

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第9期

Vol.34 No.9

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

利用PUF被动采样技术研究长三角城市群大气中多环芳烃的时空分布及来源	张利飞, 杨文龙, 董亮, 史双昕, 周丽, 张秀蓝, 李玲玲, 钮珊, 黄业茹 (3339)
FTIR对大气颗粒物PM _{2.5} 中硝酸盐的定量分析	刘娜, 魏秀丽, 高闽光, 徐亮, 焦洋, 李胜, 童晶晶, 程已阳 (3347)
福建茫荡山地区春季大气O ₃ 、HONO、HCHO、H ₂ O ₂ 对·OH的贡献率研究	刘昊, 王会祥 (3352)
水体类固醇雌激素污染现状研究进展	都韶婷, 金崇伟, 刘越 (3358)
嘉兴市地表水中兽用抗生素的污染现状调查	闫幸, 余卫娟, 兰亚琼, 李立, 吕升, 叶朝霞, 张永明, 刘锐, 陈吕军 (3368)
上海食用鱼中短链氯化石蜡的污染特征	姜国, 陈来国, 何秋生, 孟祥周, 封永斌, 黄玉妹, 唐才明 (3374)
水体环境内毒素活性的鲎法定量检测及影响因素研究	张灿, 刘文君, 张明露, 田芳, 孙雯, 钱令嘉, 战锐 (3381)
四环素类抗生素对淡水绿藻的毒性作用	徐冬梅, 王艳花, 饶桂维 (3386)
光照对东海典型赤潮藻生长及硝酸还原酶活性的影响	李鸿妹, 石晓勇, 丁雁雁, 唐洪杰 (3391)
围隔实验中浒苔在不同营养盐条件下的生长比较	庞秋婷, 李凤, 刘湘庆, 王江涛 (3398)
长江口及邻近海域浮游植物色素分布与群落结构特征	赖俊翔, 俞志明, 宋秀贤, 韩笑天, 曹西华, 袁涌铨 (3405)
长江中下游湖泊超微型真核藻类遗传多样性研究	李胜男, 史小丽, 谢微微, 龚伊, 孔繁翔 (3416)
峡谷型水源水库的氮、磷季节变化及其来源分析	黄廷林, 秦昌海, 李璇 (3423)
九龙江河流-库区系统沉积物磷特征及其生态学意义	鲁婷, 陈能汪, 陈朱虹, 王龙剑, 吴杰忠 (3430)
氮在高含沙水向人工浅水湖泊补水期间的变化规律	陈友媛, 申宇, 杨世迎 (3437)
石灰石和黄铁矿-石灰石人工湿地净化河水的研究	张菁, 李睿华, 李杰, 胡俊松, 孙茜茜 (3445)
杭州湾潮滩湿地3种优势植物碳氮磷储量特征研究	邵学新, 李文华, 吴明, 杨文英, 蒋科毅, 叶小齐 (3451)
滇池优势挺水植物茭草和芦苇降解过程中DOM释放特征研究	谢理, 杨浩, 渠晓霞, 朱元荣, 鄢元波, 张明礼, 吴丰昌 (3458)
自来水处理工艺对溶解相中全氟化合物残留的影响	张鸿, 陈清武, 王鑫璇, 柴之芳, 沈金灿, 杨波, 刘国卿 (3467)
J市饮用水氯消毒副产物分析及其健康风险评价	李晓玲, 刘锐, 兰亚琼, 余素林, 文晓刚, 陈吕军, 张永明 (3474)
水中硫酸根及溶解氧质量浓度变化对管垢金属元素释放的影响	吴永丽, 石宝友, 孙慧芳, 张枝焕, 顾军农, 王东升 (3480)
重金属捕集剂对水中微量Hg(II)的处理研究	胡运俊, 盛田田, 薛晓芹, 谭丽莎, 徐新华 (3486)
聚合氯化铁-聚(环氧氯丙烷-二甲胺)复合絮凝剂在模拟水处理中的混凝特性研究	刘新新, 杨忠莲, 高宝玉, 王燕, 岳钦艳, 李倩 (3493)
镁铝复合脱色絮凝剂的微观结构形态及絮凝机制	桑义敏, 常雪红, 车越, 谷庆宝 (3502)
钴掺杂铁酸铋活化过硫酸盐降解水中四溴双酚A的研究	欧阳磊, 丁耀彬, 朱丽华, 唐和清, 廖海星 (3507)
以海泡石为载体的双金属多相类芬顿催化剂的制备及表征	宿程远, 李伟光, 刘兴哲, 王恺尧, 王勇 (3513)
氧化还原介体调控亚硝酸盐反硝化特性研究	赵丽君, 马志远, 郭延凯, 席振华, 杜海峰, 刘晓宇, 郭建博 (3520)
缓释碳源滤料滤池用于二级出水的深度脱氮	唐蕾, 李彭, 左剑恶, 袁琳, 李再兴 (3526)
微膨胀对好氧颗粒污泥脱氮过程中N ₂ O产生量的研究	陈丽丽, 高大文 (3532)
Fenton试剂与CPAM联合调理对污泥脱水效果的影响研究	马俊伟, 刘杰伟, 曹芮, 岳东北, 王洪涛 (3538)
高效厌氧氨氧化颗粒污泥的动力学特性	唐崇俭, 熊蕾, 王云燕, 郑平 (3544)
内蒙古温带草原氮沉降的观测研究	张菊, 康荣华, 赵斌, 黄永梅, 叶芝祥, 段雷 (3552)
湘中矿区不同用地类型面源Cd输出负荷的原位实验研究	刘孝利, 曾昭霞, 陈喆, 铁柏清, 陈求稳, 叶长城 (3557)
蠡湖沉积物重金属形态及稳定性研究	王书航, 王雯雯, 姜霞, 宋倩文 (3562)
密云县境内潮河流域土壤重金属分析评价	于洋, 高宏超, 马俊花, 李迎霞, 莫雁, 孔彦鸿 (3572)
西北干旱区黄河沿岸典型工业带表土磁性特征及其环境意义	许淑婧, 张英, 余晔, 王博, 夏敦胜 (3578)
复合稳定剂对砷污染土壤的稳定研究	王浩, 潘利祥, 张翔宇, 李萌, 宋宝华 (3587)
湖南下水湾铅锌尾矿库优势植物重金属含量及富集特征	何东, 邱波, 彭尽晖, 彭亮, 胡凌雪, 胡瑶 (3595)
安太堡露天矿复垦地不同人工植被恢复下的土壤酶活性和肥力比较	王翔, 李晋川, 岳建英, 周小梅, 郭春燕, 卢宁, 王宇宏, 杨生权 (3601)
三苯基锡的微生物降解及其对降解菌的影响	叶锦韶, 田云, 尹华, 彭辉, 黄捷, 麻榆佳 (3607)
二氯甲烷降解菌Methylobacterium rhodesianum H13的分离鉴定及降解特性研究	刘洪霞, 朱润晔, 欧阳杜娟, 庄庆丰, 陈东之, 陈建孟 (3613)
引物选择对污泥微生物多样性分析的影响	徐爱玲, 吴等等, 宋志文, 任杰, 夏岩, 董珊珊, 刘梦 (3620)
钙铝类水滑石衍生复合氧化物的SO ₂ 储存性能研究	曹琳, 王海林, 解强 (3627)
基于转运站满负荷的北京市新东西城区生活垃圾物流优化方案研究	袁京, 李国学, 张红玉, 罗一鸣 (3633)
重金属污染土壤治理与生态修复论坛会议论文	
多证据分析技术在地表重金属污染评价中的应用研究	姜林, 钟茂生, 朱笑盈, 姚珏君, 夏天翔, 刘辉 (3641)
我国城市不同功能区地表灰尘重金属分布及来源	李晓燕, 刘艳青 (3648)
黄河下游滩区开封段土壤重金属分布特征及其潜在风险评价	张鹏岩, 秦明周, 闫江虹, 胡长慧, 赵亚平 (3654)
青岛北站规划区原场地表层土壤重金属污染研究	朱磊, 贾永刚, 潘玉英 (3663)
某铅蓄电池厂土壤中铅的含量分布特征及生态风险	郑立保, 陈卫平, 焦文涛, 黄锦楼, 魏福祥 (3669)
某铅冶炼厂对周边土壤质量和人体健康的影响	周小勇, 雷梅, 杨军, 周广东, 郭广慧, 陈同斌, 万小铭, 梁琪, 乔鹏伟 (3675)
某铅蓄电池厂表土不同粒径中铅分布规律研究	岳希, 孙体昌, 黄锦楼 (3679)
原位生物稳定固化技术在铬污染场地治理中的应用研究	张建荣, 李娟, 许伟 (3684)
淋洗剂对多金属污染尾矿土壤的修复效应及技术研究	朱光旭, 郭庆军, 杨俊兴, 张晗芝, 魏荣菲, 王春雨, Marc Peters (3690)
铅蓄电池厂污染土壤中重金属铅的清洗及形态变化分析	任贝, 黄锦楼, 苗明升 (3697)
超声波辅助化学萃取对某工业场地铅污染土壤修复效果研究	王鑫杰, 黄锦楼, 刘志强, 岳希 (3704)
摩擦清洗修复铅污染土壤的参数优化及清洗效率评价	杨雯, 黄锦楼, 彭会清, 李思拓 (3709)
土壤重金属钝化修复剂生物炭对镉的吸附特性研究	郭文娟, 梁学峰, 林大松, 徐应明, 王林, 孙约兵, 秦旭 (3716)
无机稳定剂对重金属污染土壤的化学稳定修复研究	曹梦华, 祝玺, 刘黄诚, 王琳玲, 陈静 (3722)
《环境科学》征稿简则(3404) 《环境科学》征订启事(3444) 信息(3492, 3551, 3696, 3715)	

