

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第8期

Vol.36 No.8

**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

基于16S rRNA 基因测序法分析北京霾污染过程中 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 细菌群落特征..... 王步英,郎继东,张丽娜,方剑火,曹晨,郝吉明,朱昕,田埂,蒋靖坤 (2727)

北京城区冬季降尘微量元素分布特征及来源分析 ..... 熊秋林,赵文吉,郭道宇,陈凡涛,束同同,郑晓霞,赵文慧 (2735)

北京市典型餐饮企业油烟中醛酮类化合物污染特征 ..... 程婧晨,崔彤,何万清,聂磊,王军玲,潘涛 (2743)

基于实际道路交通流信息的北京市机动车排放特征 ..... 樊守彬,田灵娣,张东旭,曲松 (2750)

夏季珠江三角洲地区 PM<sub>2.5</sub> 化学组分特征及其对大气能见度的影响 ..... 杨毅红,瞿群,刘随心,李雄,钟佩仪,陶俊 (2758)

隧道工人的 PM<sub>10</sub> 职业暴露特征调查分析及其健康风险评价 ..... 向华丽,杨俊,仇珍珍,雷万雄,曾婷婷,兰志财 (2768)

基于在线监测的江苏省大型固定燃煤源排放清单及其时空分布特征 ..... 张英杰,孔少飞,汤莉莉,赵天良,韩永翔,于红霞 (2775)

柴达木盆地东部降水氢氧同位素特征与水汽来源 ..... 朱建佳,陈辉,巩国丽 (2784)

长江口-浙闽沿岸沉积色素的分布特征及其指示意义 ..... 李栋,姚鹏,赵彬,王金鹏,潘慧慧 (2791)

“引江济太”过程中中江-望虞河-贡湖氮、磷输入特征研究 ..... 潘晓雪,马迎群,秦延文,邹华 (2800)

重庆市典型城镇区地表径流污染特征 ..... 王龙涛,段丙政,赵建伟,华玉妹,朱端卫 (2809)

调水调沙对黄河下游颗粒有机碳运输的影响 ..... 张婷婷,姚鹏,王金鹏,潘慧慧,高立蒙,赵彬,李栋 (2817)

青藏高原冰川区可溶性有机碳含量和来源研究 ..... 严芳萍,康世昌,陈鹏飞,柏建坤,李洋,胡召富,李潮流 (2827)

岩溶区地下水补给型水库表层无机碳时空变化特征及影响因素 ..... 李建涛,蒲俊兵,袁道先,刘文,肖琼,于爽,张陶,莫雪,孙平安,潘谋成 (2833)

室内模拟不同因子对岩溶作用与碳循环的影响 ..... 赵瑞一,吕现福,段逸凡 (2843)

新乡市地表水体 HCHs 和 DDTs 的分布特征及生态风险评价 ..... 冯精兰,余浩,刘书卉,刘梦琳,孙剑辉 (2849)

青木关地下河系统中不同含水介质下正构烷烃对比研究 ..... 梁作兵,孙玉川,王尊波,江泽利,廖昱,谢正兰,张媚 (2857)

三峡库区长寿湖水体不同形态汞的空间分布特征 ..... 白薇扬,张成,赵锋,唐振亚,王定勇 (2863)

燃煤电厂周围渔业养殖行为对水生生态环境中汞形态变化的影响 ..... 梁鹏,王远娜,尤琼智,高云飞,何杉杉 (2870)

运用硫同位素、氮氧同位素示踪里湖地下河硫酸盐、硝酸盐来源 ..... 李瑞,肖琼,刘文,郭芳,潘谋成,于爽 (2877)

藻华聚集的生态效应:对凤眼莲叶绿素和光合作用的影响 ..... 刘国锋,何俊,杨轶中,韩士群 (2887)

DOM 对被动采样技术的影响与应用 ..... 于尚云,周岩梅 (2895)

蛋白质对 PVDF 超滤膜污染行为的界面微观作用力解析 ..... 王旭东,周森,孟晓荣,王磊,黄丹曦,夏四清 (2900)

水环境中碳纳米管对沙丁胺醇光降解的影响 ..... 汪祺,韩佳芮,魏博凡,周磊,张亚,杨曦 (2906)

β-In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 的制备及其太阳光下降解土霉素 ..... 艾翠玲,周丹丹,张嵘嵘,邵享文,雷英杰 (2911)

排水管道沉淀物氮释放特性的研究 ..... 陈红,卓琼芳,许振成,王劲松,魏清伟 (2918)

生物膜 CANON 反应器中沉积物影响及其成因分析 ..... 付昆明,王会芳,左早荣,仇付国 (2926)

ABR-MBR 一体化工艺节能降耗措施优化研究 ..... 吴鹏,陆爽君,徐乐中,刘捷,沈耀良 (2934)

两个 CANON 污水处理系统中氨氧化古菌的丰度和多样性研究 ..... 高景峰,李婷,张树军,樊晓燕,潘凯玲,马谦,袁亚林 (2939)

ABR 耦合 CSTR 一体化工艺好氧颗粒污泥形成机制及其除污效能研究 ..... 巫恺澄,吴鹏,徐乐中,李月寒,沈耀良 (2947)

珠江三角洲地区土壤有机氯农药分布特征及风险评价 ..... 窦磊,杨国义 (2954)

广西都安县耕地土壤重金属污染风险评价 ..... 吴洋,杨军,周小勇,雷梅,高定,乔鹏炜,杜国栋 (2964)

开封市公园地表灰尘重金属污染及健康风险 ..... 段海静,蔡晓强,阮心玲,全致琦,马建华 (2972)

我国西南地区氮饱和和马尾松林土壤和植物<sup>15</sup>N自然丰度对长期氮施加的响应 ..... 刘文静,康荣华,张婷,朱婧,段雷 (2981)

黄土高原纬度梯度上的植物与土壤碳、氮、磷化学计量学特征 ..... 李婷,邓强,袁志友,焦峰 (2988)

开顶式气室原位研究水稻稻富集对大气汞浓度升高的响应 ..... 陈剑,王章玮,张晓山,秦普丰,陆海军 (2997)

接种丛枝菌根真菌对蜈蚣草吸收砷的影响 ..... 郑文君,王明元 (3004)

水稻种植对黑土微生物生物量和碳源代谢功能的影响 ..... 赵志瑞,崔丙健,侯彦林,刘上千,王岩 (3011)

固定化菌剂载体材料腐解产物对污染土壤中砷解吸的影响 ..... 全冬丽,双生晴,李晓军,邓万荣,赵然然,贾春云,巩宗强 (3018)

零价铁和碱激发矿渣稳定/固定化处理铬渣研究 ..... 陈忠林,李金春子,王斌远,樊磊涛,沈吉敏 (3026)

Fe<sup>3+</sup> 负载凹凸棒土 (Fe/ATP) 结构表征及其稳定化修复镉 (Cd) 机制研究 ..... 杨蓉,李鸿博,周永莉,陈静,王琳玲,陆晓华 (3032)

原位生物修复提高多环芳烃污染土壤农作安全性 ..... 焦海华,潘建刚,徐圣君,白志辉,王栋,黄占斌 (3038)

镉-八氯代二苯并呋喃复合污染土壤中紫茉莉对镉的修复能力 ..... 张杏丽,邹威,周启星 (3045)

不同水分条件对蜈蚣草修复砷污染土壤的影响 ..... 刘秋辛,阎秀兰,廖晓勇,林龙勇,杨静 (3056)

磷矿粉和腐熟水稻秸秆对土壤铅污染的钝化 ..... 汤帆,胡红青,苏小娟,付庆灵,朱俊 (3062)

洛克沙肿在青菜及土壤中的残留及降解特性 ..... 邵婷,姚春霞,沈源源,张玉洁,苏楠楠,周守标 (3068)

3 种典型有机污染物对 2 种水生生物的急性毒性及安全评价 ..... 杨扬,李雅洁,崔益斌,李梅 (3074)

石油污染物对海底微生物燃料电池性能的影响及加速降解效应 ..... 孟瑶,付玉彬,梁生康,陈伟,柳昭慧 (3080)

Cu-Mn-Ce/分子筛催化剂吸附甲苯后的微波原位再生及床层温度分布探究 ..... 虎雪姣,卜龙利,梁欣欣,孟海龙 (3086)

热处理对猪粪高固厌氧消化产甲烷能力的影响 ..... 胡玉瑛,吴静,王士峰,曹知平,王凯军,左剑恶 (3094)

磷石膏对麦田 CO<sub>2</sub> 排放和小麦产量的影响及其经济环境效益分析 ..... 李季,吴洪生,高志球,尚小厦,郑培慧,印进,Kakpa Didier,任迁琪, Ogou Katchele Faustin,陈素云,徐亚,姚童言,李炜,钱景珊,马世杰 (3099)

全氟和多氟烷基化合物的环境风险评估研究现状、不确定性与趋势分析 ..... 郝薛文,李力,王杰,曹燕,刘建国 (3106)

《环境科学》征订启事 (2757) 《环境科学》征稿简则 (2767) 信息 (2734,2783,3073,3079)

