

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第4期

Vol.36 No.4

**2015**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

中美空气质量指数(AQI)对比研究及启示 ..... 高庆先,刘俊蓉,李文涛,高文康(1141)

2013年1月北京市PM<sub>2.5</sub>区域来源解析 ..... 李璇,聂滕,齐珺,周震,孙雪松(1148)

2013年1月北京市一次空气重污染成因分析 ..... 程念亮,李云婷,张大伟,聂滕,邱启鸿,徐文帅(1154)

上海大气总悬浮颗粒物中金属的可溶性特征 ..... 常燕,冯冲,瞿建国,张经(1164)

厦门春季PM<sub>10</sub>中PAHs成分谱特征及其与气象要素相关性分析 ..... 张健,樊曙先,孙玉,张悦,魏锦成(1173)

硫氧同位素示踪南京北郊大气PM<sub>2.5</sub>中硫酸盐来源 ..... 魏英,郭照冰,葛鑫,祝胜男,姜文娟,石磊,陈姝(1182)

结合激光雷达分析2014年春季南京地区一次大气污染过程 ..... 包青,贺军亮,查勇,程峰,李倩楠(1187)

春季华东高山背景区域PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>2.5-10</sub>中水溶性无机离子特征 ..... 苏彬彬,张智胜,陶俊,许榕洋,纪贤鑫,刘心东,张若宇(1195)

落叶燃烧排放的颗粒物及有机碳、元素碳的研究 ..... 杨伟宗,刘刚,李久海,徐慧,吴丹(1202)

四川省秸秆露天焚烧污染物排放清单及时空分布特征 ..... 何敏,王幸锐,韩丽,冯小琼,毛雪(1208)

深圳市船舶排放清单与时空特征研究 ..... 杨静,尹佩玲,叶斯琪,王水胜,郑君瑜,区家敏(1217)

超细颗粒通过建筑狭缝的传输特性 ..... 孙在,陈秋方,蔡志良,杨文俊,汪晗(1227)

空调病房真菌气溶胶浓度及粒径分布特征 ..... 张华玲,冯鹤华,方子梁,王本栋,李丹(1234)

基于氢氧稳定同位素的黄土高原云下二次蒸发效应 ..... 靳晓刚,张明军,王圣杰,朱小凡,董蕾,任正果,陈粉丽(1241)

黄河小浪底水库水沙调控对DOC输送的影响 ..... 张永领,王明仕,董玉龙(1249)

调水调沙工程长期实施对黄河口近岸沉积物粒度分布与黏土矿物组成特征的影响 ..... 王苗苗,孙志高,卢晓宁,王伟,王传远(1256)

春季生物作用对山地岩溶池水地球化学特征的影响 ..... 于正良,杨平恒,赵瑞一,李林立,张琳,童小容,罗刚(1263)

降雨期间岩溶城镇区地下水重金属变化特征及来源解析 ..... 任坤,杨平恒,江泽利,王尊波,师阳,王凤康,李晓春(1270)

北江和珠江广州河段水体的三卤甲烷风险评价 ..... 钟惠舟,韦朝海(1277)

丰水期洪湖水水质空间变异特征及驱动力分析 ..... 李昆,王玲,李兆华,王祥荣,陈红兵,吴忠,朱鹏(1285)

三峡库区典型干-支流相互作用过程中的营养盐交换:以梅溪河为例 ..... 操满,傅家楠,周子然,邓兵,王雨春,汪福顺(1293)

营养盐输入对太湖水体中磷形态转化及藻类生长的影响 ..... 王睿喆,王沛芳,任凌霄,王超,王颖(1301)

一小型藻华池塘浮游植物群落动态及其影响因子研究 ..... 杨文,朱津永,张克鑫,万莉,陆开宏(1309)

昌黎生态监控区夏季浮游植物群落年际变化特征分析 ..... 梁晓林,杨阳,王玉良,张月明,赵志楠,韩晓庆,张鉴达,高伟明(1317)

河道曝气提升河流水质的WASP模型研究 ..... 朱文博,王洪秀,柳翠,张建,梁爽(1326)

γ辐射降解水中的盐酸环丙沙星的研究 ..... 祝胜男,郭照冰,赵永富,葛鑫,魏英,陈姝,王静(1332)

电化学氢化物发生法处理含铈废水及对铈的回收 ..... 陈京晶,张国平,李海霞,付志平,欧阳小雪,吴琼(1338)

Fe-MCM-41催化臭氧氧化间甲酚废水 ..... 孙文静,王亚曼,卫皇墨,王森,李旭宁,李敬美,孙承林,安路阳(1345)

生物阳极及其反转为生物阴极降解氯霉素 ..... 孔德勇,梁斌,云慧,王爱杰,任南琪(1352)

308 nm光作用下α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>表面HNO<sub>3</sub>的光解 ..... 陆军,孙云东,谢晶晶,赵军,邹家骥,朱承强(1359)

L-组氨酸-赤藓红复合膜修饰电极同时检测对苯二酚、邻苯二酚 ..... 何家洪,徐强,丁武泉,李强(1365)

酞基功能型高分子生物载体(PET-AQS)制备及催化生物反硝化特性研究 ..... 许晴,侯正浩,田秀蕾,牛春梅,郭延凯,廉静,郭建博(1374)

枯草芽孢杆菌对土臭素和2-甲基异冰片的降解动力学特性 ..... 马念念,罗国芝,谭洪新,姚妙兰,王晓用(1379)

嗜咪降解菌筛选及其对焦化废水强化处理 ..... 李静,李文英(1385)

Fe<sup>3+</sup>对同步硝化反硝化过程氮元素迁移转化及N<sub>2</sub>O释放的影响 ..... 李浩,闫玉洁,谢慧君,贾文林,胡振,张建(1392)

内循环半短程亚硝化工艺运行条件与微生物群落研究 ..... 赵志瑞,焦海华,崔丙健,黄迪,曹世超,王云,刘上千,马斌,白志辉(1399)

利用处理含4-氯苯酚模拟废水的剩余污泥培养普通小球藻 ..... 王璐,陈秀荣,闫龙,何怡萱,施震东(1406)

进水渗滤液总氮和BOD<sub>5</sub>/TN对填埋场反应器反硝化和厌氧氨氧化协同脱氮的影响 ..... 杨盈盈,陈奕,李明杰,谢冰(1412)

重庆金佛山土壤中PAHs含量的海拔梯度分布及来源解析 ..... 师阳,孙玉川,梁作兵,任坤,袁道先(1417)

湖南攸县典型煤矿和工厂区水稻田土壤镉污染特征及污染途径分析 ..... 张敏,王美娥,陈卫平,牛俊杰(1425)

沟渠化对三江平原湿地铁元素沉积过程的影响 ..... 苏文辉,于晓菲,王国平,栾金花,邹元春(1431)

施用磷酸盐和沸石对土壤镉形态转化的影响 ..... 王秀丽,梁成华,马子惠,韩月(1437)

不同条件下皂苷对污染壤土中Cu、Pb的淋洗修复 ..... 邓红侠,杨亚莉,李珍,许岩,李荣华,孟昭福,杨亚提(1445)

陕北某化工企业周围污灌区土壤-作物系统重金属积累特征及评价 ..... 齐雁冰,楚万林,蒲洁,刘梦云,常庆瑞(1453)

有机无机缓释复合肥对不同土壤微生物群落结构的影响 ..... 王菲,袁婷,谷守宽,王正银(1461)

玉米对铅胁迫的响应及体内铅化学形态研究 ..... 程海宽,张彪,景鑫鑫,杨素勤,赵鹏,孙晓雪,周志云(1468)

硼铈交互作用对水稻吸收积累铈和硼的影响 ..... 向猛,黄益宗,蔡立群,保琼莉,黄永春,王小玲,乔敏,胡莹,金姝兰,李季,王斐(1474)

