

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第6期

Vol.37 No.6

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

双级虚拟撞击采样器应用于固定污染源 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 排放测量 蒋靖坤, 邓建国, 李振, 马子珍, 周伟, 张强, 段雷, 郝吉明 (2003)

黄山夏季气溶胶吸湿性及与化学组分闭合 陈卉, 杨素英, 李艳伟, 银燕, 张泽锋, 于兴娜, 康娜, 严殊祺, 夏航 (2008)

沈阳大气气溶胶中水溶性无机离子的观测研究 苗红妍, 温天雪, 王璐, 徐慧 (2017)

南京夏秋季节大气干沉降水溶性离子特征及来源分析 秦阳, 朱彬, 邹嘉南, 庞博 (2025)

太原市大气颗粒物粒径和水溶性离子分布特征 曹润芳, 闫雨龙, 郭利利, 郭文帝, 何秋生, 王新明 (2034)

2014 年北京市城区臭氧超标日浓度特征及与气象条件的关系 程念亮, 李云婷, 张大伟, 陈添, 王欣, 邹宁, 陈晨, 孟凡 (2041)

机动车尾气烟尘中烷烃和有机酸的组成 袁佳雯, 刘刚, 李久海, 徐慧 (2052)

DOC/CCRT 老化对柴油公交车气态物排放特性的影响 楼狄明, 贺南, 谭丕强, 胡志远 (2059)

紫外辐照改性生物炭对 VOCs 的动态吸附 李桥, 雍毅, 丁文川, 侯江, 高屿涛, 曾晓岚 (2065)

三峡库区内陆腹地典型水库型湖泊中 DOM 吸收光谱特征 江韬, 卢松, 王齐磊, 白薇扬, 张成, 王定勇, 梁俭 (2073)

三峡库区典型农业小流域水体中溶解性有机质的光谱特征 王齐磊, 江韬, 赵铮, 梁俭, 木志坚, 魏世强, 陈雪霜 (2082)

高分辨率降水氧氮同位素变化及洞穴水响应: 以河南鸡冠洞为例 孙喆, 杨琰, 张萍, 刘肖, 梁沙, 张娜, 聂旭东, 梁胜利, 李建仓, 凌新有, 张志钦 (2093)

不同雨强条件下河流水质对流域土地利用类型与格局空间响应 季香, 刘红玉, 李玉凤, 皋鹏飞, 孙一鸣, 李玉玲 (2101)

丹江口水库沉积物重金属背景值的确定及潜在生态风险评估 赵丽, 王雯雯, 姜霞, 王书航, 李佳璐, 陈俊伊 (2113)

滴水湖及其环湖水系沉积物、土壤中多氯联苯的空间分布特征及风险评价 王薛平, 黄星, 毕春娟, 贾晋璞, 郭雪, 陈振楼 (2121)

粤桂水源地有机氯农药的污染特征及生态风险 阳宇翔, 刘昕宇, 詹志薇, 解启来, 汤嘉骏, 欧阳培毓, 陈镇新, 徐晨 (2131)

鄱阳湖浮游植物叶绿素 a 及营养盐浓度对水位波动的响应 刘霞, 刘宝贵, 陈宇炜, 高俊峰 (2141)

周期性的温度扰动对藻类群落结构演替的影响 贡丹丹, 刘德富, 张佳磊, 杨正健, 朱晓明, 谭纤茹 (2149)

溴酸盐对普通小球藻的生长以及生理特性的影响 王执伟, 刘冬梅, 张文娟, 崔福义 (2158)

微囊藻水华对水体中氮转化及微生物的影响 李洁, 张思凡, 肖琳 (2164)

城市污染河道沉积物碳氮赋存对有机质分解的影响 唐千, 刘波, 王文林, 邢鹏, 袁婧雯, 嵇玮, 沈晓宇, 季家乐 (2171)

两亲性共聚物共混 PVDF 超滤膜的界面性质与抗蛋白质污染的研究 孟晓荣, 鲁冰雪, 付东会, 辛晓强, 唐卫婷 (2179)

巯基改性海泡石吸附水中的 Hg(II) 谢婧如, 陈本寿, 张进忠, 刘江 (2187)

改性芦苇生物炭对水中低浓度磷的吸附特征 唐登勇, 黄越, 胥瑞晨, 胡洁丽, 张聪 (2195)

UiO-66 对废水中二氯苯氧乙酸的吸附特性 任天昊, 杨智临, 郭琳, 陈海, 杨琦 (2202)

对硝基苯酚在高炉水淬渣上的吸附机制及表面形研究 王哲, 黄国和, 安春江, 陈莉荣, 张思思 (2211)

高岭石、针铁矿及其二元体对胡敏酸的吸附特性 牛鹏举, 魏世勇, 方敦, 但悠梦 (2220)

硫铁比对再生水深度脱氮除磷的影响 周彦卿, 郝瑞霞, 王珍, 朱晓霞, 万京京 (2229)

单质硫颗粒尺寸及反应器类型对硫自养反硝化反应器启动的影响 马航, 朱强, 朱亮, 李祥, 黄勇, 魏凡凯, 杨朋兵 (2235)

钛盐混凝剂调理对活性污泥絮体理化性质的影响作用机制 王彩霞, 张伟军, 王东升, 王庆飞, 喻德忠 (2243)

城市污水管网中产甲烷菌的分布特性规律 孙光溪, 金鹏康, 宋吉娜, 王先宝, 杨柯瑶 (2252)

低 DO 下 AGS-SBR 处理低 COD/N 生活污水长期运行特征及种群分析 信欣, 管蕾, 姚艺朵, 羊依金, 郭俊元, 程庆锋 (2259)

微丝菌 (*Microthrix parvicella*) 原位荧光杂交 (FISH) 定量过程的条件优化 王润芳, 张红, 王琴, 王娟, 顾剑, 齐嵘, 杨敏 (2266)

基于高通量测序解析碳化温度对麻杆电极微生物群落影响 吴义诚, 贺光华, 郑越, 陈水亮, 王泽杰, 赵峰 (2271)

1 株高效去除氨氮的红假单胞菌的分离鉴定及特性 黄雪娇, 杨冲, 倪九派, 李振刚 (2276)

长期保护性耕作制度下紫色土剖面无机磷变化特征 韩晓飞, 高明, 谢德体, 王子芳 (2284)

有机物料对两种紫色土氮素矿化的影响 张名蒙, 卢吉文, 赵秀兰 (2291)

生物质炭和秸秆配合施用对土壤有机碳转化的影响 张婷, 王旭东, 逢萌雯, 刘思新, 白如霞, 黎妮, 王钰莹 (2298)

多元统计与铅同位素示踪解析旱地垂直剖面土壤中重金属来源 孙境蔚, 胡恭任, 于瑞莲, 苏光明, 王晓明 (2304)

苏南某镇土壤重金属污染的景观格局特征 陈昕, 潘剑君, 王文勇, 李炳亚 (2313)

河南洛阳市不同功能区土壤重金属污染特征及评价 刘亚纳, 朱书法, 魏学锋, 苗娟, 周鸣, 关凤杰 (2322)

杭州蔬菜基地重金属污染及风险评价 龚丹丹, 朱维琴, 顾燕青, 李淑英, 加那提·吐尼克 (2329)

土壤溶解性有机质荧光特征及其与铜的络合能力 田雨, 王学东, 陈潇霖, 华珞 (2338)

添加稳定剂对尾矿土中砷形态及转换机制的影响 陈志良, 赵述华, 钟松雄, 桑燕鸿, 蒋晓璐, 戴玉, 王欣 (2345)

应用 SHIME 模型研究肠道微生物对土壤中镉、铬、镍生物可给性的影响 尹乃毅, 都慧丽, 张震南, 蔡晓琳, 李泽烽, 孙国新, 崔岩山 (2353)