氮在高含沙水向人工浅水湖泊补水期间的变化规律

陈友媛^{1,2}, 申宇², 杨世迎^{1,2*}

(1. 中国海洋大学海洋环境与生态教育部重点实验室, 青岛 266100; 2. 中国海洋大学环境科学与工程学院, 青岛 266100)

摘要: 外来补给水源的水质和作为污染物载体的悬浮颗粒物对人工浅水湖泊的影响备受关注。在2012年4月23~25日东昌湖引黄河水补水期间, 从入湖口到出湖口的纵断面5个监测点同步监测流量、泥沙和溶解态氮、颗粒态氮含量, 并于23日和26日在整个湖区12个监测点采集水样和底泥样进行不同形态氮含量分析。结果表明, 补水导致入湖口附近的流速、悬浮颗粒物含量有明显的上升和回落, 但影响范围有限; 氮素的空间分布沿入湖湖流方向呈现一定的浓度梯度, 入湖口附近水体、悬浮颗粒物和底泥中各形态氮含量比其他湖区高; 从入湖口到出湖口的纵断面, 补水阶段各种形态氮含量变化幅度依次降低, 补水后溶解态和颗粒态总氮含量有不同程度的增加, 其中颗粒态总氮增幅较大, 受黄河补水影响显著。本次黄河补水氮素以溶解态氮为主, 溶解态总氮: 颗粒态总氮 = 7.3:1, 溶解态氮形态以硝氮为主, 颗粒态氮形态以氨氮为主。氨氮受外源补水和悬浮颗粒物吸附沉降影响较大, 补水阶段悬浮颗粒物含量与颗粒态氨氮、总氮的相关系数是0.868、0.876, 而硝氮受其影响不大。东昌湖底泥氮主要以有机氮形式存在, 其输入源是黄河水及泥沙颗粒。

关键词: 东昌湖; 黄河; 补水; 氮; 悬浮颗粒物

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)09-3437-08

Variation of Nitrogen During the High Suspended Sediments Concentration Water Supply in an Artificial Shallow Lake

CHEN You-yuan^{1,2}, SHEN Yu², YANG Shi-ying^{1,2}

(1. Key Laboratory of Marine Environment Science and Ecology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: The effect of water quality and suspended sediments in the process of water supply is of an increasing concern recently in an artificial shallow lake. The water supply from the Yellow River to Dongchang Lake happened on April 23rd to 25th, 2012. The synchronous monitoring of flow velocity, suspended sediment concentration, dissolved nitrogen and particulate nitrogen concentration was conducted during the three days in five monitoring sites of the longitudinal profile from inlet to outlet. The spatio-temporal variation of nitrogen and the relationship between nitrogen concentration and suspended sediment concentration was analyzed. Moreover, the analysis of different nitrogen forms in surface water and bottom sediment was also made in the whole lake before and after the water supply. Results showed that the process of water supplement had an obvious effect on flow velocities and suspended sediment concentrations around the inlet area. The influence area was a limited scope. The spatial distribution of nitrogen presented a certain concentration gradient along the flow direction. Around the water inlet, concentrations of all nitrogen forms in water and bottom sediment was higher than those in other lake zones. The amplitude of variation of all nitrogen concentrations in surface water, suspended sediments showed a decreasing trend from water inlet to outlet. And concentrations of total dissolved and particulate nitrogen increased at different ratios after water supply in the lake. Total particulate nitrogen concentration increase was higher. It revealed the water supply of the Yellow River had a great influence on lake water. The dissolved nitrogen was the main nitrogen form in water supply. The ratio of total dissolved nitrogen to particulate nitrogen was 7.3:1. Nitrate was the primary form in dissolved nitrogen, and ammonium was the primary form in particulate nitrogen, respectively. The correlation between concentration of suspended sediments and ammonium, total nitrogen were notable during the water supply, the correlation coefficient were 0.868 and 0.876. Ammonium was mainly influenced by water supply and adsorption and precipitation of suspended sediments. However, the concentration of nitrate was not influenced. Organic nitrogen was the main form in bottom sediment. It meant that the Yellow River water and suspended sediments were the input sources of nitrogen to Dongchang Lake.

Key words: Dongchang Lake; Yellow River; water supply; nitrogen; suspended sediments

补水是保障人工湖泊水量的重要措施, 不稳定水质和高悬浮颗粒物含量的补水都会对受纳水体和底泥环境产生影响^[1]。近年来, 人们对湖泊污染的研究已从传统的关注水源水质, 转向悬浮颗粒物对污染物迁移转化的影响, 如悬浮颗粒物对重金属和有毒有机物的影响^[2,3]。悬浮颗粒物在氮的生物地

球化学循环中也起着重要的作用^[4~6], 它不仅是氮

收稿日期: 2012-12-10; 修订日期: 2013-03-06

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07106-003)

作者简介: 陈友媛(1966~), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为环境水资源及海洋沉积环境, E-mail: youyuan@ouc.edu.cn

* 通讯联系人, E-mail: ysy@ouc.edu.cn

迁移的载体,而且是氮发生各种化学反应及形态转化的宿主,影响氮在湖泊中的物理、化学和生物等过程,然而这方面的研究主要集中在河流和室内模拟实验,现场研究相对较少. Saunders 等^[7]研究发现水环境中氮的滞留主要是由反硝化作用、悬浮颗粒物的吸附沉积和水生植物吸收利用引起的. 室内模拟实验研究表明黄河泥沙颗粒对水体的硝化作用、有机氮的转化和氨氮的降解有影响,泥沙颗粒在一定程度上能促进硝化作用和有机氮的转化,并且泥沙含量越大、粒径越小,氨氮的降解速率越快^[8,9]. 然而自然条件下悬浮颗粒物受水动力、地形和水质等多因素影响,水体和底泥中氮的迁移转化过程与河流、室内实验完全不同. 再加上风浪、补水等的驱动使湖泊底泥再悬浮,使悬浮颗粒物在对流、扩散和沉降运动中改变了氮的含量^[10~12],同时颗粒物上负载的硝化细菌等微生物,也能促进水体的硝化反应^[13],改变氮的存在形式.

针对高含沙量黄河水向人工浅水湖泊东昌湖补水过程,本研究分析了流速、悬浮颗粒物含量变化和水体、底泥中各形态氮的迁移转化形式,了解补水过程中水体和沉积物中氮的时空分布规律,以期制定合理的人工补水方案提供科学依据,并为其他人工浅水湖泊治理提供一定的参考.

