

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第7期

Vol.35 No.7

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

区域污染对本底地区气溶胶光学特性及辐射强迫影响的地基和卫星遥感观测研究 张小玲,夏祥鳌,车慧正,汤洁,唐宜西,孟伟,董璠 (2439)

北京上甸子区域大气本底站甲基氯仿在线观测研究 姚波,周凌晔,刘钊,张根,夏玲君 (2449)

浙江临安大气本底站 CO 浓度及变化特征 方双喜,周凌晔,栾天,马千里,王红阳 (2454)

南京北郊夏季大气颗粒物中有机碳和元素碳的污染特征 段卿,安俊琳,王红磊,缪青 (2460)

西安冬季非灰霾天与灰霾天 PM_{2.5} 中水溶性有机氮污染特征比较 程玉婷,王格慧,孙涛,成春雷,孟静静,任艳芹,李建军 (2468)

沙尘天气对兰州市 PM₁₀ 中主要水溶性离子的影响 王芳,陈强,张文煜,郭勇涛,赵连彪 (2477)

上海大气降水中细菌气溶胶的多样性研究 梁宗敏,杜睿,杜鹏瑞,王亚玲,李梓铭 (2483)

重庆主城区降水中重金属的分布特征及其沉降量 彭玉龙,王永敏,覃蔡清,王定勇 (2490)

宁波人为源 VOC 清单及重点工业行业贡献分析 李璇,王雪松,刘中,吴梁,翁燕波,胡杰 (2497)

包装印刷行业挥发性有机物控制技术评估与筛选 王海林,王俊慧,祝春蕾,聂磊,郝郑平 (2503)

氨水混合吸收剂脱除 CO₂ 实验研究 夏芝香,项群扬,周旭萍,方梦祥 (2508)

焦炉烟气中二噁英类物质排放水平研究 孙鹏程,李晓璐,成钢,陆勇,吴昌敏,罗锦洪 (2515)

2012 年夏季长江口颗粒有机碳、氮分布特征及其来源 邢建伟,钱薇微,绳秀珍 (2520)

千岛湖水体悬浮颗粒物吸收特性及其典型季节差异 王明珠,张运林,施坤,高贇,刘刚,蒋浩 (2528)

千岛湖溶解氧的动态分布特征及其影响因素分析 殷燕,吴志旭,刘明亮,何剑波,虞左明 (2539)

太湖夏季水体中尿素的来源探析 韩晓霞,朱广伟,许海,Steven W. Wilhelm,秦伯强,李兆富 (2547)

鄱阳湖阻隔湖泊浮游植物群落结构演化特征:以军山湖为例 刘霞,钱奎梅,谭国良,邢久生,李梅,陈宇炜 (2557)

不同营养湖泊沉积物中²¹⁰Pb_{ex}和营养盐垂向分布特征及相关性分析 王小雷,杨浩,顾祝军,张明礼 (2565)

地下水硝酸盐污染抽出处理优化方法模拟研究 姜烈,何江涛,姜永海,刘菲 (2572)

预压力混凝沉淀除藻工艺中 DOC 变化规律研究 陈雯婧,丛海兵,徐亚军,王巍,蒋新跃,刘玉娇 (2579)

类水滑石 Mg/Zn/Al 焙烧产物对高氯酸盐的吸附 王红宇,刘艳 (2585)

粉煤灰对阴离子水溶性混合染料的吸附动力学 孙德帅,郑强强,张晓东,方龙 (2590)

SDS 对两性修饰膨润土吸附 Cd²⁺ 的影响 王建涛,孟昭福,杨亚提,杨淑英,李彬,马麟莉,许绍娥 (2596)

老化的生物质炭性质变化及对非吸附的影响 唐伟,郭悦,吴景贵,黄兆琴,代静玉 (2604)

TiO₂ 光催化降解 PFOA 的反应动力学及机制研究 李明洁,喻泽斌,陈颖,王莉,刘晴,刘钰鑫,何丽丽 (2612)

荧光猝灭法研究洛克沙肿与腐殖酸的相互作用 朱江鹏,梅婷,彭云,葛思怡,李时银,王国祥 (2620)

改性活性炭纤维电芬顿降解苯酚废水性能研究 马楠,田耀金,杨广平,谢鑫源 (2627)

催化铁强化低碳废水生物反硝化过程的探讨 王梦月,马鲁梅 (2633)

聚丁二酸丁二醇酯(PBS)为反硝化固体碳源的脱氮特性研究 刘佳,沈志强,周岳溪,曹蓉,李元志 (2639)

某造纸厂废水中二噁英含量及其电子束辐照降解 青亮,黄锦琼,余小巍,张素坤,杨艳艳,任明忠,温玉龙 (2645)

嘉兴市规模化养猪场沼液水质调查研究 卫丹,万梅,刘锐,王根荣,张讯达,文晓刚,赵远,陈吕军 (2650)