# “引江济太”过程中长江-望虞河-贡湖氮、磷输入特征研究

潘晓雪<sup>1</sup>, 马迎群<sup>2,3</sup>, 秦延文<sup>2,3</sup>, 邹华<sup>1\*</sup>

(1. 江南大学环境与土木工程学院, 无锡 214122; 2. 中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012; 3. 中国环境科学研究院环境保护河口与海岸带环境重点实验室, 北京 100012)

**摘要:** 为了解“引江济太”调水过程中长江、望虞河对贡湖营养盐输入特征, 于 2013 年 8 月和 2013 年 12 月引水期间对 20 个采样点各形态 N、P 质量浓度的沿程和时间变化以及百分含量占比进行研究。结果表明, 两个不同的引水期, 长江-望虞河-贡湖段水体各形态 N、P 沿程和时间变化均表现不一; 长江引水经望虞河入贡湖后, 水体  $\text{NO}_2^-$ -N、 $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{NH}_4^+$ -N 和 TN 质量浓度均较长江和望虞河段有不同程度的降低, 而贡湖段 DON 质量浓度显著高于长江和望虞河段, 但长江-望虞河段水体各形态 N 中  $\text{NO}_3^-$ -N 质量浓度最高。长江和望虞河 TP 质量浓度总体表现平稳, 而各形态 P 质量浓度在两个引水时期内有所变化。从时间变化来看, 2013 年 8 月水体的 DON 和 TP 质量浓度总体上高于 12 月; 而  $\text{NO}_3^-$ -N 和 DOP 质量浓度总体上低于 12 月。总体来说, 两个引水时期内,  $\text{NO}_3^-$ -N 和 TPP 是望虞河经长江引水的主要 N、P 形态; 而贡湖经望虞河水体输入的 N、P 主要形态分别为  $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{PO}_4^{3-}$ -P 和 TPP。

**关键词:** 引江济太; 长江; 望虞河; 贡湖; 营养盐

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)08-2800-09 DOI: 10.13227/j.hjks.2015.08.010

## Nutrients Input Characteristics of the Yangtze River and Wangyu River During the “Water Transfers on Lake Taihu from the Yangtze River”

PAN Xiao-xue<sup>1</sup>, MA Ying-qun<sup>2,3</sup>, QIN Yan-wen<sup>2,3</sup>, ZOU Hua<sup>1\*</sup>

(1. School of Environment and Civil Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. National Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 3. State Environmental Protection Key Laboratory of Estuarine and Coastal Environment, Water Research Institute, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

**Abstract:** Overall 20 surface water samples were collected from the Yangtze River, the Wangyu River and the Gonghu Bay (Lake Taihu) to clarify the pollution characteristics of nitrogen and phosphorus during 2 sample stages of “Water Transfers on Lake Taihu from the Yangtze River” in August and December of 2013 respectively. The results showed that the mass concentrations of  $\text{NO}_2^-$ -N,  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{NH}_4^+$ -N and TN in the Gonghu Bay were lower than those of the Yangtze River and Wangyu River during the 2 water transfer processes. However, there was higher level of DON content in the Gonghu Bay than that of the Yangtze River and Wangyu River. The percentages of various N species showed that  $\text{NO}_3^-$ -N was the major N species in the Yangtze River and Wangyu River during the 2 water transfer processes. TP contents in samples collected from the Yangtze River displayed a constant trend compared with the Wangyu River. However, the percentages of various P species were different with each other during the 2 water transfer processes. Mass concentrations of DON and TP in surface water in August were higher than those in December and the contents of  $\text{NO}_3^-$ -N and TDP were lower in August than those in December. In general,  $\text{NO}_3^-$ -N and TPP were the main N and P species in Wangyu River from the Yangtze River.  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P and TPP were the main N and P species in Gonghu Bay from Wangyu River during the 2 water transfer processes.

**Key words:** water transfers on Lake Taihu from the Yangtze River; the Yangtze River; Wangyu River; Gonghu Bay; nutrients

世界范围内, 跨区域性的调水工程被广泛应用于灌溉、防洪、供水以及发电等领域, 而大量的清水引入也被很多国家作为治理湖泊或水库富营养化的有效途径<sup>[1,2]</sup>。为保障望虞河两岸、江苏、上海等地区用水, 改善太湖水质, 2002 年起实施“引江济太”调水工程。“引江济太”工程是通过长江口常熟水利枢纽和太湖口望亭立交水利枢纽工程调度, 经

望虞河将长江水引入太湖, 并通过太浦河由太湖向上海等下游地区供水。配合流域内其它诸多水利工

收稿日期: 2014-12-09; 修订日期: 2015-03-25

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2012ZX07503-002)

作者简介: 潘晓雪(1991~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境化学, E-mail: panxiaoxue1208@163.com

\* 通讯联系人, E-mail: zouhua@jiangnan.edu.cn

程的优化调度,工程实施可缩短太湖换水周期,改善太湖水环境,优化水资源配置,缓解地区用水紧张状况,达到“以动治静、以清释污、以丰补枯、改善水质”的调水目标<sup>[3,4]</sup>。

有研究表明,长江望虞河口下游 15 km 处长江徐六泾断面的高锰酸盐指数、TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  浓度均低于太湖,虽然 TP 浓度略高于太湖 TP 平均值,但优于梅梁湾、竺山湖等一些湖湾<sup>[1,5]</sup>。在一定程度上,“引江济太”有利于改善太湖水质,减轻蓝藻水华<sup>[6~9]</sup>,但势必会引起长江水及其沿程河流的污染物汇入太湖<sup>[10,11]</sup>,曹卉等<sup>[12]</sup>对 2005~2009 年贡湖环湖带河网污染物负荷及输移规律进行研究,结果显示,与贡湖湾进行水体交换的河道主要为苏州河网和望虞河,望虞河总体流量表现为出湖略大于入湖,污染负荷总体表现为入湖,且平均入湖污染负荷量 COD 为  $416.42 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ ,TP 为  $29.84 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ ,TN 为  $598.32 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ , $\text{NH}_4^+\text{-N}$  为  $254.28 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ 。高怡等<sup>[13]</sup>研究认为“引江济太”将会引起太湖 TP 和 TN 的输入,且望虞河沿线支流的污染物输入也不可避免地影响太湖水质。张又等<sup>[14]</sup>通过建立马尔科夫模型分析了 2008 年“引江济太”调水对望虞河水质的影响,结果发现调水对望虞河水质整体上有明显的改善,但望虞河西岸的重度污染区阻碍了望虞河水水质改善的效果。随着“引江济太”工程的不断进行,目前针对“引江济太”期间长江、望虞河污染物输入情况的研究仍然比较欠缺,本研究即根据 2013 年“引江济太”工程不同时期长江、望虞河引水过程中的水体实测数据,重点探讨长江、望虞河对太湖贡湖的营养盐输入特征,旨在为贡湖供水安全以及太湖水环境的科学管理和治理工作提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样区域概况

贡湖位于太湖东北部,长约 19 km,宽 7~8 km,水域面积  $147 \text{ km}^2$ ,仅西南面开敞与大太湖水体相通。贡湖是“引江济太”的通道,也是金墅湾、南泉、锡东 3 处集中式饮用水水源地所在<sup>[1]</sup>。

望虞河位于太湖流域北部,河道底宽 80~90 m,河底高程 3.0 m,南起太湖边沙墩口,流向东北,在耿径口入长江,总长 60.8 km,入湖、入江口分别设有望亭水利枢纽和常熟水利枢纽,既是流域洪水外排长江的主要河道,又是目前唯一一条将长江水源直接引入太湖的通道,具有行洪、排涝、引水、航运等综合利用功能<sup>[15]</sup>。

### 1.2 采样点设置

在长江段、望虞河段和太湖贡湖段共计设置 20 个采样点,其中长江段(望虞河引水段)6 个,编号为 C1~C6;望虞河段 5 个,编号为 W7~W11(W8 采样点位于嘉陵荡上游、W9 采样点位于鹅真荡下游、W10 采样点位于漕湖下游、W11 采样点位于望虞河贡湖入口附近);贡湖段 9 个,编号为 G7~G15(G7 采样点位于锡东水厂取水口处,其与望虞河入湖口 W11 采样点较为接近,是受望虞河引水输入影响较显著的区域,G9 采样点位于南泉水厂取水口处,G15 采样点位于金墅湾水厂取水口处)(图 1)。分别于 2013 年 8 月和 2013 年 12 月“引江济太”期间两次采样,2013 年 8 月采样期间受持续性降雨和风浪较大等条件限制,本次未对长江段的 6 个采样点取样,W7 采样点位于长江和望虞河交汇处,用该点代表采样期间长江段的水质状况。