1 研究区概况

东昌湖初现于公元 1070 年,原为护城河环绕古城四周,湖底平坦,水深平均为 2~3 m,湖面面积约 4.2 km²,岸线长约 16 km,湖泊分为 6 个湖区(如图 1 中 I~VI),是我国长江以北最大的人工城市浅水湖泊^[14,15]. 东昌湖没有自然河流汇入和流出,水源仅靠黄河从东昌湖东南部的小运河补给,唯一的出水口是位于 VI 湖区中的⑤电厂取水口. 聊城市环境保护局 2011 年监测的东昌湖水质资料表明,6 个湖区的氨氮含量为 0.04~0.39 mg·L⁻¹,总氮含量为 2.03~2.48 mg·L⁻¹,其中湖区 I 和 VI 污染较严重.

2 材料与方法

2.1 样品的采集与处理

黄河灌渠向东昌湖补水时间是从 2012 年 4 月 23 日 17:30 开始到 24 日 22:00,平均流量为 15 m³·s⁻¹,补水量为 2.0×10⁶ m³. 在 4 月 23~25 日期间(设定 23 日 18:00 前为补水前,24 日为补水中,25 日为补水后),设置了从入湖口到出湖口的纵断面上 5 个监测点:①总入水口、②龙湾补水口、③湿

地岛、④南关桥、⑤电厂取水口,连续 3 d 对这 5 个点同步进行测流、测沙和表层水样采集. 其中 23 日 08:00~18:00 间隔 2 h 采集样品一次,17:30 开始补水后 18:30 增加了 1 次测沙和采样. 24 日有降雨,13:00 后雨量变大,采样时间为 08:00~14:00,采样频率为 1 次·h⁻¹; 25 日采样时间为 08:00~16:00,每隔 2 h 采样 1 次. 连续 3 d 流速监测点为①、②和④. 4 月 23 日和 4 月 26 日在整个湖区 12 个监测点采集表层水样和底泥样品,并用 GPS 定位. 采集水样后加硫酸使 pH<2 低温保存,底泥用自封袋密封后冷藏于冰箱中,运回实验室后分析. 纵断面 5 个监测点和整个湖区 12 个监测点布设见图 1.

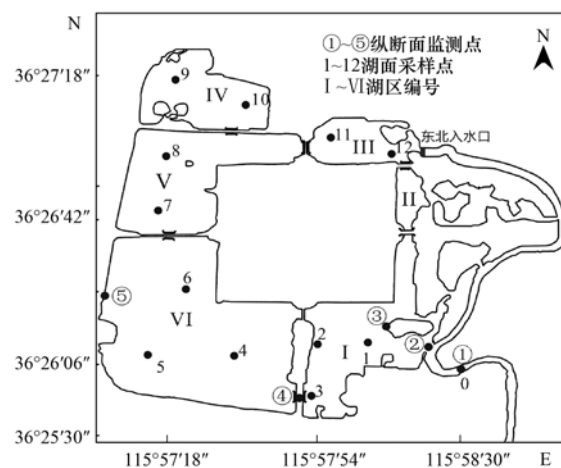


图 1 东昌湖湖区分布及采样点布设示意

Fig. 1 Schematic map of lake zones and sampling sites in Dongchang Lake

2.2 测定方法

溶解态氮是将原水样过 0.45 μm 滤膜后进行测定,氨氮(NH₄⁺-N)采用纳氏试剂比色法,硝氮(NO₃⁻-N)采用紫外分光光度法,总氮(TN)采用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法. 沉积物中氨氮、硝氮和总氮测定参照文献^[16]进行. 测定吸光度的仪器型号为普析通用 TU-1810 紫外可见分光光度计.

颗粒态氮含量一般采用的是原水样和过滤后水样间的差值,但是此次采集的水样中悬浮颗粒含量较高,颗粒物的存在对测定原水样中氨氮、硝氮和总氮有较大干扰,所以采用超声萃取的方法^[17]将悬浮颗粒物上的无机氮提取出来测定.

水流的流速用日本 Alec 公司的 AEM-HR 型电磁式流速计(COMPACT-EM)采集数据,原水样中悬浮颗粒物含量(SS)用重量法(GB/T1 1901-1989)测定.

3 结果与讨论

3.1 补水过程及补水污染负荷

补水过程是指黄河灌渠水由小运河经龙湾补水口流入湖区Ⅰ,也有少量水沿小运河北上从东北入水口进入湖区Ⅲ的过程. 4月23~25日,纵断面监测点的流速、悬浮颗粒物含量时空变化见图2. 从中可以看出,流速和SS含量变化趋势一致,补水开始后该两指标在监测点①和②有明显的上升过程并出现峰值,其中监测点①的流速峰值是43.6 cm·s⁻¹,SS峰值是1 320.5 mg·L⁻¹,补水阶段SS平均浓度为756.9 mg·L⁻¹,补水结束后两指标都回到补水前的状态. 纵断面其他监测点的流速和SS变化不明显,24日监测点①~④平均流速下降了

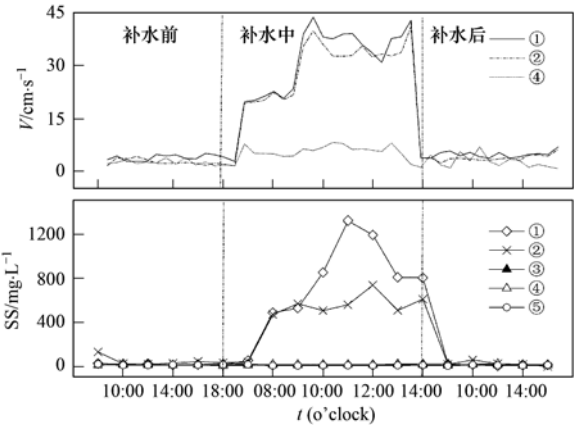


图2 流速和悬浮颗粒物含量在补水过程中变化趋势
Fig. 2 Variation of velocities and suspended sediment concentrations in the period of water supply

77.5%,平均SS下降了92.3%,显然SS的下降速度比流速快. 随着与入湖口距离的增加,各点受补水影响逐渐减弱,到④南关桥处影响已经很小,⑤电厂取水口处基本不受黄河补水的影响.

根据东昌湖常年的补水和排水情况,黄河灌溉水每年向东昌湖补水量是 $1.2 \times 10^7 \text{ m}^3$,电厂每天连续取水,年取水量是 $1.0 \times 10^7 \text{ m}^3$,以本次黄河补水期间的总入水口水质作为补水源水质,以电厂取水水质作为出水口水质,进入、排出东昌湖溶解态和颗粒态氮年均负荷和湖泊滞留率的计算公式为(1)~(3),结果见表1.

$$Q_{\text{Ni}} = N_{\text{i AVG}} \times Q_{\text{wi}} \times 10^{-3} \tag{1}$$

$$Q_{\text{NO}} = N_{\text{o AVG}} \times Q_{\text{wo}} \times 10^{-3} \tag{2}$$

$$\omega = \frac{Q_{\text{Ni}} - Q_{\text{NO}}}{Q_{\text{Ni}}} \times 100\% \tag{3}$$

式中, Q_{Ni} 、 Q_{NO} 指进入、排出湖泊氮的年均负荷($\text{kg} \cdot \text{a}^{-1}$); $N_{\text{i AVG}}$ 指进入湖泊(即补给水源)氮的平均浓度($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); $N_{\text{o AVG}}$ 指出湖口排出的氮的平均浓度($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); Q_{wi} 、 Q_{wo} 指湖泊的年均补水量和年均取水量($\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$); ω 指氮在湖泊中的滞留率(%).

由表1可知,黄河补水进入东昌湖的氮素以溶解态氮为主,溶解态总氮:颗粒态总氮=7.3:1. 其中硝氮是溶解态氮的主要存在形态,占溶解态总氮负荷的71.35%,氨氮是颗粒态氮的主要形态,占颗粒态总氮负荷的51.87%. 溶解态氮和颗粒态氮在湖内的滞留率都达到了50%以上,说明外来补给的黄河水对湖内氮含量的贡献较大,并以溶解态氮为主.

