

城市重污染河道环境因子对底质氮释放影响

邢雅囡¹, 阮晓红^{1,2}, 赵振华¹

(1. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京大学地球科学与工程学院, 江苏 南京 210093)

摘要: 以苏州市老城区劣 V 类水体为研究对象, 利用模拟试验方法, 研究和探讨了水体环境条件 (DO、Eh、pH 值、温度) 变化和疏浚深度对河道底泥氮释放的影响。底泥供试样中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 与 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量一般为 0.277 g/kg 与 0.0012 g/kg, 上覆水体 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 与 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量一般为 6.743 mg/L 与 1.500 mg/L。试验结果表明: 厌氧环境 ($\text{DO} < 0.5 \text{ mg/L}$)、强还原环境 ($\text{Eh} < -108 \text{ mV}$)、酸性环境 ($\text{pH} < 6.0$) 及温度升高均有利于底泥中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的释放, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的迁移转化规律则相反; 供试样控制疏浚深度 5 cm、10 cm、15 cm、20 cm, 当疏浚深度 15 cm 时, 泥水界面向上覆水体中扩散的氮通量最小; 疏浚深度、DO 和 Eh 对底泥 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 释放程度的影响大于 pH 和温度, 通过曝气等方式保持水体中适当的溶解氧或使底泥保持较强的氧化电位环境可以有效抑制底泥中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的释放。

关键词: 底泥; 氮释放; 环境因子; 主控因子

中图分类号: X522; X131.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-6791(2010)01-0120-07

底泥是江河湖海的沉积物, 是自然水域的重要组成部分。当水域受到污染后, 水中部分污染物可通过沉淀或颗粒物吸附而蓄存在底泥中, 适当条件下重新释放, 成为二次污染源。

对于城市重污染河道, 入河污染物除外源输入外, 底泥的内源释放也是河道水体富营养化的一个重要诱因^[1]。底泥中污染物的释放除了受底泥组分等影响外, 环境因子 (水体溶解氧 DO、氧化还原电位 Eh、温度 T、pH 值等) 的改变也是底泥污染物释放的重要影响因素。研究表明, 厌氧条件是促使底泥氮磷释放的主要原因, 上覆水体的营养盐水平可对底泥中氮磷营养盐释放程度产生影响^[2-3]。感潮河网区城市河道水体富营养化严重, 河道水流受潮汐影响往复运动, 易形成河道底质沉积, 环境条件变化复杂。本试验以苏州市南园水系河道底泥及其相应的环境水体为材料, 探讨不同 DO 水平、Eh、T、pH 值、疏浚深度等不同环境因子对底泥释氮作用的单因子效应, 并进行氮释放主控因子识别。

1 实验材料和方法

1.1 实验材料

1.1.1 沉积物和水样

2005 年 3 月使用中国科学院南京地理与湖泊研究所自制沉积物原状采样器采集苏州市老城区南园水系竹辉河底泥样品, 分别按 8 cm、12 cm、20 cm 控制深度采取原状柱状样。同步采集上覆水体, 水样经 0.45 μm 滤膜过滤后作为试验用水, 过滤前后 pH 值变化在 ± 0.2 个单位, 过滤水样放入 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱蔽光保存。试验沉积物及水样理化性质见表 1。

1.1.2 室内试验装置

试验装置 (图 1) 为直径 10 cm、高 50 cm 圆柱状有机玻璃容器。试验过程中, 装置用黑布遮光, 以模拟实际河道底泥环境。根据试验目的, 供试柱状样分别为表层 0~12 cm、表层 0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、

收稿日期: 2008-10-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40573051); 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2008EX07317-007)