丛枝菌根真菌对不同含盐量湿地土壤中芦苇生长的影响 ..... 郭江源,郭伟,毕娜,付瑞英,赵文静,赵仁鑫,王立新(1481)

滨海区芦苇和香蒲耐盐碱性及除氮磷效果对比研究 ..... 陈友媛,孙萍,陈广琳,王宁宁(1489)

不同温度下的土壤微生物呼吸及其与水溶性有机碳和转化酶的关系 ..... 吴静,陈书涛,胡正华,张旭(1497)

工业VOCs经济手段和工程技术减排对比性分析 ..... 王宇飞,刘昌新,程杰,郝郑平,王铮(1507)

《环境科学》征订启事(1216) 《环境科学》征稿简则(1248) 信息(1163,1194,1248,1424)

# 黄河小浪底水库水沙调控对 DOC 输送的影响

张永领<sup>1</sup>, 王明仕<sup>2</sup>, 董玉龙<sup>3</sup>

(1. 河南理工大学应急管理学院, 焦作 454000; 2. 河南理工大学资源与环境学院, 焦作 454000; 3. 黄河水利委员会三门峡水文局, 三门峡 472000)

**摘要:** 于 2011 年 11 月至 2012 年 10 月在黄河中游的三门峡、小浪底和花园口 3 个水文站进行每月 1 次的周期性采样观测以及在调水调沙期间进行连续采样观测, 分析了小浪底水库水沙调控对溶解有机碳 (DOC) 输送的影响。结果表明, 在小浪底水库和三门峡水库正常调度期间, 三门峡站、小浪底站和花园口站的 DOC 含量分别为  $1.97 \sim 2.71 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $1.87 \sim 2.76 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $2.07 \sim 2.93 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 并且均有明显的季节变化; 在调水调沙期间, 三门峡站、小浪底站和花园口站的 DOC 含量分别为  $2.14 \sim 3.32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $2.21 \sim 2.84 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $2.11 \sim 2.84 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 并且水库排沙阶段的 DOC 含量明显高于水库泄水阶段的 DOC 含量。无论是在水库正常调度期间还是在调水调沙期间, DOC 含量与 TSS 含量及流量均没有表现出显著的相关性, 而在水库正常调度期间 DOC 含量与水温呈现显著的正相关关系。11 月~次年 3 月三门峡站和小浪底站的 DOC 输送量比较接近, 4~7 月三门峡的 DOC 输送量明显低于小浪底站, 而 8~10 月三门峡站的 DOC 输送量又明显高于小浪底站, 表明小浪底水库在 8~10 月大量拦蓄 DOC, 而在 4~7 月又将拦蓄下来的 DOC 排出水库。三门峡站、小浪底站和花园口站 DOC 年输送量分别为  $8.6 \times 10^{10}$ 、 $9.0 \times 10^{10}$  和  $9.7 \times 10^{10} \text{ g}$ , 其中三门峡站 9 月 DOC 输送量最多, 约占全年 DOC 输送量的 22.0%, 小浪底站 6 月 DOC 输送量最多, 约占全年 DOC 输送量的 17.6%, 花园口站 7 月 DOC 输送量最多, 约占全年 DOC 输送量的 16.7%。在 2012 年调水调沙期间小浪底站和花园口站的 DOC 输送量占全年 DOC 输送量的比例分别为 14.7% 和 13.8%, 而三门峡站 DOC 输送量仅占全年 DOC 输送量的 3.6%。

**关键词:** 溶解有机碳; 水沙调控; 输送; 小浪底水库; 黄河

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)04-1249-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.04.015

## Effect of the Runoff-sediment Control of the Xiaolangdi Reservoir on DOC Transport

ZHANG Yong-ling<sup>1</sup>, WANG Ming-shi<sup>2</sup>, DONG Yu-long<sup>3</sup>

(1. School of Emergency Management, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China; 2. Institute of Resource and Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China; 3. Sanmenxia Hydrological Bureau, YRCC, Sanmenxia 472000, China)

**Abstract:** The sampling was carried out in Sanmenxia hydrological station, Xiaolangdi hydrological station and Huayuankou hydrological station from November 2011 to October 2012. The impact of the runoff-sediment control of the Xiaolangdi reservoir on DOC transport was analyzed. The results were as follows. DOC contents in Sanmenxia station, Xiaolangdi station and Huayuankou station were  $1.97\text{-}2.71 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $1.87\text{-}2.76 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  and  $2.07\text{-}2.93 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectively, during the normal operation period of Xiaolangdi Reservoir and Sanmenxia reservoir, and the DOC content in the three reservoirs had obvious seasonal change. DOC contents in the three stations were  $2.14\text{-}3.32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $2.21\text{-}2.84 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  and  $2.11\text{-}2.84 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectively, during the runoff-sediment control, and the DOC content in the sediment-releasing period of reservoir was higher than that in the water-releasing period of reservoir. DOC content had no significant correlation with TSS and flow either during the normal operation or during the water-sediment regulation of the reservoir. But the DOC content had significant correlation with water temperature during the normal operation of the reservoir. DOC flux in Sanmenxia station was similar to that in Xiaolangdi station from November to March. DOC flux in Sanmenxia station was obviously less than that in Xiaolangdi station from April to July. And the DOC flux in Sanmenxia station was much higher than that in Xiaolangdi station from August to October. The result showed that DOC was retained from August to October by Xiaolangdi reservoir and discharged from Xiaolangdi reservoir from April to July. The yearly DOC fluxes were  $8.6 \times 10^{10}$ ,  $9.0 \times 10^{10}$  and  $9.7 \times 10^{10} \text{ g}$  respectively in Sanmenxia station, Xiaolangdi station and Huayuankou station. The DOC flux of Sanmenxia station was the highest in September, which accounted for 22.0% of the yearly DOC flux, and the DOC flux of Xiaolangdi station was the highest in June, which accounted for 17.6% of the yearly DOC flux. The DOC flux of Huayuankou station was the highest in July, which accounted for 16.7% of the yearly DOC flux. DOC fluxes during the runoff-sediment regulation accounted for 14.7% and 13.8% of the yearly DOC flux respectively in Xiaolangdi station and Huayuankou station, but the DOC fluxes during the runoff-sediment regulation accounted for only 3.6% of the yearly DOC flux in Sanmenxia station.

**Key words:** dissolved organic carbon (DOC); runoff-sediment regulation; transport; Xiaolangdi Reservoir; the Yellow River

收稿日期: 2014-08-21; 修订日期: 2014-12-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(41001119)

作者简介: 张永领(1975~), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为资源与环境、灾害与应急, E-mail: zhyongling@126.com

河流是连接地球上最重要的两个碳库——海洋和陆地碳库的纽带,是将陆地侵蚀的含碳物质输送到海洋的主要通道,每年由陆地生态系统通过河流向海洋排放的有机碳约 0.45 Gt,其中溶解有机碳(DOC)约占 55%<sup>[1]</sup>. 河流有机碳的输送不仅受流域的土壤类型、植被情况、水文过程以及地形地貌影响<sup>[2]</sup>,而且流域的任何气候波动都能影响河流 DOC 含量和输送量<sup>[3]</sup>. 随着人类活动对流域地表干扰程度的日益加剧以及生产、生活中大量废弃物质的随意排放,使河流碳含量和通量已经发生并且正在发生剧烈变化. 而且流域地表土地利用方式的改变,如植被的破坏<sup>[4,5]</sup>、基础设施的修建<sup>[6,7]</sup>、农业耕作方式的改变<sup>[8]</sup>、城市化<sup>[4]</sup>等过程都直接或者间接影响着河流 DOC 的输送.