提高污泥碱性发酵挥发酸积累的新方法 李晓玲,彭永臻,柴同志,朱建平,王淑莹 (2658)

滴水湖及其水体交换区沉积物和土壤中 PAHs 的分布及生态风险评价 郭雪,毕春娟,陈振楼,王薛平 (2664)

舟山近海水体和沉积物中多环芳烃分布特征 江敏,Le Huy Tuan,梅卫平,阮慧慧,吴昊 (2672)

青藏高原湖泊流域土壤与牧草中多环芳烃和有机氯农药的污染特征与来源解析 谢婷,张淑娟,杨瑞强 (2680)

福建鹭峰山脉土壤有机氯农药分布特征及健康风险评估 黄焕芳,祁士华,瞿程凯,李绘,陈文文,张莉,胡婷,石燎 (2691)

不同功能区表层土壤中全氟化合物污染指纹及其来源解析 张鸿,赵亮,何龙,柴之芳,沈金灿,杨波 (2698)

桑沟湾溶解态无机砷的分布、季节变化及影响因素 李磊,任景玲,刘素美,蒋增杰,杜金洲,方建光 (2705)

引黄灌区不同尺度农田土壤重金属空间分布及污染评价:以银川市兴庆区为例 王幼奇,白一茹,王建宇 (2714)

三峡水库消落区土壤、植物汞释放及其在斑马鱼体的富集特征 李楚娴,孙荣国,王定勇,赵铮,张金洋,马明,张成 (2721)

广东典型海水养殖区沉积物及鱼体中磺胺类药物的残留及其对人体的健康风险评估 何秀婷,王奇,聂湘平,杨永涛,程章 (2728)

青岛市区大气降尘重金属对人体健康风险的评价 张春荣,吴正龙,姚春卉,高宗军 (2736)

焦炉排放多环芳烃与人体健康风险评估研究 伯鑫,王刚,温柔,赵春丽,吴铁,李时蓓 (2742)

Cd、Cu 和 Pb 复合污染对蚯蚓抗氧化酶活性的影响 王辉,谢鑫源 (2748)

3 种氯酚对嗜热四膜虫的毒性效应 李雅洁,崔益斌,蒋丽娟,窦静,李梅 (2755)

施硅方式对稻米镉阻隔潜力研究 陈喆,铁柏清,雷鸣,刘孝利,叶长城,罗梅梅,毛懿德 (2762)

保护性耕作对后茬冬小麦土壤 CO₂ 和 N₂O 排放的影响 潘莹,胡正华,吴杨周,孙银银,盛露,陈书涛,肖启涛 (2771)

渭北生草果园土壤有机碳矿化及其与土壤酶活性的关系 贾曼莉,郭宏,李会科 (2777)

蒸汽-空气混合注射修复 TCE 污染的二维土箱实验研究 王宁,彭胜,陈家军 (2785)

铜离子对双室微生物燃料电池电能输出的影响研究 牟姝君,李秀芬,任月萍,王新华 (2791)

连续流强制通风槽式污泥堆肥工艺的温室气体和氨气排放特征 赵晨阳,魏源送,葛振,钟佳,才兴,张媛丽,李洪枚 (2798)

冬季猪粪固体堆放过程中 NH₃、N₂O 和 NO 排放特征研究 丁钢强,韩圣慧,袁玉玲,罗琳,王立刚,李虎,李萍 (2807)

填埋场渗滤液腐殖酸随填埋龄的变化特性及模型研究 黄友福,许心雅,范良鑫,方艺民 (2816)

渗滤液反渗透浓缩液回灌出水水质变化规律的研究 王东梅,刘丹,刘庆梅,陶丽霞,刘颖 (2822)

中国铅流变化的定量分析 马兰,毛建素 (2829)

半短程亚硝化与厌氧氨氧化联合脱氮工艺微生物特征研究进展 赵志瑞,侯彦林 (2834)

《环境科学》征稿简则(2679) 《环境科学》征订启事(2735) 信息(2476,2556,2713,2770)

2012年夏季长江口颗粒有机碳、氮分布特征及其来源

邢建伟^{1,2}, 线薇薇^{1*}, 绳秀珍²

(1. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室, 青岛 266071; 2. 中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室, 青岛 266003)