作者简介: 邢雅囡 (1979 -), 女, 博士研究生, 主要从事水环境保护和水生态系统修复研究。E-mail: xyn@hhu.edu.cn

通信作者: 阮晓红, E-mail: ruanxh@nju.edu.cn

15~20 cm。泥水体积比为 1:3,不同影响因素控制条件下各设 3 个重复样、3 个空白样,静态培养。

表 1 供试底泥和水样基本理化性质
Table 1 Physical and chemical properties
of studied samples

监测指标	底泥 / (g · kg ⁻¹)	竹辉河水 / (mg · L ⁻¹)
TN	3.818	8.351
NH ₄ ⁺ -N	0.277	6.743
NO ₃ ⁻ -N	0.001	1.500
TP	2.512	0.411
PO ₄ ⁻ -P		0.186
pH		7.320
含水率 / %	72.37	
TOC	60.843	

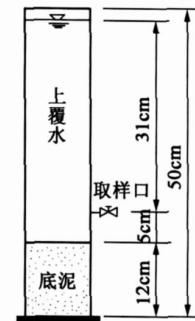


图 1 试验装置

Fig. 1 Laboratory equipment

1.1.3 试验控制条件

(1) DO 影响实验条件控制 供试样为 0~12 cm 的柱状样, DO 控制水平分别为高溶解氧 (9.0 mg/L < DO < 10.0 mg/L)、厌氧 (0.0 mg/L < DO < 0.5 mg/L)、自然状态 (1.0 mg/L < DO < 3.0 mg/L)。好氧状态以曝气机连续 24 h 充气,使溶解氧保持在 9.0~10.0 mg/L 之间;缺氧状态将容器密封,溶解氧控制在 0.5 mg/L 以下;自然状态将容器敞口,置于自然条件下。

(2) 疏浚深度影响实验条件控制 供试样分别为表层 0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm 柱状样,由 0~20 cm 的柱状原样分割获取。

(3) Eh 影响实验条件控制 供试样为 0~12 cm 柱状样, Eh 控制水平分别为强还原态 (-108 mV)、强氧化态 (216 mV)。通过加入适量铁粉、Fe²⁺ 控制试验系统的 Eh 值。

(4) pH 影响实验条件控制 供试泥样为 5 g 经 40 目筛的 0~8 cm 原状土的风干样,泥水质量比为 1:20。pH 控制水平分别为 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 恒温振荡培养。水体 pH 值通过加入 5% 稀 HCl 或 10% 稀 NaOH 进行调节。

(5) 温度影响实验条件控制 供试泥样为 5 g 经 40 目筛的 0~8 cm 原状土的风干样,试验上覆水体为蒸馏水,泥水质量比为 1:20。T 控制条件分别为 5、20 与 30。

1.2 试验方法

(1) 取样频次 试验培养后第 4 d 开始取样,取样频次为:第 4~10 d,每天取样;第 11~22 d,每 3 d 取 1 次样;23 d 后,每 5 d 取 1 次样直至稳定。每次取样 100 mL,经 0.45 μm 玻璃纤维滤膜过滤,测定指标。每次取样后,向培养容器中补入 100 mL 备用水样。

(2) 分析项目 培养前后分别测定供试底泥的基本理化性质;试验过程中分析所取水样的氨氮 (NH₄⁺-N)、硝态氮 (NO₃⁻-N)、TN、DO、pH、Eh、T。

(3) 分析方法^[4] NH₄⁺-N 采用纳氏试剂比色法测定;硝态氮采用酚二磺酸分光光度法测定;DO、pH、Eh、T 采用 HACH 多参数测定仪测定。

1.3 数据处理

试验分析数据取 3 次重复试验结果的均值。

底泥氮化合物的累积释放量计算公式如下:

$$R = V(C_n - C_0) + \sum_{i=1}^n V_i C_i \quad (1)$$

式中 R 为底泥氮化合物的累积释放量, mg; V 为反应装置中剩余水样的体积, L; C_0 为初始营养物的浓度, mg/L; V_i 为每次采样量, L; C_n 、 C_i 为第 n 次、 i 次采样时营养物的浓度, mg/L。

