

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第3期

Vol.39 No.3

2018

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长三角典型站点冬季大气 $PM_{2.5}$ 中 OC、EC 污染特征	康晖, 朱彬, 王红磊, 施双双 (961)
南京北郊能见度变化中二次无机盐消光的重要作用	于超, 于兴娜, 赵天良, 张蕾, 马国煦, 王咏薇 (972)
常州夏冬季 $PM_{2.5}$ 中无机组分昼夜变化特征与来源解析	刘佳澍, 顾远, 马帅帅, 苏亚兰, 叶招莲 (980)
天津市春季道路降尘 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 中的元素特征	王士宝, 姬亚芹, 李树立, 张伟, 张蕾 (990)
北京、新乡夏季大气颗粒物中重金属的粒径分布及人体健康风险评价	张鑫, 赵小曼, 孟雪洁, 王小颖, 杨帅, 许晓鹏, 王书亭, 谷超, 王梦蕾, 任浩, 张子洋, 闫广轩, 曹治国, 王跃思 (997)
山西省武乡县城大气 $PM_{2.5}$ 痕量重金属的生态和健康风险分析	郭墨霞, 耿红, 张晋宏, 周欢, 彭妍, 翟帅莹, 李金磊, 陈雨杉 (1004)
隧道中机动车排放颗粒物及无机元素特征	李凤华, 张衍杰, 张静, 袁远, 吴琳, 毛洪钧 (1014)
河南省 2013 年大气氨排放清单建立及分布特征	王琛, 尹沙沙, 于世杰, 卫军华, 谷幸珂, 官密秘, 张瑞芹 (1023)
城市道路行道树池裸地扬尘排放特征	李贝贝, 秦建平, 祁丽荣, 杨涛, 曲松, 石爱军, 黄玉虎 (1031)
DOC 和 CDPF 对柴油公交车颗粒物组分影响	楼狄明, 耿小雨, 宋博, 谭丕强, 胡志远, 刘继跃 (1040)
南水北调中线工程总干渠河南段原水中消毒副产物前体物变化规律	黄飘逸, 徐斌, 郭东良 (1046)
广州市流溪河水体中 6 种内分泌干扰素时空分布特征与环境风险	樊静静, 王赛, 唐金鹏, 戴玉女, 王林, 龙胜兴, 何文祥, 刘帅磊, 王佳希, 杨扬 (1053)
西藏拉萨河流域河水主要离子化学特征及来源	张清华, 孙平安, 何师意, 文化, 刘明隆, 于爽 (1065)
太子河下游河流硝酸盐来源及其迁移转化过程	李艳利, 杨梓睿, 尹希杰, 孙伟 (1076)
海南岛北部海湾沉积物重金属来源、分布主控因素及生态风险评价	曾维特, 杨永鹏, 张东强, 刘兵, 张航飞, 吴多誉, 王晓林 (1085)
天津农田重金属污染特征分析及降雨沥浸影响	许萌萌, 刘爱凤, 师荣光, 蓝靖, 田永, 赵宗山 (1095)
太湖出入湖河道与湖体水质季节差异分析	查慧铭, 朱梦圆, 朱广伟, 杨周生, 许海, 沈睿杰, 钟春妮 (1102)
春季敏感时期三峡水库典型支流沉积物-水界面氮释放特性	李欣, 宋林旭, 纪道斌, 刘德富, 苏青青, 吕林鹏, 王雄, 黄亚男, 吴庆 (1113)
不同湖泊入湖河流沉积物可转化态氮的空间分布及其影响因素	周睿, 袁旭音, Marip Ja Bawk, 于辉辉, 章琪, 唐豆豆 (1122)
水文气象因素对东南山区水库硅藻异常增殖的影响	孙祥, 朱广伟, 笄文怡, 余茂蕾, 杨文斌, 朱梦圆, 许海, 国超旋, 余丽 (1129)
深水型水库热分层诱导水质及真菌种群结构垂向演替	商潘路, 陈胜男, 黄廷林, 张海涵, 康鹏亮, 王跃, 刘珍芳, 刘彤彤 (1141)
太湖竺山湾春季浮游细菌群落结构及影响因素	薛银刚, 刘菲, 孙萌, 江晓栋, 耿金菊, 滕加泉, 谢文理, 张皓, 陈心一 (1151)
分层型水源水库沉积物需氧量特性	苏露, 黄廷林, 李楠, 张海涵, 文刚, 李扬, 陈家炜, 王晓江 (1159)
污水氮浓度和 NH_4^+ / NO_3^- 比对粉绿狐尾藻去氮能力和植物体氮组分的影响	马永飞, 杨小珍, 赵小虎, 胡承孝, 谭启玲, 孙学成, 吴金水 (1167)
水体氮磷营养负荷对苦草净化能力和光合荧光特性的影响	周裔文, 许晓光, 韩睿明, 周晓红, 冯德友, 李致春, 王国祥 (1180)
化学预氧化耦合生物锰氧化对水中有机物的去除	菅之奥, 常洋洋, 王立新, 梁金松, 柏耀辉 (1188)
铜铁氧体法处理模拟染料废水	韩志勇, 韩昆, 郝昊天, 于建伟, 石宝友, 庄媛, 孔岩 (1195)
草酸根对 α -FeOOH 多相 UV-Fenton 催化能力的增效实验	苗笑增, 戴慧旺, 陈建新, 蒋柏泉, 龚炯 (1202)
生物质基纳米 HZO 杂化材料的研制及其除磷特性	邱慧, 秦智峰, 刘凤玲, 梁晨, 宋明霞, 许正文, 管益东 (1212)
铁锰氧化物/生物炭复合材料对水中硝酸根的吸附特性	郑晓青, 韦安磊, 张一璇, 史良干, 张潇 (1220)
PAAm/HACC 半互穿网络水凝胶的制备及其对水中腐殖酸的吸附性能	刘泽琨, 周少奇, 马福臻 (1233)
二氧化钛对地下水砷的吸附及再生回用	马文静, 阎莉, 张建锋 (1241)
一体式絮体-超滤工艺去除腐殖酸效能与机制	李文江, 于莉芳, 苗瑞, 马百文 (1248)
中国城镇污水处理厂温室气体排放时空分布特征	闫旭, 邱德志, 郭东丽, 齐星昊, 郑仕侃, 程轲, 孙剑辉, 刘建伟 (1256)
硝化耦合 CANON 的铁锰氮生物净化工艺启动与运行	李冬, 曹瑞华, 杨航, 王艳菊, 吕赛赛, 张杰 (1264)
纤维载体的生物膜 CANON 反应器的启动特性	顾澄伟, 陈方敏, 李祥, 黄勇, 尤星怡, 金润, 张文静, 董石语 (1272)
DO/ NH_4^+ -N 实现短程硝化过程中生物膜特性	赵青, 卞伟, 李军, 王文啸, 孙艺齐, 梁东博, 张舒燕 (1278)
AUSB 中置曝气对 CANON 颗粒污泥工艺的影响	成朔, 李冬, 张杰, 李帅, 曹瑞华, 吕赛赛 (1286)
有机碳源对启动及运行 CANON 颗粒污泥工艺的影响	李冬, 王艳菊, 吕育锋, 曹瑞华, 李帅, 张杰 (1294)
中试一体式部分亚硝化-厌氧氨氧化反应器的启动与区域特性	周正, 王凡, 林兴, 董石语, 朱强, 李祥, 黄勇 (1301)
硝化液回流比对 ABR-MBR 工艺反硝化除磷效能的影响	吕亮, 尤雯, 张敏, 吴鹏, 沈耀良 (1309)
磁性纳米铁对厌氧颗粒污泥特性及其微生物群落的影响	宿程远, 郑鹏, 卢宇翔, 袁秋红, 赵力剑, 廖黎明, 黄智 (1316)
好氧颗粒污泥系统中溶解性微生物代谢产物的特征及主要组分	杨丹, 刘东方, 杜丽琼, 黄文力 (1325)
环丙沙星对膜生物反应器中微生物群落及抗性基因的影响	戴琦, 刘锐, 梁玉婷, 舒小铭, 徐灿灿, 陈吕军 (1333)
CEM-UF 组合膜-硝化/反硝化系统处理低 C/N 废水及种群结构分析	邢金良, 张岩, 陈昌明, 张博康, 郭威, 马翔山 (1342)
磷对混养反硝化污泥活性和微生物群落结构的影响	王佩琦, 周伟丽, 何圣兵, 黄荣振 (1350)
甲烷厌氧氧化协同硝酸盐还原菌群驯化及其群落特征	薛松, 张梦竹, 李琳, 刘俊新 (1357)
城市尾水排海过程中微生物及主要致病菌扩散规律	徐爱玲, 牛成洁, 宋志文, 郎秀臻, 郭明月 (1365)
氧四环素的微生物燃料电池处理及微生物群落	严伟富, 肖勇, 王淑华, 丁蕊, 赵峰 (1379)
近 30 年干县耕地土壤碳氮比时空变异特征及其影响因素	江叶枫, 钟珊, 李婕, 王澜珂, 卞荣禧 (1386)
中宁枸杞土壤碳组分分布特征及其空间异质性	王幼奇, 赵云鹏, 白一茹, 张兴 (1396)
滨海滩涂围垦区不同围垦年限土壤酶活性变化及其与理化性质关系	解雪峰, 濮励杰, 王琪琪, 朱明, 王小涵 (1404)
青藏高原中东部表层土壤中多环芳烃的分布特征、来源及生态风险评价	周雯雯, 李军, 胡健, 李兆洲 (1413)
基于 UNMIX 模型的矿区周边农田土壤金属源解析	卢鑫, 胡文友, 黄标, 李元, 祖艳群, 湛方栋, 卞荣禧 (1421)
铁锰双金属材料在不同 pH 条件下对土壤 As 和重金属的稳定化作用	费群, 阎秀兰, 李永华 (1430)
我国 3 个城市人体血清中新型溴代阻燃剂水平趋势及分布特征	王庆华, 袁浩东, 金军, 李鹏, 马玉龙, 王英 (1438)
《环境科学》征订启事 (979) 《环境科学》征稿简则 (996) 信息 (1022, 1064, 1293)	