不同基因型杨树的光合特征与臭氧剂量的响应关系 辛月, 高峰, 冯兆忠 (2359)

芘胁迫对 5 种羊茅属植物根系分泌的几类低分子量有机物的影响 潘声旺, 袁馨, 刘灿, 李亚闾, 杨婷, 唐海云, 黄方玉 (2368)

维管束植物樟树和马尾松叶组织氮、硫含量指示贵阳地区大气氮、硫沉降的空间变化 徐宇, 肖化云, 郑能建, 张忠义, 瞿玲露, 赵晶晶 (2376)

苏北潮滩温室气体排放的时空变化及影响因素 许鑫王豪, 邹欣庆, 刘晶茹 (2383)

g-C₃N₄/Bi₂S₃ 复合物的制备及可见光催化降解 MO 张志贝, 李小明, 陈飞, 杨麒, 钟宇, 徐秋翔, 杨伟强, 李志军, 陈寻峰, 谢伟强 (2393)

海南省淘汰落后产能政策的污染物协同减排效应评价 耿静, 任丙南, 吕永龙, 王铁宇 (2401)

《环境科学》征订启事(2130) 《环境科学》征稿简则(2251) 信息(2178,2344)

城市污染河道沉积物碳氮赋存对有机质分解的影响

唐千^{1,2}, 刘波^{1*}, 王文林³, 邢鹏², 袁婧雯¹, 嵇玮¹, 沈晓宇¹, 季家乐¹

(1. 南通大学地理科学学院, 南通 226007; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; 3. 环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210008)

摘要: 以城市污染河道沉积物为研究对象, 探究城市河道沉积物碳氮赋存特征对有机质分解过程的影响。结果表明, 沉积物有机质含量较高是城市河道的显著特征; 有机质 65% 以上以胡敏素类的惰性腐殖质的形式存在; 有机氮是氮素的主要赋存形态, 约占总氮的 57.5% ~ 91.3%; 氨氮主要赋存于活性组分中, 而惰性有机组分抗分解能力明显高于其他组分; 氨氮饱和和吸附后的沉积物有机质去除量明显减少, 最高达到 50%, 表明氨氮也是限制有机质分解的重要因素。

关键词: 城市河道; 沉积物; 有机质; 分解; 影响因素; 氮素; 南通市

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)06-2171-08 DOI: 10.13227/j.hjks.2016.06.021

Effect of Carbon and Nitrogen Forms on Decomposition of Organic Matter in Sediments from Urban Polluted River

TANG Qian^{1,2}, LIU Bo^{1*}, WANG Wen-lin³, XING Peng², YUAN Jing-wen¹, JI Wei¹, SHEN Xiao-yu¹, JI Jia-le¹

(1. School of Geographical Science, Nantong University, Nantong 226007, China; 2. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 3. Nanjing Institute of Environmental Science, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210008, China)

Abstract: To reveal the controlling mechanism of urban polluted river, four trophic level urban river was studied. The change of distribution of organic matter and nitrogen in the sediment was studied while the organic matter was disposed. High level of organic matter is the significant feature of urban city rivers. the humin (HM) was the major fraction of humus, accounting for more than 65% of OM. The most proportion of the total nitrogen (TN) was organic nitrogen which accounted for more than 50%. The amount of organic matter removal increased after the sediment adsorbed the saturated ammonia, which suggested ammonia as the main limited factor for the decomposition of organic matter. The most of Ammonia was adsorbed onto unstable humins. The HM was more stable than other organic matter which was disposed by Hydrogen peroxide (H₂O₂).

Key words: urban river; sediment; organic matter; decomposition; impact factor; nitrogen; Nantong City

随着我国城市化进程的加快,城市河道污染问题日渐突出,城市河道黑臭已经成为生态城市建设中亟待解决的关键问题。研究表明在外源输入逐渐得到控制的情况下,沉积物的内源污染已经成为城市河道的主要污染源^[1,2]。沉积物有机质污染负荷高是城市污染河道的一个显著特点,沉积物有机质对污染物质的赋存特征、迁移转化、时空分布、生物毒性等都具有非常重要的影响^[3-5]。此外,有机质在分解过程中,不仅会消耗水中 DO 导致水体环境恶化,还会使富集于沉积物的大量污染物重新释放,造成二次污染^[6,7]。相关研究发现有机质的分解还会产生大量的氨氮,加重了沉积物的氨氮负荷,进而导致沉积物向外释放氨氮的风险增加^[8,9],这是造成城市河道持续富营养化的一个主要原因^[10]。由此可见,沉积物有机质的分解转化过程对城市河道内源污染有着极其重要的影响。可见,探究沉积物有机质分解过程与影响因素就显得尤为重要。

腐殖质是沉积物有机质的主要赋存形态,根据与无机矿物的结合程度可以分为轻组腐殖质和重组腐殖质^[11]。其中,轻组有机质中存在着许多具有极性的官能团,这些官能团使沉积物颗粒表面带有大量的负电荷,从而对多种污染物具有较强的吸附能力^[12]。大量研究也表明,不管是氮磷等营养盐还是重金属元素,其在沉积物-水界面的迁移转化与归趋都与沉积物有机质的赋存形态有关^[13-15]。对土壤的研究发现,不同腐殖质组分的抗分解能力存在差异,其中以轻组腐殖质为代表的活性腐殖质更易被微生物利用而分解,而腐殖化进程更高的惰性腐殖

收稿日期: 2015-10-20; 修订日期: 2016-01-06

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(SBK201321353); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项; 浙江省环境污染控制技术重点实验室开放基金项目; 国家自然科学基金项目(41173078); 南通市自然科学基金项目(BK2013058); 大学生创新训练计划项目(201410304038Z, 201410304069Y)

作者简介: 唐千(1991~),男,硕士研究生,主要研究方向为城市生态修复, E-mail: 1783099094@qq.com

* 通讯联系人, E-mail: lb@ntu.edu.cn

质则相对稳定^[16]。可见,深入分析腐殖质的赋存形态,对揭示沉积物有机质分解过程有重要的意义。研究发现,富集于沉积物的污染物质亦会对沉积物有机质的组成与结构存在重要的作用,进而影响沉积物有机质的分解进程。氮素含量较高的土壤有机组分其稳定性相对较低,更容易在外界因素的扰动下发生分解的现象^[17]。沉积物的部分有机质会与重金属相螯合形成极其稳定的有机组分^[15, 18]。温度、pH、水生动物扰动对沉积物有机质的分解同样会产生重要的影响。影响沉积物有机质分解的因素众多,其主要影响因素亦会随着条件的不同而发生改变。目前,对沉积物有机质分解过程的研究大多从单一影响因素入手,从多方面综合探讨有机质分解过程的研究还鲜见报道。根据已有研究^[19, 20], H₂O₂ 氧化分解沉积物有机质的效果良好,且对沉积物整体无机结构影响较小,可以较为真实地模拟自然条件下的有机质分解过程。本文以南通市典型城市河道沉积物作为研究对象,用 30% H₂O₂ 对沉积物进行处理,从腐殖质赋存形态、氮素分布等角度

系统地探讨有机质分解过程及与氮素组成关系,以期为城市河道内源污染治理提供理论支撑,也为城市河道治理提供一种新的解决措施。

1 材料与方法

1.1 沉积物和水样

选取南通市区内污染程度不同的河道为研究对象,分别是长江(CJ)、通吕运河(TL)、濠河(HH)和通甲河(TJ)。长江是南通所有城市内河的供水源头,其水体水质对南通城市河道起着至关重要的作用。通吕运河是南通第一运河,具有航运、灌溉、行洪等功能,污染程度较低;濠河是南通著名的风景名胜,有少量的生活污水汇入;通甲河为生活污水接纳水体,污染严重。选取的 4 条河流所处的地理位置相近,影响的自然因素差异不大。用自制柱状沉积物采样器分别在选定河道处采集沉积物,同步采集上覆水,迅速运回实验室,进行上覆水和沉积物的理化性质分析,上覆水结果见表 1。采集的表层沉积物过经低温干燥过 100 目筛,备用。