大规模的河流碳循环研究始于 20 世纪 80 年代,一些研究者对世界主要河流碳的输送进行研究<sup>[1]</sup>,在我国相关研究人员对河流碳循环也进行了大量研究<sup>[9~14]</sup>. 随着大量水库的修建,河流碳的生物地球化学循环也受到影响<sup>[15,16]</sup>,我国一些研究者也开始关注水库对河流碳循环的影响,如三峡水库对长江河流有机碳的含量、通量和输送时间影响<sup>[17~19]</sup>.

黄河是世界上著名的输沙型河流,且具有水沙异源的特点,黄河的泥沙主要来自中游的黄土高原地区. 在过去 50 多年里,黄河的流量和输沙量大大减少<sup>[20]</sup>,大量泥沙沉积在下游河道中. 为了将沉积在河道中的泥沙排入大海,从 2002 年起开始通过小浪底等水库加大了对黄河干流的水沙调控,无论是蓄水拦沙还是调水调沙,都对黄河有机碳的性质和输送过程产生深远的影响. 目前已有许多研究者对黄河及河口的有机碳进行了大量研究,如 Zhang 等<sup>[21]</sup>分析了黄河 5 月和 9 月的有机碳特征; Cauwet 等<sup>[22]</sup>研究了黄河口碳的含量及输送过程;刘冬梅等<sup>[23]</sup>分析了黄河干流有机碳的时空分布;张龙军等<sup>[24,25]</sup>研究了黄河口有机碳的时空输运特征,并探讨了不同粒径悬浮物中 POC 含量; Zhang 等<sup>[26]</sup>研究了人类活动对黄河有机碳输送的影响; Ran 等<sup>[27]</sup>分析了黄河有机碳输送的时空变化;王启栋等<sup>[28]</sup>研究了黄河口湿地有机碳来源;宁有丰等<sup>[29]</sup>研究了黄河悬浮物及底泥的有机碳同位素特征. 本研究通过在黄河三门峡、小浪底和花园口这 3 个水文站进行连续 1a 的周期性采样观测以及调水调沙期间的连续采样观测,分析了黄河小浪底水库水沙调控对 DOC 输送的影响.

## 1 材料与方法

小浪底水利枢纽位于黄河中游最后一段峡谷的出口处,它是以治理黄河水沙为主要功能的大型水利工程,它不仅调节径流而且拦沙调沙,从而显著改变了自然状态下黄河水沙的输送过程. 三门峡水文站和小浪底水文站分别为小浪底水库水沙入库和出库的控制站,在三门峡站和小浪底站采样观测可以反映出进入和排出小浪底水库的 DOC 特征;花园口水文站位于小浪底水库下游 128 km 处,是黄河中游的重要水沙控制站,也是黄河真正成为地上悬河的起点. 在花园口站采样观测,可以反映出从小浪底水库排出的 DOC 在向下输运的过程中可能发生的变化特征.

于 2011 年 11 月至 2012 年 10 月在三门峡站、小浪底站和花园口站进行每月 1 次的周期性采样;并于 2012 年黄河调水调沙期间在上述 3 个水文站进行连续采样分析,具体为:6 月 18 日至 7 月 8 日在花园口站进行了每天 1 次的采样;6 月 18 日和 25 日以及 7 月 1 日至 9 日在小浪底站进行每天 1 次的采样分析;7 月 3 日至 6 日在三门峡站进行每天 1~2 次的采样.

每次采样均在 3 个水文站采样断面的中间,为了避免水体表层枯枝落叶的影响,采样深度为水面以下 1 m 处. 用高温(450℃)灼烧的棕色石英玻璃瓶(2 L)盛装水样,在装样品之前先用水样洗涮棕色玻璃瓶 3 次,装样后滴加适量的饱和 HgCl<sub>2</sub> 溶液. 样品带回实验室后用直径为 47 mm 的 Whatman GF/F 型玻璃纤维质滤膜(孔径 0.7 μm)过滤,过滤前先将滤液盛装在 50 mL 的棕色玻璃瓶中,用美国 Tekmar Dohrmann 公司生产的 Apollo 9000 TOC/TN 分析仪测试 DOC 含量,对于带有颗粒物的滤膜在 50℃ 下烘干后再次称其重量,计算水体总悬浮颗粒物(TSS)含量.

三门峡、小浪底和花园口这 3 个水文站 2011~2012 年逐日流量和泥沙含量资料以及调水调沙期间加密测次的流量和泥沙含量资料均来自黄河水利委员会.

## 2 结果与分析

### 2.1 水库正常调度期间 DOC 含量的变化特征

目前黄河小浪底水库通过两种运行方式来实现水沙调控,一是在水库正常调度期间拦蓄上游输入

的水沙,下泄 TSS 含量比较低的清水;另一是通过人为调水调沙或者是随着上游洪峰到来水库进行大量泄水排沙. 本研究在三门峡站、花园口站和小浪底站进行每月 1 次的周期性采样均避开了水库集中泄水排沙时间,因此它反映了水库正常调度期间的 DOC 特征.

在 1 年内黄河三门峡站 DOC 含量为  $1.97 \sim 2.71 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 平均为  $2.36 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 并且有明显的季节变化(图 1), 11 月~次年 1 月 DOC 含量呈现明显的增加趋势; 1~3 月 DOC 含量呈现明显的减小趋势; 3~7 月 DOC 含量又呈现明显的增加趋势, 之后 DOC 含量又呈现减小的趋势; 在 1 年内有两个时段 DOC 含量偏高, 分别是 1~2 月和 6~9 月. 三门峡站 DOC 含量的这种变化趋势与黄河径流量的季节性变化以及三门峡水库对黄河干流的水沙调控有关. 每年 11 月左右黄河内蒙古河段开始结冰, 上游来水量逐渐减少, 排进黄河系统的大量污水得不到有效稀释, 可能是造成 1~2 月 DOC 含量偏高的主要原因. 3 月随着黄河冰凌解冻, 流量明显增加(图 2), 对河流 DOC 的稀释作用加强, 使 DOC 含量降低. 4~6 月黄河流域降水量偏小, DOC 的外源输入比较小, 而三门峡水库浮游植物的生长成为影响 DOC 含量的重要因素. 7~9 月黄河流域进入汛期, 降水相对丰沛, 流域地表植被生长旺盛, 在汇入河流系统的水体中 DOC 含量较高, 另外 7~9 月三门峡水库浮游植物的生长对 DOC 含量的影响也比较明显, 所以 7~9 月三门峡站 DOC 含量明显较高.

在 1 年内小浪底站 DOC 含量为  $1.87 \sim 2.76 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 7 月 DOC 含量最高, 2 月 DOC 含量最低, 平均  $2.27 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . 小浪底站 DOC 含量也有明显的季节变化, 总体表现为夏季 DOC 含量较高、冬季较低, 春秋季节次之(图 1). 小浪底站 DOC 含量的季节性变化与流域气候变化相一致, 夏季黄河流域进入汛期, 降水量大且植被生长旺盛, 在汇入河流系统的水体中 DOC 含量较高, 而且夏季小浪底水库水温较高, 浮游植物的生长对水体 DOC 的贡献也比较明显, 而冬季则正好相反.

对比小浪底水库的入库和出库控制站三门峡站和小浪底站的 DOC 含量的季节变化可知, 除了 1~2 月三门峡站 DOC 含量偏高之外, 其他各个月 DOC 含量变化比较一致. 1~2 月尽管三门峡站 DOC 含量偏高, 但是由于三门峡站 1~2 月河流流量较小(图 2), 而这时小浪底水库蓄水量较大, 所以对小

浪底水库 DOC 含量的影响不明显.