不同湖泊入湖河流沉积物可转化态氮的空间分布及其影响因素

周睿^{1,2}, 袁旭音^{1,2*}, Marip Ja Baw¹, 于辉辉¹, 章琪¹, 唐豆豆¹

(1. 河海大学环境学院, 南京 210098; 2. 浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 南京 210098)

摘要: 研究河流沉积物氮形态的分布可以了解流域的水环境现状. 本研究通过分级浸取方法得到沉积物的离子交换态氮(IEF-N)、弱酸浸取态氮(WAEF-N)、强碱浸取态氮(SAEF-N)以及强氧化剂浸取态氮(SOEF-N), 对比研究了太湖西部入湖河流(东苕溪、西苕溪)和洪泽湖西部入湖河流(安河、濉河)沉积物中氮形态的空间分布特征, 分析了可转化态氮的主要影响因素. 结果表明, 不同流域之间沉积物的基本理化性质存在明显的差异, 导致沉积物总氮以及可转化态氮的含量及空间分布也不相同. 总体而言, 太湖西部河流沉积物中总氮和总可转化态氮的含量略高于洪泽湖西部河流, 但前者的空间变化小于后者. 太湖西部河流沉积物与洪泽湖西部河流沉积物的可转化态氮含量大小排列顺序也有所不同, 前者为 SOEF-N > SAEF-N > WAEF-N > IEF-N, 后者为 SOEF-N > SAEF-N > IEF-N > WAEF-N, 且后者各形态氮的含量变化更为明显, 这主要与沉积物的组成和氮来源有关. 研究区沉积物中可转化态氮的分布受其理化性质的影响明显, 尤以有机质和粒度的影响最明显.

关键词: 可转化态氮; 沉积物; 空间分布; 影响因素; 入湖河流

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)03-1122-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.201706234

Spatial Distributions of Transferable Nitrogen Forms and Influencing Factors in Sediments from Inflow Rivers in Different Lake Basins

ZHOU Rui^{1,2}, YUAN Xu-yin^{1,2*}, Marip Ja Baw¹, YU Hui-hui¹, ZHANG Qi¹, TANG Dou-dou¹

(1. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resource Development on Shallow Lakes, Ministry of Education, Nanjing 210098, China)

Abstract: It is necessary to investigate the distribution of nitrogen forms in river sediments to recognize the water environment quality. In this study, ion exchangeable form nitrogen (IEF-N), weak acid extractable form nitrogen (WAEF-N), strong alkali extractable form nitrogen (SAEF-N) and strong oxidation extractable form nitrogen (SOEF-N) in sediments were obtained by means of sequential extraction procedures. We analyzed the spatial variations of nitrogen forms in sediments from Taihu watershed (Dongtiaoxi River and Xitiaoxi River) and Hongzhu watershed (Anhe River and Suihe River), and expounded the influence factors of nitrogen form distribution. The results showed that the physicochemical properties of sediments from different watersheds varied in space. The concentrations of total nitrogen and nitrogen fractions also showed obvious changes in river sediments. As a whole, the concentrations of total nitrogen and transferable nitrogen in Taihu rivers were higher than those in Hongzhu rivers, but the former showed smaller spatial changes. Sediments from Taihu rivers showed the different concentration order of total nitrogen and transferable nitrogen comparing with those from Hongzhu rivers. The former followed the order of SOEF-N > SAEF-N > IEF-N > WAEF-N, and the latter followed the order of SOEF-N > SAEF-N > WAEF-N > IEF-N. The spatial variations of transferable nitrogen fractions in Hongzhu rivers were prominent, which was associated with nitrogen sources. The spatial distributions of transferable nitrogen in sediments were obviously affected by their physicochemical properties, especially for organic matter and grain size.

Key words: transferable nitrogen; sediment; spatial distribution; influencing factor; inflow river

目前我国河流氮素的超标现象比较普遍^[1~3], 而入湖河流氮磷过量输入是导致湖泊富营养化的重要原因^[4,5], 沉积物的氮存在形式及空间分布对河流氮循环过程具有重要意义^[6,7]. 在适宜条件下, 沉积物可释放氮素等营养物质到上覆水体中, 增强了水体的富营养化趋势^[8]. 沉积物中氮元素的结合形式和赋存形态较复杂, 而不同形态的氮在释放能力上也不同^[9]. 研究表明, 可转化态氮是沉积物中比较活跃的氮形态, 也是参与沉积物-水界面过程的主要氮形态, 同时可转化态氮的增加可以加速有

机氮的矿化过程^[10]. 目前对于沉积物中可转化态氮的研究主要集中在单一湖区或者某一河流, 而对于不同流域入湖河流沉积物氮形态的研究相对较少, 特别是其影响因素的差异分析. 本文选取太湖西部和洪泽湖西部的主要入湖河流作为研究对象,

收稿日期: 2017-06-23; 修订日期: 2017-09-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(41372354, 41601540); 国际科技合作与交流专项(2012DFA60830); 江苏省自然科学基金项目(BK20160859)

作者简介: 周睿(1992~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为流域水环境保护, E-mail: zhouri_hhu@163.com

* 通信作者, E-mail: yxy_hjy@hhu.edu.cn

探究沉积物的性质对可转化态氮分布的影响, 以期为湖泊的富营养化控制以及生态修复工程的实施提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

本研究选取太湖西部和洪泽湖西部的入湖河流见图 1, 太湖西部入湖河流包括东苕溪和西苕溪, 它们是太湖重要的补给水系, 在浙江省湖州市交汇后流入太湖. 东苕溪发源于东天目山脉北部平顶山

南麓^[11], 沿岸土地利用类型较为丰富, 主要以林地和耕地为主, 其次是城镇用地, 草地等. 西苕溪, 是浙江省北部重要的通航河道^[12], 发源于天目山北坡, 流经安吉县; 下游平原广袤, 河道密布. 安河、濉河是洪泽湖的西部入湖河流, 安河要以林地和农田为主, 中游有一些的水产养殖地; 濉河干流自宿县的张树闸起, 穿淝塘沟闸分为两股, 一股沿故道东流, 为老濉河, 一股东南流为新挖河道, 为新濉河; 濉河平原区占 70.3%, 低山残丘区占 26.0%, 洼地占 3.7%^[13].

