与讨论

2.1 底泥理化特性的分析

底泥中营养盐质量浓度的分布对水体营养化状态有着直接影响。底泥中的氮、磷等营养盐均可通过泥水界面释放到上覆水体中,并对河水造成二次污染;同时,底泥的水-土界面边界层会起到一种缓冲剂的作用^[12],即当上覆水体中营养盐质量浓度发生某些变化时,可通过界面底泥中营养盐的释放和交换使上覆水体中相应物质的质量浓度维持在一定的水平上。

从表 2 可以看出, $u(\text{NH}_3\text{-N})$ ^[18] 和含水率均随着深度的增加而减小,而 $u(\text{TN})$ 和 $u(\text{TOC})$ 随着深度的增加呈现出先降低后略微升高的趋势。

表 2 供试底泥样品的有关指标

Table 2 Some related indexes of sediment samples

底泥深度/cm	$u(\text{NH}_3\text{-N})/\%$		$u(\text{TN})/\%$		$u(\text{TOC})/\%$		含水率/%
	培养前	培养后	培养前	培养后	培养前	培养后	
0 ~ 5	0.053 316	0.028 283	0.451 3	0.319 3	4.063 4	3.699 8	74.52
5 ~ 10	0.044 291	0.030 491	0.341 1	0.251 8	3.289 9	2.384 3	70.52
10 ~ 15	0.043 955	0.025 321	0.307 7	0.209 2	3.344 1	2.323 0	64.24
15 ~ 20	0.040 991	0.033 960	0.331 1	0.261 8	3.480 8	2.810 6	60.97

注 培养后的泥样是指试验结束后的泥样,供试底泥样品的质量为 125 g; $u(\text{NH}_3\text{-N})$ 、 $u(\text{TN})$ 和 $u(\text{TOC})$ 分别为底泥中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 和 TOC 的质量分数。

由表 3 可知, $u(\text{TOC})$ 变化趋势与 $u(\text{NH}_3\text{-N})$ 变化趋势的相关性较低,而与 $u(\text{TN})$ 变化趋势却达到了显著相关。这说明 TOC 对 TN 的迁移有一定的影响^[19]。表 2 数据($u(\text{NH}_3\text{-N})$ 仅是 $u(\text{TN})$ 的 1/10 左右)也说明了这一点。

2.2 底泥疏浚深度对上覆水体氮化合物累积释放量的影响

以南园河水作为上覆水,培养 3 d 后分析测定了其溶解性总氮和溶解性氨氮的质量浓度,并按如下累积释放量计算公式计算了营养盐氮的累积释放量,结果如图 2 和图 3 所示。

表 3 供试底泥样品有关指标的相关性

Table 3 Correlation between related indexes of sediment samples

指标	$u(\text{NH}_3\text{-N})$		$u(\text{TN})$	
	培养前	培养后	培养前	培养后
$u(\text{TOC})$	0.761 5	0.005 9	0.898 5	0.879 5

$$R = V(\rho_n - \rho_0) + \sum_{i=1}^n V_i P_i$$

式中: R ——底泥氮化合物的累积释放量; V ——反应装置中剩余水样的体积; ρ_n ——第 n 次采样时营养物的质量浓度; ρ_0 ——初始营养物的质量浓度; V_i ——第 i 次的采样量; ρ_i ——第 i 次采样时营养物的质量浓度。

由图 2 可知, 氨氮累积释放量由大到小的顺序为 $R_{10 \sim 15 \text{ cm}} > R_{0 \sim 5 \text{ cm}} > R_{5 \sim 10 \text{ cm}} > R_{15 \sim 20 \text{ cm}}$, 总氮累积释放

量由大到小的顺序为 $R_{10\sim 15\text{ cm}} > R_{0\sim 5\text{ cm}} > R_{15\sim 20\text{ cm}} > R_{5\sim 10\text{ cm}}$. 总的来说, $0\sim 5\text{ cm}$ 和 $10\sim 15\text{ cm}$ 的底泥中氨氮与总氮的累积释放量均较高, 而 $5\sim 10\text{ cm}$ 和 $15\sim 20\text{ cm}$ 的底泥中氨氮与总氮的累积释放量则相对较低.