表1 溶解态氮和颗粒态氮进入和排出东昌湖年均负荷对比

Table 1 In comparison with inflow and outflow annual load of dissolved nitrogen and particulate nitrogen in the Dongchang Lake

负荷	溶解态氮			颗粒态氮		
	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	TN	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	TN
N _{i AVG} /mg·L ⁻¹	0.68	4.54	6.36	0.45	0.14	0.87
N _{o AVG} /mg·L ⁻¹	0.28	1.89	2.45	0.21	0.04	0.50
Q _{Ni} /kg·a ⁻¹	8 177.90	54 435.89	76 291.48	5 408.25	1 677.52	10 426.95
Q _{NO} /kg·a ⁻¹	2 844.44	18 984.44	24 555.56	2 190.00	401.39	5 046.67
ω/%	65.22	65.13	67.81	59.51	76.07	51.60

3.2 补水前后整个湖区溶解态氮的变化规律

黄河补水不仅影响了从入湖口到出湖口流速和悬浮颗粒物含量的变化,也引起了整个湖区水质的变化,补水前(23日)和补水后(26日)湖区12个监测点溶解态氨氮、硝氮和总氮的变化情况见图3. 其中各形态氮呈现两头高中间低的规律,这与东昌湖入水口的分布有关. 黄河补水主要是由小运河与

湖连接的①总入水口进入湖区Ⅰ,同时还有小部分水沿着小运河北上从东北入水口进入湖区Ⅲ. 沿入湖湖流方向氮素的空间分布规律说明了外源污染对受纳湖水水质有直接影响,补水带来的污染负荷是形成水质浓度梯度的主要原因.

在以对流运动为主的湖区Ⅰ和Ⅲ(监测点1~5和监测点11~12)补水后氨氮含量比补水前氨

氮含量少,而硝氮和总氮含量有一定程度的增加,在以扩散、弥散运动为主的湖区,各形态氮含量有不同程度的增加.其原因是在对流运动湖区黄河水及其携带的大量悬浮颗粒物进入湖泊后,由于补水的氨氮浓度与湖泊氨氮浓度差很大,悬浮颗粒物在偏碱性水环境中对湖水中的正离子 NH_4^+ 的发生快速吸附,随着流速的降低,吸附氨氮的颗粒物沉降,故减少了水体中氨氮,另外硝化作用也减少了水体中一部分氨氮.补水后硝氮浓度升高,一

方面是黄河水携带来的硝氮,另一方面是补水后水中溶解氧浓度增加到 $9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,促进了水体中和泥沙携带的硝化菌活性^[18],提高氨氮的硝化作用,使硝氮浓度增加.补水后总氮浓度变化与氨氮和硝氮的变化相关,还与补水带来的有机氮有关,结果总氮浓度升高.以扩散、弥散运动为主的湖区,因黄河水和悬浮态细小颗粒或胶体携带的各形态氮扩散或弥散到其他湖区,导致相应的浓度增加.

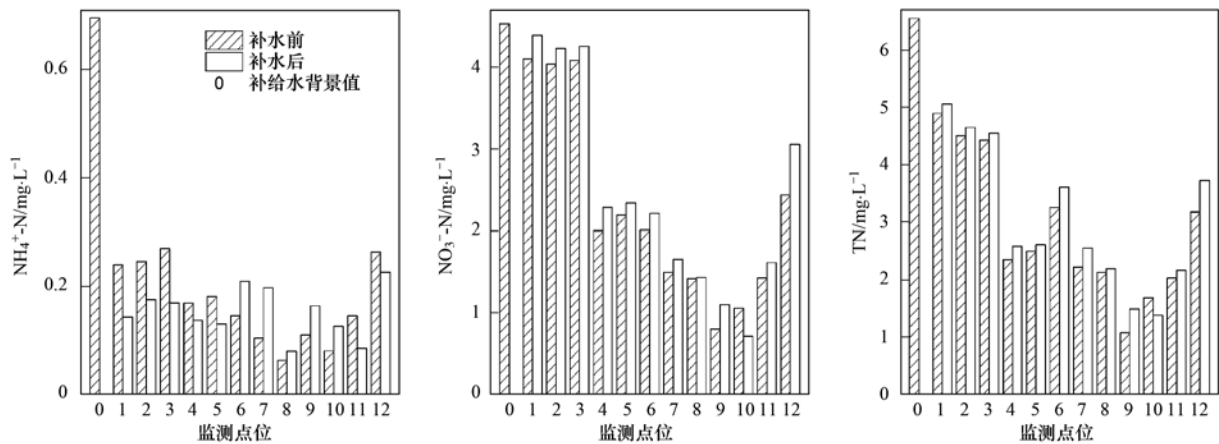


图3 湖区监测点溶解态氮在补水前后的变化情况

Fig. 3 Variation of dissolved nitrogen concentration in the whole lake before and after the water supply

3.3 补水过程中纵断面氮的时空变化规律

3.3.1 溶解态氮

2012年4月23~25日同步监测了从入湖口到出湖口的纵断面5个监测点溶解态氮随时间的变化规律(见图4).氨氮含量在23日17:30开始补水后所有监测点处有明显的上升趋势,并出现峰值,补水结束后氨氮含量几乎回落到补水前的水平.各监测点的硝氮含量在补水前后变化不大,总体上很平稳.总氮在补水的开始阶段明显增加,随后增加的幅度降低,维持到补水结束.对各监测点补水前后氮含量做统计分析,得出补水后总氮均值含量比补水前总氮均值含量增加了11.35%~30.85%,其中①点处增加比例最大.⑤点氮含量变化很平稳,呈缓慢增长.

补水中产生这些现象的原因是:①氨氮浓度升高与黄河水自身的溶解态氨氮污染负荷较高有关,此外,在较强的水动力条件下底泥再悬浮过程中也会释放大量的氨氮^[19,20],降雨和地表径流也会增加入湖的氨氮含量,使得补水中所有监测点的氨氮含量增加;②氨氮浓度升高还与有机氮在氨化细菌作用下发生氨化作用^[21],释放出氨氮,造成有机氮浓度

降低,氨氮浓度升高有关;③硝氮含量变化平稳的可能原因是,悬浮颗粒物对硝氮的吸附作用小,同时湖区中低层底泥的缺氧环境中存在反硝化菌群,使得部分硝氮被转化为氮气.因此,补水后增加的溶解性硝氮与反硝化作用被分解掉的硝氮达到一种平衡;④总氮补水开始时上升与黄河补水带来的氨氮和补水区附近底泥细颗粒受水动力作用再悬浮释放的有机氮增加有关,随后的降低可能是由于悬浮颗粒物对水体中的氨氮和有机氮的吸附、沉降作用^[22],同时有机氮发生氨化作用而分解^[23,24],导致总氮含量下降幅度较大,之后吸附作用和氨化作用达到平衡稳定后总氮含量变化不大.