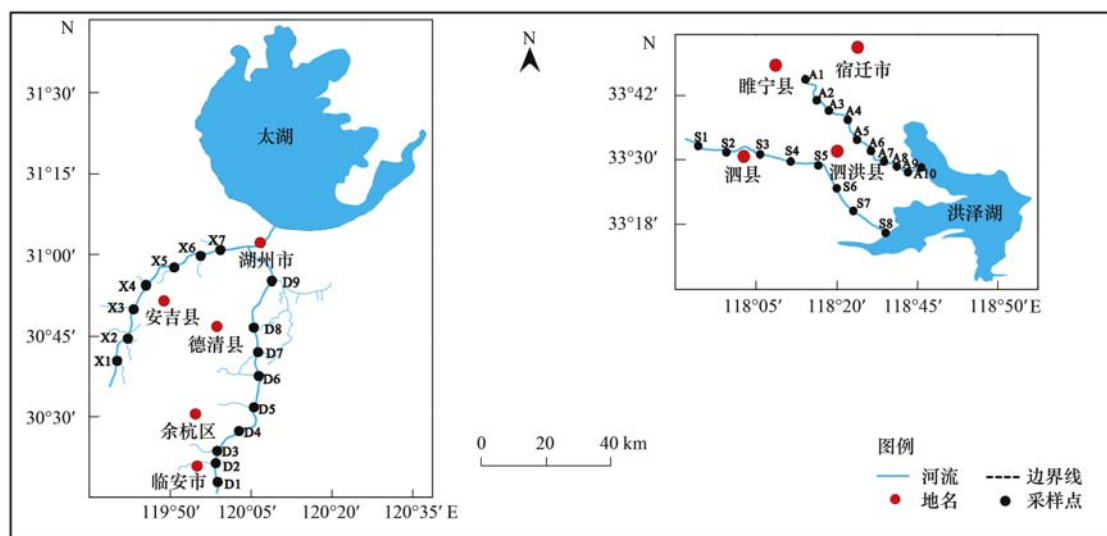


图 1 研究区域与采样点分布

Fig. 1 Map of study areas showing sampling site distribution

1.2 样品的采集与处理

2016 年春季, 在东苕溪、西苕溪和安河、濉河的支流入干流处布置采样点, 分别采集 9、7 和 10 个、8 个沉积物样品 (见图 1). 采样长度分别为 80、65、60、60 km, 采样点间距为 5 ~ 8 km. 为防止样品采集的随机性和偶然性, 以采样点为中心附近的上下游共采集 3 个样品组成一个混合样, 根据采样的地理位置将样品大体分为入湖河流的上游段、中游段和下游段, 其中 4 条河流的 D1 ~ D3、X1 ~ X2 和 A1 ~ A3、S1 ~ S3 为上游段, D4 ~ D6、X3 ~ X4 和 A4 ~ A7、S4 ~ S5 为中游段, D7 ~ D9、X5 ~ X7 和 A8 ~ A10、S6 ~ S8 为下游段. 使用抓斗式采样器采集沉积物样品, 采样深度 0 ~ 10 cm, 采集的样品立即装入聚乙烯塑料自封袋中, 放在保温箱中带回实验室. 通过自然风干, 去除样品中的小石子、贝壳、杂草和腐根等杂物, 过 20 目尼龙筛, 粉碎样品以保证沉积物的自然粒度, 放入烘干的纸袋供分析.

1.3 样品的测定方法

沉积物样品的分析测定包括主要化学成分、粒度、pH、有机质 (OM)、总氮 (TN)、总磷 (TP) 以及不同形态的氮.

化学成分采用荷兰帕纳科公司的 PW2440 型 X 射线荧光分析仪, 粒度分析使用英国马尔文仪器公司的 Mastersizer2000 型激光粒度仪对样品的粒度进行测定, pH 采用电极法测定, 有机质采用重铬酸钾容量法测定, TN 采用过硫酸钾氧化法测定, TP 的测定采用硫酸-高氯酸消煮-钼锑抗比色法测定^[7,14].

利用分级浸取分离方法分析测定沉积物中的可转化态氮, 分级浸取方法见图 2, 将沉积物可转化态氮分为离子交换态氮 (IEF-N)、弱酸浸取态氮 (WAEF-N)、强碱浸取态氮 (SAEF-N) 和强氧化剂浸取态氮 (SOEF-N) 这 4 种形态, 分别测定浸取液中的 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 以及 NO_2^- -N 的含量, 三者之和即为某一形态的可转化态氮含量^[15,16].

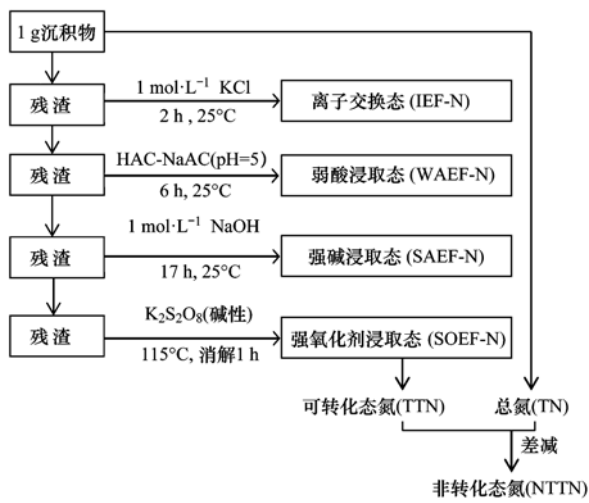


图2 沉积物可转换态氮分级浸取示意

Fig. 2 Schematic diagram of transferable nitrogen fraction extration in sediment by sequential extration procedures

1.4 数据统计与分析方法

实验获得的数据采用 Excel 2010 进行统计,使用Origin 9.0作图描述沉积物的总氮、总可转化态氮的空间变化,通过SPSS21.0软件分析沉积物的

主要理化性质与氮形态的相关性.

2 结果与讨论

2.1 不同流域河流沉积物的基本理化性质

从表1可知,太湖西部河流沉积物与洪泽湖西部河流沉积物的主要理化性质存在明显的差异性.太湖西部河流沉积物的pH为5.98~7.94,大体呈中性偏弱酸性,而洪泽湖西部河流沉积物的pH介于7.79~8.45,以弱碱性为主,这主要与它们的地质背景有关.根据沉积物化学成分分析可知,洪泽湖西部河流沉积物中CaO含量明显高于太湖西部河流沉积物,这是造成沉积物偏碱性的原因;而太湖西部河流SiO₂、Al₂O₃的含量略高,显示成土母质可能是偏酸性的岩石.整体来说,太湖西部河流沉积物中营养物质(TN、TP以及有机质)的平均含量高于洪泽湖西部河流沉积物,而最大值则出现在洪泽湖河流,这表明洪泽湖流域有高含量营养元素的输入源(如畜禽养殖).另外从沉积物的粒度组成看,洪泽湖河流沉积物的黏粒、粉砂粒比例较大,说明其容易吸附外来的营养物质^[17].