底泥氮化合物的释放速率采用一元线性回归法计算。

2 结果与讨论

2.1 不同溶解氧水平对底泥氮化合物释放的影响

高溶解氧 ($9.0 \text{ mg/L} < \text{DO} < 10.0 \text{ mg/L}$) 条件下, 底泥中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 在第 7 d 达到最大释放速率 $343.2 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 后开始下降, 第 12 d 时降为 $0 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 由释放转为吸附, 此时其累积释放量达到最大 $21.05 \text{ mg}/\text{kg}$, 第 19 d 释放速率降为最低值 $-405.6 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 后又表现为上升, 并以 $-33.2 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 基本达到平衡 (图 2); $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 在沉积物-水界面的迁移转化速率与累积释放量的变化趋势相似, 第 20 d 释放速率达到最大值 $313.9 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 随后释放速率减小, 累积释放量缓慢增加, 第 33 d 系统稳定, 平衡时释放速率为 $0.1 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ (图 2)。

厌氧 ($0.0 \text{ mg/L} < \text{DO} < 0.5 \text{ mg/L}$) 状态下, 底泥中的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 一直表现为释放, 第 19 d 释放速率达到最大值 $427.8 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 至第 39 d 达到平衡时为 $18.9 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ (图 2); $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的释放速率在第 6 d 达到最大 $266.0 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 第 9 d 由释放转为吸附, 并在 14 d 达到最大吸附速率 $-139.8 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 第 39 d 系统平衡时的释放速率为 $-26.9 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 总体处于吸附状态 (图 2)。

自然低溶解氧状态 ($1.0 \text{ mg/L} < \text{DO} < 3.0 \text{ mg/L}$) 下, 底泥中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的释放速率在第 9 d 达到最大 $116.2 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 第 20 d 由释放转为吸附, 第 33 d 达到最大吸附速率 $-224.1 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 第 39 d 达到平衡, 释放速率为 $-9.1 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 变化规律与高溶解氧条件下相似 (图 2); $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 在第 7 d 达到最大释放速率 $94.8 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 第 9 d 转为吸附, 14 d 时吸附速率达到最大 $-423.6 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 第 27 d 系统平衡, 释放速率为 $-0.7 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 与厌氧状态下变化相似 (图 2)。