在 1 年内花园口站 DOC 含量在  $2.07 \sim 2.93 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  之间, 平均为  $2.35 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 其中 7 月 DOC 含量最高, 1 月 DOC 含量最低. 花园口站 DOC 含量仍有明显的季节性变化, 夏季 DOC 含量偏高、冬季 DOC 偏低(图 1). 花园口站 DOC 含量的变化趋势和小浪底站比较一致, 主要是因为花园口站位于小浪底站的下游, 且花园口站的河水主要来自小浪底水库. 小浪底站 DOC 含量 2 月最低, 而花园口站 2 月 DOC 含量比冬季其它月份略微偏高, 其可能原因是 2 月花园口站仍然具有明显的光合作用<sup>[23]</sup>, 增加河水 DOC 含量. 3 月随着流量的增加(图 2), 河水 TSS 含量也随之增加, 浮游植物的生长受到抑制, DOC 含量也随之降低.

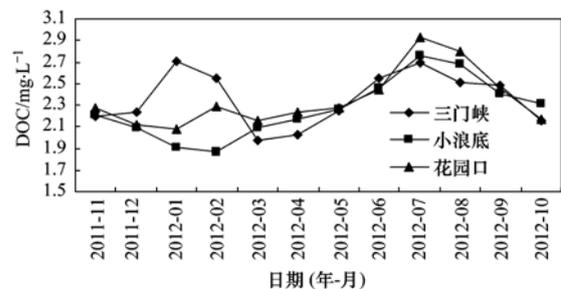


图 1 三门峡站、小浪底站和花园口站逐月 DOC 含量

Fig. 1 Monthly DOC content in Sanmenxia station, Xiaolangdi station and Huayuankou station

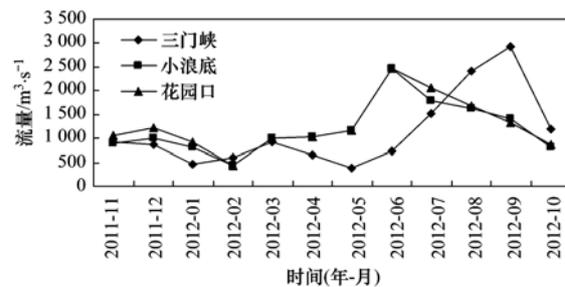


图 2 三门峡站、小浪底和花园口站的月平均流量

Fig. 2 Monthly average flow in Sanmenxia station, Xiaolangdi Station and Huayuankou Station

## 2.2 调水调沙期间 DOC 含量的变化特征

2012 年黄河调水调沙从 6 月 18 日开始到 7 月 8 日结束, 整个调水调沙过程分为两个阶段, 第一阶段为 6 月 18 日至 7 月 3 日, 这一阶段小浪底水库以下泄 TSS 含量比较低的清水为主, 其目的是通过加大水库下泄流量冲刷下游河道的淤沙; 第二阶段为 7 月 4 日至 8 日, 这一阶段为小浪底水库的排沙阶段, 通过联合调度小浪底水库上游的三门峡等水库, 将小浪底水库的淤沙大量排出水库.

图3给出了调水调沙期间花园口站逐日 DOC 含量. 从中可以看出,在整个调水调沙期间花园口站 DOC 含量在  $2.11 \sim 2.84 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  之间,平均为  $2.37 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . 在调水调沙初期,随着河水流量的增加 DOC 含量呈减小的趋势;之后随着小浪底水库的下泄流量趋于稳定(约在  $4000 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  左右),尽管 DOC 含量也有明显的波动,但变化趋势不明显;7月4日以后随着小浪底水库进行大量排沙,DOC 含量呈明显的增加趋势.

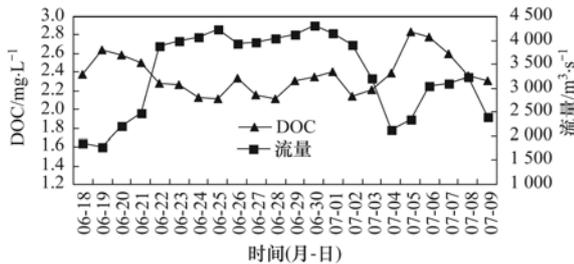


图3 调水调沙期间花园口站 DOC 含量

Fig. 3 DOC content in Huayankou station during the water-sediment regulation

在调水调沙初期河水流量增加对 DOC 的稀释作用可能是造成 DOC 含量减小的重要原因;而在水库排沙阶段,水库底部沉积物中 DOC 含量较高的孔隙水进入水体可能是造成 DOC 含量较高的重要原因. 在水库正常调度阶段,小浪底水库大量拦蓄上游输送过来的颗粒物,这些颗粒物中的有机质经过长时间的矿化分解,增加了沉积物中孔隙水的 DOC 含量;当水库进行排沙时,沉积物的孔隙水也随之进入水体从而使 DOC 含量增加. 在水库排沙期间的 TSS 中发现大量的植物残落物,这也从另一个方面证明水库沉积物中孔隙水的 DOC 含量较高.

由于小浪底水文站距离小浪底大坝约 4 km,它直接反应了水库水体 DOC 含量特征. 图4给出了调水调沙期间小浪底站 DOC 含量. 在调水调沙期间小浪底站 DOC 含量在  $2.21 \sim 2.84 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  之间. 在水库泄水阶段,小浪底站的 DOC 含量比较低,7月4日以后随着水库开始大量排沙,DOC 含量明显增加,这种变化趋势与花园口站 DOC 含量的变化趋势比较一致,主要是在调水调沙期间小浪底站和花园口站的河水主要来自小浪底水库.

为了配合小浪底水库排沙,三门峡水库于7月4日至7月8日进行调水调沙. 7月4日02:00时三门峡水库开始加大下泄流量,三门峡站的流量由之前的  $388 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  迅猛增加到  $1300 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  左右,至

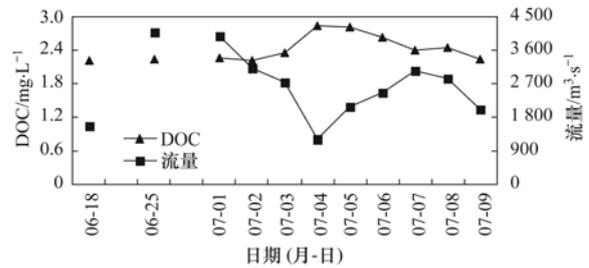


图4 调水调沙期间小浪底站 DOC 含量

Fig. 4 DOC content in Xiaolangdi station during the water-sediment regulation

06:00 时流量增加到了  $4200 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  以上,至 14:00 流量就达到了  $5300 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  左右. 三门峡水库大流量的持续下泄为小浪底水库的人造异重流提供了主要动力来源.

在2012年三门峡水库调水调沙期间三门峡站 DOC 含量在  $2.14 \sim 3.32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  之间,并且有明显的变化趋势(图5),7月3日三门峡站的 DOC 含量相对较低,而在7月4日08:00时 DOC 含量突然增到  $3.32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,但到7月4日20:00时 DOC 含量又明显回落,这主要是因为7月4日早晨三门峡地区经历了一次强降水,降水将大量地表有机物输送到河流系统,使河水 DOC 含量明显增加. 三门峡水库于7月5日开始排沙,随着大量泥沙出库三门峡站的 DOC 含量也明显增加,这可能是由于水库沉积物中 DOC 含量较高的孔隙水进入水体而增加了河水 DOC 含量.

对比调水调沙期间3个水文站的 DOC 含量可以发现,水库排沙阶段的 DOC 含量均高于水库泄水阶段的 DOC 含量,且无论是在水库泄水阶段还是在排沙阶段,3个水文站的 DOC 含量都比较接近,主要是因为小浪底水库和三门峡水库的水和沙的来源比较一致,DOC 含量没有发生明显变化.