表1 不同流域河流沉积物的主要理化性质

Table 1 Major physicochemical properties of river sediments in different watersheds

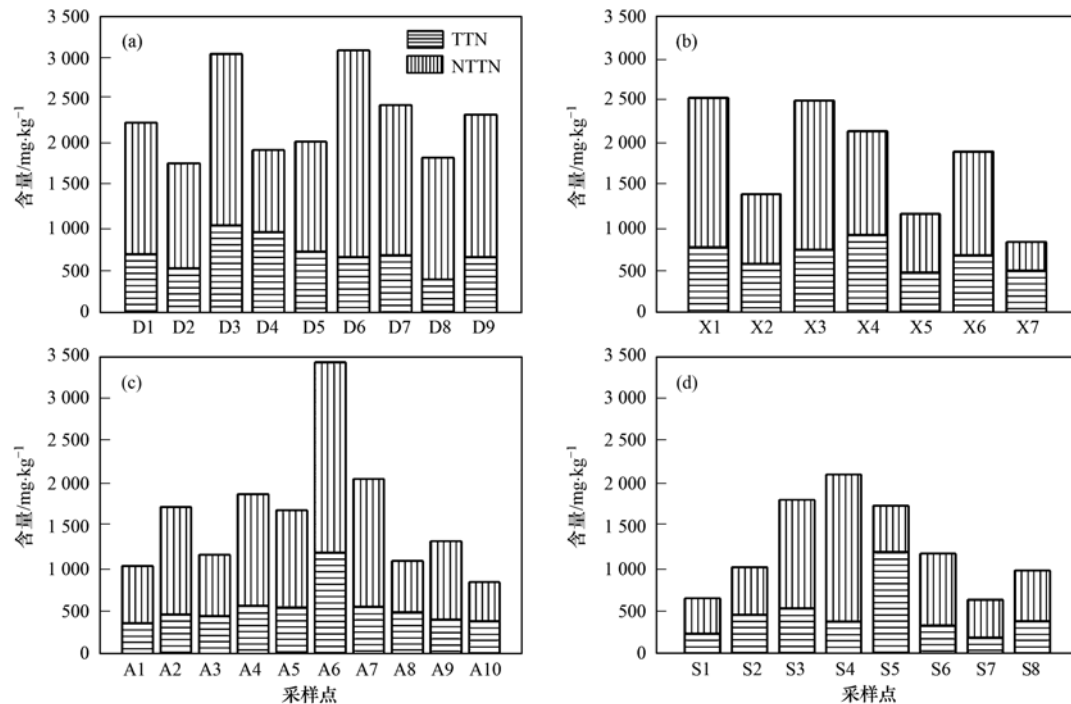
指标	太湖西部河流			洪泽湖西部河流		
	范围	平均值	变异系数/%	范围	平均值	变异系数/%
pH	5.98~7.94	7.13	8.13	7.79~8.45	8.08	2.48
Al ₂ O ₃ /%	7.87~12.79	11.32	9.26	0.83~11.11	7.41	47.19
SiO ₂ /%	46.12~51.82	49.12	4.37	42.37~47.70	44.45	3.61
CaO/%	0.04~1.45	0.29	108.53	2.10~7.64	5.78	30.06
MnO/%	0.05~0.26	0.12	50.16	0.02~0.17	0.07	56.48
Fe ₂ O ₃ /%	1.64~5.33	4.37	19.95	3.22~5.23	4.16	11.84
TP/mg·kg ⁻¹	374.46~825.52	556.12	27.06	202.67~923.54	505.58	35.68
TN/mg·kg ⁻¹	834.11~3 085.14	2 067.55	29.63	636.76~3 428.77	1 401.49	39.10
OM/%	0.59~3.19	1.71	47.51	0.28~3.93	1.35	60.52
黏粒/%	1.86~9.65	6.27	35.57	2.92~17.76	10.52	42.23
粉砂粒/%	38.74~73.32	55.13	20.03	44.21~78.25	65.27	32.10
粗砂粒/%	18.31~59.00	38.60	31.76	17.39~42.51	24.21	28.15

2.2 不同流域河流沉积物中总氮、总可转化态氮的空间分布特征

太湖西部河流(东苕溪、西苕溪)与洪泽湖西部河流(安河、濉河)沉积物中的总氮(TN)、总可转化态氮(TTN)的空间分布特征如图3所示,总氮(TN)是总可转化态氮(TTN)和非总可转化态氮(NTTN)之和.从中可知,这些河流沉积物的总氮、总可转化态氮的空间分布存在一定的差异性.整体来说,太湖西部河流沉积物的总氮、总可转化态氮的含量高于洪泽湖西部河流沉积物,但前者的总可

转化态氮的变化幅度小,而后者的变化幅度较大.

由图3所知,东苕溪沉积物中的总氮、总可转化态氮含量最高,分别为1 759~3 085 mg·kg⁻¹、398~1 029 mg·kg⁻¹,而安河、濉河的空间变化更加明显,变异系数均大于40%,这些沉积物氮形态与沿岸土地利用方式空间有关^[18,19].东苕溪沿岸的中游规模较大的城镇(如瓶窑镇)分布,西苕溪流经安吉县城(位于中游),上下游缺少较大的城镇分布;安河和濉河中游段沉积物的总氮、总可转化态氮要高于上游段和下游段,这是受周边人类活动影



(a)、(b)为东苕溪、西苕溪沉积物 TTN、NTTN 的含量; (c)、(d)为安河、濉河沉积物 TTN、NTTN 的含量

图3 太湖西部河流、洪泽湖西部河流沉积物中总氮、总可转化态氮的含量及其空间分布特征

Fig. 3 Concentrations and spatial distribution characteristics of total nitrogen and total transferable nitrogen in river sediments from Taihu Lake and Hongzehu Lake watersheds

响导致的,中游段有较多的禽类和水产养殖场,而上、下游以林地为主,有少量的农田。另外上游的氮元素受河水稀释作用,导致下游沉积物中总氮、总可转化态氮的含量略低于上游^[20]。通过相关性分析可知,太湖西部河流沉积物总可转化态氮与总氮有极显著相关关系($R = 0.801^{**}$),洪泽湖西部沉积物表现出显著相关关系($R = 0.570^{*}$),弱于前者,这可能与来源氮的不同组成有关。