表 1 采样点上覆水主要理化指标

Table 1 Physico-chemical characteristics of overlying water in study sites

采样点	DO /mg·L ⁻¹	pH	高锰酸盐指数 /mg·L ⁻¹	TN /mg·L ⁻¹	NH ₄ ⁺ -N /mg·L ⁻¹	NO ₃ ⁻ -N + NO ₂ ⁻ -N
CJ	5.35 ± 0.23	7.56 ± 0.04	2.47 ± 0.33	3.12 ± 0.06	0.72 ± 0.01	1.97 ± 0.12
TL	4.98 ± 0.23	7.90 ± 0.04	3.48 ± 0.41	3.25 ± 0.31	0.85 ± 0.09	2.26 ± 0.16
HH	4.52 ± 0.79	7.96 ± 0.23	5.01 ± 0.54	4.84 ± 0.24	2.49 ± 0.13	1.34 ± 0.14
TJ	0.33 ± 0.02	7.81 ± 0.03	12.23 ± 0.56	14.26 ± 0.11	11.23 ± 0.10	1.84 ± 0.11

1.2 实验方法

1.2.1 有机组分制备

按照已有文献[21]的方法将有机质分成原样有机质组分(YY)、重组有机组分(ZZ)、稳结态和紧结态混合有机质组分(WJ)、紧结态有机组分(JJ)。将所制备的有机组分干燥、过 100 目筛,备用。

1.2.2 有机组分的氨氮饱和和吸附

准确称取所制备的各个有机组分 5 g 于 100 mL 的聚乙烯离心管中,加入 50 mL 浓度为 50 mg·L⁻¹ 的氨氮溶液,摇匀,在 25℃ 恒温下,水浴振荡 1 h,后以 5 000 r·min⁻¹ 的转速离心 10 min,测定上清液氨氮浓度。离心管中的沉淀物于 45℃ 干燥箱中干燥,后研磨,过 100 目筛,备用。

1.2.3 有机组分氧化处理

每次分别取 2 g 样品于若干烧杯中(水土比为 10:1)。在烧杯中加入一定体积的 30% 的 H₂O₂ 摇匀。在 35℃ 水浴恒温箱中反应,待没有气泡生成后,

将烧杯置于电炉加热至沸腾,去除多余过氧化氢后,将混合液冷冻干燥。待样品干燥后过 100 目筛,备用。以上实验在相同条件下作 3 次平行,相对误差低于 5%。

其中,原样有机组分加入 H₂O₂ 的体积分别为 1、4、7 mL 三组,其余有机组分均为 1 mL、2 mL 两组,氨氮饱和和吸附后的样品为 1 mL。加入 1 mL H₂O₂ 处理的样品用 H1 表示,后以此类推为 H2、H4、H7。

1.3 样品分析

用 2 mol·L⁻¹ 的 KCl 溶液浸提(液:土 = 5:1),振荡 30 min,过滤后用纳氏比色法(波长为 420 nm)测定浸提液中 NH₄⁺-N 浓度。有机质含量采用重铬酸钾-硫酸外加热法测定。

2 结果与讨论

2.1 沉积物有机质赋存特征

腐殖质是沉积物有机质的主要赋存形态,根据

土壤中的腐殖质分组方法,轻组腐殖质主要成分是游离态腐殖质,重组腐殖质主要由松结态、稳结态和紧结态腐殖质组成^[22]. 本研究按此方法对沉积物腐殖质进行分组,结果如图 1 所示. 从中可以看出,污染最为严重的 TJ 其原样沉积物有机质含量(4.5%)是有机质含量最少的 CJ(1.3%)的 3.5 倍,甚至要高于有机质较为丰富的黑土(1.74%)^[23]. 比较濠河的两个采样点有机质含量,HH1A 有机质含量为 1.2%,明显小于同一河道的另一采样点 HH3A 的有机质含量(4.3%),可能与 HH3A 采样点靠近居民生活区的河段有关,表明城市河道沉积物有机质的分布与人类活动关系密切. 城市的日常生活污水是城市河道沉积物有机质的主要来源,相较于湖泊海洋等天然水体,城市河道的水文环境相对单一,对污染物的分解稀释能力较弱,因此污染物被沉积物所吸附较多^[24]. 相较 TJ、HH 这些位于城市内部的典型城市河道,TL 与长江的水质交换要更加频繁、水体氧化还原条件更好,受人类活动的影响也较少,通过图 1 发现 TL 沉积物有机质含量(2.1%)与 CJ(1.9%)相比差异较小,均远小于 HH 与 TJ. 这说明有机质输入/分解比例较大是城市河道的主要特点,表明城市河道沉积物成为二次污染源的潜力是巨大的.

从图 1 中也可以看出,YY 有机质含量较高的河道其 ZZ、WJ、JJ 中的有机质含量也较高,这与笔者之前研究发现的原样有机质含量与其他有机组分的有机质含量呈正相关关系的结论一致^[25]. 表明尽管不同河道的环境条件存在差异,但是有机质与无机矿物结合程度与方式却大致相当^[26]. 有研究认为轻组、松结态和部分稳结态腐殖质属于相对活跃的腐殖质,容易被氧化分解以及微生物利用,而紧结态腐殖质则属于惰性腐殖质难以被分解利用^[27]. 通过图 2 可以明显地看出,紧结态有机质含量明显高于其他形态有机质,即使是紧结态有机质含量最小的 HH3A 仍占全部有机质的 51.4%. 可见,大部分有机质都会以紧结态类腐殖质的形式存在^[25],表明惰性腐殖质可能成为城市河道有机质腐殖化的最终归宿. 从图 2 中也可以看出,轻组有机质占总有机质比例呈显著性差异($n=9, P<0.05$),有机质含量较高的 TJ、HH3A 其活性有机质含量总体上要高于污染较轻的 CJ、TL,表明活性腐殖质在腐殖化进程中较先形成,但其极不稳定很易受外界干扰而分解. 有研究表明,土壤/沉积物中的活性腐殖质在氧化还原条件发生变化时,极易发生分解和转化^[28],

因此,TJ、HH 等污染较为严重的河道对外界的环境变化更为敏感,内源释放的条件更低. 现实的河道治理经验也证明,在降雨或者引水之后 TJ、HH 的水质恶化程度往往要高于其他河道. 因此,在城市河道通过引水改善水质之前,疏浚重污染城市河道沉积物是很有必要的.