3.3.2 颗粒态氮

本次补水颗粒态氮以氨氮为主,纵断面5个监测点颗粒态氮的变化趋势如图5.随着与入湖口距离的增加颗粒态氨氮和总氮波动依次递减,即:①>②>③>④>⑤,补水过程中监测点①和②处氨氮和总氮含量比补水前有明显的增加趋势,其中监测点①处该两指标均值增幅分别是96%、67%,这与流速和悬浮颗粒含量的变化过程线相似.而监测点③和④处受补水影响减弱,补水中的氨氮含量有小

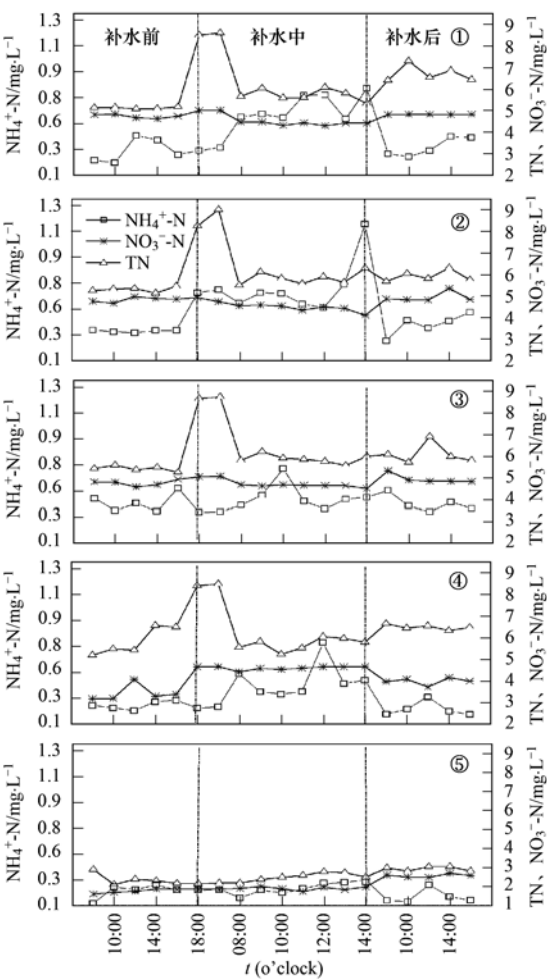


图4 补水过程纵断面各监测点溶解态氮变化趋势

Fig. 4 Variation of dissolved nitrogen concentration in the longitudinal profile during the water supply

幅度的上升,但③湿地岛附近有家禽和鱼类的养殖基地,④南关桥处有工程施工,受降雨径流携带颗粒物的影响,使得总氮变化趋势与氨氮不一致,在补水中有小幅的下降. 监测点⑤处受补水影响最弱,氨氮和总氮呈缓慢增加趋势. 颗粒态硝氮含量在 5 个监测点处基本稳定,在补水过程中无明显波动. 对各监测点补水前后氮含量做统计分析,得出补水后颗粒态总氮均值比补水前均值增加了 21.09% ~ 74.61%,其中①点处增幅最大. 颗粒态总氮的增加幅度远大于溶解态总氮,说明黄河泥沙颗粒对湖泊水质的影响显著.

分析补水过程中 5 个监测点各形态颗粒态氮和悬浮颗粒物含量(SS)之间的相关性,相关系数进行显著性检验($N=35, P=0.01, r=0.424$) (表 2). 结果表明:氨氮和总氮与 SS 在补水中呈显著相关,相关系数都达到了 0.86,但补水前后不相关. 硝氮与 SS 间相关性极低,说明悬浮颗粒物含量对硝氮影响

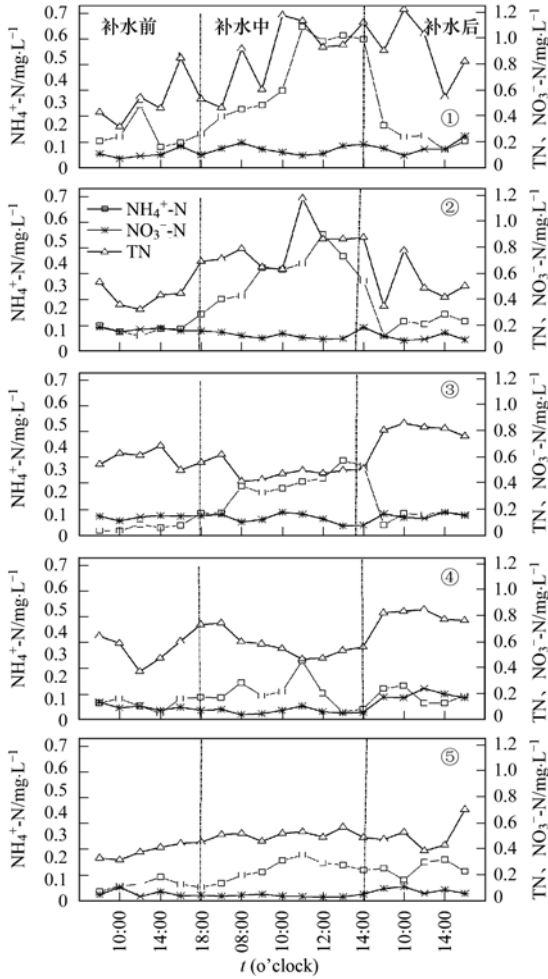


图5 补水过程纵断面监测点颗粒态氮变化趋势

Fig. 5 Variation of particulate nitrogen concentration in the longitudinal profile during the water supply

很小. 这是因为颗粒物对 NH_4^+ 有很强的吸附力,主要以化学吸附为主,而 NO_3^- 是一种极稳定的阴离子,属惰性电解质,难发生化学吸附作用,主要靠静电作用和氢键作用,颗粒物对 NO_3^- 吸附作用相对较弱,故悬浮颗粒物含量对氨氮影响大,对硝氮基本没有影响.

表2 补水过程中颗粒态氮与悬浮颗粒含量(SS)相关系数

Table 2 Coefficients of correlation among particulate nitrogen concentrations and suspended concentrations sediments in the process of the water supply

项目	$r_{\text{补水前}}$	$r_{\text{补水中}}$	$r_{\text{补水后}}$
$\text{NH}_4^+-\text{N}-\text{SS}$	0.399	0.868	0.138
$\text{NO}_3^--\text{N}-\text{SS}$	0.471	0.467	0.045
$\text{TN}-\text{SS}$	0.071	0.876	0.105

3.4 湖区底泥中氮的分布特征

悬浮颗粒物因吸附沉降而改变了底泥中氮含量和中值粒径分布(见图 6). 湖区 12 个监测点底泥

中氮、硝氮和总氮含量范围分别是 $8.17 \sim 43.16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $2.32 \sim 10.51 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $456.94 \sim 1153.51 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，氨氮、硝氮占总氮比例范围分别是 $0.86\% \sim 8.15\%$ 、 $0.22\% \sim 1.73\%$ 。因此，可知底泥中氮主要以有机氮形式存在。湖区 I 的监测点 1~3 和湖区 III 的监测点 12 总氮含量都高于 $1000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，比其他点高，监测点 4、5 总氮最低。且补水造成的对流作用强的监测点氨氮含量相对高，水体较封闭或水动力弱的湖区，硝氮含量相对高。

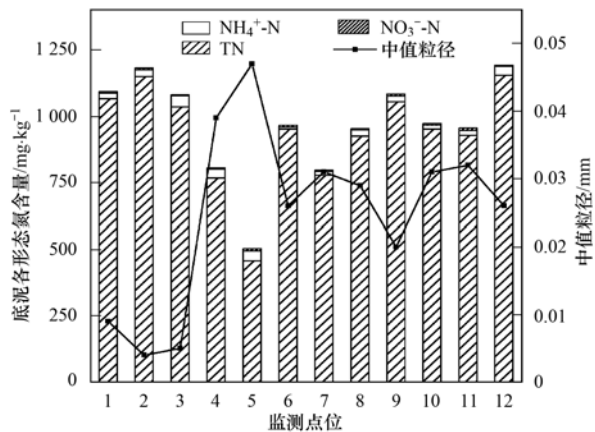


图6 湖区监测点底泥中氮的含量和底泥中值粒径分布图

Fig. 6 Distribution of different nitrogen concentrations and median sizes of bottom sediment in the Dongchang Lake

造成这种分布的原因是：①湖区 I、III 紧邻两个补水口，黄河水带来的外源氮负荷随颗粒物沉降在湖底发生累积；②各监测点沉积物的中值粒径在

$0.004 \sim 0.047 \text{ mm}$ 间，属于粉粒，比表面积大，对 NH_4^+ 离子的吸附能力强。而且黄河补水带来的大量泥沙颗粒吸附水体中氨氮后沉积于湖底使得沉积物中氨氮含量高于硝氮含量；③入湖口处的总氮含量高与该处的底泥中值粒径小有关，由于细颗粒堆积密集，容易形成厌氧环境，致使沉积物有机质的矿化作用受到抑制，而使有机氮得以累积。王圣瑞等^[25]研究发现五里湖沉积物中总磷、总氮和有机质 85% 以上是分布在细颗粒中的，有机氮更易保存在细颗粒沉积物中；④湖区 VI 湖面宽广风生流使得水动力较强，加之电厂出水口常年抽水，导致底泥颗粒较粗，表层底泥储存的氮易释放进入水体，故该湖区底泥中氮含量较低；⑤湖区其他监测点氮含量变化受污染源和水动力条件的影响。