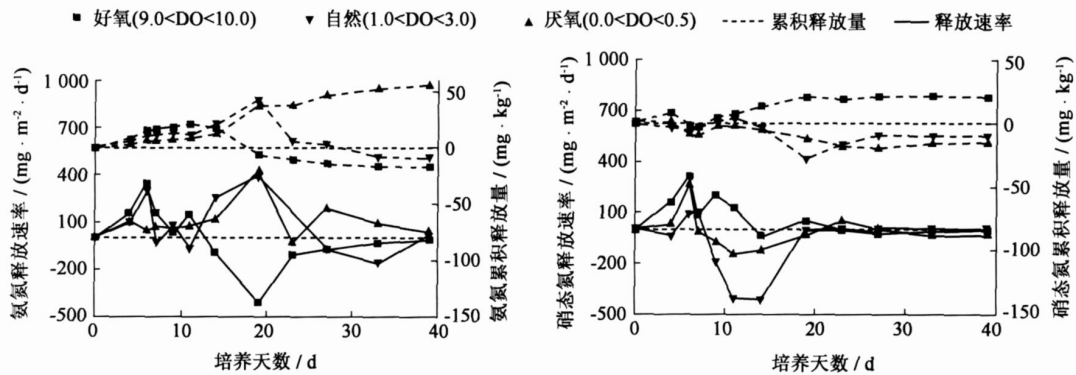


图 2 不同溶解氧水平底泥氮化合物释放规律

Fig. 2 Release rules of nitrogen compounds in sediment under different DO level

上述结果表明, DO 水平对底泥中不同氮化合物的释放规律有较大影响, 高溶解氧条件不利于 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的释放。分析原因知, 试验初期由于泥-水界面存在较大的浓度差, 扩散作用促使底泥中的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 与 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 向上覆水体中释放^[5], 此时 3 种 DO 条件下两种物质的释放规律均相似, 表现为释放。随着间隙水与上覆水浓度差的不断缩小, 两种物质的扩散速率均逐渐下降, 因 DO 条件不同表现出差异: 高溶解氧条件导致硝化作用增强, 促使系统的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 向 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 转化, 并进入上覆水体, 使泥水界面 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 浓度差出现逆转, 系统中的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 由释放转为吸附, 而 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 表现为加速释放; 厌氧条件下反硝化作用增强, 泥水界面 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 浓度差出现逆转, 系统中的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 由释放转为吸附, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 表现为加速释放; 自然状态下, 上覆水体处于好氧状态, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的迁移转化规律与高溶解氧环境相似, 而泥水界面处于兼性或厌氧环境, 有利于氮的反硝化反应, 导致水体中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 浓度不断降低, 使 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的迁移转化规律与厌氧环境相似。

2.2 不同 Eh 值对底泥氮化合物释放的影响

试验开始前 10 d 内 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 释放速率和累积释放量曲线在不同的 Eh 条件下的变化趋势基本一致, 都呈线性增长趋势(图 3)。随培养时间延续, 不同 Eh 条件下 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的迁移转化规律出现差异: 在添加铁粉(强还原状态)和自然状态下, 底泥中的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 主要表现为释放; 在添加亚铁的系统(强氧化状态)中, 至系统稳定时底泥中的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 表现为吸附。比较可知, 不同 Eh 条件下 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的累积释放量大小为: 强还原态 > 自然状态 > 氧化状态。不同 Eh 条件下底泥中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的迁移转化均表现为吸附, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的累积释放量大小为: 强还原态 < 自然状态 < 氧化状态。

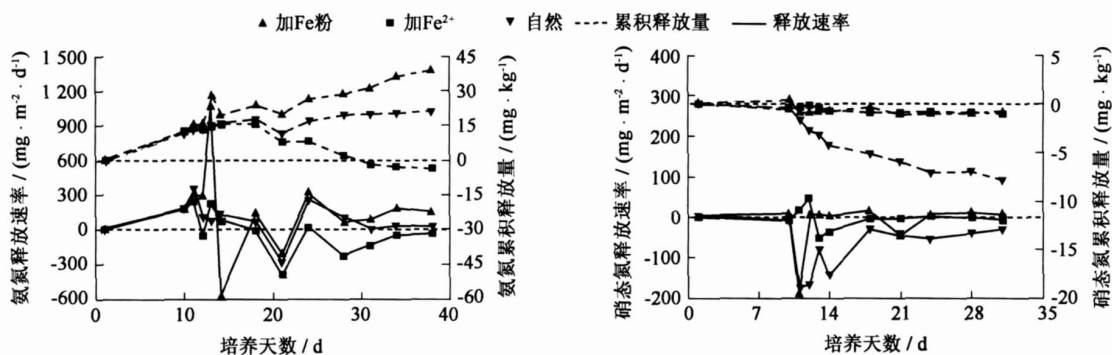


图 3 不同 Eh 条件下底泥氮化合物释放规律

Fig. 3 Release rules of nitrogen compounds in sediment under different Eh values

分析原因可知, 在添加铁粉或正常状态下, 底泥基本处于中性强还原环境。在还原条件下, 有机氮矿化产生的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 常在还原层积累, 大部分以交换态存在^[6], 有利于沉积物-水界面 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的扩散, 加剧了 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的释放; 同时, Eh 对于微生物的生长繁殖及存活有很大的影响, 各种微生物的生长所需的 Eh 值不同, 硝化菌在 Eh 值高于 +0.1 V 低于 +0.4 V 生长最好, 而反硝化菌只能在 Eh 值低于 +0.1 V 时生长, 而在 -0.1 V 以下生长最好。当添加铁粉时, 系统中的 Eh 值为 -108 mV, 利于反硝化菌的生长, 系统中的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 通过反硝化作用转化为 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$, 因此, 在强还原状态下 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的累积释放量最高。