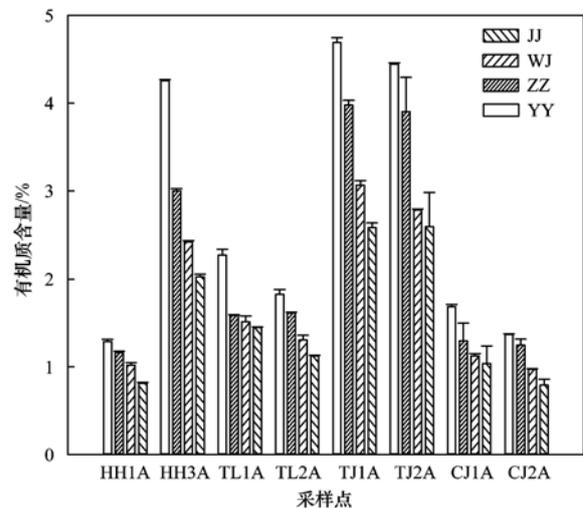


图 1 处理后沉积物有机质

Fig. 1 Organic matter of treated sediments

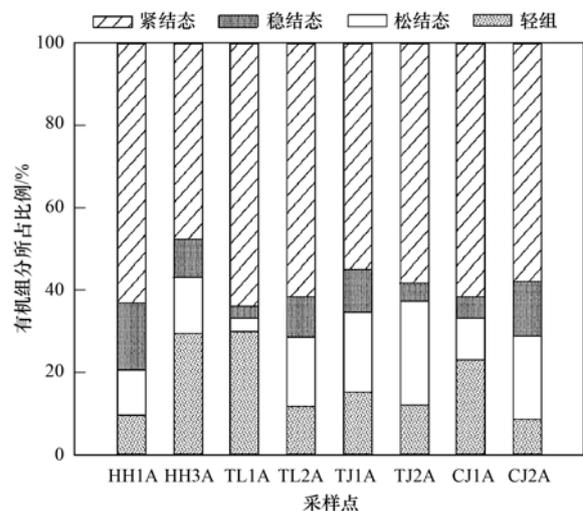


图 2 有机组分占总有机质比例

Fig. 2 Proportion of different organic matter

2.2 沉积物不同有机组分的分解过程

本研究用 H_2O_2 处理沉积物不同有机组分,探讨沉积物有机质的氧化分解特征. 从图 3 中可以看出,当 H_2O_2 使用量为 7 mL 时,各组沉积物有机质的去除量最大,其中污染程度较高的 TJ(162.502 mg)、HH(144.187 mg)有机质去除量要远高于 CJ(37.153 mg)和 TL(48.094 mg),表明重污染河道沉积物有机质中的易分解有机质量较多,且这部分有

有机质总是先被氧化,这与笔者之前研究的沉积物有机质氧化稳定性结论相一致^[25]。通过图 3 还可以看出,TJ 的 H1 最大去除量为 62 mg, H4 的最大去除量为 61 mg,表明沉积物有机质被氧化并不是随着 H₂O₂ 量的增加而增加。通过比较 H₂O₂ 单位体积有机质去除量可以明显看出(图 4),沉积物有机质去除量在 H₂O₂ 用量为 1 mL 时单位体积有机质去除量最大,在 4 mL 时最小,7 mL 时又有所增加,这也与笔者之前的研究结果相契合^[20]。结合图 3 和图 4 可以看出,沉积物有机质分解与 H₂O₂ 的量之间并非呈现一种线性关系,仅仅在一定条件下表现为随着有机质的减少而越难被氧化。但是 H7 较 H4 的迅速增加表明,当氧化条件足够强时,有机质分解速率会迅速加强,尤其是 TJ。沉积物有机质大多通过分子键,即金属阳离子与黏土矿物进行连接,不同的分子键所呈承受的能量值不同,因此有机质的分解不随氧化剂的增加而增加可能与此有关^[29~31]。

为了进一步探讨有机组分对有机质的影响,用 H₂O₂ 处理不同有机组分,结果如图 5 所示。从中可以明显地看出,ZZ、WJ 和 JJ 有机质去除量明显小于 YY 有机组分,其中 ZZ 有机质去除量大体上表现为高于 WJ 和 JJ 而远小于 YY,在高污染河道中表现得更为明显,表明 ZZ 在整个沉积物腐殖质构成体系中承担着架接活性有机组分与惰性有机组分的桥梁作用,也说明削减沉积物有机质含量的重点在于减少重组在整个腐殖质组成中的比例。从图 5 还可以看出,以 JJ 为代表的惰性腐殖质几乎很难被氧化,其有机质去除量在不同污染河道中的差异较小($n=9, P>0.05$),说明不同河道的水文环境对惰性腐殖质的影响较小。相关研究已证明惰性腐殖质与无机矿物结合更加紧密、结构更加稳定、性质更加偏向于无机矿物^[32],而沉积物中的无机矿物大多来自于周边土壤,土壤在较小范围内的无机组成差异较小^[33]。由于各个采样点相对集中在一个区域,因此,不同污染程度沉积物惰性腐殖质中的无机矿物组成相似,其抗分解能力也大致相当。继续用 2 mL H₂O₂ 处理沉积物不同有机组分,结果如图 6。通过比较会发现,增加 H₂O₂ 的量,总有机质去除量增加不明显($n=9, P>0.05$),这进一步说明随着活性有机组分被分离去除,惰性腐殖质的氧化稳定性进一步提高。由此可以认为,沉积物有机质的分解与有机质的赋存形态有重要关系,其中惰性紧结态腐殖质对整个沉积物有机质稳定性存在重要作用。与无机黏土矿物形成的有机物复合体是沉积物中有机质

的主要赋存方式,其大多是以团聚体的方式呈现。有研究认为大团聚体含有的有机质是轻组微粒有机质或相对密度较小、且与黏土矿物结合不紧密的大粒级微团聚体^[34, 35],其形成主要与松结态有机质及多糖类物质有关。而小粒级微团聚体的形成则主要受紧结态有机质和粘粒的影响,与黏土矿物的结合程度非常紧密一般很难被氧化。那么在河道治理中,通过增加 DO 水平,改善水体氧化还原环境从而削减有机质污染负荷,但是对于轻污染河道,也要防止水体氧化条件显著改善使得赋存于沉积物的惰性腐殖质达到分解阈值而大量分解恶化水体环境。

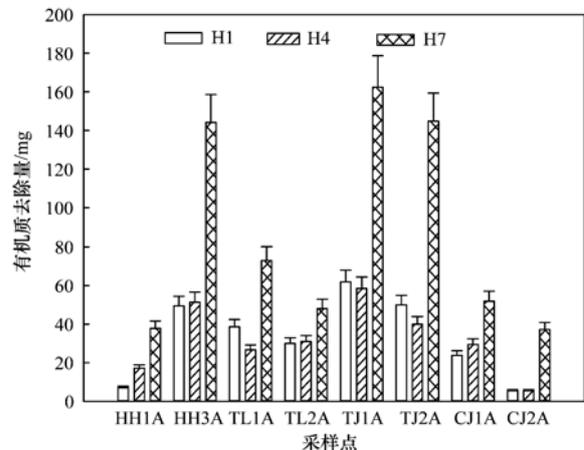


图 3 有机质去除量

Fig. 3 Amount of organic matter removal

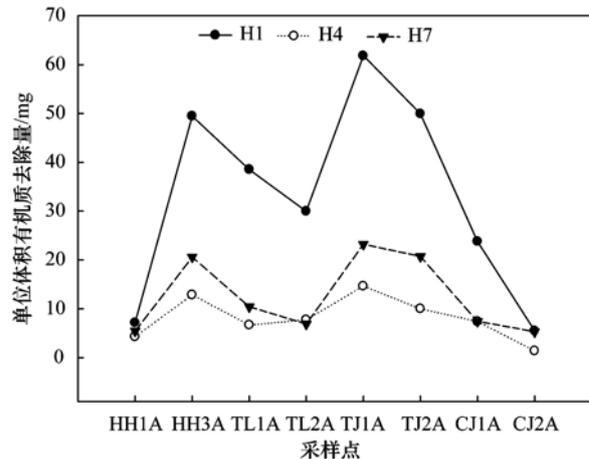


图 4 单位体积有机质去除量

Fig. 4 Amount of organic matter removal by one milliliter of H₂O₂ 30%

2.3 沉积物氮素分布及其对有机质分解的影响

从每条河道选取有机质含量较高的采样点,测定不同污染程度城市河道沉积物不同有机组分的氮素含量,结果如图 7 所示。从中可以看出,TJ 的总氮含量最高为 2 980 mg·kg⁻¹,是 HH 的 (1 980