4 氮的转化机制

根据黄河水补给人工浅水湖泊的监测资料，对氮的转化机制进行归纳总结（图 7）。当黄河水水质比湖泊水质差，且携带大量泥沙时，虽然补水阶段总氮和氨氮的浓度都有较大的变化，而且补水后总氮的浓度有所升高，但是增加的幅度在 $3.1\% \sim 38.1\%$ 范围，说明湖泊是一个巨大的缓冲体，即使补水的水质很差，由于悬浮泥沙颗粒的吸附、沉降和生物作用，水质很快恢复到补水前的水平，悬浮颗粒物对氮的迁移转化和降低氮的污染负荷起到了积极作用。本次补水氨氮浓度变化主要是由补水携带的

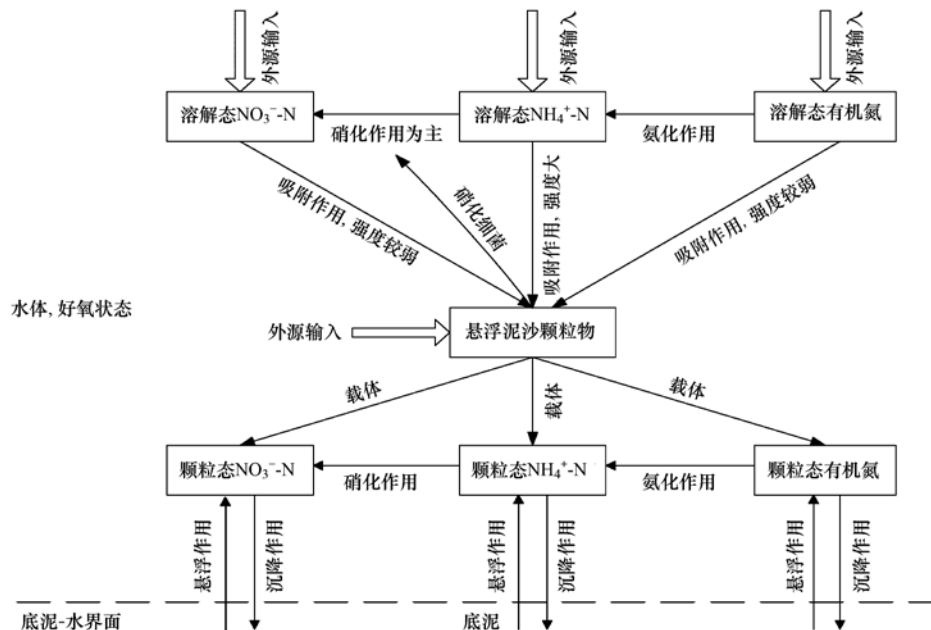


图7 湖泊补水过程中各形态氮的迁移转化示意

Fig. 7 Schematic map of nitrogen migration and transformation during the water supply

氨氮、悬浮颗粒吸附、沉降的作用、细菌的硝化作用和有机氮的氨化作用共同作用的结果。硝氮的变化主要是由氨氮的硝化作用和底泥缺氧环境的反硝化作用的相互制约造成的,而悬浮颗粒物对硝氮的吸附、沉降作用较小。总氮浓度随氨氮和硝氮浓度的变化而变化,且底泥中有机氮的再悬浮释放和有机氮的氨化作用也改变总氮的浓度。

5 结论

(1) 高含沙高污染的黄河补水给东昌湖水体、悬浮颗粒物和底泥中的氮都带来了明显的影响。尤其是入湖口附近监测点,流速和悬浮颗粒物含量随着补水有明显的上升趋势,补水后又很快回落到补水前的水平;补水中颗粒态氨氮和颗粒态总氮与悬浮颗粒物含量显著相关,且相关程度较高。

(2) 黄河补水进入东昌湖的氮素以溶解态氮为主,溶解态总氮:颗粒态总氮 = 7.3:1。溶解态氮形态以硝氮为主,颗粒态氮形态以氨氮为主。由于受外源补水污染负荷的影响,氮素的空间分布在沿湖流方向有一定的浓度梯度;补水后在以对流运动为主的湖区溶解态氨氮含量比补水前少,而硝氮和总氮含量增加,主要受颗粒物的吸附沉降作用和硝化作用的影响。

(3) 补水过程中,从入湖口到出湖口的纵断面,各种形态氮含量变化幅度均表现为:① > ② > ③ > ④ > ⑤,电厂出水口处基本不受补水影响。

(4) 氨氮含量在补水过程中明显增加,硝氮变化平稳,总氮随氨氮和硝氮而波动。各形态氮的转化主要受外源补水、颗粒物的吸附作用和硝化细菌、氨化细菌的作用影响。补水后总氮含量有不同程度的增加,其中颗粒态总氮增幅较大,受黄河补水影响显著。悬浮泥沙颗粒物对水体中氮的迁移转化和降低氮的污染负荷起到了积极作用。

(5) 东昌湖底泥中的氮主要以有机氮形式存在,氨氮含量高于硝氮,其输入源是黄河泥沙。受黄河补水影响,临近入湖口的湖区 I 和 III 监测点底泥总氮含量较高。

致谢:本研究在采样过程中,得到了胡广鑫、张超、张潮等同志的帮助,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 金相灿, 辛玮光, 卢少勇, 等. 入湖污染河流对受纳湖湾水质的影响[J]. 环境科学研究, 2007, **20**(4): 52-56.
- [2] 孙剑辉, 柴艳, 王国良, 等. 黄河泥沙对水质的影响研究进展[J]. 泥沙研究, 2010, (1): 72-80.
- [3] Nguyen H L, Leermakers M, Osán J, et al. Heavy metals in Lake Balaton: water column, suspended matter, sediment and biota[J]. Science of the Total Environment, 2005, **340**(1-3): 213-230.
- [4] Turner A, Millward G E. Suspended Particles: Their role in estuarine biogeochemical cycles[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2002, **55**(6): 857-883.
- [5] McCarthy J J, Yilmaz A, Coban-Yildiz Y, et al. Nitrogen cycling in the offshore waters of the Black Sea[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, **74**(3): 493-514.
- [6] Sun Z G, Liu J S. Nitrogen cycling of atmosphere-plant-soil system in the typical *Calamagrostis angustifolia* wetland in the Sanjiang Plain, Northeast China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2007, **19**(8): 986-995.
- [7] Saunder D L, Kalff J. Nitrogen retention in wetlands, lakes and rivers[J]. Hydrobiologia, 2001, **443**(1-3): 205-212.
- [8] 余晖, 张学青, 夏星辉, 等. 黄河水体颗粒物对硝化过程的影响研究[J]. 环境科学学报, 2004, **24**(4): 601-606.
- [9] 张学青, 夏星辉, 杨志峰. 水体颗粒物对有机氮转化的影响[J]. 环境科学, 2007, **28**(9): 1954-1959.
- [10] 逢勇, 颜润润, 余钟波, 等. 风浪作用下的底泥悬浮沉降及内源释放量研究[J]. 环境科学, 2008, **29**(9): 2456-2464.
- [11] 许志波, 卢信, 胡维平, 等. 风浪作用下入湖河口内源释放特征[J]. 水科学进展, 2011, **22**(4): 574-579.
- [12] Nagid E J, Canfield D E, Hoyer J M. Wind-induced increases in trophic state characteristics of a large (27 km²), shallow (1.5 m mean depth) Florida lake[J]. Hydrobiologia, 2001, **455**(1-3): 97-110.
- [13] Pauer J J, Martin T A. Nitrification in the water column and sediment of a hypereutrophic lake and adjoining river system[J]. Water Research, 2000, **34**(4): 1247-1254.
- [14] 郝友亮, 马启敏, 周华, 等. 东昌湖水体富营养化研究[J]. 环境科学与技术, 2011, **34**(10): 63-66.
- [15] 陈友媛, 崔香, 杨世迎, 等. 东昌湖流域生态补水管理模式探讨[J]. 中国工程科学, 2010, **12**(6): 65-70.
- [16] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990. 211-235.
- [17] 于丽敏, 祁建华, 孙娜娜, 等. 南、黄海及青岛地区大气气溶胶中无机氮组分的研究[J]. 环境科学学报, 2007, **27**(2): 319-325.
- [18] Xia X H, Yang Z F, Huang G H, et al. Nitrification in natural waters with high suspended-solid content-A study for the Yellow River[J]. Chemosphere, 2004, **57**(8): 1017-1029.
- [19] Morgan B, Rate A W, Burton E D. Water chemistry and nutrient release during the resuspension of FeS-rich sediments in a eutrophic estuarine system[J]. Science of the Total Environment, 2012, **432**: 47-56.
- [20] Morin J, Morse J W. Ammonium release from resuspended sediments in the Laguna Madre estuary[J]. Marine Chemistry, 1999, **65**(1-2): 97-110.
- [21] Xia X H, Liu T, Yang Z F, et al. Dissolved organic nitrogen transformation in river water: Effects of suspended sediment and