2.3 不同 pH 值对底泥氮化合物释放的影响

底泥中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 整体上表现为向上覆水中释放, 其释放量随 pH 值的增大而减小(图 4)。当体系 pH 低于 6 时, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的释放量随 pH 变化幅度不大, 仅为 0.08 mg/kg; 当 pH 值大于 6.0 时, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 释放量急剧下降。

pH 的变化对底泥中微生物的活性与种类有一定的影响, 但是一个长期缓慢的影响, 因本试验周期较短, pH 对微生物的影响还未表现出来, 所以试验中 pH 影响的仅是底泥胶体表面的可变电荷。底泥胶体对 pH 具有很强的缓冲能力, 当 pH = 5 时, 上覆水中的 H^+ 对底泥胶体上的 NH_4^+ 离子产生强烈竞争, 将其解吸下来, 使上覆水中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的浓度升高; 当 pH 值升高到 7 时, 系统中 pH 值超过了底泥胶体的电荷零点, 使其表面呈现负电荷, 有利于 NH_4^+ 的吸附, 减少 NH_4^+ 向上覆水中的释放, 同时, 体系中存在的大量 OH^- , 可与上覆水中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 发生如下化学反应: $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- = \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$, 结果使 NH_3 以 NH_3 的形式从水溶液中逸出^[7]。所以 pH 值越大, NH_4^+ 以 NH_3 的形式逸出量越大, 水溶液中氨氮的含量越小。

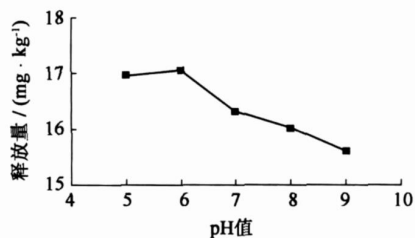


图 4 不同 pH 对底泥 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 释放的影响

Fig. 4 Influence of different pH values on the release of ammonia-nitrogen

2.4 不同温度对底泥氮化合物释放的影响

在同一水土比, 随着温度的升高, 供试底泥中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的释放量逐渐增加, 30 时 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的释放量为 5 时释放量的 1.5 倍 (表 2), 表明温度升高有利于底泥中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的释放。当温度升高时, 底泥中微生物活性增加^[8]有机质分解作用和反硝化作用增强, 利于底泥中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的释放。这一结果说明在冬季进行底泥疏浚可以大大减少氮释放对上覆水体的影响。

2.5 不同疏浚深度底泥对上覆水中氮化物释放的影响

疏浚深度对上覆水体氮的影响研究考察因子取 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TN, 上覆水体控制条件为自然状态, 0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm 疏浚深度下底泥对上覆水体中氮释放量结果统计见表 3 和图 5。

表 2 不同温度下底泥氨氮的释放量 mg/kg

Table 2 Release quantity of ammoniacal nitrogen in sediment under different temperatures

培养时间/h	5	20	30
24	1.651	2.238	2.477
48	2.032	2.273	2.624
72	2.045	2.463	2.665
96	2.056	2.652	2.769
120	2.097	2.755	2.938

表 3 供试底泥样品中营养盐培养前和培养后含量

Table 3 Release amount of nitrogen compounds in studied sediment samples

样本	含水率/%		$\text{NH}_4^+\text{-N}/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$			TN/ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$			TOC/ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$		
	培养前	培养后	培养前	培养后	释放量	培养前	培养后	释放量	培养前	培养后	释放量
0~5 cm	74.52	77.68	16.98	9.01	7.97	143.74	101.70	42.04	1294.19	1178.39	115.81
5~10 cm	70.52	75.73	16.32	11.24	5.09	125.70	92.79	32.91	1138.63	878.61	333.71
10~15 cm	64.24	72.57	19.65	11.32	8.33	137.54	93.51	44.03	1494.81	1038.38	456.43
15~20 cm	60.97	67.49	20.00	16.57	3.43	161.54	127.73	33.81	1698.20	1371.22	326.97