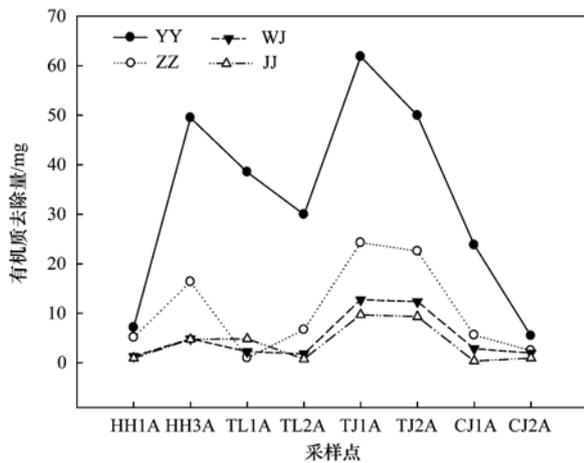
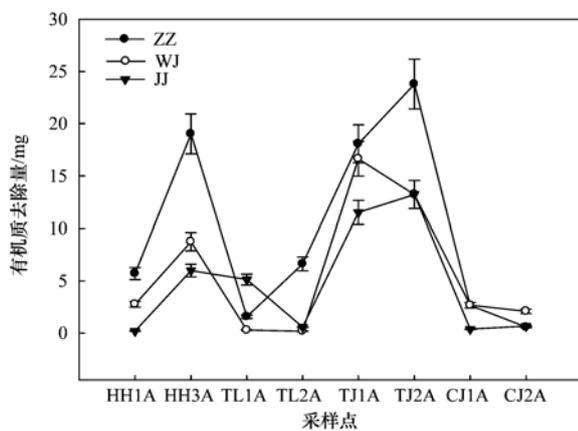


图5 不同有机组分的有机质去除效果

Fig. 5 Removal amount of different organic matter

图6 2 mL H₂O₂ 30% 处理沉积物有机组分Fig. 6 Removal amount of organic matter by two milliliters of H₂O₂ 30%

$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 1.5 倍, TL ($575 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 的 5.18 倍, CJ ($560 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 的 5.32 倍, 这一趋势与上覆水结果相一致(表 1), 表明重污染河道的总氮含量要远高于轻污染河道, 进入重污染河道的氮素大多被沉积物所吸附, 且氮素在沉积物与上覆水之间进行着频繁的迁移转化. 通过比较不同有机组分的氮素含量可以发现, 氮素主要分布在紧结态有机组分中, 这与土壤中的研究结果相一致. 从表 2 不同形态氮素在有机组分中的分布可以看出, 沉积物中的氮素主要是有机氮, 含量占总氮的 57.5% ~ 91.3%, 表明在漫长的腐殖化进程中大量氮素与有机碳相结合, 形成稳定的含氮有机质, 并长期赋存在沉积物中. 虽然氨氮占沉积物总氮的比例较低(表 2), 但是城市河道富营养化主要是由氨氮超标引起的. 通过图 8 可以看出, 重污染河道沉积物氨氮含量明显高于轻污染河道, 其中 TJ 的氨氮含量已经超过了 800

$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 远远超过了国家规定的水体沉积物疏浚标准的上限^[35]. 比较同一河道的不同有机组分的氨氮分布, 可以看出氨氮在稳结态和紧结态中的含量分布非常低, 即使是紧结态氨氮含量较高的 CJ 也只占总氨氮的 20%, 这表明沉积物中的氨氮大多富集在活性腐殖质中, 表 2 中 YY 的氨氮在总氮中的比例最高也进一步证明了活性腐殖质是氨氮主要的赋存组分. 由于活性腐殖质表面带有大量的负电荷, 对氨氮具有较强的吸附能力^[36], 因此富集于沉积物的氨氮在腐殖质化进程中逐渐被这些负电荷吸附而牢牢赋存其中. 笔者也曾研究发现^[20], 去除了有机质的沉积物对氨氮吸附能力明显下降, 这充分说明了活性腐殖质对于氨氮赋存的重要影响.

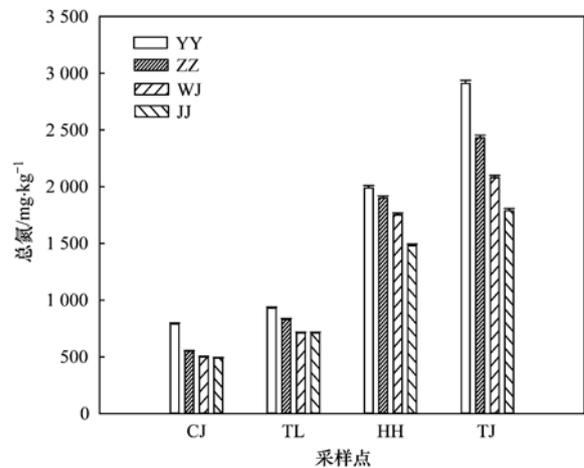


图7 总氮在不同有机组分中的赋存

Fig. 7 Distribution of total nitrogen in different organic matter

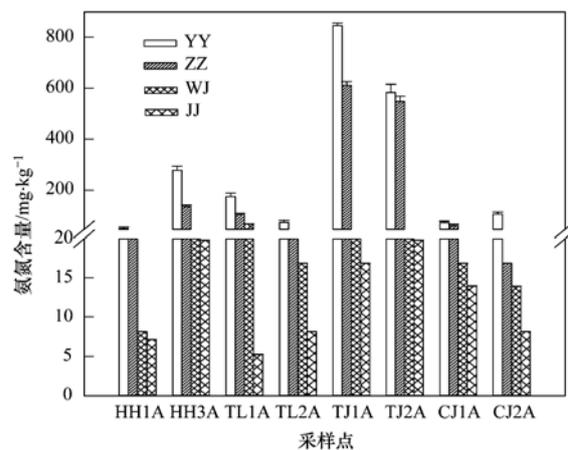


图8 氨氮在不同有机组分中的赋存

Fig. 8 Distribution of ammonia in different organic matter

含氮有机物的分解将有机质氧化分解成不含氮有机物, 然后再氧化成无机物. 因此, 氮素对有机质的分解可能会有重要的影响. 将原样有机质的去除量与氮素含量之间进行相关性分析, 结果与表 3. 从

中可以清楚地看出有机质去除与总有机碳、总氮、总有机氮之间存在显著的正相关关系,而有机质与氮素含量之间不存在显著的相关性,表明总氮尤其是有机氮与有机碳一样都是影响有机质分解的重要因素,也在一定程度上表明了惰性腐殖质的潜在可矿化态氮的储存是可观的^[35]. 氨氮与有机质去除量之间的相关性并不明显可能是因为氨氮在总氮中的比例较低. 为了进一步探讨氨氮对有机质分解的影响,对 YY 和 JJ 进行氨氮的饱和吸附,然后用 H₂O₂ 进行处理,结果如图 9、图 10. 可以看出,YY 沉积物在进行氨氮饱和吸附后其有机质去除量明显下降,其中 TJ 的有机质去除量(28 mg)降幅最大,约为饱和吸附前(61 mg)有机质去除量的一半. JJ 在

氨氮饱和吸附后却无明显变化,这表明氨氮可能是限制有机质分解的一个因素,尤其是活性腐殖质的分解. 有研究表明,氨氮或者有机氮的氧化会增强沉积物的酸度^[37],改变沉积物腐殖质分子之间的键合方式,增强沉积物结构强度^[38]. 富集于表层活性腐殖质的氨氮多半通过分配作用富集于沉积物中,相对于惰性腐殖质的空隙填充方式,其与有机碳的结合方式更为紧密,对沉积物有机质的稳定性影响更为重要^[22, 39],一定程度上解释了紧结态腐殖质饱和吸附后期有机质去除量不太明显的现象. 由此可见,对于重污染河道的治理,在尽力控制其氨氮库值大小的同时,保证沉积物有机质不迅速分解也是重要的考量.