摘要: 基于2012年8月对长江口及其邻近海区的调查资料, 分析了长江口夏季颗粒有机碳(particulate organic carbon, POC)、颗粒氮(particulate nitrogen, PN)的空间分布特征及其与环境因子的关系, 并结合C/N摩尔比和叶绿素a(chlorophyll a, Chl a)探讨了POC的主要来源及浮游植物的贡献。结果表明, 2012年夏季长江口POC的质量浓度范围在0.68~34.80 mg·L⁻¹之间, 均值为3.74 mg·L⁻¹; PN的质量浓度范围为0.03~9.13 mg·L⁻¹, 均值0.57 mg·L⁻¹, 二者浓度均表现为底层高于表层。POC和PN平面分布相似, 高值区均出现在口门附近和调查海区西南部, 并向外海浓度迅速降低, 整体呈现近岸高、远岸低的趋势, 与总悬浮物(total suspended matter, TSM)的平面分布规律基本相同; POC与PN间呈极显著正相关, 表明二者具有高度的同源性。POC、PN与TSM、化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)间均呈现极显著线性正相关, 而与盐度(salinity, S)和Chl a的相关关系较弱, 表明POC和PN的分布受陆源输入的影响较大, 浮游植物生产不是该水域颗粒有机碳、氮的主要来源。C/N摩尔比和POC/Chl a法分析表明夏季长江口POC主要为陆源, 有机碎屑是POC的主要存在形式。定量估算结果表明, 浮游植物生物量对夏季长江口表层POC的平均贡献率仅为2.54%, 非生命POC占绝对优势地位。

关键词: 颗粒有机碳; 颗粒氮; 分布特征; 影响因素; 来源; 夏季; 长江口

中图分类号: X145; X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)07-2520-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.07.013

Distribution and Source of Particulate Organic Carbon and Particulate Nitrogen in the Yangtze River Estuary in Summer 2012

XING Jian-wei^{1,2}, XIAN Wei-wei¹, SHENG Xiu-zhen²

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: Based on the data from the cruise carried out in August 2012 in the Yangtze River Estuary and its adjacent waters, spatial distributions of particulate organic carbon (POC), particulate nitrogen (PN) and their relationships with environmental factors were studied, and the source of POC and the contribution of phytoplankton to POC were analyzed combined with $n(C)/n(N)$ ratio and chlorophyll a (Chl a) in the Yangtze River Estuary in summer 2012. The results showed that the concentrations of POC in the Yangtze River Estuary ranged from 0.68 mg·L⁻¹ to 34.80 mg·L⁻¹ in summer and the average content was 3.74 mg·L⁻¹, and PN contents varied between 0.03 mg·L⁻¹ and 9.13 mg·L⁻¹ with an average value of 0.57 mg·L⁻¹. Both of them presented that the concentrations in bottom layers were higher than those in the surface. POC and PN as well as total suspended matter (TSM) showed a extremely similar horizontal distribution trend that the highest values appeared in the near of the mouth and southwest of the survey waters, and decreased rapidly as toward the open seas, both of them showed higher contents in coastal zones and lower in outer sea. There was a fairly good positive linear relationship between POC and PN, which indicated that they had the same source. POC and PN expressed significantly positive correlations with TSM and chemical oxygen demand (COD), but showed relatively weak correlations with salinity and chlorophyll a, which demonstrated that terrestrial inputs had a strong influence on the distribution of POC and PN, and phytoplankton production was not the major source of organic matters in the Yangtze River Estuary. Both the $n(C)/n(N)$ ratio and POC/Chl a analysis showed that the main source of POC was terrestrial inputs, and organic debris was the main existence form of POC. Quantitative analysis showed the biomass of phytoplankton only made an average of 2.54% contribution to POC in the Yangtze River Estuary in summer and non-living POC occupied the overwhelming advantage.

Key words: particulate organic carbon (POC); particulate nitrogen (PN); distribution; affecting factors; source; summer; the Yangtze River Estuary

海洋是全球最主要的碳库。目前, 包括全球海洋通量联合研究(JGOFS)、全球生态动力学(GLOBEC)、陆海相互作用(LOCIZ)以及上层海洋与底层大气研究计划(SOLAS)在内的国际重大研究计划均以海洋碳循环作为核心研究内容^[1]。氮是海洋中维持生物生命活动的重要生源要素, 是许多海

域初级生产力和碳输出的主要控制因子^[2]。海水中

收稿日期: 2013-11-01; 修订日期: 2013-12-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(41176138, 31272663); 国务院三峡工程建设委员会项目(JJ 2012-2013)

作者简介: 邢建伟(1988~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为海洋生物地球化学, E-mail: beyond0695@163.com

* 通讯联系人, E-mail: wwxxian@qdio.ac.cn

颗粒有机碳(POC)的生物地球化学行为是海洋碳循环研究的重要组成部分,近年来取得了重大研究进展^[3],而河口 POC 的研究则相对比较薄弱。

作为陆地和海洋两大碳库的交汇处,河口区 POC 的研究对于揭示 POC 在上述两大生态系统中的传输意义重大。长江口作为我国最大的河口,丰水多沙,长江冲淡水、台湾暖流、黄海水系和口外上升流在此交汇、混合^[4]。河水携带的颗粒态物质由于盐度、pH、氧化还原电位、离子强度等的迅速变化而在此絮凝、吸附、解吸、沉积甚至矿化,加之长江三角洲经济发达,人口稠密,受人文活动的强烈干扰,形成了独特而复杂的生物地球化学过程,因而长江口 POC 研究一直受到国内外的广泛关注^[5~9]。