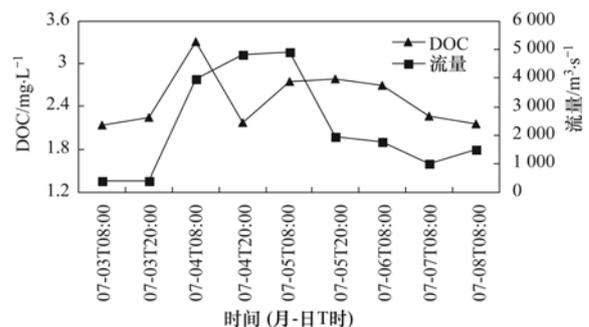


图5 调水调沙期间三门峡站 DOC 含量

Fig. 5 DOC content in Sanmenxia station during the water-sediment regulation

### 2.3 流量、TSS 含量等因素对 DOC 含量的影响

黄河小浪底水库不仅大量拦蓄上游输送过来的水沙,控制下泄流量,而且在特定时间通过调水调沙又将前期拦蓄的水沙大量排出水库,实现了对黄河中游的水沙调控. 因此在小浪底水库水沙调控的作用下,水库下游的河水流量、TSS 含量及其输送过程均发生了明显变化. 为了分析 DOC 含量与 TSS 含量、流量等参数之间的关系,将三门峡站、小浪底站和花园口站的数据合并在一起进行分析. 图 6 给出了水库正常调度期间 DOC 含量与 TSS 含量、流量和水温之间的关系,从中可知,在水库正常调度期间,DOC 含量随 TSS 含量和流量的增加均呈现增加的趋势,但  $P > 0.05$ ,相关性不显著;而 DOC 含量与水温却呈现显著的正相关关系, $P < 0.05$ . 这主要是因为夏季黄河流域气温高、降水相对丰沛、植被生长旺盛,在汇入河流系统的水体中 DOC 含量较高;另外夏季气温较高也有利于水库浮游植物的生长,其新陈代谢产物对水体 DOC 的贡献也比较明显;而冬季刚好相反.

在调水调沙期间,DOC 含量不仅与 TSS 含量和流量之间不存在显著的相关性,而且与水温的相关

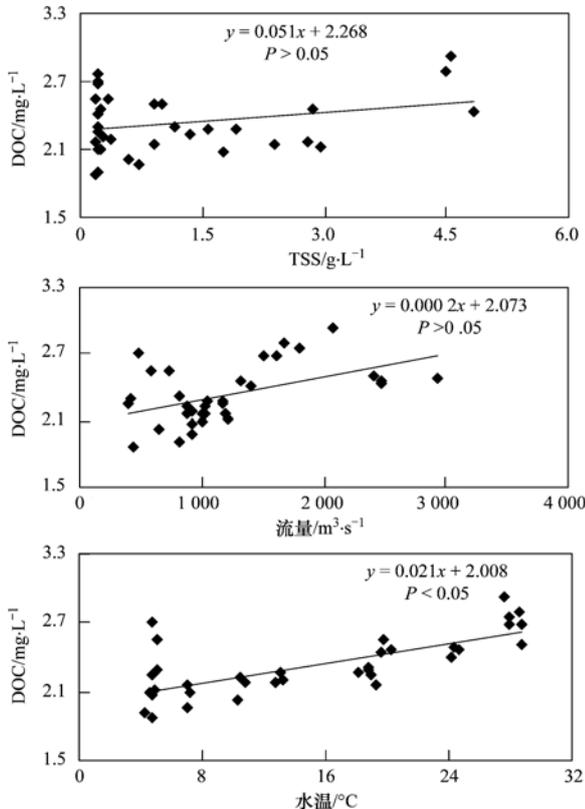


图 6 水库正常调度期间 DOC 与 TSS、流量和水温的关系

Fig. 6 Relationship between DOC and TSS, flow and water temperature during the reservoir operated normally

性不显著(图 7), 主要是因为是在调水调沙期间水温变化比较小而 DOC 含量却发生了明显的变化.

在小浪底水库和三门峡水库水沙调控的影响下,河水的流量和泥沙输送均发生了人为改变,不能反映自然状态下的水沙输送特征,没有出现 DOC 含量随流量增加而增加的“冲刷效应”,例如尽管 6 月中下旬小浪底站和花园口站流量非常大,但并不是流域降水的结果,而是水库大量泄水造成了流量的大幅度增加,7~9 月流域降水相对比较丰沛,输入到河流系统的水沙比较多,但这时水库对上游输送的水沙进行了拦蓄和调控,所以使 DOC 含量与流量和 TSS 含量均没有表现出显著的相关性.

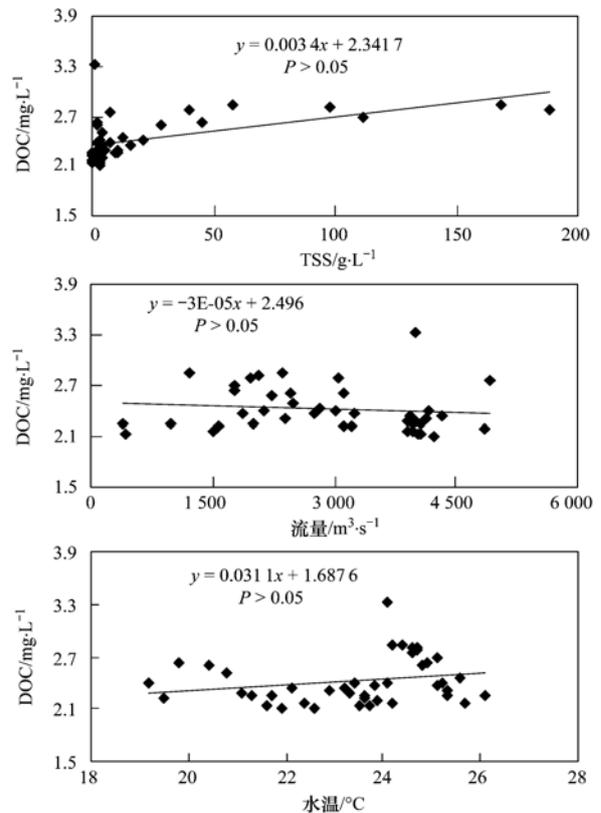


图 7 调水调沙期间 DOC 与 TSS、流量和水温的关系

Fig. 7 Relationship between DOC and TSS, flow and water temperature during the water-sediment regulation

### 2.4 水沙调控对 DOC 输送过程的影响

根据每个月的 DOC 含量以及该月的河水流量,采用下列公式计算 DOC 月输送量:

$$F_{\text{DOC}} = C_{\text{DOC}} Q \quad (1)$$

式中,  $F_{\text{DOC}}$  表示 DOC 月输送量,  $C_{\text{DOC}}$  表示该月的 DOC 含量;  $Q$  表示该月的河水流量.

调水调沙期间的 DOC 输送量可以采用下列公式计算:

$$F'_{\text{DOC}} = \sum_{i=1}^n C'_{\text{DOC}i} Q'_i \quad (2)$$

式中,  $F'_{\text{DOC}}$  为调水调沙期间的 DOC 输送量,  $n$  为调水调沙的天数,  $C'_{\text{DOC}i}$  表示第  $i$  天的 DOC 含量,  $Q'_i$  表示第  $i$  天的流量. 对于小浪底站和花园口站 6 月和 7 月的 DOC 输送量以及三门峡站 7 月 DOC 输送量, 则将该月调水调沙期间的 DOC 输送量纳入到该月 DOC 输送量的估算中.

图 8 给出了黄河三门峡、小浪底和花园口站逐月 DOC 输送量. 从中可知, 小浪底站和花园口站逐月 DOC 输送量的变化趋势比较一致, 而且除了 7 月和 8 月之外, 其他各个月的 DOC 输送量也比较接近. 7~8 月花园口站 DOC 输送量明显高于小浪底站, 主要是因为黄河小浪底至花园口区间有洛河和沁河等支流汇入黄河, 7~8 月这些支流进入汛期, 增加了花园口站的 DOC 输送量.