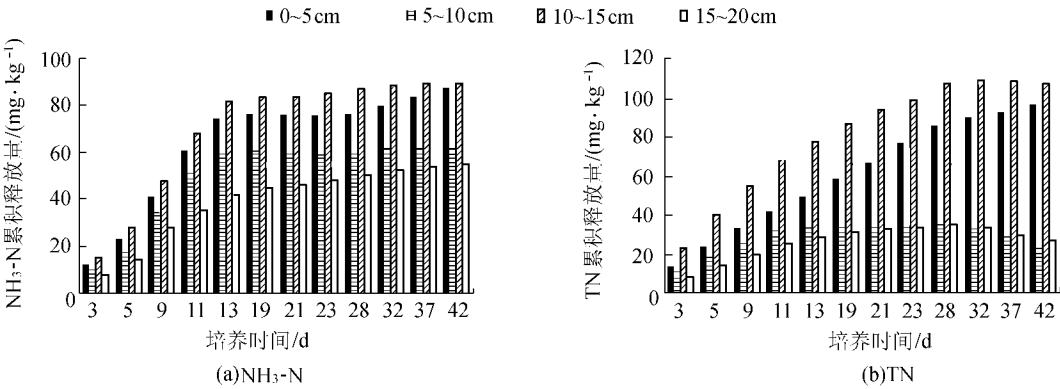


图2 不同底泥疏浚深度下氮化合物累积释放量与培养时间的关系
Fig.2 Variation of accumulative release of nitrogen compounds from sediment with cultivation time at different depths of sediment dredging

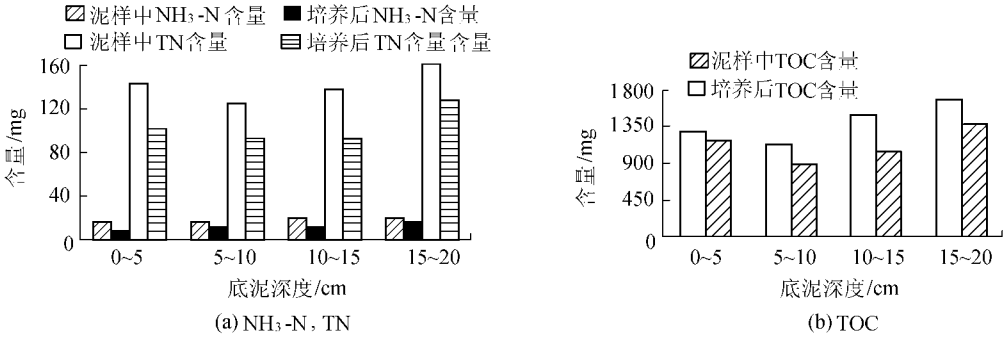


图3 供试底泥样品中营养盐培养前和培养后含量对比

Fig.3 Comparison of amounts of nitrogen compounds and TOC in sediment samples before and after cultivation

由图3可知,底泥中氨氮、总氮、TOC的累积释放量与其在底泥中的含量无明显相关关系,如 $15\sim 20\text{ cm}$ 层的底泥样中营养盐含量最高,但该层相应的累积释放量却较低.

综合分析图2和图3可知:表层 $0\sim 5\text{ cm}$ 的底泥是河道中新的沉积层,氨氮与总氮在底泥胶体上的吸附强度较弱,容易被其他交换吸附能力强的阳离子取代而进入上覆水体.对 $5\sim 10\text{ cm}$ 的底泥来说,由于目标层的污染负荷最低,该层对上覆水体的释放量处于较低水平.对 $10\sim 15\text{ cm}$ 的底泥来说,由于上层氨氮、总氮的迁入与累积,使该层底泥相应氮化合物的累积量相对于上一层较高;同时,上层迁入的TOC在该层较高的累积与分解释放是该层释放量最高的主要原因.尽管 $15\sim 20\text{ cm}$ 的底泥中氨氮、总氮与TOC的累积量均最高,但各自的释放量却相对最低.因为上述各物质经过底泥网状结构的层层过滤,最终累积于底层的物质可能已与底泥形成了比较稳定的、结合强度较高的紧结合态物质,即使将该层直接暴露于上覆水体,其中包含的物质相对于其他各层也较难释放.

2.3 底泥疏浚深度对上覆水体氮化合物释放速率的影响

根据营养盐氮的累积释放量,通过下式计算了营养盐氮的释放速率 M ,结果如图4所示.

$$M = (R_i - R_{i-1}) / n$$

式中: R_{i-1} 、 R_i ——第 $i-1$ 次和第 i 次采样时计算的累积释放量; n ——两次采样间隔的时间.

由图4(a)可知,4种不同层位底泥样中氨氮的释放速率具有相同的变化规律.即:当培养时间 $\leq 5\text{ d}$ 时,释放速率呈急剧上升趋势;当培养时间 $= 5\sim 21\text{ d}$ 时,释放速率呈下降趋势;当培养时间 $> 21\text{ d}$ 时,释放速率又有所上升并逐渐趋于稳定.