对于河口 POC 研究,国外起步较早,在一些大型河口如亚马逊河口^[10]、密西西比河口^[11]以及莱茵河口、易北河口^[12]等已经开展了 POC 的分布、来源、输运特征及通量的研究。目前我国对河口 POC 的研究主要集中在黄河口^[8,13,14]、珠江口^[15~16]等,对长江口 POC 的分布、来源、入海通量也做了较多的研究,如谢肖勃等^[17]探讨了长江口及其邻近海区 POC 的分布及季节变化趋势;林晶等^[7,18]研究了长江口及其邻近海区 POC 的分布特征及控制因素,并通过径流月观测值估算了 2003 年至 2006 年长江的 POC 通量;李宁^[19]通过对 2003 年枯水期长江口的调查,系统研究了 POC 在长江纯淡水到海水这一混合区域的分布、来源特征及其与氮、磷的耦合关系。对颗粒氮(PN)的研究则多倾向于颗粒物沉降通量方面^[20]。以上研究均单独对 POC 或 PN 展开了分析,但是将 POC 和 PN 联系在一起探讨其分布和来源的研究还鲜见报道^[21]。本研究利用 2012 年夏季长江口的调查资料,综合分析了 POC 和 PN 的空间分布特征及其与环境因子的关系,并结合 C/N 摩尔比和叶绿素 a(Chl a)探讨了夏季长江口区 POC 的来源,量化浮游植物生物量对 POC 的贡献,研究结果将丰富该水域 POC 和 PN 数据资料库,为进一步揭示长江口颗粒有机质的生物地球化学循环过程提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 站位设置

于 2012 年 8 月 18~22 日对长江口及其邻近海区开展现场环境调查。调查范围在 30°45'~32°00'N,121°10'~123°20'E 之间,共 40 个站位(图 1)。由图 1 可以看出,调查站位从长江口南支起点

开始,沿南港、南槽直至口外海区布设,在口门附近和最大浑浊带分布区站位布设较为密集。

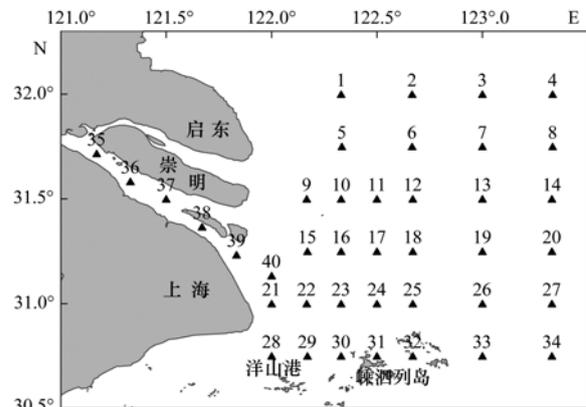


图 1 长江口研究区域及采样站位

Fig. 1 Study area and sampling stations in the Yangtze River Estuary

1.2 样品采集及测定方法

每个站位均利用 Niskin 采水器分别采集表(0~1 m)、底层(距海底 2 m)水样,立即用已经过 460°C 高温灼烧 6 h 的 Whatman GF/F 玻璃纤维膜(直径 25 mm,孔径为 0.7 μm)进行过滤(视水体浑浊程度过滤体积在 80~300 mL 之间),完毕后用少量去离子水对滤膜进行洗盐,并将滤膜用锡纸包好后置于 -20°C 冰箱保存,用于测定 POC、PN 和 Chl a。用 100 mL 聚乙烯瓶(预先经稀盐酸浸泡 72 h,去离子水冲洗 3 遍后烘干)装原始海水置于 -20°C 冰箱内保存,用于测定 COD。各测站同步利用 Sea-Bird-25 CTD 现场测定水温、盐度和深度。