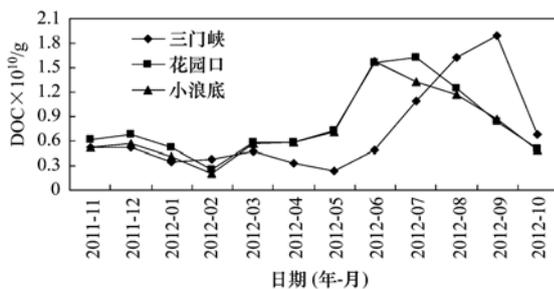


图 8 逐月 DOC 输送量  
Fig. 8 Monthly DOC flux

三门峡站是小浪底水库上游的控制站, 它反映了输入小浪底水库的 DOC 情况, 对比三门峡站和小浪底站的逐月 DOC 输送量可以发现, 两个水文站的逐月 DOC 输送量有较大差异, 11 月~次年 3 月, 小浪底水库的 DOC 输入量和输出量比较接近, 但是 4~7 月小浪底水库的 DOC 输入量明显低于输出量, 其中 6 月差别最大, 这主要是因为 6 月小浪底水库通过调水调沙将大量 DOC 输送到下游. 8~10 月小浪底水库的 DOC 输入量又明显大于输出量, 表明这 3 个月小浪底水库大量拦蓄上游输入的 DOC.

从上述分析可知, 小浪底水库水沙调控对 DOC 输送的影响主要表现为, 8~10 月水库大量拦蓄上游输送过来的 DOC, 4~7 月尤其是 6~7 月又将前期拦蓄的 DOC 输送到下游.

三门峡站、小浪底站和花园口站的 DOC 年输送量分别为  $8.6 \times 10^{10}$ 、 $9.0 \times 10^{10}$  和  $9.7 \times 10^{10}$  g, 尽管这 3 个水文站的全年 DOC 输送量比较接近, 但仍呈现逐渐增加的趋势, 这可能与黄河三门峡至小浪

底区间以及小浪底至花园区间间的支流汇入而增加 DOC 的输送量有关. 图 9 给出了三门峡、小浪底和花园口站每月 DOC 输送量以及调水调沙期间的 DOC 输送量占全年 DOC 输送总量的比例, 从中可知, 小浪底站和花园口站 6~8 月 DOC 输送量占全年 DOC 输送总量的比例较大, 其中花园口站 7 月 DOC 输送量占全年 DOC 输送总量的比例最大, 约为 16.7%, 其次是 6 月, 约为 16.1%; 小浪底站 6 月 DOC 输送量占全年 DOC 输送总量的比例最大, 约为 17.6%, 其次是 7 月, 约为 14.8%. 三门峡站 7~9 月 DOC 输送量占全年 DOC 输送总量的比例较大, 其中 9 月最大, 约占全年 DOC 输送总量的 22.0%, 其次是 8 月, 约占全年 DOC 输送总量的 18.8%, 这主要是因为 8~9 月黄河流域降水量较多, 上游输送过来的 DOC 也较多, 而且在 8~9 月三门峡水库又基本上处于敞泄状态, 又将上游输送过来的 DOC 直接输送到了下游.

在调水调沙期间, 花园口站和小浪底站的 DOC 输送量所占比例非常高, 分别占到全年 DOC 输送量的 13.8% 和 14.7%, 明显高于 6 月和 7 月之外的其他各个月的 DOC 输送量, 说明小浪底水库调水调沙对 DOC 输送的影响比较大; 而三门峡站在调水调沙期间的 DOC 输送量占全年 DOC 输送总量的比例非常低, 仅占 3.6%, 主要是因为三门峡水库参与调水调沙的时间比较短, 主要集中在 7 月 4 日至 8 日, 其泄水量远低于小浪底水库的泄水量.

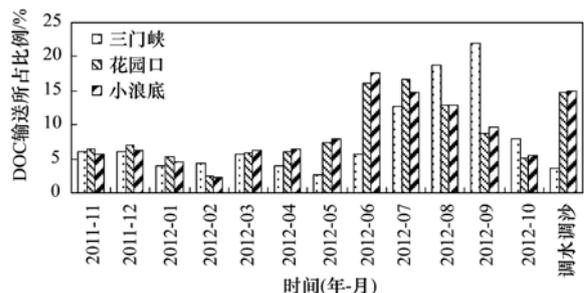


图 9 每月 DOC 输送量及调水调沙期间 DOC 输送量所占全年 DOC 输送量的比例

Fig. 9 Percentages of monthly DOC flux and DOC flux during the runoff-sediment control in the yearly DOC flux

### 3 结论

(1) 在水库正常调度期间, 三门峡站、小浪底站和花园口站的 DOC 含量均有明显的季节变化, 其中花园口站和小浪底站的 DOC 含量均表现为夏季偏高、冬季偏低, 而三门峡站冬季和夏季 DOC 含量均比春秋季节高; 在调水调沙期间, 水库排沙阶段的

DOC 含量明显高于水库泄水阶段的 DOC 含量. 无论是在水库正常调度期间还是在调水调沙期间, DOC 含量与流量和 TSS 含量均没有表现出显著的相关性.

(2) 小浪底水库的水沙调控改变 DOC 的输送过程, 8~10 月水库大量拦蓄上游输送过来的 DOC, 4~7 月尤其是 6~7 月又将前期拦蓄的 DOC 输送到下游.

(3) 三门峡站、小浪底站和花园口站的 DOC 年输送量分别为  $8.6 \times 10^{10}$ 、 $9.0 \times 10^{10}$  和  $9.7 \times 10^{10}$  g, 其中三门峡站的 DOC 输送主要集中在 7~9 月, 小浪底站和花园口站的 DOC 输送主要集中在 6~8 月; 调水调沙期间小浪底站和花园口站 DOC 输送量占全年 DOC 输送量的比例分别为 14.7% 和 13.8%, 表明小浪底水库人为水沙调控也改变了 DOC 的输送时间.