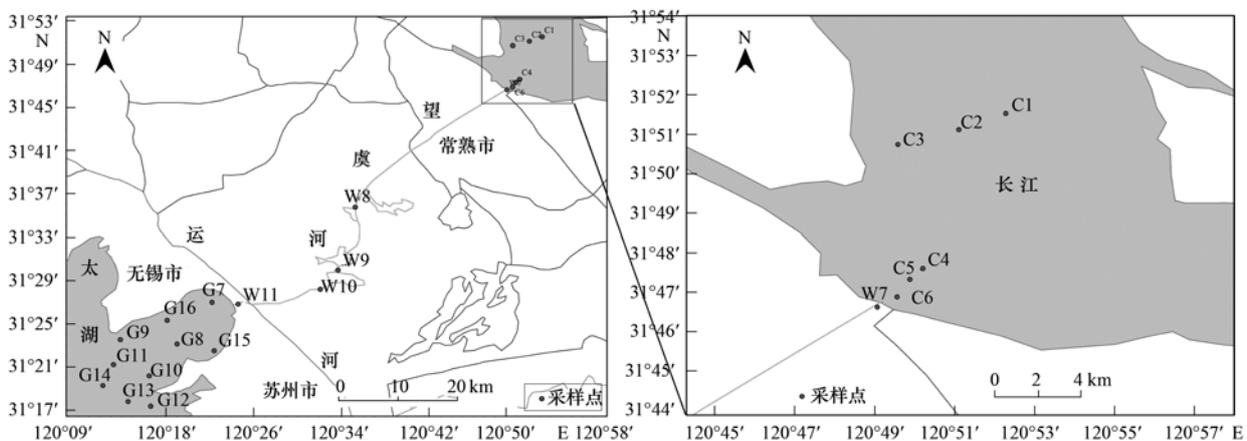


图 1 采样点分布示意

Fig. 1 Distribution diagram of sampling sites

### 1.3 样品采集和预处理

根据水质采样第四部分:湖泊和水库采样指导(GB/T 14581-93)的原则进行样品采集和预处理,现场采样时利用采水器采集表层水样,取 50 mL 经 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜过滤后加入 1~2 滴氯仿,于 50 mL 干净的塑料瓶中冷藏保存,用于测定水体中的  $\text{NO}_2^-$ -N、 $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{NH}_4^+$ -N、TDN、 $\text{PO}_4^{3-}$ -P 和 TDP 质量浓度. 其余水样则储于 500 mL 塑料瓶中冷藏保存,用于测定其中的 TN、TP 质量浓度.

### 1.4 分析方法

水体中  $\text{NO}_2^-$ -N、 $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{NH}_4^+$ -N、TDN、TN、

$\text{PO}_4^{3-}$ -P、TDP、TP 采用表 1 列出的方法进行测定<sup>[16~18]</sup>. 溶解态总有机氮(DON)质量浓度由溶解态总氮(TDN)质量浓度减去无机态总氮( $\text{NO}_2^-$ -N、 $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{NH}_4^+$ -N质量浓度之和)质量浓度;颗粒态总氮(TPN)质量浓度由水体总氮(TN)质量浓度减去溶解态总氮(TDN)质量浓度;溶解态总有机磷(DOP)质量浓度由溶解态总磷(TDP)质量浓度减去水体磷酸盐( $\text{PO}_4^{3-}$ -P)质量浓度;颗粒态总磷(TPP)质量浓度由总磷(TP)质量浓度减去溶解态总磷(TDP)质量浓度. 实验中测得的所有数据均以 N 或 P 来计.

表 1 化学分析方法

Table 1 Methods of chemical analysis

编号	实验内容	实验方法
1	现场监测水质参数	美国 YSI6600V2 型便携式多参数水质监测仪
2	$\text{NO}_2^-$ -N	萘乙二胺分光光度法
3	$\text{NO}_3^-$ -N	经镉柱还原法将水体 $\text{NO}_3^-$ -N还原为 $\text{NO}_2^-$ -N后,采用萘乙二胺分光光度法测定
4	$\text{NH}_4^+$ -N	水杨酸-次氯酸盐光度法
5	TDN	现场过滤后的水样经过 5% 的碱性过硫酸钾消解后,按照水体 $\text{NO}_3^-$ -N的测定方法测定
6	TN	原水样经过 5% 的碱性过硫酸钾消解后,按照水体 $\text{NO}_3^-$ -N的测定方法测定
7	$\text{PO}_4^{3-}$ -P	磷钼蓝分光光度法
8	TDP	现场过滤后的水样经过 5% 的碱性过硫酸钾消解后,按照水体 $\text{PO}_4^{3-}$ -P的测定方法测定
9	TP	原水样经过 5% 的碱性过硫酸钾消解后,按照水体 $\text{PO}_4^{3-}$ -P的测定方法测定

## 2 结果与分析

### 2.1 两个引水时期长江-望虞河-贡湖段各形态 N 质量浓度的变化特征

两个引水时期长江-望虞河-贡湖水体各形态 N 质量浓度如图 2 所示.

2013 年 8 月和 12 月长江-望虞河-贡湖水体中  $\text{NO}_2^-$ -N、 $\text{NO}_3^-$ -N 和 DON 质量浓度沿程变化显著,  $\text{NH}_4^+$ -N、TPN 和 TN 质量浓度沿程较平缓,呈波峰波谷交替出现的变化,  $\text{NO}_2^-$ -N 质量浓度沿程变化趋势:望虞河段 > 长江段 > 贡湖段,而  $\text{NO}_3^-$ -N 质量浓度沿程变化趋势:长江、望虞河段显著高于贡湖段, DON 质量浓度沿程变化趋势则与  $\text{NO}_3^-$ -N 相反. 从时间变化来看,2013 年 8 月水体的 DON 质量浓度总体上高于 12 月;而  $\text{NO}_3^-$ -N 则相反. 具体分析如下.

2013 年 8 月  $\text{NO}_2^-$ -N 质量浓度从望虞河长江引水处(W7)向下游逐渐增加,至贡湖 G7 采样点达到最高值,但贡湖其他采样点  $\text{NO}_2^-$ -N 质量浓度均低于检测限. 2013 年 12 月 W7 采样点  $\text{NO}_2^-$ -N 质量浓度为 0.005  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,与长江段  $\text{NO}_2^-$ -N 平均质量浓度(0.007  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )相差不大,之后逐渐增加,至 W11 采样点达到最高值 0.027  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,入贡湖后,

$\text{NO}_2^-$ -N 质量浓度迅速降低[图 2(a)].

2013 年 8 月望虞河长江引水处(W7)  $\text{NO}_3^-$ -N 质量浓度为 1.350  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,望虞河段(W8~W11)  $\text{NO}_3^-$ -N 质量浓度均高于望虞河长江引水处,贡湖段  $\text{NO}_3^-$ -N 质量浓度迅速降低,贡湖接近湖心部分的 G9~G14 采样点  $\text{NO}_3^-$ -N 质量浓度低于检测限. 2013 年 12 月长江段  $\text{NO}_3^-$ -N 平均质量浓度与望虞河段相差不大,且显著高于贡湖段,但贡湖 G7 采样点  $\text{NO}_3^-$ -N 质量浓度为 2.337  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,与望虞河段  $\text{NO}_3^-$ -N 质量浓度持平,受望虞河引水影响显著[图 2(b)].

两个采样周期内,  $\text{NH}_4^+$ -N 质量浓度高低起伏不一, 2013 年 8 月望虞河  $\text{NH}_4^+$ -N 质量浓度从 W7 采样点逐渐降低,至 W10、W11 低于检测限,贡湖除 G8、G9 和 G15 这 3 个采样点外,其余采样点  $\text{NH}_4^+$ -N 质量浓度也低于检测限. 与国家地表水环境质量标准(GB 3838-2002)相比,2013 年 12 月除长江段 C5 采样点为劣 V 类水质外,大部分采样点的  $\text{NH}_4^+$ -N 处于 II 或 III 类水质[图 2(c)].

2013 年 8 月望虞河长江引水处(W7) DON 质量浓度为 1.712  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,至 W8 采样点时迅速降低至低于检测限,之后又迅速升高至 W11 采样点 0.791  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,贡湖段 DON 质量浓度总体上高于望虞河