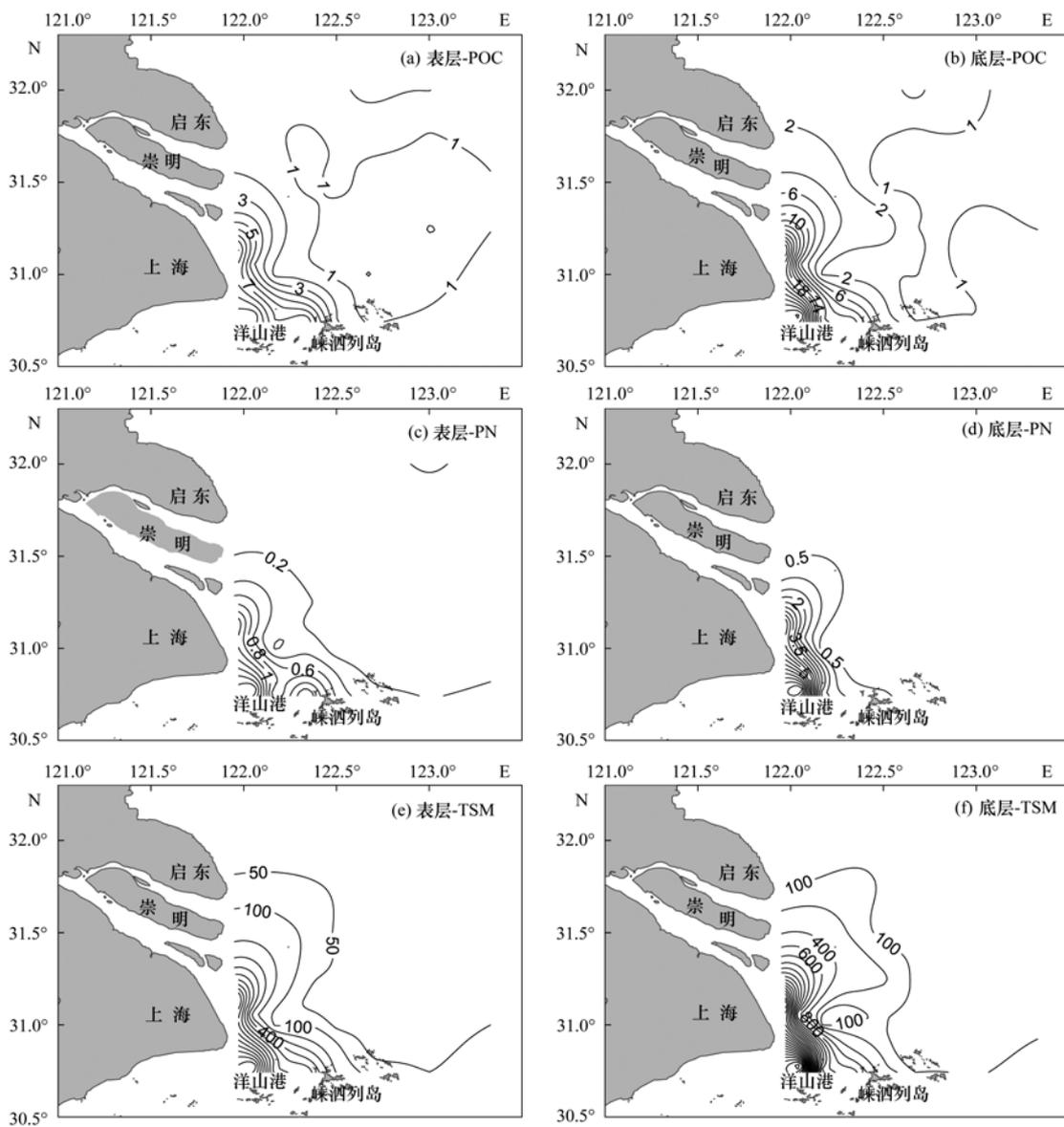
所得滤膜使用冷冻干燥机冷冻干燥 24 h 后称重,减去空白膜重量后得到总悬浮物(TSM)净重,除以过滤水体积后即得 TSM 的质量浓度。然后将滤膜置于密闭的干燥器中浓盐酸熏蒸 24 h 以除去样品中的无机碳,而后置于烘箱中 50°C 低温烘干。将处理好的膜样使用 Vario EL III 型元素分析仪(德国 Elementar 公司生产)同时测定 TSM 中碳的百分含量(POC%)和氮的百分含量(PN%)。每个样品均测定 2 个平行样取平均值,每 20 个样品运行一个标准样以检测仪器的稳定性,每 10 个样品做 1 次空白测试。平行样品测定相对误差 ≤ 0.1%。之后由公式 $\rho(\text{POC}) = \rho(\text{TSM}) \times \text{POC}\%$ 和 $\rho(\text{PN}) = \rho(\text{TSM}) \times \text{PN}\%$,分别计算出 POC 和 PN 的质量浓度。Chl a 样品的测定采用荧光法进行,COD 利用碱性高锰酸钾法测定。

2 结果与讨论

2.1 POC、PN 的质量浓度及空间分布特征

2012 年夏季调查区域整体 POC 的质量浓度范围是 $0.68 \sim 34.80 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 均值为 $3.74 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 其中表层 POC 的浓度范围为 $0.68 \sim 11.06 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 均值为 $2.52 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 由图 2 可以看出, 表层 POC 的分布整体呈现出近岸高、远岸低的趋势: 高值区集中在口门附近和近岸的西南部区域, 在洋山港和最大浑浊带附近出现最高值, 而后随着离岸距离的增加浓度迅速降低. POC 与 TSM 的分布趋势基本相同, 表明 POC 受陆源颗粒物输入的影响很大. POC