表 2 采样点沉积物氮素所占比例

Table 2 Proportions of nitrogen in study sites

采样点	原样		重组		稳结态与紧结态		紧结态	
	NH ₄ ⁺ -N/TN	TON/TN						
CJ2A	0.132	0.868	0.031	0.969	0.028	0.972	0.017	0.983
TL2A	0.087	0.913	0.050	0.950	0.019	0.981	0.010	0.990
TJ1A	0.425	0.575	0.327	0.673	0.021	0.979	0.011	0.989
HH3A	0.095	0.905	0.057	0.943	0.012	0.988	0.011	0.989

表 3 有机质去除量与相关指标的相关性分析

Table 3 Correlation coefficients of organic matter removal and related indices

	TOC	TN	NH ₄ ⁺ -N	TON	HI
TOC	1.000	0.683	0.098	0.683	0.976 *
TN	0.683	1.000	0.600	1.000	0.781 *
NH ₄ ⁺ -N	0.098	0.600	1.000	0.600	0.195
TON	0.683	1.000 **	0.600	1.000	0.781 *

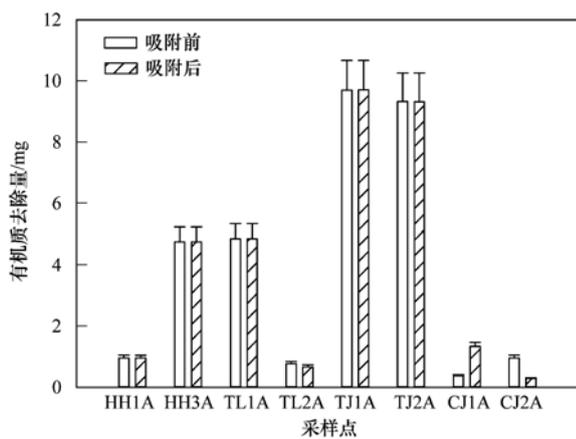


图 9 紧结态氨氮吸附前后有机质去除量对比

Fig. 9 Comparison of organic matter removal in tightly combined humus before and after absorption of ammonia

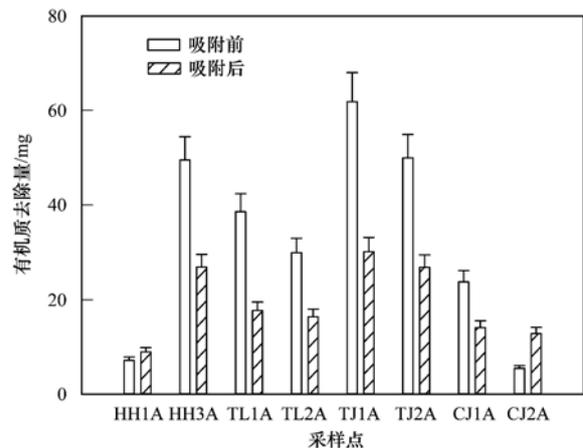


图 10 原样氨氮吸附前后有机质去除量对比

Fig. 10 Comparison of organic matter removal in original samples before and after absorption of ammonia

3 结论

城市河道沉积物有机质含量与上覆水污染程度

相一致,重污染河道已处于严重富营养化阶段;有机质主要赋存于紧结态腐殖质中,重污染河道中的活性有机质较轻污染河道多得多,重污染河道沉积

物与上覆水之间的营养盐交换更为频繁。氮素大多赋存于惰性腐殖质中,主要以有机氮的形式存在,氨氮主要存在于活性腐殖质中。活性腐殖质更容易被氧化分解,不同污染程度城市河道沉积物惰性腐殖质有机质去除效果相似,表明沉积物的无机矿物结构与组成相似。重组在整个沉积物有机质结构稳定中发挥着重要的作用。氮素是影响有机质分解的重要因素,氨氮可能会限制有机质的分解。

参考文献:

- [1] 刘波,王国祥,王凤贺,等. 不同曝气方式对城市重污染河道水体氮素迁移与转化的影响[J]. 环境科学, 2011, **32**(10): 2971-2978.
- [2] 朱广伟,陈英旭. 沉积物中有机质的环境行为研究进展[J]. 湖泊科学, 2001, **13**(3): 272-279.
- [3] 冯精兰,胡鹏转,刘群,等. 黄河中下游干流沉积物中重金属的赋存形态及其生态风险[J]. 环境化学, 2015, **34**(1): 178-185.
- [4] 刁晓君,李一葳,王曙光. 水华生消过程对巢湖沉积物微生物群落结构的影响[J]. 环境科学, 2015, **36**(1): 107-113.
- [5] 王娟,王圣瑞,金相灿,等. 长江中下游浅水湖泊表层沉积物对氨氮的吸附特征[J]. 农业环境科学学报, 2007, **26**(4): 1224-1229.
- [6] Zhang R Y, Wang L Y, Wu F C, *et al.* Phosphorus speciation in the sediment profile of Lake Erhai, southwestern China: Fractionation and ³¹P NMR [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2013, **25**(6): 1124-1130.
- [7] 郭建宁,卢少勇,金相灿,等. 滇池福保湾沉积物不同形态磷的垂向分布[J]. 环境科学研究, 2007, **20**(2): 78-83.
- [8] Wang J, Wang S R, Jin X C, *et al.* Ammonium release characteristics of the sediments from the shallow lakes in the middle and lower reaches of Yangtze River region, China [J]. *Environmental Geology*, 2008, **55**(1): 37-45.
- [9] 翟丽华,刘鸿亮,徐红灯,等. 浙江某农场土壤和沟渠沉积物对氨氮的吸附研究[J]. 环境科学, 2007, **28**(8): 1770-1773.
- [10] 狄贞珍,张洪,单保庆. 太湖内源营养盐负荷状况及其对上覆水水质的影响[J]. 环境科学学报, 2015, **35**(12): 3872-3882.
- [11] Barajas-Aceves M, Dendooven L. Nitrogen, carbon and phosphorus mineralization in soils from semi-arid highlands of central Mexico amended with tannery sludge [J]. *Bioresource Technology*, 2001, **77**(2): 121-130.
- [12] 杨春霞,王圣瑞,金相灿,等. 轻组有机质对太湖沉积物氮、磷矿化的影响[J]. 环境科学研究, 2009, **22**(9): 1001-1007.
- [13] Lee C, Cronin C. Particulate amino acids in the sea: Effects of primary productivity and biological decomposition [J]. *Journal of Marine Research*, 1984, **42**(4): 1075-1097.
- [14] Smarta M M, Rada R G, Donnermeyer G N. Determination of total nitrogen in sediments and plants using persulfate digestion. An evaluation and comparison with the Kjeldahl procedure [J]. *Water Research*, 1983, **17**(9): 1207-1211.
- [15] Huo X N, Li H, Sun D F, *et al.* Multi-scale spatial structure of heavy metals in agricultural soils in Beijing [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2010, **164**(1-4): 605-616.
- [16] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems [J]. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1995, **46**(7): 1459-1466.
- [17] 欧阳媛,王圣瑞,金相灿,等. 外加氮源对滇池沉积物氮矿化影响的研究[J]. 中国环境科学, 2009, **29**(8): 879-884.
- [18] 赵胜男,李畅游,史小红,等. 乌梁素海沉积物重金属生物活性及环境污染评估[J]. 生态环境学报, 2013, **22**(3): 481-489.
- [19] Nam K, Alexander M. Role of Nanoporosity and hydrophobicity in sequestration and bioavailability: tests with model solids [J]. *Environmental Science & Technology*, 1998, **32**(1): 71-74.
- [20] 刘波,盛明,唐千,等. 有机质对城市污染河道沉积物铵态氮吸附-解吸的影响[J]. 湖泊科学, 2015, **27**(1): 50-57.
- [21] 王而力,王嗣淇,江明选. 沉积物不同有机矿物质复合体对磷的吸附特征影响[J]. 中国环境科学, 2013, **33**(2): 270-277.
- [22] 王而力,王嗣淇. 西辽河沉积物有机组分对磷的吸附影响[J]. 中国环境科学, 2012, **32**(4): 687-694.
- [23] 宋金红,吴景贵,赵欣宇,等. 基于 TM 数据的黑土有机质含量空间格局反演研究[J]. 土壤学报, 2015, **52**(6): 1422-1429.
- [24] Teng Y, Luo Y M, Ping L F, *et al.* Effects of soil amendment with different carbon sources and other factors on the bioremediation of an aged PAH-contaminated soil [J]. *Biodegradation*, 2010, **21**(2): 167-178.
- [25] 唐千,盛明,王国祥,等. 城市污染河道沉积物有机质的氧化稳定性[J]. 环境化学, 2015, **34**(3): 489-496.
- [26] Hamer U, Marschner B, Brodowski S, *et al.* Interactive priming of black carbon and glucose mineralisation [J]. *Organic Geochemistry*, 2004, **35**(7): 823-830.
- [27] Elliott E T, Cambardella C A. Physical separation of soil organic matter [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1991, **34**(1-4): 407-419.
- [28] 辛琨,颜葵,李真,等. 海南岛红树林湿地土壤有机碳分布规律及影响因素研究[J]. 土壤学报, 2014, **51**(5): 1078-1086.
- [29] Kang S, Xing B S. Relationship of polarity and structures of organic matter with sorption capacity for hydrophobic organic compounds [A]. In: Huang Q Y, Huang P M, Violante A (Eds.). *Soil Mineral Microbe-Organic Interactions* [M]. Berlin Heidelberg: Springer, 2008. 125-143.
- [30] Sinha M K. Organo-metallic phosphates. III. Synthesis and their role in plant nutrition [J]. *Plant and Soil*, 1972, **37**(3): 449-456.
- [31] Yariv S, Lapidis I. The use of thermo-XRD-analysis in the study of organo-smectite complexes; Robert Mackenzie memorial lecture [J]. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2005, **80**