进一步分析图4可知,整个释放过程可划分为3个阶段:当培养时间 $\leq 9\text{ d}$ 时,沉积层较新的 $0\sim 5\text{ cm}$ 底泥中氨氮与总氮的释放速率 $M_{0\sim 5\text{ cm}}$ 最高, $M_{10\sim 15\text{ cm}}$ 和 $M_{15\sim 20\text{ cm}}$ 次之, $M_{5\sim 10\text{ cm}}$ 最低;当培养时间 $= 9\sim 21\text{ d}$ 时, $M_{10\sim 15\text{ cm}}$ 和 $M_{15\sim 20\text{ cm}}$ 最高, $M_{0\sim 5\text{ cm}}$ 次之, $M_{5\sim 10\text{ cm}}$ 最低;当培养时间 $> 21\text{ d}$ 时, $M_{15\sim 20\text{ cm}}$ 最低.与氨氮释放速率不

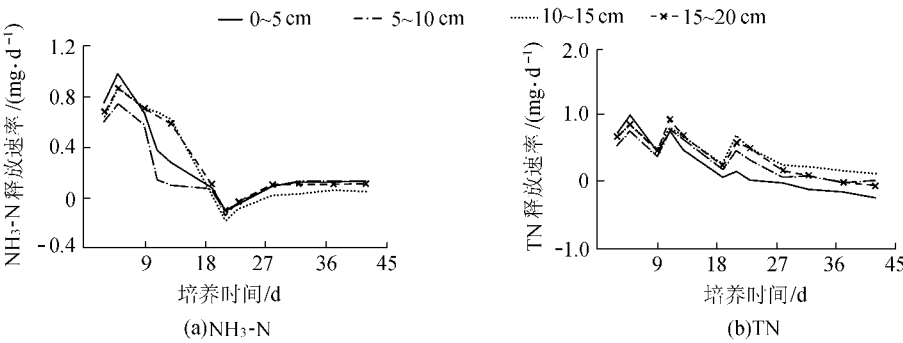


图 4 不同底泥疏浚深度下氮化合物释放速率与培养时间的关系

Fig.4 Relationship between the release rates of nitrogen compounds and cultivation time at different depths of sediment dredging

同的是:当培养时间 < 21 d 时,总氮的释放速率有 3 次大的起伏;当培养时间 > 21 d 时,总氮的释放速率开始下降并趋于稳定,但各层释放速率并不在同一培养时间达到稳定。氨氮与总氮的释放速率均在 21 d 时出现拐点。因为底泥中的氨氮经过 21 d 的释放有所降低,而有机质的矿化才刚刚开始,此时进入上覆水体的主要为有机氮,所以氨氮的释放速率一直在下降,21 d 左右出现一个拐点后又开始上升,而总氮的释放速率在 21 d 时却出现一小的波峰。这种现象与各层中不同形态氮化合物的相对含量有关。

2.4 底泥疏浚深度对上覆水体磷释放的影响

由不同深度底泥层磷的累积吸收量(表 4)可以看出,在静态培养条件下,0~5 cm,5~10 cm,10~15 cm,15~20 cm 深度的底泥层均处于对磷的吸附状态。其中 5~10 cm 深度底泥层累积吸收总可溶性磷(TDP)和磷酸盐($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)的量最多,分别为 3.26 mg 和 2.87 mg;10~15 cm 深度底泥层的累积吸收量次之,0~5 cm 深度底泥层吸收的量最少,为 2.66 mg 和 2.28 mg。15~20 cm 深度底泥层吸收的 TDP 也较少,为 2.68 mg。由此可见,各层底泥对磷的吸收状态与氮化物的释放状态相似,即清淤 5 cm 后,底泥向上覆水体释放的磷最少。

表 4 不同深度底泥层磷的累积吸收量

Table 4 Accumulative absorption of phosphorus compounds in sediment at different depths		
底泥深度/cm	TDP 的吸收量/mg	$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的吸收量/mg
0~5	2.66	2.28
5~10	3.26	2.87
10~15	2.95	2.63
15~20	2.68	2.37