2.3 不同流域河流沉积物中形态可转化态氮的空间变化特征

沉积物中不同形态可转化态氮受环境因素以及沉积物本身的影响,空间变化特征比较复杂,整体来说,洪泽湖西部河流沉积物中各形态的空间变化更加明显(图4)。

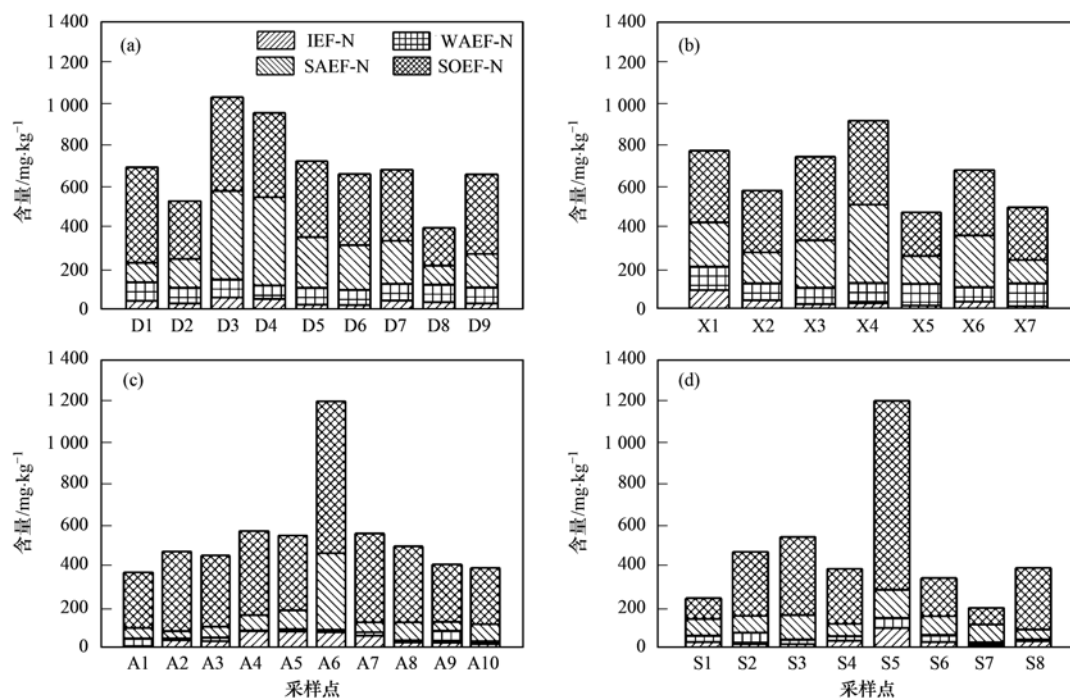
由图4可知,不同流域河流沉积物可转化态氮的含量大小排列顺序不完全相同,太湖西部河流沉积物表现为:SOEF-N > SAEF-N > WAEF-N > IEF-N,洪泽湖西部河流沉积物表现为:SOEF-N > SAEF-N > IEF-N > WAEF-N。IEF-N(离子交换态氮)是所有可转化态氮中最容易释放、结合能力最弱的氮,也是沉积物中氮最活跃的部分^[21],西苕溪的IEF-N含量最高,变化最为明显,变异系数为66.3%。这是因为西苕溪沉积物中有机质含量较高,高有机质

的沉积物吸附位点多,可以吸附更多的离子交换态氮。WAEF-N(弱酸浸取态氮)大体上相当于与碳酸盐结合的氮,在外界扰动下也容易释放。东苕溪、西苕溪沉积物中WAEF-N的含量较高,而安河、濉河沉积物中WAEF-N的含量空间变化更明显,尤其是安河A4和A9沉积物中WAEF-N的含量相差十几倍,说明WAEF-N受pH、沉积环境以及粒径组成等多种因素的控制^[22]。SAEF-N(强碱浸取态氮)主要是铁锰氧化物吸附的氮,受沉积物的氧化还原环境的影响较大,是沉积物中无机氮的主要存在形态^[23]。东苕溪、西苕溪沉积物中SAEF-N的含量普遍高于安河、濉河,前者SAEF-N的平均含量约为后者的2.5倍,反映了不同流域中氧化还原环境存在明显的差异。同时4种形态中,SAEF-N的含量变化最为明显,主要因为SAEF-N受氧化还原环境影响明显。赵海超等^[24]的研究表明,SAEF-N的含量及其分布主要受其氧化还原环境的影响,而沉积物氧化还原环境与有机质、pH以及微生物的活动有关。所以,SAEF-N的含量变化比较复杂,含量变化不稳定。SOEF-N(强氧化剂浸取态氮)主要是有机结合形式的氮,也是4种可转化态氮中最难释放、含量最高的氮^[25]。研究的河流沉积物中SOEF-N的含量约占总可转化态氮的

50%左右,表明这是主要的可转化态氮。

空间上东苕溪上游沉积物中 SOEF-N 比例较高,到中游逐步降低,而 IEF-N 和 WAEF-N 的比例在下游明显升高;西苕溪沉积物中 SOEF-N 的比例整体上低于东苕溪沉积物,而 IEF-N 和 WAEF-N 的比例偏高,尤其在上游段。表明河流的地理环境

和土地利用方式影响了沉积物氮形态的分布。洪泽湖西部河流沉积物可转化态氮分布总体上中游段区域高于上游段和下游段,尤其是个别地点比较突出(应该与养殖废水有关),而濉河沉积物的 IEF-N 和 WAEF-N 的比例偏高,而且从上游至下游逐步升高,表明氮的释放能力增强。



(a)、(b)为东苕溪、西苕溪沉积物氮形态的含量;(c)、(d)为安河、濉河沉积物氮形态的含量

图4 太湖西部河流、洪泽湖西部河流沉积物中氮形态的含量及其空间分布特征

Fig. 4 Concentrations and spatial distribution characteristics of transferable nitrogen fractions in river sediments from Taihu Lake and Hongzhe Lake watersheds

2.4 影响沉积物可转化态氮的含量及分布的因素分析

如前所述,不同流域沉积物氮形态的空间分布差异显著,反映了不同流域的地质背景、氮来源各异^[26]。吴晶晶^[27]的研究表明,沉积物的 pH、有机质(OM)、物质组成以及粒度等与沉积物可转化态氮的含量及空间分布存在明显的相关性。为了更好地说明可转化态氮的影响因素,本文对比分析了不同流域河流沉积物的理化性质对可转化态氮的影响。

由表2可知,沉积物的理化性质对氮形态分布有影响,较为明显的是有机质和粒度。在太湖西部河流沉积物中,有机质、粉砂颗粒、铁铝化合物对 IEF-N、WAEF-N 的影响较明显,表明沉积物的内在特征与氮形态的关联性较好,尤其对 IEF-N 的影响比较显著。IEF-N 与 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、粗砂粒有着显

著负相关关系,与粉砂粒有着显著正相关关系,另外,有机质在一定程度上也影响 IEF-N 的含量,因为 IEF-N 主要是吸附态氮,而有机质含量的高低影响沉积物的可吸附点位的多少。有研究表明^[28],高有机质沉积物的可吸附点位较多,可以吸附更多的 IEF-N。而在洪泽湖西部沉积物中,pH、粉砂颗粒对 IEF-N、WAEF-N 的影响明显,化学成分的影响较弱,特别是沉积物 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 含量对氮形态的影响较弱。

整体来说,太湖西部河流沉积物的性能参数对 IEF-N、WAEF-N 的相关性更好,而在洪泽湖西部沉积物中,有机质与 SAEF-N 含量的相关性较显著。此外,后者的 SOEF-N 含量还受到氧化还原电位的影响,因此不同流域环境沉积物的理化性质对氮形态的分布有明显影响^[29, 30],故对于流域水环境的管理和治理要考虑沉积物的性质。

表 2 沉积物各形态氮与其理化性质的相关关系¹⁾

Table 2 Correlations between transferable nitrogen forms and major physicochemical properties of sediments											
流域	项目	pH	OM	Eh	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	黏粒	粉砂粒	粗砂粒
太湖西部河流 (n = 16)	IEF-N	-0.359	0.456	-0.322	-0.641 **	-0.573 *	-0.352	0.007	0.531	0.714 *	-0.689 *
	WAEF-N	-0.178	0.083	-0.172	0.484	-0.553 *	0.386	0.167	0.329	0.087	-0.01
	SAEF-N	-0.409	0.532 *	0.642 *	0.134	0.166	-0.250	-0.320	0.300	0.648	-0.624
	SOEF-N	-0.214	0.410	0.514 *	0.121	0.162	-0.342	-0.282	0.261	0.316	-0.323
洪泽湖西部河流 (n = 18)	IEF-N	-0.504 *	0.440	0.385	0.299	0.324	0.219	-0.460	0.475	0.747 *	-0.696 *
	WAEF-N	0.210	-0.470 *	-0.164	0.423	-0.495 *	0.045	0.198	0.189	0.820 **	-0.708 *
	SAEF-N	-0.038	0.688 **	0.501	0.208	0.092	-0.009	-0.148	0.341	0.208	-0.266
	SOEF-N	-0.378	0.327	0.626 *	0.152	0.325	-0.097	-0.140	0.091	0.191	-0.414

1) * 表示 $P < 0.05$ 的相关; ** 表示 $P < 0.01$ 的相关

3 结论

(1)太湖入湖河流沉积物中黏土、粉砂粒、CaO 的含量略小于洪泽湖入湖河流,但 SiO₂ 的含量略高;前者沉积物 pH 大体呈中性偏弱酸性,但营养元素高于后者,而后者呈偏弱碱性,营养元素含量稍低. 这反映流域沉积物的污染特征,既受沉积物本身性质影响,又受人类活动输入影响.