- organic nitrogen concentration[J]. Journal of Hydrology, 2013, 484: 96-104.
- [22] 郭长城, 喻国华, 王国祥. 河流泥沙对污染河水中污染物的吸附特性研究[J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1151-1155.
- [23] 曾巾, 杨柳燕, 肖琳, 等. 湖泊氮素生物地球化学循环及微生物的作用[J]. 湖泊科学, 2007, 19(4): 382-389.
- [24] 周念清, 王燕, 钱家忠, 等. 湿地氮循环及其对环境变化影响研究进展[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2010, 38(6): 865-869.
- [25] 王圣瑞, 赵海超, 周小宁, 等. 五里湖与贡湖不同粒径沉积物中有机质、总氮和磷形态分布研究[J]. 环境科学研究, 2004, 17(增刊): 11-14.

欢迎订阅 2013 年《环境科学》

《环境科学》创刊于 1976 年,由中国科学院主管,中国科学院生态环境研究中心主办,是我国环境科学学科中最早创刊的学术性期刊。

《环境科学》自创刊以来,始终坚持“防治污染,改善生态,促进发展,造福人民”的宗旨,报道我国环境科学领域内具有创新性高水平,有重要意义的基础研究和应用研究成果,以及反映控制污染,清洁生产和生态环境建设等可持续发展的战略思想、理论和实用技术等。

《环境科学》在国内外公开发行,并在国内外科技界有较大影响,被国内外一些重要检索系统收录,如美国医学索引 MEDLINE;美国化学文摘 CA;俄罗斯文摘杂志 AJ;美国生物学文摘预评 BP;美国医学索引 IM;日本科学技术情报中心数据库 JICST;英国动物学记录 ZR;剑桥科学文摘(CSA):Environmental Sciences;剑桥科学文摘(CSA):Pollution Abstracts;剑桥科学文摘(CAS):Life Sciences Abstracts 等;国内的检索系统有中国科技论文统计与引文数据库(CSTPCD);中文科技期刊数据库(维普);中国期刊全文数据库(CNKI);数字化期刊全文数据库(万方);中国科学引文数据库(CSCD);中国生物学文摘等。