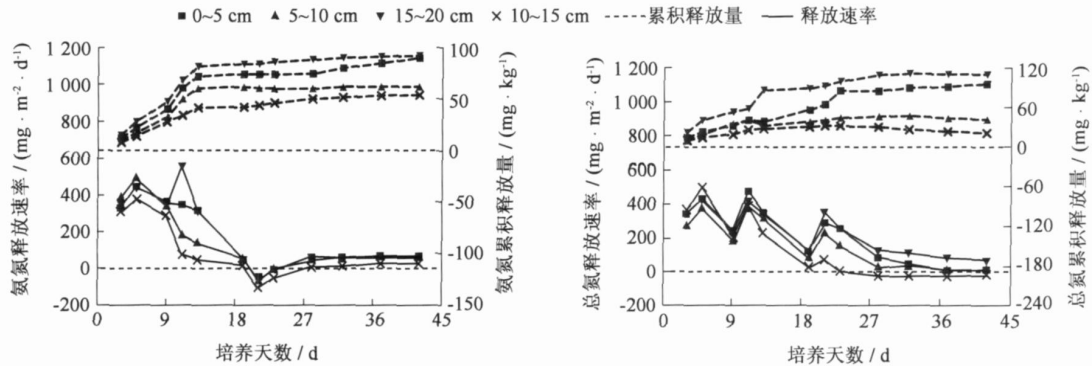


图 5 不同疏浚深度底泥氮化合物释放规律

Fig. 5 Release rules of nitrogen compounds under different dredging depth conditions

由表 3 及图 5 可知, 除表层外, 底泥中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN、TOC 的含量随着沉积深度的增加而增加, 不同疏浚深度下底泥 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与 TN 的释放规律曲线相似, 累积释放量均为 15~20 cm (即清淤 15 cm) 层最低, 各层累积释放量由大到小为: $R_{10\sim15\text{cm}} > R_{0\sim5\text{cm}} > R_{5\sim10\text{cm}} > R_{15\sim20\text{cm}}$ 。

15~20 cm 底泥中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN、TOC 含量均最高, 但其释放量却相对最低。15~20 cm 底泥供试样培养前后的含水率均最低, 表明该层供试底泥样的固结程度最高, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN 与有机质在经过底泥网状结构的层层过滤后, 与底泥形成了稳定的、结合强度较高的稳结合态物质, 稳结合态物质的分子量较大, 活性较低^[8], 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它层也较难释放。表层 0~5 cm 底泥属供试样中新沉积层, 该层底泥胶体中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN 的吸附强度较弱, 易被其它吸附交换能力强的阳离子取代而进入上覆水体; 5~10 cm 底泥污染负荷最低, 因而其向上覆水中的释放量处于较低水平; 10~15 cm 底泥中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN、TOC 均处于较高浓度, 其底泥固结程度较低, 有利于相应物质的大量释放。

以上结果说明, 底泥中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN 的累积释放量不但与其在底泥中的含量有关, 也与底泥固结程度及 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN 的赋存形态有关。

2.6 环境因子对底泥氨氮释放影响程度分析

底泥疏浚深度、DO水平和 Eh条件对底泥 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 释放程度的影响大于 pH和温度(图 6(a))。图 6(b)进一步比较分析不同的疏浚深度、DO和 Eh控制水平对底泥 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 释放的影响程度,可以看出,10~15 cm与 0~5 cm 供试样 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的释放量最高,在曝气或添加亚铁的条件下,供试泥样 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的释放量最低,表明通过曝气等方式保持水体中适当的溶解氧或使底泥保持较强的氧化电位环境可以有效抑制底泥中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的释放。