#### 参考文献:

- [1] Ludwig W, Probst J L. Predicting the oceanic input of organic carbon by continental erosion [J]. *Global Biogeochemical Cycle*, 1996, **10**(1): 23-41.
- [2] Meybeck M. Carbon, Nitrogen, and Phosphorus transport by world rivers [J]. *American Journal of Science*, 1982, **282**(4): 401-450.
- [3] 张永领. 河流有机碳的输送特征对区域气候的响应 [J]. *地球与环境*, 2008, **36**(4): 348-355.
- [4] Meyer J L, Tate C M. The effects of watershed disturbance on dissolved organic carbon dynamics of a stream [J]. *Ecology*, 1983, **64**(1): 33-44.
- [5] Moore T R. Dynamics of dissolved organic carbon in forested and disturbed catchments, Westland, New Zealand; 1. Maimai [J]. *Water Resource*, 1989, **25**(6): 1321-1330.
- [6] Kao S J, Liu K K. Fluxes of dissolved and nonfossil particulate organic carbon from an Oceania small river (Lanyang Hsi) in Taiwan [J]. *Biogeochemical*, 1997, **39**(3): 255-269.
- [7] Parks S J, Baker L A. Sources and transport of organic carbon in an Arizona river-reservoir system [J]. *Water Resource*, 1997, **31**(7): 1751-1759.
- [8] Royer T V, David M B. Export of dissolved organic carbon from agricultural streams in Illinois, USA [J]. *Aquatic Sciences*, 2005, **67**(4): 465-471.
- [9] 张连凯, 覃小群, 杨慧, 等. 珠江流域河流碳输出通量及变化特征 [J]. *环境科学*, 2013, **34**(8): 3025-3034.
- [10] 郭威, 李祥忠, 刘卫国. 西安周边河流溶解无机碳浓度及同位素组成初探 [J]. *环境科学*, 2013, **34**(4): 1291-1297.
- [11] 邵田田, 赵莹, 宋开山. 辽河下游 CDOM 吸收与荧光特性的季节变化研究 [J]. *环境科学*, 2014, **35**(10): 3755-3763.
- [12] 卢风云, 刘竹青, 季宏兵. 潮白河上游有机质的碳、氮稳定同位素分析及来源探讨 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2012, **42**(12): 1912-1922.
- [13] 梅航远, 汪福顺, 姚臣谏, 等. 万安水库春季二氧化碳分压的分布规律研究 [J]. *环境科学*, 2011, **32**(1): 58-63.
- [14] 彭希, 刘丛强, 王宝利, 等. 筑坝对喀斯特河流水体溶解性无机碳地球化学行为的影响 [J]. *科学通报*, 2014, **59**(4-5): 366-373.
- [15] 韩志伟, 刘丛强, 吴攀, 等. 大坝拦截对河流水溶解组分化学组成的影响分析——以夏季乌江渡水库为例 [J]. *长江流域资源与环境*, 2009, **18**(4): 361-367.
- [16] Kim B, Choi K, Kim C, *et al.* Effects of the summer monsoon on the distribution and loading of organic carbon in a deep reservoir, Lake Soyang, Korea [J]. *Water Resource*, 2000, **34**(14): 3495-3504.
- [17] 林晶, 吴莹, 张经, 等. 长江有机碳通量的季节变化及三峡工程对其影响 [J]. *中国环境科学*, 2007, **27**(2): 246-249.
- [18] 王敏, 张龙军, 桂祖胜. 长江干流有机碳的时空输运特征及三峡工程对其影响 [J]. *中国海洋大学学报*, 2011, **41**(1-2): 117-124.
- [19] 许斐, 杨守业, 展望, 等. 三峡水库建设对长江下游颗粒有机碳通量及碳同位素组成的影响 [J]. *地球化学*, 2011, **40**(2): 199-208.
- [20] Wang H J, Yang Z S, Saito Y, *et al.* Stepwise decreases of the Huanghe (Yellow River) sediment load (1950-2005): Impacts of climate change and human activities [J]. *Global and Planetary Changes*, 2007, **57**(3-4): 331-354.
- [21] Zhang S, Gan W B, Ittekkot V. Organic matter in large turbid rivers: the Huanghe and its estuary [J]. *Marine Chemistry*, 1992, **38**(1-2): 53-68.
- [22] Cauwet G, Mackenzie F T. Carbon inputs and distribution in estuaries of turbid rivers: the Yang Tze and Yellow rivers (China) [J]. *Marine Chemistry*, 1993, **43**(1-4): 235-246.
- [23] 刘冬梅, 张龙军. 黄河干流有机碳的时空分布特征 [J]. *中国海洋大学学报*, 2010, **40**(12): 105-110.
- [24] 张龙军, 张向上, 王晓亮, 等. 黄河口有机碳的时空输运特征及其影响因素分析 [J]. *水科学进展*, 2007, **18**(5): 674-682.
- [25] 张龙军, 徐雪梅, 何会军. 黄河不同粒径悬浮物中 POC 含量及输运特征研究 [J]. *环境科学*, 2009, **30**(2): 342-347.
- [26] Zhang L J, Cai W J, Liu D M, *et al.* Impact of human activities on organic carbon transport in the Yellow River [J]. *Biogeosciences*, 2013, **10**: 2513-2524.
- [27] Ran L S, Lu X X, Sun H G, *et al.* Spatial and seasonal variability of organic carbon transport in the Yellow River, China [J]. *Journal of Hydrology*, 2013, **498**: 76-88.
- [28] 王启栋, 宋金明, 李学刚. 黄河口湿地有机碳来源及其对碳埋藏提升策略的启示 [J]. *生态学报*, 2015, **35**(2): 1-14.
- [29] 宁有丰, 王琦, 曹苗苗, 等. 黄河悬浮物及底泥的有机碳同位素研究 [J]. *干旱区资源与环境*, 2014, **28**(3): 119-122.