随 TSM 在近岸和最大浑浊带水域分布最高, 这是由于受径流和潮流的相互作用以及咸淡水混合等的影响, POC 在该水域发生了显著的沉积、降解^[22]和转化^[23]. 已有的研究表明, 最大浑浊带能够通过光照强度控制初级生产力, 以提高吸附在悬浮物上的细菌氧化有机物的能力, 从而有利于物质的吸附-解吸^[24]. 同时 POC 在最大浑浊带中较长的滞留时间也会增加释放溶解有机碳 (dissolved organic carbon, DOC) 的量, 即最大浑浊带可以过滤河口的 POC^[25]. 因此, 通过最大浑浊带以后, POC 的浓度迅速降低. 调查区域底层 POC 的浓度范围在 $0.73 \sim 34.80 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间, 均值为 $4.96 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 与表层相比, 底



POC、PN、TSM 单位: $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

图 2 2012 年夏季长江口 POC、PN 及 TSM 的平面分布

Fig. 2 Horizontal distributions of POC, PN and TSM in the Yangtze River Estuary in summer 2012

层 POC 的质量浓度显著增大,与金海燕等^[26]的研究结果相同。这可能是长江口水域水深较浅,且水动力条件复杂,加之风浪搅动的影响,底层沉积物再悬浮效应显著的缘故^[21,27]。同时,底层 POC 的分布趋势同表层基本相似,但高值区的范围有所扩大。

2012 年夏季调查区域整体 PN 的质量浓度范围为 0.03 ~ 9.13 mg·L⁻¹,均值为 0.57 mg·L⁻¹。其中表层 PN 的浓度范围为 0.04 ~ 2.22 mg·L⁻¹,均值为 0.35 mg·L⁻¹;底层 PN 浓度范围介于 0.03 ~ 9.13 mg·L⁻¹之间,均值为 0.80 mg·L⁻¹。与 POC 相似,底层 PN 的质量浓度也显著高于表层,这是受底层沉积有机物再悬浮的影响。由图 2 也可以看出,表、底层 PN 的分布趋势同 POC 极其相似:高值区均分布在口门附近和调查海区的西南部水域,最高值出现在洋山港和最大浑浊带水域,整体呈现近岸高、远岸低的趋势。对本航次获得的全部 POC 和 PN 数据进行相关性分析显示,表、底层 POC 与 PN 均呈现极显著正相关,相关系数分别达 0.938 ($P < 0.0001$)和 0.962 ($P < 0.0001$),表明 POC 和 PN 具有高度同源性。

表 1 列出了本次调查数据与以往研究结果及其它河口和海区的比较。可以看出,本研究数据与林晶等^[7]以及宋晓红等^[21]在长江口的研究结果非常接近,但显著高于林以安等^[5]1990 年的调查结果,这可能是近年来长江三角洲经济发展和人文活动活跃引起陆源有机污染物的排放增加引起的^[28]。与刘庆霞等^[16]在珠江口的调查结果相比,本研究数据相对偏高,这可能是由于长江口陆源输入较高的缘

表 1 不同海区 POC、PN 的质量浓度¹⁾

Table 1 Concentrations of POC and PN in different seas

区域	调查时期	POC/mg·L ⁻¹	PN/mg·L ⁻¹	文献
长江口	2012 夏	0.68 ~ 34.80 (均值:3.74)	0.03 ~ 9.13 (均值:0.57)	本研究
长江口	2005 夏	4.70	—	[7]
长江口	2004 秋	表:0.34 ~ 19.13 (均值:3.81) 底:1.09 ~ 36.19 (均值:9.09)	表:0.04 ~ 2.16 (均值:0.36) 底:0.11 ~ 2.76 (均值:0.87)	[21]
长江口外海区	1990 夏	表:1.12 (底:2.13)	表:0.20 (底:0.30)	[5]
珠江口	2010 夏	0.10 ~ 1.93 (均值:0.54)	—	[16]
渤海湾	2006 夏	0.16 ~ 1.36 (均值:0.43)	0.03 ~ 0.23 (均值:0.11)	[29]
黄东海	2006 夏	0.006 ~ 2.20 (均值:0.15)	—	[30]
东北太平洋	1995 ~ 1996	0.001 ~ 0.067	—	[31]

1)“—”表示文章中没有相关数据

故。综上所述,由于调查时期和调查海区的不同,本研究与其他学者在长江口区的研究结果存在一定差异,但基本都处在同一个数量级上,同时,本研究结果均显著高于渤海^[29]和黄、东海^[30]等陆架边缘海以及大洋中^[31]的水平,表明陆源输入对河口区有机物浓度影响较大。

2.2 POC、PN 和河口环境因子的关系

受河口咸淡水混合和人文活动的强烈干扰,以及夏季长江径流量增大和台湾暖流等海流增强的共同影响,长江口颗粒有机物的分布和迁移转化过程异常复杂。为此,本研究选取了盐度、TSM、COD 和 Chl a 这 4 个环境因子来探讨河口颗粒有机质与环境因子的关系,以期进一步阐明夏季长江口区颗粒有机物分布的影响因素。