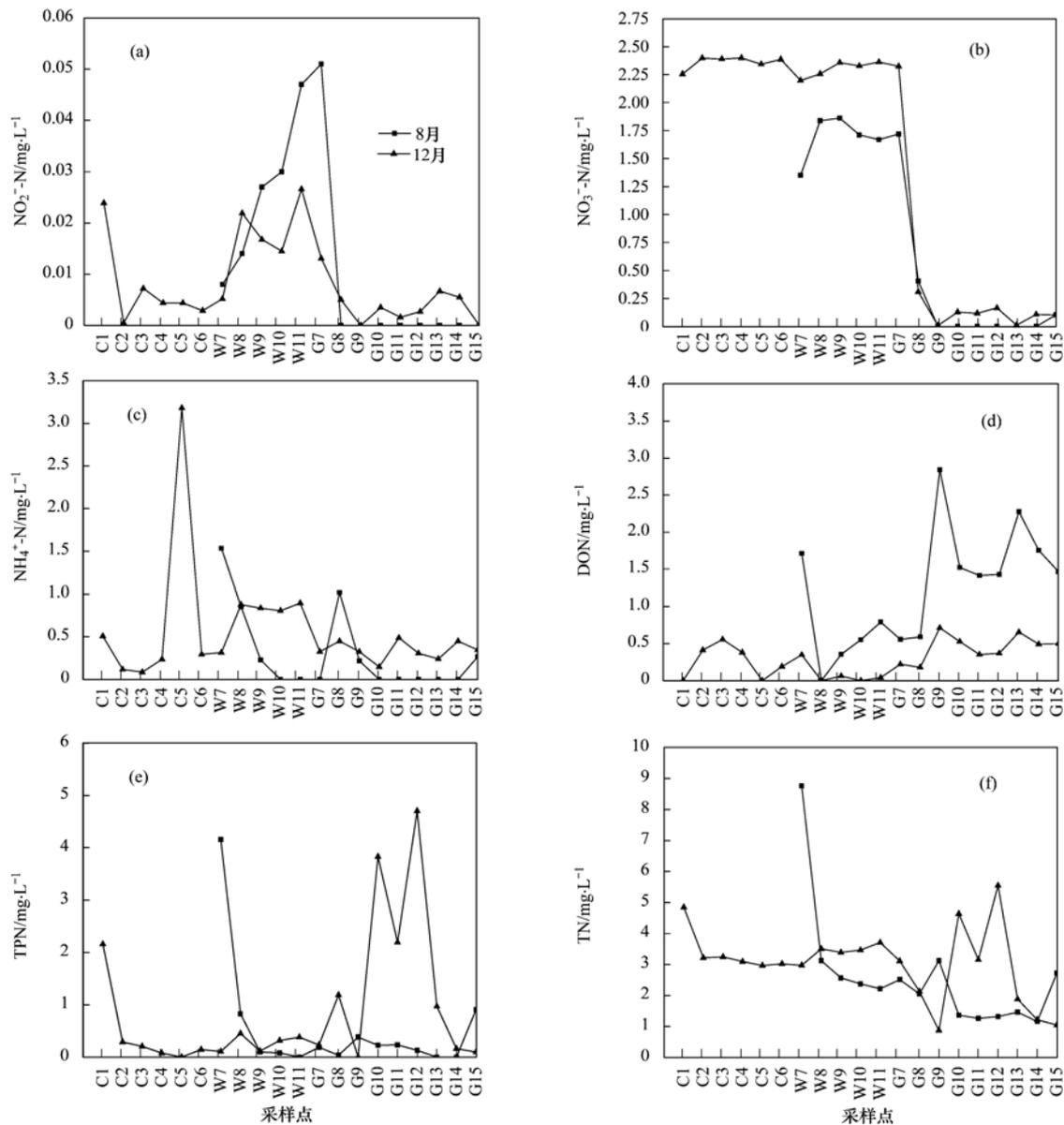


图2 不同引水时期长江-望虞河-贡湖水体 N 质量浓度变化特征

Fig. 2 Changes of various N mass concentrations within different water transfers

段,且 DON 的最高值出现在贡湖 G9 采样点. 2013 年 12 月长江、望虞河和贡湖段水体 DON 质量浓度的沿程变化与 8 月相似 [图 2(d)].

2013 年 8 月望虞河长江引水处(W7) TPN 质量浓度最高,为  $4.158 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,之后至 W11 采样点时 TPN 质量浓度已降至低于检测限,贡湖段 G13、G14 这 2 个采样点 TPN 质量浓度也低于检测限. 2013 年 12 月长江和望虞河段 TPN 质量浓度沿程变化较为平缓,质量浓度处于较低水平,而贡湖段则相反,各采样点 TPN 质量浓度变化幅度较大,平均质量浓度高于长江和望虞河段 [图 2(e)].

2013 年 8 月望虞河长江引水处(W7) TN 质量

浓度为  $8.762 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,至 W8 采样点时迅速降至  $3.124 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,之后至 W11 采样点进一步降至  $2.218 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,贡湖段 TN 质量浓度变化幅度较大. 2013 年 12 月长江和望虞河段水体 TN 质量浓度总体表现平稳,介于  $2.974 \sim 4.848 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  之间,平均质量浓度分别为  $3.398 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $3.407 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,贡湖段水体除 G7、G10 ~ G12 采样点 TN 质量浓度较高(介于  $3.110 \sim 5.547 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 外,其余各采样点均较望虞河段有所降低 [图 2(f)].

## 2.2 长江、望虞河各形态 N 对贡湖的输入特征

两个采样时期内,长江和望虞河段水体  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  是主要 N 形态. 2013 年 8 月望虞河长江引水处

(W7)  $\text{NO}_3^-$ -N 百分含量为 15.41%, 远远小于望虞河 W8 ~ W11 采样点  $\text{NO}_3^-$ -N 百分含量 (52.09% ~ 72.47%) (图 3、图 4), 而与此同时, W7 采样点 TPN 百分含量为 47.46%, 远高于 W8 ~ W11 采样点, 这说明在引水期间 TPN 为望虞河长江引水的主要 N 形态, 之后 TPN 百分含量降低, 反之  $\text{NO}_3^-$ -N 百分含量相对增加。另外, 8 月引水期间, 望虞河入湖口附近的 G7 采样点各形态 N 百分含量与 W11 采样点相似, 说明贡湖受望虞河引水输入的影响显著, 与长江、望虞河相比, 贡湖其他采样点  $\text{NO}_3^-$ -N 百分含量

迅速降低, G9 ~ G14 采样点甚至低于检测限, 与此相对应的是 DON 百分含量迅速增加。2013 年 12 月长江和望虞河段水体  $\text{NO}_3^-$ -N 平均百分含量分别为 65.58% 和 67.74%, 是该时期望虞河引水过程中水体 N 输入的主要形态, 与此同时, 贡湖  $\text{NO}_3^-$ -N 平均百分含量只有 12.03%, 远低于长江和望虞河水体, 而贡湖 G7 采样点  $\text{NO}_3^-$ -N 百分含量为 75.13%, 稍高于望虞河 W11 采样点 (64.43%), 说明贡湖水体  $\text{NO}_3^-$ -N 受望虞河输入影响显著, 需要注意的是, 贡湖其他采样点各形态 N 百分含量表现不一。