## CONTENTS

Comparative Analysis and Inspiration of Air Quality Index Between China and America .....	GAO Qing-xian, LIU Jun-rong, LI Wen-tao, <i>et al.</i>	(1141)
Regional Source Apportionment of PM <sub>2.5</sub> in Beijing in January 2013 .....	LI Xuan, NIE Teng, QI Jun, <i>et al.</i>	(1148)
Formation Mechanism of a Serious Pollution Event in January 2013 in Beijing .....	CHENG Nian-liang, LI Yun-ting, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i>	(1154)
Soluble of Metals within TSP in Shanghai .....	CHANG Yan, FENG Chong, QU Jian-guo, <i>et al.</i>	(1164)
Analysis of Component Spectral Characteristics of PM <sub>10</sub> -Bound PAHs and the Influence of Weather Conditions During Spring in Xiamen .....	ZHANG Jian, FAN Shu-xian, SUN Yu, <i>et al.</i>	(1173)
Tracing Sources of Sulfate Aerosol in Nanjing Northern Suburb Using Sulfur and Oxygen Isotopes .....	WEI Ying, GUO Zhao-bing, GE Xin, <i>et al.</i>	(1182)
Analysis of an Air Pollution Process Using LiDAR in Nanjing, Spring of 2014 .....	BAO Qing, HE Jun-liang, ZHA Yong, <i>et al.</i>	(1187)
Characteristics of Water-soluble Inorganic Ions in PM <sub>2.5</sub> and PM <sub>2.5-10</sub> in Mountain Background Region of East China in Spring .....	SU Bin-bin, ZHANG Zhi-sheng, TAO Jun, <i>et al.</i>	(1195)
Emission of Particulate Matter, Organic and Elemental Carbon from Burning of Fallen Leaves .....	YANG Wei-zong, LIU Gang, LI Jiu-hai, <i>et al.</i>	(1202)
Emission Inventory of Crop Residues Field Burning and Its Temporal and Spatial Distribution in Sichuan Province .....	HE Min, WANG Xing-rui, HAN Li, <i>et al.</i>	(1208)
Marine Emission Inventory and Its Temporal and Spatial Characteristics in the City of Shenzhen .....	YANG Jing, YIN Pei-ling, YE Si-qi, <i>et al.</i>	(1217)
Characteristic of Ultrafine Particles Transferring Through Building Envelopes .....	SUN Zai, CHEN Qiu-fang, CAI Zhi-liang, <i>et al.</i>	(1227)
Airborne Fungal Aerosol Concentration and Distribution Characteristics in Air-Conditioned Wards .....	ZHANG Hua-ling, FENG He-hua, FANG Zi-liang, <i>et al.</i>	(1234)
Effect of Below-cloud Secondary Evaporation in Precipitations over the Loess Plateau Based on the Stable Isotopes of Hydrogen and Oxygen .....	JIN Xiao-gang, ZHANG Ming-jun, WANG Sheng-jie, <i>et al.</i>	(1241)
Effect of the Runoff-sediment Control of the Xiaolangdi Reservoir on DOC Transport .....	ZHANG Yong-ling, WANG Ming-shi, DONG Yu-long	(1249)
Effects of Long-term Implementation of the Flow-Sediment Regulation Scheme on Grain and Clay Compositions of Inshore Sediments in the Yellow River Estuary .....	WANG Miao-miao, SUN Zhi-gao, LU Xiao-ning, <i>et al.</i>	(1256)
Influences of Biological Processes on Geochemical Characteristics: An Example of a Mountain Karst Pool in Spring Season .....	YU Zheng-liang, YANG Ping-heng, ZHAO Rui-yi, <i>et al.</i>	(1263)
Variation Characteristics and Sources of Heavy Metals in an Urban Karst Groundwater System during Rainfall Event .....	REN Kun, YANG Ping-heng, JIANG Ze-li, <i>et al.</i>	(1270)
Risk Assessment of Trihalomethane Production Using the Beijiang River and the Pearl River, Guangzhou as Drinking Water Sources .....	ZHONG Hui-zhou, WEI Chao-hai	(1277)
Spatial Variability Characteristics of Water Quality and Its Driving Forces in Honghu Lake During High Water-level Period .....	LI Kun, WANG Ling, LI Zhao-hua, <i>et al.</i>	(1285)
Nutrient Exchange Between Meixi River and Yangtze River Due to the Typical Interaction Process of the Three Gorges Reservoir and Its Tributary .....	CAO Man, FU Jia-nan, ZHOU Zi-ran, <i>et al.</i>	(1293)
Effects of Nutrient Inputs on Changes of Phosphorus Forms and Phytoplankton Growth in Taihu Lake .....	WANG Rui-zhe, WANG Pei-fang, REN Ling-xiao, <i>et al.</i>	(1301)
Community Dynamics of Phytoplankton and Related Affecting Factors in a Eutrophicated Small Pond .....	YANG Wen, ZHU Jin-yong, ZHANG Ke-xin, <i>et al.</i>	(1309)
Yearly Changes of Phytoplankton Community in the Ecology-monitoring Area of Changli, Hebei in Summer .....	LIANG Xiao-lin, YANG Yang, WANG Yu-liang, <i>et al.</i>	(1317)
Improvement of River Water Quality by Aeration: WASP Model Study .....	ZHU Wen-bo, WANG Hong-xiu, LIU Cui, <i>et al.</i>	(1326)
Radiolytic Decomposition of Ciprofloxacin Hydrochloride in Aqueous Solution Using $\gamma$ Irradiation .....	ZHU Sheng-nan, GUO Zhao-bing, ZHAO Yong-fu, <i>et al.</i>	(1332)
Removal of Antimony in Wastewater by Electrochemical Hydride Generation and the Recovery of Antimony .....	CHEN Jing-jing, ZHANG Guo-ping, LI Hai-xia, <i>et al.</i>	(1338)
Degradation of <i>m</i> -Cresol with Fe-MCM-41 in Catalytic Ozonation .....	SUN Wen-jing, WANG Ya-min, WEI Huang-zhao, <i>et al.</i>	(1345)
Bioanode and Inversion of Bioanode to Biocathode for the Degradation of Antibiotic Chloramphenicol .....	KONG De-yong, LIANG Bin, YUN Hui, <i>et al.</i>	(1352)
Photolysis of Gaseous HNO <sub>3</sub> on the $\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Films Under 308 nm UV Light .....	LU Jun, SUN Yun-dong, XIE Jing-jing, <i>et al.</i>	(1359)
Simultaneous Determination of Hydroquinone and Catechol Based on L-Histidine-Erythrosine Composite Film Modified Glassy Carbon Electrode .....	HE Jia-hong, XU Qiang, DING Wu-quan, <i>et al.</i>	(1365)
Preparation and Characterization of Quinone Functional Polymer Biocarrier (PET-AQS) for Bionitrification Catalysis .....	XU Qing, HOU Zheng-hao, TIAN Xiu-lei, <i>et al.</i>	(1374)
Kinetic Characteristics of Degradation of Geosmin and 2-Methylisoborneol by <i>Bacillus subtilis</i> .....	MA Nian-nian, LUO Guo-zhi, TAN Hong-xin, <i>et al.</i>	(1379)
Screening of a Highly Efficient Quinoline-degrading Strain and Its Enhanced Biotreatment on Coking Waste Water .....	LI Jing, LI Wen-ying	(1385)
Effect of Ferric Iron on Nitrogen Immigration and Transformation and Nitrous Oxide Emission During Simultaneous Nitrification Denitrification Process .....	LI Hao, YAN Yu-jie, XIE Hui-jun, <i>et al.</i>	(1392)
Running Condition and Bacterial Community Associated with the Partial Nitritation System .....	ZHAO Zhi-rui, JIAO Hai-hua, CUI Bing-jian, <i>et al.</i>	(1399)
Using Excess Activated Sludge Treated 4-Chlorophenol Contained Waste Water to Cultivate <i>Chlorella vulgaris</i> .....	WANG Lu, CHEN Xiu-rong, YAN Long, <i>et al.</i>	(1406)
Effects of Total Nitrogen and BOD <sub>5</sub> /TN on Anaerobic Ammonium Oxidation-Denitrification Synergistic Interaction of Mature Landfill Leachate in Aged Refuse Bioreactor .....	YANG Ying-ying, CHEN Yi, LI Ming-jie, <i>et al.</i>	(1412)
Altitudinal Gradient Distribution and Source Analysis of PAHs Content of Topsoil in Jinfo Mountain, Chongqing .....	SHI Yang, SUN Yu-chuan, LIANG Zuo-bing, <i>et al.</i>	(1417)
Characteristics and Inputs of Cd Contamination in Paddy Soils in Typical Mining and Industrial Areas in Youxian County, Hunan Province .....	ZHANG Min, WANG Mei-e, CHEN Wei-ping, <i>et al.</i>	(1425)
Effects of Canalization on the Iron Deposition in Sanjiang Plain .....	SU Wen-hui, YU Xiao-fei, WANG Guo-ping, <i>et al.</i>	(1431)
Effects of Phosphate and Zeolite on the Transformation of Cd Speciation in Soil .....	WANG Xiu-li, LIANG Cheng-hua, MA Zi-hui, <i>et al.</i>	(1437)
Leaching Remediation of Copper and Lead Contaminated Lou Soil by Saponin Under Different Conditions .....	DENG Hong-xia, YANG Ya-li, LI Zhen, <i>et al.</i>	(1445)
Accumulation Characteristics and Evaluation of Heavy Metals in Soil-Crop System Affected by Wastewater Irrigation Around a Chemical Factory in Shenmu County .....	QI Yan-bing, CHU Wan-lin, PU Jie, <i>et al.</i>	(1453)
Effects of Organic and Inorganic Slow-Release Compound Fertilizer on Different Soils Microbial Community Structure .....	WANG Fei, YUAN Ting, GU Shou-kuan, <i>et al.</i>	(1461)
Response of Maize to Lead Stress and Relevant Chemical Forms of Lead .....	CHENG Hai-kuan, ZHANG Biao, JING Xin-xin, <i>et al.</i>	(1468)
Effect of Boron-antimony Interaction on the Uptake and Accumulation of Antimony and Boron by Rice Seedling .....	XIANG Meng, HUANG Yi-zong, CAI Li-qun, <i>et al.</i>	(1474)
Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth of Reeds in Wetland Soils with Different Salt Content .....	GUO Jiang-yuan, GUO Wei, BI Na, <i>et al.</i>	(1481)
A Contrastive Study on Salt-alkaline Resistance and Removal Efficiency of Nitrogen and Phosphorus by <i>Phragmites australis</i> and <i>Typha angustifolia</i> in Coastal Estuary Area .....	CHEN You-yuan, SUN Ping, CHEN Guang-lin, <i>et al.</i>	(1489)
Soil Microbial Respiration Under Different Soil Temperature Conditions and Its Relationship to Soil Dissolved Organic Carbon and Invertase .....	WU Jing, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua, <i>et al.</i>	(1497)
Comparison Analysis of Economic and Engineering Control of Industrial VOCs .....	WANG Yu-fei, LIU Chang-xin, CHENG Jie, <i>et al.</i>	(1507)

# 《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)

2015年4月15日 第36卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 4 Apr. 15, 2015

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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行