关于河口 POC 与盐度的关系,已有多人进行了研究^[13,32,33]。张向上^[13]在实验室的模拟实验表明,随着盐度的增加,黄河口 POC 一直存在着向 DOC 的转化,只是转化的量是先减少后增加的。由图 3 (a)、3(b)可以看出,本研究中表层 POC 和 PN 均与盐度表现出不同程度的负相关,但相关系数均偏低。PN 较之 POC 离散性更为明显,表明长江口区 PN 比 POC 更不保守。由于河口自然条件异常复杂,陆源输入的颗粒有机物在河口水域特别是最大浑浊带附近发生一系列复杂的生物地球化学变化,包括 POC 的吸附-解吸、DOC 的絮凝作用以及 TSM 自身的絮凝沉降^[13]。因此,有机碳在河口水域是否保守取决于河口输运过程中一系列物理化学作用的剧烈程度^[25]。本研究表明,2012 年夏季长江口 POC、PN 与盐度间变化不保守,可能是水团混合引起的再悬浮作用或其他多种来源导致的颗粒有机物增量大于河口理论稀释引起的颗粒有机物减少量的缘故。此外,有研究发现,河流携带的悬浮物可以越过咸淡水界面继续向外海扩散一段距离^[33],这也是长江口 POC 行为不保守的一种原因。

TSM 是陆源输入的颗粒有机物的主要载体,因而研究 POC、PN 与 TSM 的关系也可以用于判定二者的来源。由图 3 (c)、3 (d)可以看出,表层 POC、PN 均与 TSM 呈现极显著线性正相关关系,相关系数分别达 0.958 和 0.950,这暗示出长江陆源颗粒物的输入是调查区域 POC、PN 的一个重要来源,同时也表明 TSM 是长江口区 POC、PN 分布的一个重要影响因子。

COD 是一种间接表征水体受有机物质污染程度的指标,COD 越大,表明水体受有机污染物的污

染程度越重^[34]. 由于 POC 也有一部分来源于河流沿岸居民的生活和工农业污水排放^[35], 因而研究 POC、PN 与 COD 的相关性具有很强的实际意义. 由图 3(e)、3(f)可以看出, 2012 年夏季长江口水域表层 POC、PN 均与 COD 之间存在极显著的线性正相关关系, 其中 POC 与 COD 的相关系数大于 PN. 这表明长江口 POC、PN 的分布与河口沿岸有机排污有密切关系, 人类生产生活导致的污水排放对长

江口 POC、PN 的分布具有重要影响.

水体中的叶绿素 a 浓度是浮游植物现存量的重要指标, 其分布反映出水体浮游植物的丰度及其变化规律^[36]. 对本航次获得的表层 POC、PN 数据同 Chl a 进行相关性分析, 所得结果如图 3(g)、3(h)所示. 可以看出 POC、PN 与 Chl a 并没有表现出显著的线性正相关关系 (相关系数分别为 0.254 和 0.250), 表明浮游植物生物量对长江口区颗粒有机