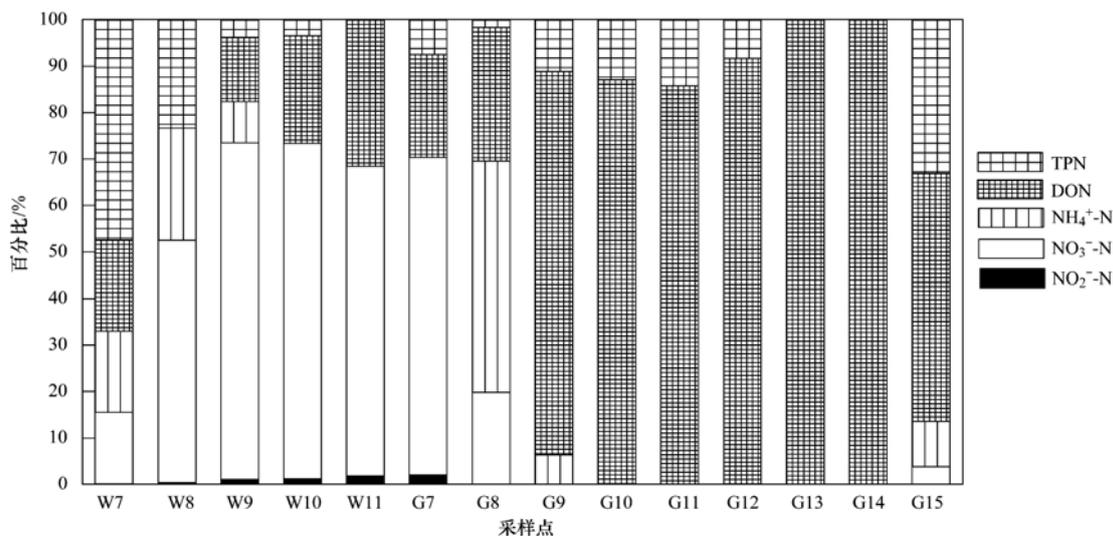


图 3 8 月各形态 N 占 TN 的百分比

Fig. 3 Percentage of various N species in August

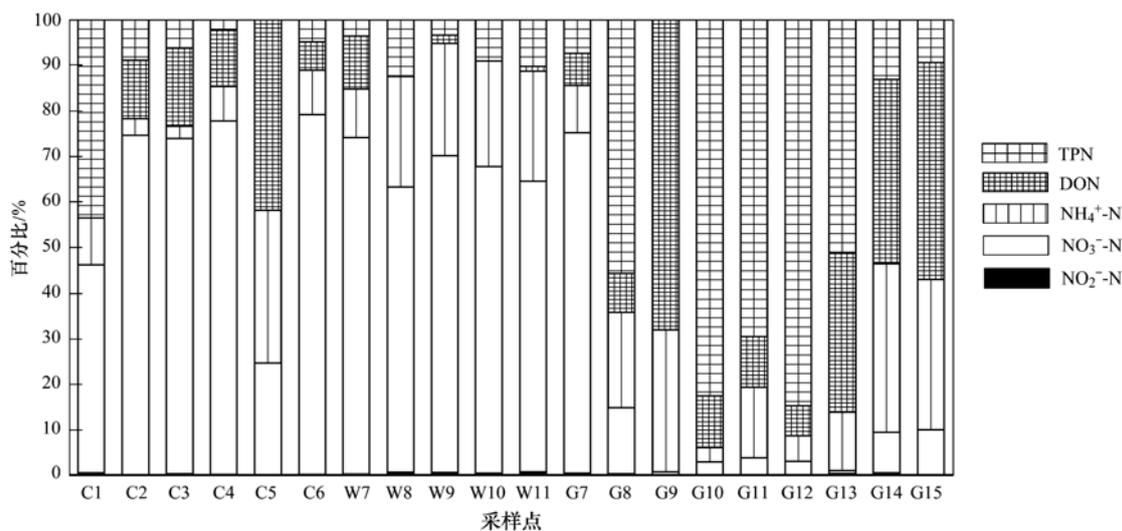


图 4 12 月各形态 N 占 TN 的百分比

Fig. 4 Percentage of various N species in December

### 2.3 两个引水时期长江-望虞河-贡湖段各形态 P 质量浓度的变化特征

两个引水时期, 长江-望虞河-贡湖水体各形态 P

质量浓度变化特征如图 5 所示。

2013 年 8 月和 12 月长江-望虞河-贡湖水体  $\text{PO}_4^{3-}$ -P 和 DOP 质量浓度呈现出波浪式交替变化的

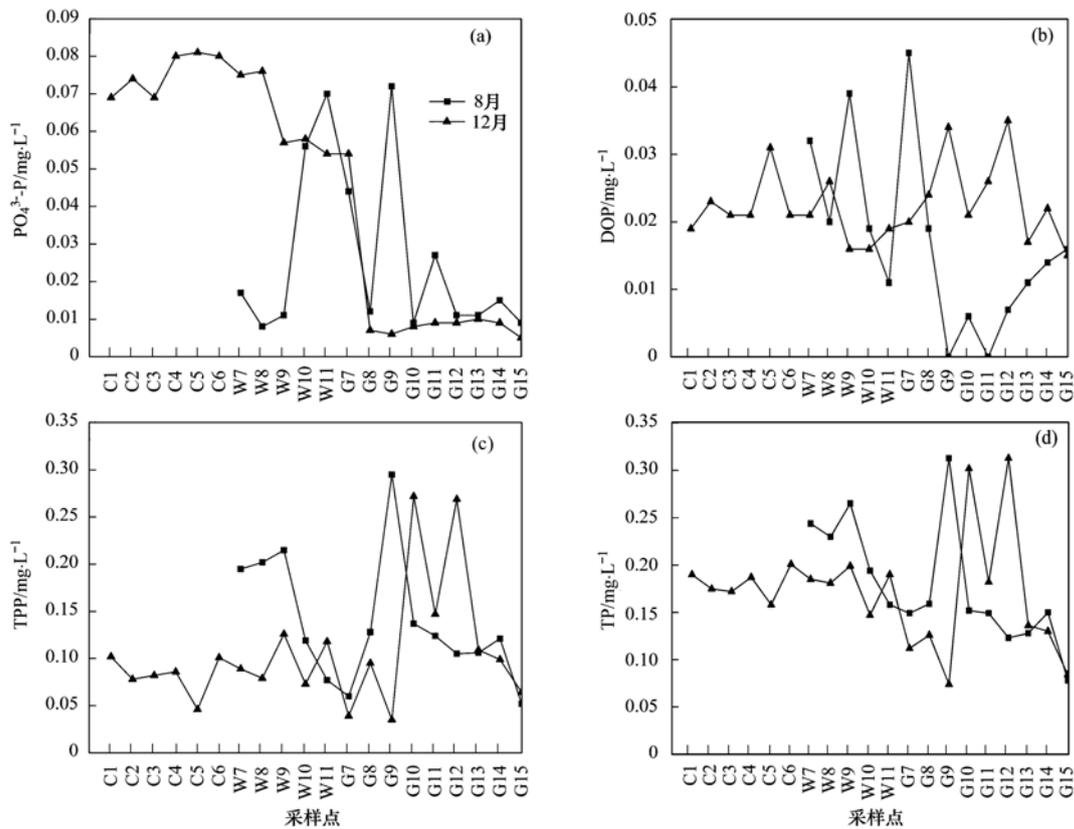


图5 不同引水时期长江-望虞河-贡湖水体P质量浓度变化特征

Fig. 5 Changes of various P mass concentrations within different water transfers

趋势,而 TPP 和 TP 质量浓度沿程趋势相似,即长江、望虞河段变化较平缓,贡湖段变化幅度较大.从时间变化来看,2013 年 8 月水体 TP 质量浓度总体上高于 12 月,而 DOP 则相反,具体分析如下.

2013 年 8 月望虞河-贡湖段水体  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  质量浓度在  $0.008 \sim 0.072 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  之间变化,望虞河段  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  平均质量浓度为  $0.032 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,贡湖段  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  平均质量浓度为  $0.023 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . 2013 年 12 月长江段  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  平均质量浓度为  $0.076 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,望虞河段  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  平均质量浓度为  $0.064 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,贡湖段  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  质量浓度最低,平均质量浓度仅为  $0.012 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,但贡湖 G7 采样点  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  质量浓度显著高于贡湖其他各采样点,为  $0.054 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,与望虞河段 W11 采样点  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  质量浓度 ( $0.054 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 持平,受引水输入影响显著[图 5(a)].

2013 年 8 月各采样点 DOP 质量浓度介于  $\text{nd} \sim 0.045 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  之间,望虞河长江引水处(W7) DOP 质量浓度为  $0.032 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,至 W11 采样点振荡降至  $0.011 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,贡湖段大部分采样点 DOP 质量浓度低于望虞河段,但 G7 采样点 DOP 质量浓度最高,为

$0.045 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,显著高于贡湖其他采样点. 2013 年 12 月长江、望虞河段和贡湖段 DOP 平均质量浓度相差不多,分别为  $0.023$ 、 $0.020$  和  $0.024 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  [图 5(b)].

2013 年 8 月望虞河段 TPP 质量浓度在 W7 ~ W9 区间逐渐增加,由  $0.195 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  增长至  $0.215 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,之后迅速降至 W10 采样点的  $0.119 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,至 W11 采样点又进一步降至  $0.077 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,贡湖段 G7 采样点 TPP 质量浓度稍低于 W11 采样点,而 G9 采样点 TPP 质量浓度最高,为  $0.295 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,可能与该处较强的藻类生长或沉积物再悬浮有关,除 G15 采样点 TPP 质量浓度较低外,贡湖其他采样点 TPP 质量浓度低于 G9 但高于 G7 采样点. 2013 年 12 月长江和望虞河段 TPP 质量浓度介于  $0.016 \sim 0.026 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  之间,贡湖段各采样点 TPP 质量浓度变化幅度较大,G7 和 G9 采样点质量浓度较低,分别为  $0.039 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $0.035 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,G10 ~ G12 采样点质量浓度较高,介于  $0.147 \sim 0.272 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  之间,从平均值来看,表现为:贡湖段 ( $0.119 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) > 望虞河段 ( $0.097$

$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) > 长江段 ( $0.082 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) [图 5(c)].

两个采样时期内长江-望虞河-贡湖段水体 TP 质量浓度与国家地表水环境质量标准 (GB3 838-2002) 相比, 长江和望虞河大部分采样点水质为 III 类, 由于评价标准值的不同, 贡湖段水体 TP 表现为 V 类或劣 V 类水质, 只有金墅湾水厂 (G15) 的水质达到 IV 类标准 [图 5(d)].

#### 2.4 长江、望虞河各形态 P 对贡湖的输入特征

从图 6 和 7 中可以看出, 2013 年 8 月长江、望虞河、贡湖水体 TPP 是主要 P 形态, 其百分含量介于 40.06% ~ 90.11% 之间, 另外, 贡湖 G7 采样点  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  百分含量有逐渐增加的趋势, 相反 TPP 百分含量逐渐降低, 尤其是望虞河下游段的 W10 和 W11

采样点  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  质量浓度显著高于 W7 ~ W9 采样点, 说明悬浮颗粒物沉降明显. 由 W11 采样点 P 形态组成可以看出, 望虞河入湖口处  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  和 TPP 百分含量分别为 44.30% 和 48.81%, 是贡湖 P 输入的主要形态. 2013 年 12 月长江、望虞河和贡湖段水体各形态 P 百分含量较 8 月有所变化, 其中长江、望虞河段以及贡湖 G7 采样点 TPP 仍占主要部分, 但百分含量较 8 月有所降低, 介于 29.00% ~ 63.24% 之间, 其次为  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ , 百分含量介于 28.38% ~ 51.39% 之间, DOP 百分含量较小. 两个采样时期贡湖段水体均以 TPP 为主, 百分含量介于 33.33% ~ 90.30% 之间, 其次为 DOP, 百分含量介于 6.98% ~ 62.51% 之间, 这可能与贡湖较旺盛的藻类生长有关.