(2)不同流域沉积物中氮形态分布特征存在差异. 太湖西部河流沉积物中总氮、总可转化态氮的含量略高于洪泽湖西部河流,但后者的含量分布及空间变化更加明显. 沉积物可转化态氮的含量组成也不一致,太湖西部河流为 SOEF-N > SAEF-N > WAEF-N > IEF-N,洪泽湖西部河流为 SOEF-N > SAEF-N > IEF-N > WAEF-N. 总体上太湖西部河流沉积物氮形态受生活污水影响明显,而洪泽湖流域沉积物则受养殖废水影响明显.

(3)沉积物理化性质显著影响了氮形态的含量组成及分布,其中有机质和粒度是主要的影响因素. 这些影响因素在不同流域沉积物中也表现出差异,研究表明沉积物物质成分对太湖西部河流沉积物氮形态的影响较明显,而对洪泽湖西部河流沉积物的影响较弱.

参考文献:

[1] 王书航,姜霞,金相灿. 巢湖入湖河流分类及污染特征分析[J]. 环境科学, 2011, **33**(10): 2834-2839.
Wang S H, Jiang X, Jin X C. Classification and pollution characteristic analysis for inflow rivers of Chaohu Lake [J]. Environmental Science, 2011, **33**(10): 2834-2839.

[2] 庞燕,项颂,储昭升,等. 洱海流域农业用地与入湖河流水质的关系研究[J]. 环境科学, 2015, **36**(11): 4005-4012.
Pang Y, Xiang S, Chu Z S, et al. Relationship between agricultural land and water quality of inflow river in Erhai Lake Basin[J]. Environmental Science, 2015, **36**(11): 4005-4012.

[3] 余丽燕,杨浩,黄昌春,等. 夏季滇池和入滇河流氮、磷污染特征[J]. 湖泊科学, 2016, **28**(5): 961-971.

Yu L Y, Yang H, Huang C C, et al. Characteristic of nitrogen and phosphorous pollution in Lake Dianchi and its inflow rivers in summer[J]. Journal of Lake Sciences, 2016, **28**(5): 961-971.

[4] Jin X C, Wang S R, Pang Y, et al. The adsorption of phosphate on different trophic lake sediments[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2005, **254**(1-3): 241-248.

[5] Xu H, Paerl H W, Qin B Q, et al. Nitrogen and phosphorus inputs control phytoplankton growth in eutrophic Lake Taihu, China[J]. Limnology and Oceanography, 2010, **55**(1): 420-432.

[6] 吴雅丽,许海,杨桂军,等. 太湖水体氮素污染状况研究进展[J]. 湖泊科学, 2014, **26**(1): 19-28.
Wu Y L, Xu H, Yang G J, et al. Progress in nitrogen pollution research in Lake Taihu[J]. Journal of Lake Sciences, 2014, **26**(1): 19-28.

[7] 王一茹,王圣瑞,焦立新,等. 滇池草海间隙水与上覆水氮磷时空变化特征[J]. 环境科学, 2017, **38**(6): 2336-2344.
Wang Y R, Wang S R, Jiao L X, et al. Temporal and spatial variation characteristics of nitrogen and phosphorus in sediment pore water and overlying water of Dianchi Caohai Lake [J]. Environmental Science, 2017, **38**(6): 2336-2344.

[8] 陈朱虹,陈能汪,吴殷琪,等. 河流库区沉积物-水界面营养盐及气态氮的释放过程和通量[J]. 环境科学, 2014, **35**(9): 3325-3335.
Chen Z H, Chen N W, Wu Y Q, et al. Sediment-water flux and processes of nutrients and gaseous nitrogen release in a China river reservoir[J]. Environmental Science, 2014, **35**(9): 3325-3335.

[9] 戴纪翠,宋金明,李学刚,等. 胶州湾沉积物中氮的地球化学特征及其环境意义[J]. 第四纪研究, 2007, **27**(3): 347-356.
Dai J C, Song J M, Li X G, et al. Geochemical characteristics of nitrogen and their environmental significance in Jiaozhou bay sediments[J]. Quaternary Sciences, 2007, **27**(3): 347-356.

[10] 马红波,宋金明,吕晓霞,等. 渤海沉积物中氮的形态及其在循环中的作用[J]. 地球化学, 2003, **32**(1): 48-54.
Ma H B, Song J M, Lv X X, et al. Nitrogen forms and their functions in recycling of the Bohai Sea sediments [J]. Geochimica, 2003, **32**(1): 48-54.

[11] 黄亮亮,吴志强,蒋科,等. 东苕溪鱼类生物完整性评价河流健康体系的构建与应用[J]. 中国环境科学, 2013, **33**(7): 1280-1289.