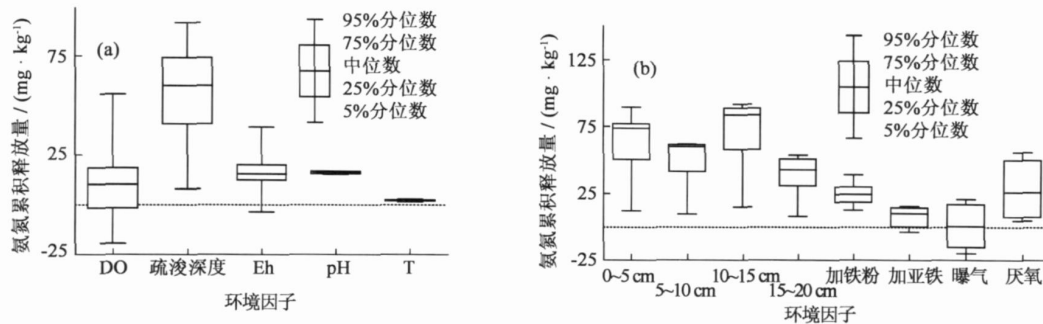


图 6 环境因子对底泥氨氮释放量影响程度分析

Fig. 6 Influence of environmental factors on the release quantity of ammonia-nitrogen

3 结 论

(1) 溶解氧水平对底泥中不同氮化合物的释放规律有较大影响。厌氧条件有利于底泥中的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 释放,好氧则对其释放产生抑制;溶解氧水平对硝态氮释放规律的影响与氨氮正好相反。

(2) 底泥固结程度、底泥中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 TN 的含量及其赋存形态是影响不同沉积深度底泥中氮累积释放量的因素之一。对于供试河段来说,清淤 15 cm 后,底泥对上覆水中营养盐氮的释放量最低。

(3) 底泥环境的氧化还原条件通过影响底泥中微生物的种类与活性而影响不同氮化合物的释放规律,强还原条件利于底泥中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的释放。

(4) 底泥中的 pH 值影响了底泥胶体的可变电荷,进而影响了底泥中氮的赋存形态及其循环过程。pH 值越大, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的释放量越小。

(5) 温度升高有利于底泥中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的释放,30 时 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的释放量为 5 时释放量的 1.5 倍。

(6) 疏浚深度、DO 和 Eh 对底泥 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 释放程度的影响大于 pH 和温度。通过曝气等方式保持水体中适当的溶解氧或使底泥保持较强的氧化电位环境可以有效抑制底泥中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的释放。

参考文献:

- [1] 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. (LIU De-qi, LIM in, ZHU Cheng-wen, et al. Effects of simulating sediment-dredging on the release of N and P nutrients in Taihu Lake's sediment [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2005, 24(3): 521-525. (in Chinese))
- [2] 蒋小欣,阮晓红,邢雅园,等.城市重污染河道上覆水氮营养盐浓度及 DO 水平对底质氮释放的影响[J].环境科学,2007,28(1):87-91. (JIANG Xiao-xin, RUAN Xiao-hong, XING Ya-nan, et al. Effects of nutrient concentration and DO status of heavily polluted urban stream water on nitrogen release from sediment [J]. Environmental Science, 2007, 28(1): 87-91. (in Chinese))
- [3] 冯海艳,李文霞,杨忠芳,等.上覆水溶解氧水平对苏州城市河道底泥吸附/释放磷影响的研究[J].地学前缘,2008,15(5):227-233. (FENG Hai-yan, LI Wen-xia, YANG Zhong-fang, et al. Influence of dissolved oxygen in overlying water on releasing/absorption of phosphorus from sediments from Suzhou River [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(5): 227-233. (in Chinese))