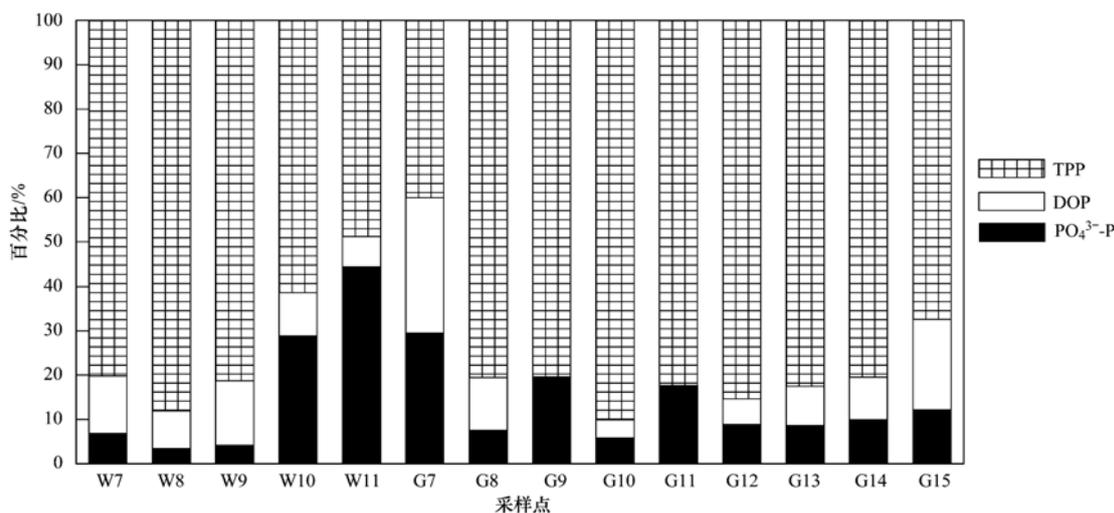


图 6 8 月各形态 P 占 TP 的百分比

Fig. 6 Percentage of P in various forms and TP in August

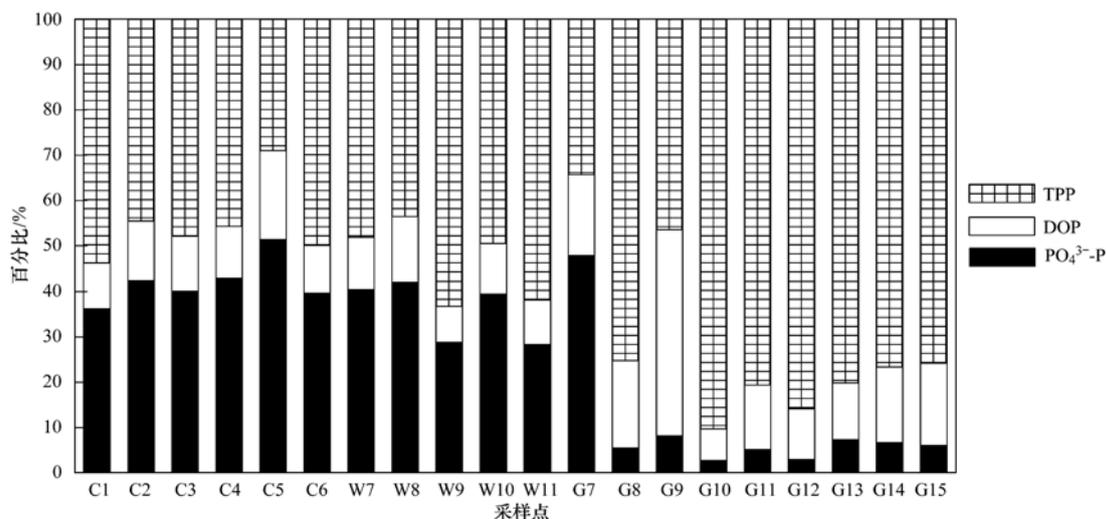


图 7 12 月各形态 P 占 TP 的百分比

Fig. 7 Percentage of P in various forms and TP in December

### 3 讨论

$\text{NO}_3^-$ -N 和 DON 质量浓度沿程和时间变化显著, 长江-望虞河段  $\text{NO}_3^-$ -N 质量浓度和百分含量显著高于贡湖段, 是长江引水和贡湖水体输入的主要 N 形态, 且长江-望虞河段 12 月样品中  $\text{NO}_3^-$ -N 质量浓度高于 8 月, 可能的原因是: 8 月水生生物生长较为旺盛, 消耗了水体中大量的溶解氧 (DO), 使得 8 月 DO 低于 12 月 (数据未给出), 而 12 月水体中较高的 DO 质量浓度使水体尤其是望虞河水体中部分  $\text{NO}_2^-$ -N 被氧化成  $\text{NO}_3^-$ -N, 从而造成 12 月水体  $\text{NO}_3^-$ -N 质量浓度较高, 这与 12 月望虞河水体中较低的  $\text{NO}_2^-$ -N 质量浓度相一致. DON 沿程和时间变化恰好与  $\text{NO}_3^-$ -N 相反, 水体中 DON 主要来源于农业用水排放、细菌代谢产生的可溶性微生物产物、藻类的代谢产物以及土壤中存在有机氮<sup>[19]</sup>, 望虞河 W7~W11 采样点途经嘉陵荡、鹅真荡和漕湖等几个大的湖荡区, 采样时期中各湖荡区中水生生物生长茂盛, 较强的生物活性造成望虞河水体中 DON 质量浓度的不断增加, 另外 8 月处于太湖蓝藻暴发的高发期<sup>[20]</sup>, 这可能造成贡湖水体中 DON 质量浓度高于长江和望虞河段, 而 12 月水体生物活性的降低, 造成此引水期各采样点 DON 质量浓度低于 8 月引水期.

$\text{NO}_2^-$ -N 和 TPN 质量浓度沿程变化较明显, 望虞河段  $\text{NO}_2^-$ -N 质量浓度明显高于长江和贡湖段, 据资料显示, 通过望虞河引入的长江水受望虞河西岸地区排水影响, 望虞河引江期间干流水质劣于出湖水质<sup>[11]</sup>. 8 月望虞河长江引水处 (W7) TPN 质量浓度最高, 之后望虞河途经嘉陵荡、鹅真荡和漕湖等几个重要的湖荡区后, 悬浮颗粒物逐渐沉降下来, 至 W11 采样点时 TPN 质量浓度已降至低于检测限, 而贡湖段除了 G13、G14 这 2 个采样点 TPN 质量浓度低于检测限外, 其余采样点 TPN 质量浓度均高于望虞河入湖断面 (W11), 这可能是由于引水引起底泥再悬浮后的吸附和解析<sup>[21~23]</sup>、入湖河网雨污水汇入<sup>[24]</sup> (一般来说, 太湖流域 5~10 月为汛期, 其余为非汛期, 汛期区域的降水频繁, 河网水量充沛<sup>[12]</sup>), 也可能是由于该采样时期贡湖水体中较强的藻类活性, 另外 8 月处于太湖蓝藻暴发的高发期<sup>[19]</sup> 等因素也可导致该时期 TPN 质量浓度较高.

各形态 P 质量浓度沿程和时间变化均不明显, 8 月引水期水体 TP 质量浓度总体上较 12 月引水期高, 可能的原因是: 8 月引水期处于汛期, 上游来水

携带了较多的悬浮颗粒物, 另外 8 月水体藻类生长也较旺盛, 生物体对 P 的吸附也可转化为 TPP, 而 8 月 DOP 质量浓度总体上小于 12 月. 就形态而言, TPP 是两个引水时期的主要 P 形态, 望虞河流经嘉陵荡、鹅真荡和漕湖等湖荡区, 流速的减缓造成水体悬浮颗粒物的沉降, TPP 和 TP 质量浓度下降,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P 质量浓度逐渐增加, 与沈爱春<sup>[25]</sup>、翟淑华等<sup>[26]</sup> 的研究结果一致, 即当具有一定流速的长江水进入望虞河后, 流速变小, 水流夹沙能力降低, 望虞河泥沙淤积的特点为从长江到贡湖沿程递减, 其中 TPP 随泥沙一起沉降, 并且贡湖水体的弱氧化还原电位 Eh 值有利于悬移质对 TP 产生吸附, 这时入贡湖的长江水中 TP 质量浓度主要取决于 TDP 质量浓度. 但研究区域较高的 TPP 质量浓度仍表示“引江济太”期间 TPP 是望虞河水体 P 输入的主要形态.

吕昌伟等<sup>[27]</sup> 研究了我国乌梁素海和岱海上覆水中 DOP 质量浓度分层特征, 本研究中各水体 DOP 质量浓度低于乌梁素海, 与岱海相差不大, 另外 8 月引水过程中, 受气候和温度等条件影响, 望虞河水体沿程分布着大量的湖荡区, 而 8 月也是太湖藻类生长旺盛时期, 湖荡区和太湖湖中大量浮游植物对 DOP 的吸收利用可能是导致贡湖水体中 DOP 质量浓度较低的原因, 而在 12 月引水期间, 气候变化导致长江和望虞河水体中藻类生长变少, 湖水对 DOP 的吸收能力降低, 水流作用导致长江-望虞河-贡湖水体中 DOP 质量浓度趋于一致.

### 4 结论

(1) 2013 年 8 月望虞河长江引水处 (W7)  $\text{NH}_4^+$ -N 为 V 类水质, 而至望虞河贡湖入湖口附近 W11 采样点处则降至低于检测限, 长江、望虞河和贡湖段 TN 为劣 V 类或 V 类水质, 与 12 月 (劣 V 类) 相差不大. 另外受贡湖藻类生长较旺盛等因素影响, 贡湖 DON 质量浓度较长江和望虞河高.

(2) 两个不同的引水期, 望虞河长江引水处 (W7) 水体 N 的输入形态发生了变化, 在 8 月引水期以 TPN 为主, 而在 12 月引水期则以  $\text{NO}_3^-$ -N 为主, 长江引水经望虞河长距离运输后, 所携带的悬浮颗粒物逐渐沉降, TPN 质量浓度降低,  $\text{NO}_3^-$ -N 成为两个引水期贡湖水体 N 输入的主要形态, 但贡湖水体各形态 N 百分含量却表现不一.