- (1): 11-26.
- [32] 赵兴敏, 赵兰坡, 李明堂, 等. 水体底泥及岸边土壤有机无机复合体对磷吸附特征对比[J]. 环境科学学报, 2014, **34**(5): 1285-1291.
- [33] 冯华, 高爱国, 朱旭旭, 等. 闽江下游及河口区表层沉积物粘土矿物含量分布特征及其环境意义[J]. 应用海洋学报, 2014, **33**(3): 418-424.
- [34] Wang Y, Duan W X, Tu C, *et al.* Soil carbon, nitrogen and microbial dynamics of pasturelands: impacts of grazing intensity and planting systems [J]. *Pedosphere*, 2014, **24**(3): 408-416.
- [35] Wang S R, Jin X C, Niu D L, *et al.* Potentially mineralizable nitrogen in sediments of the shallow lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River area in China [J]. *Applied Geochemistry*, 2009, **24**(9): 1788-1792.
- [36] 鲍艳宇, 周启星, 万莹, 等. 土壤有机质对土霉素在土壤中吸附-解吸的影响[J]. 中国环境科学, 2009, **29**(6): 651-655.
- [37] Machiwa J F, 聂晶磊. 被污水部分污染的红树林沉积物中有机碳的分配和再矿化[J]. *AMBIO*, 1998, **27**(8): 736-740.
- [38] 袁英, 何小松, 席北斗, 等. 腐殖质氧化还原和电子转移特性研究进展[J]. 环境化学, 2014, **33**(12): 2048-2057.
- [39] Holmboe N, Kristensen E. Ammonium adsorption in sediments of a tropical mangrove forest (Thailand) and a temperate Wadden Sea area (Denmark) [J]. *Wetlands Ecology and Management*, 2002, **10**(6): 453-460.

《环境科学》再获“百种中国杰出学术期刊”称号

2015年10月21日,中国科技论文统计结果发布会在北京举行,会议公布了“百种中国杰出学术期刊”获奖名单.《环境科学》连续14次荣获“百种中国杰出学术期刊”称号.“百种中国杰出学术期刊”是根据中国科技学术期刊综合评价指标体系进行评定.该体系利用总被引频次、影响因子、基金论文比、他引总引比等多个文献计量学指标进行统计分析,对期刊分学科进行评比,其评价结果客观公正,为我国科技界公认,并具有广泛影响.