3 结 论

- a. 底泥中 TOC 的含量及释放量对总氮的累积与释放具有显著影响。
- b. 疏浚深度对底泥中营养盐的释放有一定影响。对供试河段的底泥来说,清淤 5 cm 和 15 cm 后,底泥向上覆水体释放的营养盐氮及磷均较少。
- c. 不同层位底泥营养盐的释放量及释放速率与底泥的形成和沉积年代有关,即与营养盐的种类及其在底泥中的迁移累积速率有关。如苏州老城区中的河道,历史上底泥的沉积厚度一般为 40 cm,由于近年来一般每 2 年清淤 1 次,沉积厚度降低,且本试验所采集到的底泥沉积时间较短,沉积厚度只有 20 cm 左右,因此营养盐中的氮化合物的纵向迁移距离较短,分层厚度较小,保持在 5 cm 左右。对沉积时间较长(即多年未清淤)的河段底泥来说,此类营养盐的分层厚度将相应增加。因此,最佳清淤深度也应做相应调整。

参考文献:

[1] 贾国东.珠江口近百年来富营养化加剧的沉积记录[J].第四纪研究,2002,22(2):158-165.

[2] DE PINTO J V, LICK W, PAUL J F. Transport and transformation of contaminants near the sediment-water interface[M]. New York: Lewis Publishers, 1994:310-315.

[3] 刘德启,李敏,朱成文,等.模拟太湖底泥疏浚对氮磷营养物释放过程的影响研究[J].农业环境科学学报,2005,24(3):521-525.

[4] 陈家宝.南宁市南湖沉积物磷释放的研究[J].广西大学学报:自然科学版,1998,23(3):269-273.

- [5] JEFF M , JOHN W M. Ammonium release from resuspended sediments in the Laguna Madre estuary[J]. Marine Chemistry , 1999 , 65 : 97-110.
- [6] HU W F , LO W , CHUA H , et al. Nutrient release and sediments oxygen demand in a eutrophic landlocked embayment in Hong Kong [J]. Environment International 2001 26 369-375.
- [7] 韩伟明.底泥释磷对西湖富营养化的影响[J].环境污染与防治 ,1991 ,13(5) :71-77.
- [8] FRIK C R. Nutrient budget :rational analysis of Eutrophication in a Connecticut Lake[J]. Environmental Sci Technology , 1967(1) :425-428.
- [9] 金相灿 ,徐南妮 ,张雨田 ,等.沉积物污染化学[M].北京 :中国环境科学出版社 ,1992 :15-25.
- [10] 朱广伟 ,陈英旭.水体沉积物的污染控制技术研究进展[J].农业环境保护 2002 21(4) 378-380.
- [11] CORRELL D L. The role of phosphorous in the eutrophication of receiving waters :a review[J]. Journal of Environmental Quality , 1998 , 27 :261-266.
- [12] 薛联青 ,吕锡武 ,吴磊.南京玄武湖底泥磷释放复水模拟实验研究[J].环境污染与防治 ,2004 ,26(3) :163-166.
- [13] 范成新. 太湖沉积物理化性质及磷释放模拟[J].湖泊科学 ,1995 ,7(4) :341-350.
- [14] 汪家权 ,孙亚敏 ,钱家忠 ,等.巢湖底泥磷的释放模拟实验研究[J].环境科学学报 ,2002 ,22(6) :738-742.
- [15] 金相灿 ,屠清瑛.湖泊富营养化调查规范[S].2版.北京 :中国环境科学出版社 ,1990 :125-200.
- [16] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法[M].4版.北京 :中国环境科学出版社 ,2002 :156-290.
- [17] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海 :上海科学技术出版社 ,1997 :10-150.
- [18] 尹娟 ,王江南 ,勉韶平.稻田土壤中氮素运移转化规律的试验研究[J].灌溉排水学报 2005 24(3) 5-7.
- [19] 王永华 ,钱少猛 ,徐南妮 ,等.巢湖东区底泥污染物分布特征及评价[J].环境科学研究 2004 ,17(6) 22-26.

Effects of depth of sediment dredging in urban rivers on release of nitrogen and phosphorus

XING Ya-nan , RUAN Xiao-hong , ZHAO Zhen-hua

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering ,
College of Environmental Science and Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract :The regularities of nitrogen and phosphorus nutrients released from the sediment of the Nanyuan River in Suzhou City at different depths of sediment dredging were studied by use of cylindrical specimens from the sediment. Some conclusions are drawn :the mass fraction of nitrogen decreases with the increase of the depth of the sediment ; the mass fraction of TOC in the sediment and the amount of its release are of great influences on the accumulative release of the total amount of nitrogen ; the release of nitrogen and phosphorus is closely related to the depth of sediment dredging , and the fluxes of nitrogen and phosphorus released from the interface of sediment and water are small when the depth of sediment dredging is 5cm or 15cm.

Key words :urban river ; sediment ; depth of sediment dredging ; release of nutrient