(3) 由于评价标准值的不同, 长江和望虞河大部分采样点 TP 表现为 III 或 IV 类水质, 而贡湖段则为 V 或劣 V 类水质, 只有金墅湾水厂 (G15) 的水质

达到Ⅳ类标准. 两个不同引水期内,望虞河段 W7 ~ W11 采样点的 TP 质量浓度均高于贡湖 G7 采样点, TPP 也表现出相似的变化规律.

(4) 2013 年 8 月望虞河长江引水处 (W7) 以 TPP 为主,是望虞河长江引水 P 输入的主要形态,之后 TPP 逐渐沉降,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P 百分含量逐渐增加, TPP 和  $\text{PO}_4^{3-}$ -P 成为贡湖 P 输入的主要形态. 2013 年 12 月长江段、望虞河段以及贡湖 G7 采样点以  $\text{PO}_4^{3-}$ -P 和 TPP 为主,是望虞河长江引水以及贡湖水体输入的主要 P 形态,而两个引水期间,贡湖段均以 TPP 为主,可能与贡湖较强的藻类生长有关.

(5) 从时间变化来看,2013 年 8 月水体的 DON 和 TP 质量浓度总体上高于 12 月,而  $\text{NO}_3^-$ -N 和 DOP 质量浓度总体上低于 12 月,其余 N、P 形态质量浓度高低变化不一.

#### 参考文献:

- [ 1 ] Hu L M, Hu W P, Zhai S H, *et al.* Effects on water quality following water transfer in Lake Taihu, China [J]. *Ecological Engineering*, 2010, **36**(4): 471-481.
- [ 2 ] Zhai S J, Hu W P, Zhu Z C. Ecological impacts of water transfers on Lake Taihu from the Yangtze River, China [J]. *Ecological Engineering*, 2010, **36**(4): 406-420.
- [ 3 ] 高怡, 毛新伟, 徐卫东. “引江济太”工程对太湖及周边地区的影响分析[J]. *水文*, 2006, **26**(1): 92-94.
- [ 4 ] Li Y P, Tang C Y, Wang C, *et al.* Assessing and modeling impacts of different inter-basin water transfer routes on Lake Taihu and the Yangtze River, China [J]. *Ecological Engineering*, 2013, **60**(11): 399-413.
- [ 5 ] 周小平, 翟淑华, 袁粒. 2007~2008 年引江济太调水对太湖水质改善效果分析[J]. *水资源保护*, 2010, **26**(1): 40-43, 48.
- [ 6 ] 路娜, 胡维平, 邓建才, 等. 引江济太对太湖水体碱性磷酸酶动力学参数的影响[J]. *水科学进展*, 2010, **21**(3): 413-420.
- [ 7 ] 贾锁宝, 尤迎华, 王嵘. 引江济太对不同水域氮磷浓度的影响[J]. *水资源保护*, 2008, **24**(3): 53-56.
- [ 8 ] Hu W P, Zhai S J, Zhu Z C, *et al.* Impacts of the Yangtze River water transfer on the restoration of Lake Taihu [J]. *Ecological Engineering*, 2008, **34**(1): 30-49.
- [ 9 ] 马倩, 田威, 吴朝明. 望虞河引长江水入太湖水体的总磷、总氮分析[J]. *湖泊科学*, 2014, **26**(2): 207-212.
- [ 10 ] Qin B Q, Zhu G W, Gao G, *et al.* A drinking water crisis in Lake Taihu, China: linkage to climatic variability and lake management [J]. *Environment Management*, 2010, **45**(1): 105-112.
- [ 11 ] Li Y P, Tang C Y, Wang C, *et al.* Improved Yangtze River diversions: Are they helping to solve algal bloom problems in Lake Taihu, China? [J]. *Ecological Engineering*, 2013, **51**: 104-116.
- [ 12 ] 曹卉, 朱雪诞, 李巍, 等. 贡湖环湖带河网污染物负荷及输移规律[J]. *安徽农业科学*, 2011, **39**(23): 14210-14212.
- [ 13 ] 高怡, 沈爱春, 徐兆安. 引江济太入湖水水质分析[A]. 见: 中国水利学会. 太湖高级论坛交流文集[C]. 无锡: 太湖流域管理局水文水资源监测局, 2004. 244-250.
- [ 14 ] 张又, 刘凌, 姚秀岚, 等. “引江济太”调水中望虞河水水质变化的规律[J]. *水资源保护*, 2013, **29**(2): 53-57.
- [ 15 ] 马倩, 刘俊杰, 闻亮. 望虞河对调水引流水质的影响分析[A]. 见: 中国水利学会水文专业委员会. 中国水文科技新发展——2012 中国水文学学术讨论会论文集[C]. 南京: 河海大学出版社, 2012. 909-913.
- [ 16 ] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版, 增补版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 271-283.
- [ 17 ] 韩超南. 大辽河河口区水体及悬浮颗粒物氮、磷的形态分布与变化特征研究[D]. 北京: 中国环境科学研究院, 2014. 14-15.
- [ 18 ] 单保庆, 菅宇翔, 唐文忠, 等. 北运河下游典型河网区水体中氮磷分布与富营养化评价[J]. *环境科学*, 2012, **33**(2): 352-358.
- [ 19 ] 李伟, 徐斌, 夏圣骥, 等. 饮用水中溶解性有机氮类化合物的控制研究进展[J]. *中国给水排水*, 2009, **25**(8): 22-26.
- [ 20 ] 张宁红, 黎刚, 郁建桥, 等. 太湖蓝藻水华暴发主要特征初析[J]. *中国环境监测*, 2009, **25**(1): 73-74.
- [ 21 ] 丁静. 太湖氮磷分布特征及其吸附/解吸特征研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2010. 44-46.
- [ 22 ] 王秋娟. 太湖北部三个湖区氮污染状况及其底泥疏浚量的确定[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2012. 16-30.
- [ 23 ] 姜霞, 王秋娟, 王书航, 等. 太湖沉积物氮磷吸附/解吸特征分析[J]. *环境科学*, 2011, **32**(5): 1285-1291.
- [ 24 ] 燕姝雯. 太湖流域出入湖河流水污染特征研究[D]. 北京: 中国环境科学研究院, 2011. 40-50.
- [ 25 ] 沈爱春. 望虞河引江对太湖的影响研究[J]. *水资源保护*, 2002, (1): 29-32, 38.
- [ 26 ] 翟淑华, 郭孟朴. 望虞河引水对太湖影响前景分析[J]. *水资源保护*, 1996, (4): 12-15.
- [ 27 ] 吕昌伟, 何江, 毛海芳, 等. 乌梁素海和岱海的水-沉积物系统中有机磷分布特征[J]. *农业环境科学学报*, 2010, **29**(3): 541-545.