CONTENTS

Application of a Two-stage Virtual Impactor in Measuring of PM ₁₀ and PM _{2.5} Emissions from Stationary Sources	JIANG Jing-kun, DENG Jian-guo, LI Zhen, <i>et al.</i> (2003)
Hygroscopic Properties and Closure of Aerosol Chemical Composition in Mt. Huang in Summer	CHEN Hui, YANG Su-ying, LI Yan-wei, <i>et al.</i> (2008)
Characteristics of Water-soluble Inorganic Ions in Atmospheric Aerosols in Shenyang	MIAO Hong-yan, WEN Tian-xue, WANG Lu, <i>et al.</i> (2017)
Characteristics and Source Apportionment of Water-soluble Ions in Dry Deposition in the Summer and Autumn of Nanjing	QIN Yang, ZHU Bin, ZOU Jia-nan, <i>et al.</i> (2025)
Distribution Characteristics of Water-soluble Ions in Size-segregated Particulate Matters in Taiyuan	CAO Run-fang, YAN Yu-long, GUO Li-li, <i>et al.</i> (2034)
Characteristics of Ozone over Standard and Its Relationships with Meteorological Conditions in Beijing City in 2014	CHENG Nian-liang, LI Yun-ting, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i> (2041)
Chemical Composition of Alkanes and Organic Acids in Vehicle Exhaust	YUAN Jia-wen, LIU Gang, LI Jiu-hai, <i>et al.</i> (2052)
Effect of DOC/CCRT Aging on Gaseous Emission Characteristics of an In-used Diesel Engine Bus	LOU Di-ming, HE Nan, TAN Pi-qiang, <i>et al.</i> (2059)
Studies of Dynamic Adsorption Behavior of VOCs on Biochar Modified by Ultraviolet Irradiation	LI Qiao, YONG Yi, DING Wen-chuan, <i>et al.</i> (2065)
Absorption Spectral Characteristic Dynamics of Dissolved Organic Matter (DOM) from a Typical Reservoir Lake in Inland of Three Gorges Reservoir Areas: Implications for Hg Species in Waters	JIANG Tao, LU Song, WANG Qi-lei, <i>et al.</i> (2073)
Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) in Waters of Typical Agricultural Watershed of Three Gorges Reservoir Areas	WANG Qi-lei, JIANG Tao, ZHAO Zheng, <i>et al.</i> (2082)
High-resolution Variations of Oxygen and Hydrogen Isotopes of Precipitation and Feedback from Cave Water: An Example of Jiguan Cave, Henan	SUN Zhe, YANG Yan, ZHANG Ping, <i>et al.</i> (2093)
Spatial Response of River Water Quality to Watershed Land Use Type and Pattern Under Different Rainfall Intensities	JI Xiang, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> (2101)
Determination of Background Value and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of the Danjiangkou Reservoir	ZHAO Li, WANG Wen-wen, JIANG Xia, <i>et al.</i> (2113)
Spatial Distribution Characteristics and Risk Assessment of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Sediments and Soils from the Dishui Lake and Its River System	WANG Xue-ping, HUANG Xing, BI Chun-juan, <i>et al.</i> (2121)
Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Water Source Areas of Guangdong and Guangxi	YANG Yu-xiang, LIU Xin-yu, ZHAN Zhi-wei, <i>et al.</i> (2131)
Responses of Nutrients and Chlorophyll a to Water Level Fluctuations in Poyang Lake	LIU Xia, LIU Bao-gui, CHEN Yu-wei, <i>et al.</i> (2141)
Influence of Periodic Temperature Disturbance on the Succession of Algal Community Structure	GONG Dan-dan, LIU De-fu, ZHANG Jia-lei, <i>et al.</i> (2149)
Effects of Bromate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella vulgaris</i>	WANG Zhi-wei, LIU Dong-mei, ZHANG Wen-juan, <i>et al.</i> (2158)
Effect of Water Bloom on the Nitrogen Transformation and the Relevant Bacteria	LI Jie, ZHANG Si-fan, XIAO Lin (2164)
Effect of Carbon and Nitrogen Forms on Decomposition of Organic Matter in Sediments from Urban Polluted River	TANG Qian, LIU Bo, WANG Wen-lin, <i>et al.</i> (2171)
Interfacial Property of Amphiphilic Copolymer Blending PVDF UF Membrane and Protein Anti-fouling	MENG Xiao-rong, LU Bing-xue, FU Dong-hui, <i>et al.</i> (2179)
Adsorption of Hg(II) in Water by Sulfhydryl-Modified Sepiolite	XIE Jing-ru, CHEN Ben-shou, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (2187)
Adsorption Behavior of Low Concentration Phosphorus from Water onto Modified Reed Biochar	TANG Deng-yong, HUANG Yue, XU Rui-chen, HU Jie-li, <i>et al.</i> (2195)
Adsorption Characteristics of 2,4-D on UiO-66 from Wastewater	REN Tian-hao, YANG Zhi-lin, GUO Lin, <i>et al.</i> (2202)
Mechanism and Surface Fractal Characteristics for the Adsorption of <i>p</i> -nitrophenol on Water-quenched Blast Furnace Slag	WANG Zhe, HUANG Guo-he, AN Chun-jiang, <i>et al.</i> (2211)
Adsorption Characteristics for Humic Acid by Binary Systems Containing Kaolinite and Goethite	NIU Peng-ju, WEI Shi-yong, FANG Dun, <i>et al.</i> (2220)
Effects of Sulfur/sponge Iron Ratio for Deep Denitrification and Phosphorus Removal of Reclaimed Water	ZHOU Yan-qing, HAO Rui-xia, WANG Zhen, <i>et al.</i> (2229)
Effect of Element Sulfur Particle Size and Type of the Reactor on Start-up of Sulfur-based Autotrophic Denitrification Reactor	MA Hang, ZHU Qiang, ZHU Liang, <i>et al.</i> (2235)
Influencing Mechanism of Titanium Salt Coagulant Chemical Conditioning on the Physical and Chemical Properties of Activated Sludge Floes	WANG Cai-xia, ZHANG Wei-jun, WANG Dong-sheng, <i>et al.</i> (2243)
Distribution Characteristics of Methanogens in Urban Sewer System	SUN Guang-xi, JIN Peng-kang, SONG Ji-na, <i>et al.</i> (2252)
Long-term Performance and Bacterial Community Composition Analysis of AGS-SBR Treating the Low COD/N Sewage at Low DO Concentration Condition	XIN Xin, GUAN Lei, YAO Yi-duo, <i>et al.</i> (2259)
Optimization for <i>Microthrix parvicella</i> Quantitative Processing of Fluorescence <i>in situ</i> Hybridization (FISH)	WANG Run-fang, ZHANG Hong, WANG Qin, <i>et al.</i> (2266)
Influence of Carbonization Temperature on Bacterial Community of the Biological Carbon Electrode Based on High-throughput Sequencing Technology	WU Yi-cheng, HE Guang-hua, ZHENG Yue, <i>et al.</i> (2271)
Isolation, Identification and Characteristics of a <i>Rhodospseudomonas</i> with High Ammonia-nitrogen Removal Efficiency	HUANG Xue-jiao, YANG Chong, NI Jiu-pai, <i>et al.</i> (2276)
Variation Characteristics of Inorganic Phosphorus in Purple Soil Profile Under Different Conservation Tillage Treatments	HAN Xiao-fei, GAO Ming, XIE De-ti, <i>et al.</i> (2284)
Effect of Different Organic Materials on Nitrogen Mineralization in Two Purple Soils	ZHANG Ming-hao, LU Ji-wen, ZHAO Xiu-lan (2291)
Impacts of Biochar and Straw Application on Soil Organic Carbon Transformation	ZHANG Ting, WANG Xu-dong, PANG Meng-wen, <i>et al.</i> (2298)
Tracing Sources of Heavy Metals in the Soil Profiles of Drylands by Multivariate Statistical Analysis and Lead Isotope	SUN Jing-wei, HU Gong-ren, YU Rui-lian, <i>et al.</i> (2304)
Landscape Patterns Characteristics of Soil Heavy Metal Pollution in a Town of Southern Jiangsu	CHEN Xin, PAN Jian-jun, WANG Wen-yong, <i>et al.</i> (2313)
Assessment and Pollution Characteristics of Heavy Metals in Soil of Different Functional Areas in Luoyang	LIU Ya-na, ZHU Shu-fa, WEI Xue-feng, <i>et al.</i> (2322)
Evaluation on Heavy Metal Pollution and Its Risk in Soils from Vegetable Bases of Hangzhou	GONG Meng-dan, ZHU Wei-qin, GU Yan-qing, <i>et al.</i> (2329)
Fluorescence Spectroscopic Characteristics and Cu ²⁺ -complexing Ability of Soil Dissolved Organic Matter	TIAN Yu, WANG Xue-dong, CHEN Xiao-lin, <i>et al.</i> (2338)
Effect of Stabilizer Addition on Soil Arsenic Speciation and Investigation of Its Mechanism	CHEN Zhi-liang, ZHAO Shu-hua, ZHONG Song-xiong, <i>et al.</i> (2345)
Effects of Human Gut Microbiota on Bioaccessibility of Soil Cd, Cr and Ni Using SHIME Model	YIN Nai-yi, DU Hui-li, ZHANG Zhen-nan, <i>et al.</i> (2353)
Photosynthetic Characteristics and Ozone Dose-response Relationships for Different Genotypes of Poplar	XIN Yue, GAO Feng, FENG Zhao-zhong (2359)
Effects of Pyrene on Low Molecule Weight Organic Compounds in the Root Exudates of Five Species of <i>Festuca</i>	PAN Sheng-wang, YUAN Xin, LIU Can, <i>et al.</i> (2368)
N% and S% in Leaves of Vascular Plants <i>Cinnamomum camphora</i> and <i>Pinus massoniana</i> Lamb. for Indicating the Spatial Variation of Atmospheric Nitrogen and Sulfur Deposition	XU Yu, XIAO Hua-yun, ZHENG Neng-jian, <i>et al.</i> (2376)
Temporal and Spatial Dynamics of Greenhouse Gas Emissions and Its Controlling Factors in a Coastal Saline Wetland in North Jiangsu	XU Xin-wanghao, ZOU Xin-qing, LIU Jing-ru (2383)
Preparation of Visible-light-induced g-C ₃ N ₄ /Bi ₂ S ₃ Photocatalysts for the Efficient Degradation of Methyl Orange	ZHANG Zhi-bei, LI Xiao-ming, CHEN Fei, <i>et al.</i> (2393)
Estimation of Co-benefits from Pollution Emission Reduction by Eliminating Backward Production Capacities in Hainan Province	GENG Jing, REN Bing-nan, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (2401)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 赵进才

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
赵进才 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2016年6月15日 第37卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 6 Jun. 15, 2016

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	赵进才	Editor-in -Chief		ZHAO Jin-cai
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行