全国各地邮局均可订阅,如有漏订的读者可直接与编辑部联系,办理补订手续。

《环境科学》2013 年为大 16 开本,90 元/册,全年 12 期。

国内统一刊号:CN11-1895/X 国际标准刊号:ISSN 0250-3301

国外发行代号:M 205 国内邮发代号:2-821

编辑部地址:北京市海淀区双清路 18 号(2871 信箱) 邮编:100085

电话:010-62941102;传真:010-62849343;E-mail:hjcx@rcees.ac.cn;网址:www.hjcx.ac.cn

CONTENTS

PUF Passive Air Sampling of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Atmosphere of the Yangtze River Delta, China: Spatio-Temporal Distribution and Potential Sources	ZHANG Li-fei, YANG Wen-long, DONG Liang, <i>et al.</i> (3339)
Quantitative Analysis of Nitrate in Atmospheric Particulates PM _{2.5} with Fourier Transform Infrared Spectroscopy	LIU Na, WEI Xiu-li, GAO Min-guang, <i>et al.</i> (3347)
Study on Contribution Factor to Atmospheric ·OH by O ₃ , HONO, HCHO and H ₂ O ₂ in Spring at Mangdang Mountain, Fujian Province	LIU Hao, WANG Hui-xiang (3352)
A Review on Current Situations of Steroid Estrogen in the Water System	DU Shao-ting, JIN Chong-wei, LIU Yue (3358)
A Study on the Veterinary Antibiotics Contamination in Groundwater of Jiaxing	LÜ Xing, YU Wei-juan, LAN Ya-qiong, <i>et al.</i> (3368)
Contamination Characteristics of Short-Chain Chlorinated Paraffins in Edible Fish of Shanghai	JIANG Guo, CHEN Lai-guo, HE Qiu-sheng, <i>et al.</i> (3374)
Detection of Endotoxin Activity in Water Environment and Analysis of Influence Factors for TAL Assay	ZHANG Can, LIU Wen-jun, ZHANG Ming-lu, <i>et al.</i> (3381)
Cellular Response of Freshwater Green Algae to the Toxicity of Tetracycline Antibiotics	XU Dong-mei, WANG Yan-hua, RAO Gui-wei (3386)
Illumination's Effect on the Growth and Nitrate Reductase Activity of Typical Red-Tide Algae in the East China Sea	LI Hong-mei, SHI Xiao-yong, DING Yan-yan, <i>et al.</i> (3391)
Compare the Growth of <i>Enteromorpha prolifera</i> Under Different Nutrient Conditions	PANG Qiu-ting, LI Feng, LIU Xiang-qing, <i>et al.</i> (3398)
Phytoplankton Pigment Patterns and Community Structure in the Yangtze Estuary and Its Adjacent Areas	LAI Jun-xiang, YU Zhi-ming, SONG Xiu-xian, <i>et al.</i> (3405)
Genetic Diversity of Picoeukaryotic Phytoplankton in the Lakes Along the Middle-lower Reaches of the Yangtze River	LI Sheng-nan, SHI Xiao-li, XIE Wei-wei, <i>et al.</i> (3416)
Studies on Seasonal Variation and Sources of Nitrogen and Phosphorus in a Canyon Reservoir Used as Water Source	HUANG Ting-lin, QIN Chang-hai, LI Xuan (3423)
Characteristics of Sediment Phosphorus in the Jiulong River-Reservoir System and Its Ecological Significance	LU Ting, CHEN Neng-wang, CHEN Zhu-hong, <i>et al.</i> (3430)
Variation of Nitrogen During the High Suspended Sediments Concentration Water Supply in an Artificial Shallow Lake	CHEN You-yuan, SHEN Yu, YANG Shi-ying (3437)
Limestone and Pyrite-Limestone Constructed Wetlands for Treating River Water	ZHANG Jing, LI Rui-hua, LI Jie, <i>et al.</i> (3445)
Dynamics of Carbon, Nitrogen and Phosphorus Storage of Three Dominant Marsh Plants in Hangzhou Bay Coastal Wetland	SHAO Xue-xin, LI Wen-hua, WU Ming, <i>et al.</i> (3451)
Dissolved Organic Matter Release of <i>Zizania caduciflora</i> and <i>Phragmites australis</i> from Lake Dianchi	XIE Li, YANG Hao, QU Xiao-xia, <i>et al.</i> (3458)
Influence of Tap Water Treatment on Perfluorinated Compounds Residue in the Dissolved Phase	ZHANG Hong, CHEN Qing-wu, WANG Xin-xuan, <i>et al.</i> (3467)
Study on Chlorinated Disinfection Byproducts and the Relevant Health Risk in Tap Water of J City	LI Xiao-ling, LIU Rui, LAN Ya-qiong, <i>et al.</i> (3474)
Effect of the Change in Sulphate and Dissolved Oxygen Mass Concentration on Metal Release in Old Cast Iron Distribution Pipes	WU Yong-li, SHI Bao-you, SUN Hui-fang, <i>et al.</i> (3480)
Research on Low-level Hg(II) Removal from Water by the Heavy Metal Capturing Agent	HU Yun-jun, SHENG Tian-tian, XUE Xiao-qin, <i>et al.</i> (3486)
Coagulation Characteristics of Polyferric Chloride-Poly (Epichlorohydrin-Dimethylamine) Composite Flocculant for Simulated Water Treatment	LIU Xin-xin, YANG Zhong-lian, GAO Bao-yu, <i>et al.</i> (3493)
Microstructure Morphology and Flocculation Mechanism of the Decolorizing Flocculant Poly-aluminum(III)-magnesium(II)-sulfate	SANG Yi-min, CHANG Xue-hong, CHE Yue, <i>et al.</i> (3502)
Efficient Degradation of Tetrabromobisphenol A in Water by Co-doped BiFeO ₃	OUYANG Lei, DING Yao-bin, ZHU Li-hua, <i>et al.</i> (3507)
Preparation Bimetallic Heterogeneous Fenton-Like Catalyst as Sepiolite Supported and Its Surface Chemical Characterization	SU Cheng-yuan, LI Wei-guang, LIU Xing-zhe, <i>et al.</i> (3513)
Nitrite Denitrification Characteristics with Redox Mediator	ZHAO Li-jun, MA Zhi-yuan, GUO Yan-kai, <i>et al.</i> (3520)
Advanced Nitrogen Removal Using Innovative Denitrification Biofilter with Sustained-Release Carbon Source Material	TANG Lei, LI Peng, ZUO Jian-e, <i>et al.</i> (3526)
N ₂ O Production in Nitrogen Removal by Micro-expansion of Granular Sludge	CHEN Li-li, GAO Da-wen (3532)
Sludge Dewaterability with Combined Conditioning Using Fenton's Reagent and CPAM	MA Jun-wei, LIU Jie-wei, CAO Rui, <i>et al.</i> (3538)
Kinetic Characteristics of High-rate ANAMMOX Granules	TANG Chong-jian, XIONG Lei, WANG Yun-yan, <i>et al.</i> (3544)
Monitoring Nitrogen Deposition on Temperate Grassland in Inner Mongolia	ZHANG Ju, KANG Rong-hua, HUANG Bin, <i>et al.</i> (3552)
Non-Point Loads of Soluble Cadmium by <i>in situ</i> Field Experiment with Different Landuses, in Central Hunan Province Mining Area	LIU Xiao-li, ZENG Zhao-xia, CHEN Zhe, <i>et al.</i> (3557)
Heavy Metal Speciation and Stability in the Sediment of Lihu Lake	WANG Shu-hang, WANG Wen-wen, JIANG Xia, <i>et al.</i> (3562)
Analysis and Evaluation of Heavy Metals Along the Chaohe River in Miyun County	YU Yang, GAO Hong-chao, MA Jun-hua, <i>et al.</i> (3572)
Magnetic Properties of Topsoils in Typical Industrial Belt Along the Yellow River in Arid Regions in Northwest China and Their Environmental Significance	XU Shu-jing, ZHANG Ying, YU Ye, <i>et al.</i> (3578)
Study on Composite Stabilization of Arsenic (As) Contaminated Soil	WANG Hao, PAN Li-xiang, ZHANG Xiang-yu, <i>et al.</i> (3587)
Heavy Metal Contents and Enrichment Characteristics of Dominant Plants in a Lead-Zinc Tailings in Xiashuiwan of Hunan Province	HE Dong, QIU Bo, PENG Jin-hui, <i>et al.</i> (3595)
Comparison of Soil Fertility Among Open-pit Mine Reclaimed Lands in Antaibao Regenerated with Different Vegetation Types	WANG Xiang, LI Jin-chuan, YUE Xiang-yi, <i>et al.</i> (3601)
Biodegradation of Triphenyltin and Its Effect on <i>Klebsiella pneumoniae</i>	YE Jin-shao, TIAN Yun, YIN Hua, <i>et al.</i> (3607)
Isolation and Degradation Characteristics of Dichloromethane-Degradation Bacterial Strain by <i>Methylobacterium rhodesianum</i> H13	LIU Hong-xia, ZHU Run-ye, OUYANG Du-juan, <i>et al.</i> (3613)
Effect of Different Primers on Microbial Community of Activated Sludge	XU Ai-ling, WU Deng-deng, SONG Zhi-wen, <i>et al.</i> (3620)
Reaction of SO ₂ over CaAl Mixed Oxides Derived from Hydrotalcites Samples	CAO Lin, WANG Hai-lin, XIE Qiang (3627)
Optimization for MSW Logistics of New Xicheng and New Dongcheng Districts in Beijing Based on the Maximum Capacity of Transfer Stations	YUAN Jing, Li Guo-xue, ZHANG Hong-yu, LUO Yi-ming, <i>et al.</i> (3633)
Application of Multiple Lines of Evidence Analysis Technology in the Assessment of Sites Contaminated by Heavy Metals	JIANG Lin, ZHONG Mao-sheng, ZHU Xiao-ying, <i>et al.</i> (3641)
Heavy Metals and Their Sources in Outdoor Settled Dusts in Different Function Areas of Cities	LI Xiao-yan, LIU Yan-qing (3648)
Study on Distribution Characteristics and Potential Ecological Risk of Soil Heavy Metals in the Yellow River Beach Region in Kaifeng City	ZHANG Peng-yang, QIN Ming-zhou, YAN Jiang-hong, <i>et al.</i> (3654)
Study on Pollution Evaluation of Heavy Metal in Surface Soil of the Original Site of Qingdao North Station	ZHU Lei, JIA Yong-gang, PAN Yu-ying (3663)
Distribution Characteristics and Ecological Risk of Pb in Soils at a Lead Battery Plant	ZHENG Li-bao, CHEN Wei-ping, JIAO Wei-tao, <i>et al.</i> (3669)
Effect of Lead on Soil Quality and Human Health Around a Lead Smeltery	ZHOU Xiao-yong, LEI Mei, YANG Jun, <i>et al.</i> (3675)
Distribution Characteristics of Lead in Different Particle Size Fractions of Surface Soil of a Lead-acid Battery Factory Contaminated Site	YUE Xi, SUN Ti-chang, HUANG Jin-lou (3679)
Research on the Application of <i>In-situ</i> Biological Stabilization Solidification Technology in Chromium Contaminated Site Management	ZHANG Jian-rong, LI Juan, XU Wei (3684)
Research on the Effect and Technique of Remediation for Multi-Metal Contaminated Tailing Soils	ZHU Guang-xu, GUO Qing-jun, YANG Jun-xing, <i>et al.</i> (3690)
Analysis of Washing Efficiency and Change in Lead Speciation in Lead-contaminated Soil of a Battery Factory	REN Bei, HUANG Jin-lou, MIAO Ming-sheng (3697)
Remediation Efficiency of Lead-Contaminated Soil at an Industrial Site by Ultrasonic-assisted Chemical Extraction	WANG Xin-jie, HUANG Jin-lou, LIU Zhi-qiang, <i>et al.</i> (3704)
Parameters Optimization and Cleaning Efficiency Evaluation of Attrition Scrubbing Remediation of Pb-Contaminated Soil	YANG Wen, HUANG Jin-lou, PENG Hui-qing, <i>et al.</i> (3709)
Adsorption of Cd ²⁺ on Biochar from Aqueous Solution	GUO Wen-juan, LIANG Xue-feng, LIN Da-song, <i>et al.</i> (3716)
Effect of Inorganic Amendments on the Stabilization of Heavy Metals in Contaminated Soils	CAO Meng-hua, ZHU Xi, LIU Huang-cheng, <i>et al.</i> (3722)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

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 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 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)

2013年9月15日 34卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 9 Sep. 15, 2013

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	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
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: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人