## CONTENTS

Characterizing Beijing's Airborne Bacterial Communities in PM <sub>2.5</sub> and PM <sub>10</sub> Samples During Haze Pollution Episodes Using 16S rRNA Gene Analysis Method .....	WANG Bu-ying, LANG Ji-dong, ZHANG Li-na, <i>et al.</i> (2727)
Distribution Characteristics and Source Analysis of Dustfall Trace Elements During Winter in Beijing .....	XIONG Qiu-lin, ZHAO Wen-ji, GUO Xiao-yu, <i>et al.</i> (2735)
Pollution Characteristics of Aldehydes and Ketones Compounds in the Exhaust of Beijing Typical Restaurants .....	CHENG Jing-chen, CUI Tong, HE Wan-qing, <i>et al.</i> (2743)
Emission Characteristics of Vehicle Exhaust in Beijing Based on Actual Traffic Flow Information .....	FAN Shou-bin, TIAN Ling-di, ZHANG Dong-xu, <i>et al.</i> (2750)
Chemical Compositions in PM <sub>2.5</sub> and Its Impact on Visibility in Summer in Pearl River Delta, China .....	YANG Yi-hong, QU Qun, LIU Sui-xin, <i>et al.</i> (2758)
Health Risk Assessment of Tunnel Workers Based on the Investigation and Analysis of Occupational Exposure to PM <sub>10</sub> .....	XIANG Hua-li, YANG Jun, QIU Zhen-zhen, <i>et al.</i> (2768)
Analysis on Emission Inventory and Temporal-Spatial Characteristics of Pollutants from Key Coal-Fired Stationary Sources in Jiangsu Province by On-Line Monitoring Data .....	ZHANG Ying-jie, KONG Shao-fei, TANG Li-li, <i>et al.</i> (2775)
Hydrogen and Oxygen Isotopic Compositions of Precipitation and Its Water Vapor Sources in Eastern Qaidam Basin .....	ZHU Jian-jia, CHEN Hui, GONG Guo-li (2784)
Distribution Characteristics of Sedimentary Pigments in the Changjiang Estuary and Zhe-Min Coast and Its Implications .....	LI Dong, YAO Peng, ZHAO Bin, <i>et al.</i> (2791)
Nutrients Input Characteristics of the Yangtze River and Wanguyu River During the "Water Transfers on Lake Taihu from the Yangtze River" .....	PAN Xiao-xue, MA Ying-qun, QIN Yan-wen, <i>et al.</i> (2800)
Pollution Characteristics of Surface Runoff of Typical Town in Chongqing City .....	WANG Long-tao, DUAN Bing-zheng, ZHAO Jian-wei, <i>et al.</i> (2809)
Effect of Water and Sediment Regulation on the Transport of Particulate Organic Carbon in the Lower Yellow River .....	ZHANG Ting-ting, YAO Peng, WANG Jin-peng, <i>et al.</i> (2817)
Concentration and Source of Dissolved Organic Carbon in Snowpits of the Tibetan Plateau .....	YAN Fang-ping, KANG Shi-chang, CHEN Peng-fei, <i>et al.</i> (2827)
Variations of Inorganic Carbon and Its Impact Factors in Surface-Layer Waters in a Groundwater-Fed Reservoir in Karst Area, SW China .....	LI Jian-hong, PU Jun-bing, YUAN Dao-xian, <i>et al.</i> (2833)
Modeling the Influencing Factors of Karstification and Karst Carbon Cycle in Laboratory .....	ZHAO Rui-yi, LÜ Xian-fu, DUAN Yi-fan (2843)
Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of HCHs and DDTs in Surface Water Bodies in Xinxiang .....	FENG Jing-lan, YU Hao, LIU Shu-hui, <i>et al.</i> (2849)
Comparison Study of the Alkanes in Different Aquifer Medium Under Qingmuguan Underground System .....	LIANG Zuo-bing, SUN Yu-chuan, WANG Zun-bo, <i>et al.</i> (2857)
Spatial Distribution Characteristics of Different Species Mercury in Water Body of Changshou Lake in Three Gorges Reservoir Region .....	BAI Wei-yang, ZHANG Cheng, ZHAO Zheng, <i>et al.</i> (2863)
Influence of Marine Aquaculture Around Coal Power Plant on Mercury Species Change in Aquatic Ecological Environment .....	LIANG Peng, WANG Yuan-na, YOU Qiong-zhi, <i>et al.</i> (2870)
Using $\delta^{34}\text{S}\text{-SO}_4^{2-}$ and $\delta^{15}\text{N}\text{-NO}_3^-$ , $\delta^{18}\text{O}\text{-NO}_3^-$ to Trace the Sources of Sulfur and Nitrate in Lihu Lake Underground Water, Guangxi, China .....	LI Rui, XIAO Qiong, LIU Wen, <i>et al.</i> (2877)
Ecological Effects of Algae Blooms Cluster; The Impact on Chlorophyll and Photosynthesis of the Water Hyacinth .....	LIU Guo-feng, HE Jun, YANG Yi-zhong, <i>et al.</i> (2887)
Influence of Natural Dissolved Organic Matter on the Passive Sampling Technique and Its Application .....	YU Shang-yun, ZHOU Yan-mei (2895)
Adhesion Force Analysis of Protein Fouling of PVDF Ultrafiltration Membrane Using Atomic Force Microscope .....	WANG Xu-dong, ZHOU Miao, MENG Xiao-rong, <i>et al.</i> (2900)
Influence of CNTs on Photodegradation of Salbutamol in Water Environment .....	WANG Qi, HAN Jia-ru, WEI Bo-fan, <i>et al.</i> (2906)
Preparation of $\beta\text{-In}_2\text{S}_3$ and Catalytic Degradation of Oxytetracycline Under Solar Light Irradiation .....	AI Cui-ling, ZHOU Dan-dan, ZHANG Rong-rong, <i>et al.</i> (2911)
Nitrogen Release Performance of Sediments in Drainage Pipeline .....	CHEN Hong, ZHUO Qiong-fang, XU Zhen-cheng, <i>et al.</i> (2918)
Analysis of Precipitation Formation in Biofilm CANON Reactor and Its Effect on Nitrogen Removal .....	FU Kun-ming, WANG Hui-fang, ZUO Zao-rong, <i>et al.</i> (2926)
Optimization of Energy Saving Measures with ABR-MBR Integrated Process .....	WU Peng, LU Shuang-jun, XU Yue-zhong, <i>et al.</i> (2934)
Abundance and Community Composition of Ammonia-Oxidizing Archaea in Two Completely Autotrophic Nitrogen Removal over Nitrite Systems .....	GAO Jing-feng, LI Ting, ZHANG Shu-jun, <i>et al.</i> (2939)
Formation Mechanism of Aerobic Granular Sludge and Removal Efficiencies in Integrated ABR-CSTR Reactor .....	WU Kai-cheng, WU Peng, XU Yue-zhong, <i>et al.</i> (2947)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Surface Soil of Pearl River Delta Economic Zone .....	DOU Lei, YANG Guo-yi (2954)
Risk Assessment of Heavy Metal Contamination in Farmland Soil in Du'an Autonomous County of Guangxi Zhuang Autonomous Region, China .....	WU Yang, YANG Jun, ZHOU Xiao-yong, <i>et al.</i> (2964)
Assessment of Heavy Metal Pollution and Its Health Risk of Surface Dusts from Parks of Kaifeng, China .....	DUAN Hai-jing, CAI Xiao-qiang, RUAN Xin-ling, <i>et al.</i> (2972)
Responses of Soil and Plant $^{15}\text{N}$ Natural Abundance to Long-term N Addition in an N-Saturated <i>Pinus massoniana</i> Forest in Southwest China .....	LIU Wen-jing, KANG Rong-hua, ZHANG Ting, <i>et al.</i> (2981)
Latitudinal Changes in Plant Stoichiometric and Soil C, N, P Stoichiometry in Loess Plateau .....	LI Ting, DENG Qiang, YUAN Zhi-You, <i>et al.</i> (2988)
Open-top Chamber for <i>in situ</i> Research on Response of Mercury Enrichment in Rice to the Rising Gaseous Elemental Mercury in the Atmosphere .....	CHEN Jian, WANG Zhang-wei, ZHANG Xiao-shan, <i>et al.</i> (2997)
Influence of Uranium in <i>Pteris vittata</i> L. Inoculated by Arbuscular Mycorrhizal Fungus .....	ZHENG Wen-jun, WANG Ming-yuan (3004)
Impact on the Microbial Biomass and Metabolic Function of Carbon Source by Black Soil During Rice Cultivation .....	ZHAO Zhi-rui, CUI Bing-jian, HOU Yan-lin, <i>et al.</i> (3011)
Effect of Decomposing Products of Immobilized Carriers on Desorption of Pyrene in Contaminated Soil .....	TONG Dong-li, SHUANG Sheng-qing, LI Xiao-jun, <i>et al.</i> (3018)
Solidification/Stabilization of Chromite Ore Processing Residue (COPR) Using Zero-Valent Iron and Lime-Activated Ground Granulated Blast Furnace Slag .....	CHEN Zhong-lin, LI Jin-chunzi, WANG Bin-yuan, <i>et al.</i> (3026)
Stabilization of Cadmium Contaminated Soils by Ferric Ion Modified Attapulgite (Fe/ATP): Characterizations and Stabilization Mechanism .....	YANG Rong, LI Hong-bo, ZHOU Yong-li, <i>et al.</i> (3032)
Improving Agricultural Safety of Soils Contaminated with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by In Situ Bioremediation .....	JIAO Hai-hua, PAN Jian-gang, XU Sheng-jun, <i>et al.</i> (3038)
Competence of Cd Phytoremediation in Cd-OCDF Co-contaminated Soil Using <i>Mirabilis jalapa</i> L. ....	ZHANG Xing-li, ZOU Wei, ZHOU Qi-xing (3045)
Effects of Soil Moisture on Phytoremediation of As-Contaminated Soils Using As-Hyperaccumulator <i>Pteris vittata</i> L. ....	LIU Qiu-xin, YAN Xiu-lan, LIAO Xiao-yun, <i>et al.</i> (3056)
Effects of Phosphate Rock and Decomposed Rice Straw Application on Lead Immobilization in a Contaminated Soil .....	TANG Fan, HU Hong-qing, SU Xiao-juan, <i>et al.</i> (3062)
Residue and Degradation of Roxarsone in the System of Soil-Vegetable .....	SHAO Ting, YAO Chun-xia, SHEN Yuan-yuan, <i>et al.</i> (3068)
Acute Toxicity and Safety Assessment of Three Typical Organic Pollutants to Two Aquatic Organisms .....	YANG Yang, LI Ya-jie, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (3074)
Effects of Oil Pollutants on the Performance of Marine Benthonic Microbial Fuel Cells and Its Acceleration of Degradation .....	MENG Yao, FU Yu-bin, LIANG Sheng-kang, <i>et al.</i> (3080)
Microwave In-situ Regeneration of Cu-Mn-Ce/ZSM Catalyst Adsorbed Toluene and Distribution of Bed Temperature .....	HU Xue-jiao, BO Long-li, LIANG Xin-xin, <i>et al.</i> (3086)
Impact of Thermal Treatment on Biogas Production by Anaerobic Digestion of High-solid-content Swine Manure .....	HU Yu-ying, WU Jing, WANG Shi-feng, <i>et al.</i> (3094)
Impact of Phosphogypsum Wastes on the Wheat Growth and CO <sub>2</sub> Emissions and Evaluation of Economic-environmental Benefit .....	LI Ji, WU Hong-sheng, GAO Zhi-qiu, <i>et al.</i> (3099)
Status Quo, Uncertainties and Trends Analysis of Environmental Risk Assessment for PFASs .....	HAO Xue-wen, LI Li, WANG Jie, <i>et al.</i> (3106)

# 《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 刘 毅 汤鸿霄 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8月15日 第36卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 8 Aug. 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