- [4] 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]. 四版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 236-284. (Country environmental protection bureau water and waste water monitor analysis method editorial committee. Water and waste water monitor analysis method[M]. The fourth edition. Beijing: China Environmental Science Press, 2002: 236-284. (in Chinese))
- [5] 范成新, 张路, 包先明, 等. 太湖沉积物水界面生源要素迁移机制及量化: 磷释放的热力学机制及源汇转换 [J]. 湖泊科学, 2006, 18(3): 207-217. (FAN Cheng-xin, ZHANG Lu, BAO Xian-ming, et al. Migration mechanism of biogenic elements and their quantification on the sediment-water interface of Lake Taihu: Chemical thermodynamic mechanism of phosphorus release and its source-sink transition[J]. Journal of Lake Science, 2006, 18(3): 207-217. (in Chinese))
- [6] D'ANGELO EM, REDDY KR. Diagenesis of organic matter in a wetland receiving hypereutrophic lake water: Distribution of dissolved nutrients in the soil and water column[J]. J Environ Qual, 1994, 23: 928-936.
- [7] 王晓蓉, 华兆哲, 徐菱, 等. 环境变化对太湖沉积物磷释放的影响 [J]. 环境化学, 1996, 15(1): 15-19. (WANG Xiao-rong, HUA Zhao-zhe, XU Ling, et al. The effects of the environment conditions on phosphorus release in lake sediments [J]. Environmental Chemistry, 1996, 15(1): 15-19. (in Chinese))
- [8] 王静, 吴丰昌, 黎文, 等. 云贵高原湖泊颗粒有机质稳定氮同位素的季节和剖面变化特征 [J]. 湖泊科学, 2008, 20(5): 571-578. (WANG Jing, WU Feng-chang, LI Wen, et al. Seasonal variation and vertical characteristics of the ^{15}N of particulate organic matter in Lake Hongfeng and Lake Baihua, Guizhou province [J]. Journal of Lake Sciences. 2008, 20(5): 571-578. (in Chinese))

Effect of environmental changes on nitrogen release from sediments in polluted urban river *

XING Ya-nan¹, RUAN Xiao-hong^{1,2}, ZHAO Zhen-hua¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Department of Hydrosociences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Water and sediment samples were collected from a polluted river in the old town of Suzhou City. The water in the river is classified as poor quality V according to the National Surface Water Quality Standard of China. We examine the regularity of nitrogen release from sediments under different environmental conditions such as the dissolved oxygen (DO) level, the redox potential status measured as Eh level, the pH value, the temperature, and the dredging depth, using the indoor experimental method. The results show that the contents of ammonia-nitrogen and nitrate materials in sediment samples are 277.03 mg/kg and 1.22 mg/kg, respectively, and these contents are 6.743 mg/L and 1.500 mg/L in the overlying water. The experiments reveal that the favorable conditions for the ammonia-nitrogen release from sediments include the anaerobic environment of $\text{DO} < 0.5 \text{ mg/L}$, the strong reducing environment of $\text{Eh} < -108 \text{ mV}$, and the acidic environment of $\text{pH} < 6.0$, as well as the high temperatures; while the opposite behaviors in these conditions are observed for the migration and transformation of $\text{NO}_3^- \text{-N}$. The analysis of sediment samples collected at different dredging depths of 5 cm, 10 cm, 15 cm, and 20 cm indicates that the minimum release of nitrogen nutrient is found from the sample of 15 cm depth. The effects of dredging depth, DO, and Eh on the ammonia-nitrogen release in sediments are found to be greater than that of pH and temperatures. Our experimental study show that the ammonia-nitrogen release from sediments will be effectively inhibited if high dissolved oxygen levels in the overlying water as well as strong oxidizing potential status in the sediment can be properly maintained.

Key words: sediments; release of nitride; environmental condition; main control factors

* The study is financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 40573051).