- Huang L L, Wu Z Q, Jiang K, *et al.* Development and application of IBI based on fish to assess the river's health in the East Tiaoxi River[J]. *China Environmental Science*, 2013, **33**(7): 1280-1289.
- [12] 陈诗文, 袁旭音, 金晶, 等. 西苕溪支流河口水体营养盐的特征及源贡献分析[J]. *环境科学*, 2016, **37**(11): 4179-4186.
- Chen S W, Yuan X Y, Jin J, *et al.* Characteristics and pollution source analysis of nutrients in tributary outlets of Xitiaoxi watershed[J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(11): 4179-4186.
- [13] 刘春. 泗洪-濉河风光带景观规划设计[D]. 福州: 福建农林大学, 2016. 11-12.
- [14] 罗玉红, 聂小倩, 李晓玲, 等. 香溪河沉积物、间隙水的磷分布特征及释放通量估算[J]. *环境科学*, 2017, **38**(6): 2345-2354.
- Luo Y H, Nie X Q, Li X L, *et al.* Distribution and emission flux estimation of phosphorus in the sediment and interstitial water of Xiangxi river[J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(6): 2345-2354.
- [15] 刘波, 周锋, 王国祥, 等. 沉积物氮形态与测定方法研究进展[J]. *生态学报*, 2011, **31**(22): 6947-6958.
- Liu B, Zhou F, Wang G X, *et al.* Research progress on forms of nitrogen and determination in the sediments[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, **31**(22): 6947-6958.
- [16] 王梅, 刘琰, 郑丙辉, 等. 城市内河表层沉积物氮形态及影响因素——以许昌清潞河为例[J]. *中国环境科学*, 2014, **34**(3): 720-726.
- Wang M, Liu Y, Zheng B H, *et al.* Nitrogen forms in surface sediments of urban river and their influence factors: a case study of Qingyi River in Xuchang City [J]. *China Environmental Science*, 2014, **34**(3): 720-726.
- [17] 王圣瑞, 金相灿, 焦立新. 不同污染程度湖泊沉积物中不同粒级可转化态氮分布[J]. *环境科学研究*, 2007, **20**(3): 52-57.
- Wang S R, Jin X C, Jiao L X. Distribution of transferable nitrogen in different grain size from the different trophic level lake sediments[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2007, **20**(3): 52-57.
- [18] 李兆富, 杨桂山, 李恒鹏. 西苕溪典型小流域土地利用对氮素输出的影响[J]. *中国环境科学*, 2005, **25**(6): 678-681.
- Li Z F, Yang G S, Li H P. Influence of land use on nitrogen exports in Xitiaoxi typical sub-watersheds [J]. *China Environmental Science*, 2005, **25**(6): 678-681.
- [19] 罗璇, 史志华, 尹炜, 等. 小流域土地利用结构对氮素输出的影响[J]. *环境科学*, 2010, **31**(1): 58-62.
- Luo X, Shi Z H, Yin W, *et al.* Effects of land use structure on nitrogen export in Hujiashan watershed of danjiangkou reservoir area, China[J]. *Environmental Science*, 2010, **31**(1): 58-62.
- [20] 余辉, 张文斌, 卢少勇, 等. 洪泽湖表层底质营养盐的形态分布特征与评价[J]. *环境科学*, 2010, **31**(4): 961-968.
- Yu H, Zhang W B, Lu S Y, *et al.* Spatial distribution characteristics of surface sediments nutrients in lake Hongze and their pollution status evaluation [J]. *Environmental Science*, 2010, **31**(4): 961-968.
- [21] Wang S R, Jin X C, Jiao L X, *et al.* Nitrogen fractions and release in the sediments from the shallow lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River area, China[J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2008, **187**(1-4): 5-14.
- [22] Lv X X, Song J M, Li X G, *et al.* Geochemical characteristics of nitrogen in the southern Yellow Sea surface sediments [J]. *Advances in Marine Science*, 2005, **56**(1-2): 17-27.
- [23] 任凌霄, 王沛芳, 王超, 等. 望虞河表层沉积物中氮的分布与形态变化特征[J]. *环境工程学报*, 2015, **9**(3): 1201-1208.
- Ren L X, Wang P F, Wang C, *et al.* Characteristics of distribution and variation of nitrogen species in surface sediments of Wangyu river [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2015, **9**(3): 1201-1208.
- [24] 赵海超, 王圣瑞, 焦立新, 等. 洱海沉积物中不同形态氮的时空分布特征[J]. *环境科学研究*, 2013, **26**(3): 235-242.
- Zhao H C, Wang S R, Jiao L X, *et al.* Characteristics of temporal and spatial distribution of the nitrogen forms in the sediments of Erhai lake [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2013, **26**(3): 235-242.
- [25] Zheng G X, Song J M, Sun Y M, *et al.* Characteristics of nitrogen forms in the surface sediments of southwestern Nansha Trough, South China Sea[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2008, **26**(3): 280-288.
- [26] 杨玉玮, 高学鲁, 李培苗. 烟台四十里湾柱状沉积物氮形态地球化学特征[J]. *环境科学*, 2012, **33**(10): 3449-3456.
- Yang Y W, Gao X L, Li P M. Geochemical characteristics of nitrogen in core sediments from Sishili Bay, China [J]. *Environmental Science*, 2012, **33**(10): 3449-3456.
- [27] 吴晶晶. 环境因子对洱海沉积物氮释放的影响[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2011. 21-53.
- Wu J J. Effects of environmental factors on N release in sediment from Erhai lake[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2011. 21-53.
- [28] 王圣瑞, 赵海超, 王娟, 等. 有机质对湖泊沉积物不同形态氮释放动力学影响研究[J]. *环境科学学报*, 2012, **32**(2): 332-340.
- Wang S R, Zhao H C, Wang J, *et al.* The effects of organic matter on the release kinetics of nitrogen with different forms in the lake sediments[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2012, **32**(2): 332-340.
- [29] Lu X X, Song J M, Li X G, *et al.* Characteristics of nitrogen forms in the southern Huanghai Sea surface sediments[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, **23**(3): 473-482.
- [30] Wang X L, Wang H J, Wu Y G. Time-Space Distribution Characteristics of Nitrogen in Surface Sediment from the Inner Mongolia of the Yellow River[J]. *Advanced Materials Research*, 2015, **1092-1093**(3): 996-1000.

CONTENTS

Characterization and Variation of Organic Carbon (OC) and Elemental Carbon (EC) in PM _{2.5} During the Winter in the Yangtze River Delta Region, China	KANG Hui, ZHU Bin, WANG Hong-lei, <i>et al.</i>	(961)
Important Effect of Secondary Inorganic Salt Extinction on Visibility Impairment in the Northern Suburb of Nanjing	YU Chao, YU Xing-na, ZHAO Tian-liang, <i>et al.</i>	(972)
Day-Night Differences and Source Apportionment of Inorganic Components of PM _{2.5} During Summer-Winter in Changzhou City	LIU Jia-shu, GU Yuan, MA Shuai-shuai, <i>et al.</i>	(980)
Characteristics of Elements in PM _{2.5} and PM ₁₀ in Road Dust Fall During Spring in Tianjin	WANG Shi-bao, JI Ya-qin, LI Shu-li, <i>et al.</i>	(990)
Particle Size Distribution and Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Atmospheric Particles from Beijing and Xinxiang During Summer	ZHANG Xin, ZHAO Xiao-man, MENG Xue-jie, <i>et al.</i>	(997)
Ecological and Health Risks of Trace Heavy Metals in Atmospheric PM _{2.5} Collected in Wuxiang Town, Shanxi Province	GUO Zhao-xia, GENG Hong, ZHANG Jin-hong, <i>et al.</i>	(1004)
Characteristics of Particulate and Inorganic Elements of Motor Vehicles Based on a Tunnel Environment	LI Feng-hua, ZHANG Yan-jie, ZHANG Jing, <i>et al.</i>	(1014)
A 2013-based Atmospheric Ammonia Emission Inventory and Its Characteristic of Spatial Distribution in Henan Province	WANG Chen, YIN Sha-sha, YU Shi-jie, <i>et al.</i>	(1023)
Emission Characteristics of Wind Erosion Dust from Topsoil of Urban Roadside-Tree Pool	LI Bei-bei, QIN Jian-ping, QI Li-rong, <i>et al.</i>	(1031)
Particulate Component Emission Characteristic from a Diesel Bus with DOC and CDPF	LOU Di-ming, GENG Xiao-yu, SONG Bo, <i>et al.</i>	(1040)
Water Quality in the Henan Intake Area of the South-to-North Water Diversion Project	HUANG Piao-yi, XU Bin, GUO Dong-liang	(1046)
Spatio-Temporal Patterns and Environmental Risk of Endocrine Disrupting Chemicals in the Liuxi River	FAN Jing-jing, WANG Sai, TANG Jin-peng, <i>et al.</i>	(1053)
Fate and Origin of Major Ions in River Water in the Lhasa River Basin, Tibet	ZHANG Qing-hua, SUN Ping-an, HE Shi-yi, <i>et al.</i>	(1065)
Identification of Nitrate Sources and the Fate of Nitrate in Downstream Areas: A Case Study in the Taizi River Basin	LI Yan-li, YANG Zi-rui, YIN Xi-jie, <i>et al.</i>	(1076)
Sources, Distribution of Main Controlling Factors, and Potential Ecological Risk Assessment for Heavy Metals in the Surface Sediment of Hainan Island North Bay, South China	ZENG Wei-te, YANG Yong-peng, ZHANG Dong-qiang, <i>et al.</i>	(1085)
Characteristics of Heavy Metals Pollution of Farmland and the Leaching Effect of Rainfall in Tianjin	XU Meng-meng, LIU Ai-feng, SHI Rong-guang, <i>et al.</i>	(1095)
Seasonal Difference in Water Quality Between Lake and Inflow/Outflow Rivers of Lake Taihu, China	ZHA Hui-ming, ZHU Meng-yuan, ZHU Guang-wei, <i>et al.</i>	(1102)
Characteristics of Nitrogen Release at the Sediment-Water Interface in the Typical Tributaries of the Three Gorges Reservoir During the Sensitive Period in Spring	LI Xin, SONG Lin-xu, JI Dao-bin, <i>et al.</i>	(1113)
Spatial Distributions of Transferable Nitrogen Forms and Influencing Factors in Sediments from Inflow Rivers in Different Lake Basins	ZHOU Rui, YUAN Xu-yin, Marip Ja Bawk, <i>et al.</i>	(1122)
Effects of Hydrological and Meteorological Conditions on Diatom Proliferation in Reservoirs	SUN Xiang, ZHU Guang-wei, DA Wen-yi, <i>et al.</i>	(1129)
Vertical Distribution of Fungal Community Composition and Water Quality During the Deep Reservoir Thermal Stratification	SHANG Pan-lu, CHEN Sheng-nan, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i>	(1141)
Community Structure and Influencing Factors of Bacterioplankton in Spring in Zhushan Bay, Lake Taihu	XUE Yin-gang, LIU Fei, SUN Meng, <i>et al.</i>	(1151)
Characteristics of Sediment Oxygen Demand in a Drinking Water Reservoir	SU Lu, HUANG Ting-lin, LI Nan, <i>et al.</i>	(1159)
Effects of Wastewater Nitrogen Concentrations and NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻ on Nitrogen Removal Ability and the Nitrogen Component of <i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verde	MA Yong-fei, YANG Xiao-zhen, ZHAO Xiao-hu, <i>et al.</i>	(1167)
Effect of Nutrient Loadings on the Regulation of Water Nitrogen and Phosphorus by <i>Vallisneria spiralis</i> and Its Photosynthetic Fluorescence Characteristics	ZHOU Yi-wen, XU Xiao-guang, HAN Rui-ming, <i>et al.</i>	(1180)
Removal of Organic Matter from Water by Chemical Preoxidation Coupled with Biogenic Manganese Oxidation	JIAN Zhi-yu, CHANG Yang-yang, WANG Li-xin, <i>et al.</i>	(1188)
Treating Simulated Dye Wastewater by an <i>In Situ</i> Copper Ferrite Process	HAN Zhi-yong, HAN Kun, HAO Hao-tian, <i>et al.</i>	(1195)
Experiment to Enhance Catalytic Activity of α -FeOOH in Heterogeneous UV-Fenton System by Addition of Oxalate	MIAO Xiao-zeng, DAI Hui-wang, CHEN Jian-xin, <i>et al.</i>	(1202)
Fabrication of a Biomass-Based Hydrous Zirconium Oxide Nanocomposite for Advanced Phosphate Removal	QIU Hui, QIN Zhi-feng, LIU Feng-ling, <i>et al.</i>	(1212)
Characteristic of Nitrate Adsorption in Aqueous Solution by Iron and Manganese Oxide/Biochar Composites	ZHENG Xiao-qing, WEI An-lei, ZHANG Yi-xuan, <i>et al.</i>	(1220)
Preparation of PAAm/HACC Semi-Interpenetrate Network Hydrogel and Its Adsorption Properties for Humic Acid from Aqueous Solution	LIU Ze-jun, ZHOU Shao-qi, MA Fu-zhen	(1233)
Groundwater Arsenic and Silicate Adsorption on TiO ₂ and the Regeneration of TiO ₂	MA Wen-jing, YAN Li, ZHANG Jian-feng	(1241)
Removal Efficiency and Mechanism of Removal by Humic Acid of the Integrated Floc-ultrafiltration Process	LI Wen-jiang, YU Li-fang, MIAO Rui, <i>et al.</i>	(1248)
Emission Inventory of Greenhouse Gas from Urban Wastewater Treatment Plants and Its Temporal and Spatial Distribution in China	YAN Xu, QIU De-zhi, GUO Dong-li, <i>et al.</i>	(1256)
Start-up and Operation of Biofilter Coupled Nitrification and CANON for the Removal of Iron, Manganese and Ammonia Nitrogen	LI Dong, CAO Rui-hua, YANG Hang, <i>et al.</i>	(1264)
Analysis of CANON Process Start-up with Fiber Carrier	GU Cheng-wei, CHEN Fang-min, LI Xiang, <i>et al.</i>	(1272)
Characteristics of Biofilm During the Transition Process of Complete Nitrification and Partial Nitrification	ZHAO Qing, BIAN Wei, LI Jun, <i>et al.</i>	(1278)
Effect of Intermediate-Setting Aeration on the CANON Granular Sludge Process in the AUSB Reactor	CHENG Shuo, LI Dong, ZHANG Jie, <i>et al.</i>	(1286)
Effect of Organic Carbon Source on Start-up and Operation of the CANON Granular Sludge Process	LI Dong, WANG Yan-ju, LU Yu-feng, <i>et al.</i>	(1294)
Start-Up and Regional Characteristics of a Pilot-scale Integrated PN-ANAMMOX Reactor	ZHOU Zheng, WANG Fan, LIN Xing, <i>et al.</i>	(1301)
Effect of NO _x ⁻ -N Recycling Ratio on Denitrifying Phosphorus Removal Efficiency in the ABR-MBR Combined Process	LÜ Liang, YOU Wen, ZHANG Min, <i>et al.</i>	(1309)
Effects of Magnetic Fe ₃ O ₄ Nanoparticles on the Characteristics of Anaerobic Granular Sludge and Its Interior Microbial Community	SU Cheng-yuan, ZHENG Peng, LU Yu-xiang, <i>et al.</i>	(1316)
Characterization Composition of Soluble Microbial Products in an Aerobic Granular Sludge System	YANG Dan, LIU Dong-fang, DU Li-qiong, <i>et al.</i>	(1325)
Influence of Ciprofloxacin on the Microbial Community and Antibiotics Resistance Genes in a Membrane Bioreactor	DAI Qi, LIU Rui, LIANG Yu-ting, <i>et al.</i>	(1333)
Analysis of Low C/N Wastewater Treatment and Structure by the CEM-UF Combined Membrane-Nitrification/Denitrification System	XING Jin-liang, ZHANG Yan, CHEN Chang-ming, <i>et al.</i>	(1342)
Effects of Phosphorus on the Activity and Bacterial Community in Mixotrophic Denitrification Sludge	WANG Pei-qi, ZHOU Wei-li, HE Sheng-bing, <i>et al.</i>	(1350)
Acclimatization and Community Structure Analysis of the Microbial Consortium in Nitrate-Dependent Anaerobic Methane Oxidation	XUE Song, ZHANG Meng-zhu, LI Lin, <i>et al.</i>	(1357)
Diffusion of Microorganism and Main Pathogenic Bacteria During Municipal Treated Wastewater Discharged into Sea	XU Ai-ling, NIU Cheng-jie, SONG Zhi-wen, <i>et al.</i>	(1365)
Oxytetracycline Wastewater Treatment in Microbial Fuel Cells and the Analysis of Microbial Communities	YAN Wei-fu, XIAO Yong, WANG Shu-hua, <i>et al.</i>	(1379)
Spatial and Temporal Variability of Soil C-to-N Ratio of Yugan County and Its Influencing Factors in the Past 30 Years	JIANG Ye-feng, ZHONG Shan, LI Jie, <i>et al.</i>	(1386)
Spatial Heterogeneity of Soil Carbon and its Fractions in the Wolfberry Field of Zhongning County	WANG You-qi, ZHAO Yun-peng, BAI Yi-ru, <i>et al.</i>	(1396)
Response of Soil Enzyme Activities and Their Relationships with Physicochemical Properties to Different Aged Coastal Reclamation Areas, Eastern China	XIE Xue-feng, PU Li-jie, WANG Qi-qi, <i>et al.</i>	(1404)
Distribution, Sources, and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Soils of the Central and Eastern Areas of the Qinghai-Tibetan Plateau	ZHOU Wen-wen, LI Jun, HU Jian, <i>et al.</i>	(1413)
Source Apportionment of Heavy Metals in Farmland Soils Around Mining Area Based on UNMIX Model	LU Xin, HU Wen-you, HUANG Biao, <i>et al.</i>	(1421)
Stabilization Effects of Fe-Mn Binary Oxide on Arsenic and Heavy Metal Co-contaminated Soils Under Different pH Conditions	FEI Yang, YAN Xiu-lan, LI Yong-hua	(1430)
Concentration and Distribution of Novel Brominated Flame Retardants in Human Serum from Three Chinese Cities	WANG Qing-hua, YUAN Hao-dong, JIN Jun, <i>et al.</i>	(1438)