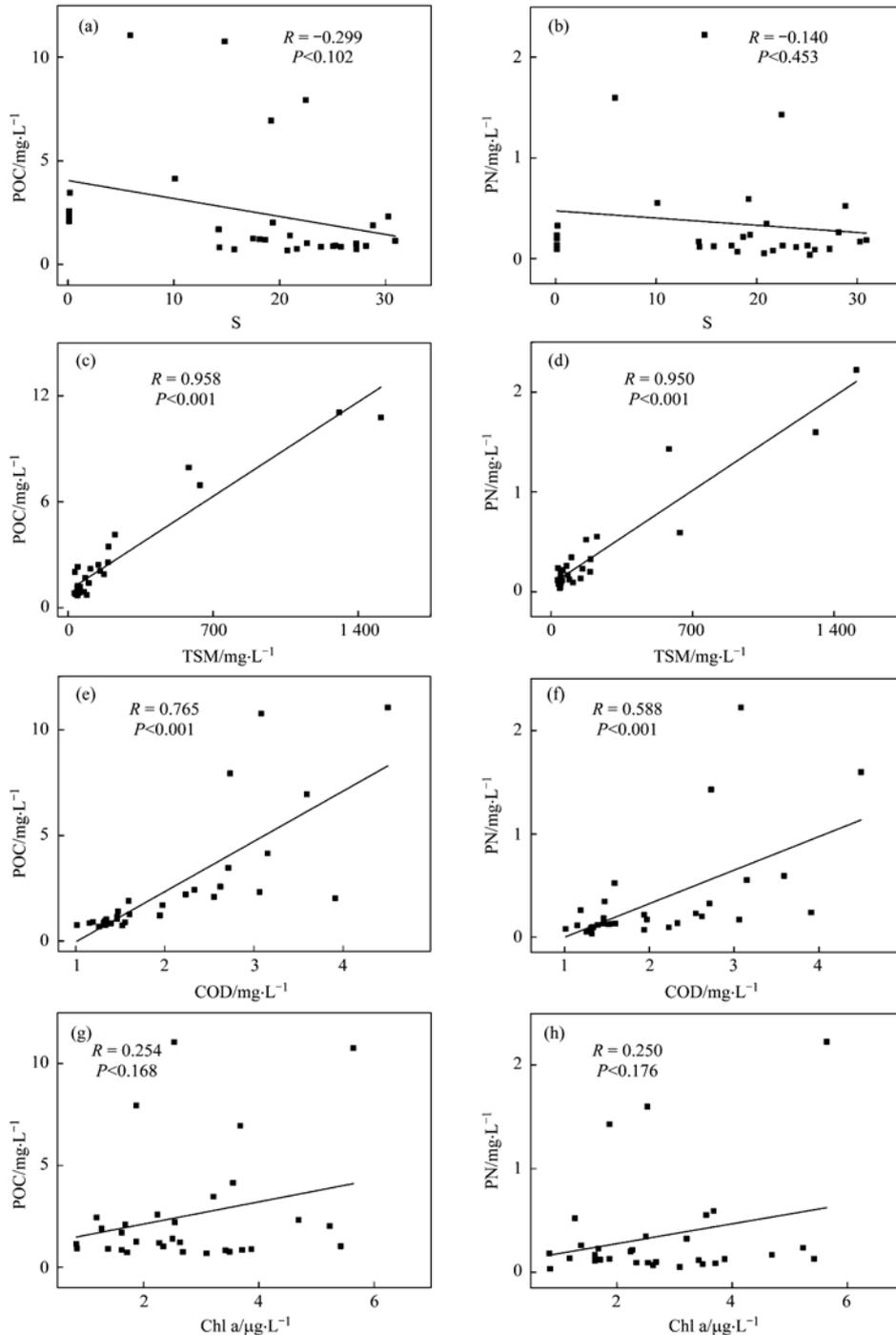


图 3 长江口表层 POC、PN 与盐度、TSM、COD 以及 Chl a 的相关关系

Fig. 3 Linear correlations of POC, PN with salinity, TSM, COD, chlorophyll a in the surface layer of the Yangtze River Estuary

物的影响不大. 这可能是由于调查季节正处于长江洪季, 丰沛的长江径流裹挟大量泥沙涌入河口区, 使得河口水域水质浑浊, 透明度极低. 尽管陆源输入的营养物质含量丰富, 但浮游植物也因光线不足引起光合作用能力急剧下降. 但毕竟夏季温度适宜, 浮游植物生产依然对颗粒有机物产生了一定的贡献, 因而 POC、PN 与 Chl a 呈现较弱的线性正相关关系.

2.3 POC 的物源分析及浮游植物生物量对其的贡献

目前定性鉴别河口区有机碳来源的方法主要为有机分子示踪法和稳定碳同位素法. 这两种方法由于各有一定的缺陷, 因而常常结合起来进行分析^[25]. 此外还有一些辅助性的方法如有机 C/N 比法和 POC/Chl a 法. 鉴于陆源输入的有机物的 C/N 比通常要高于海洋有机物的 C/N 比, 且 C/N 比值易于获得和分析, 故而该法常被用于定性鉴别有机碳的来源. Milliman 等^[9]在长江口附近海域的研究结果表明: 若悬浮颗粒物 C/N > 12, 则 POC 主要为陆源; C/N < 8 则主要为海洋自生. POC/Chl a 的比值可以表征非生命态 POC 对总 POC 的贡献,

POC/Chl a > 200 时, 表明以碎屑对 POC 的贡献为主; POC/Chl a 在 20 ~ 200 之间时说明有机质主要来源于浮游植物, 而同时 C/N < 8 时, 则更能说明这一点^[37]. 本研究综合运用 C/N 比和 POC/Chl a 方法探讨了夏季长江口区 POC 的来源, 并定量分析了浮游植物生物量对 POC 的贡献. 研究结果如下.

2012 年夏季长江口表层有机物 C/N 比值范围为 4.0 ~ 29.6, 均值为 11.4; 底层介于 4.5 ~ 32.4 之间, 均值 12.8. 表、底层 C/N 比均值都非常接近 12. 图 4 为表、底层 C/N 比值分布, 从中可以看出, 大部分水域 C/N 比值均在 10 以上, 尤其是底层, 3/4 以上面积的水域都在 12 以上, 表明长江口区大部分水域 POC 主要为陆源. 但是, 在调查海域的东北角却出现了 C/N 比值大于 20 的高值区. 在离岸较远的水域出现如此高的 C/N 比值尚需进一步的研究. POC/Chl a 数据分析显示, 表层比值范围在 191 ~ 4 371 之间, 均值为 1 025, 底层比值范围 518 ~ 12 255, 均值为 3 132, 均远远大于 200, 再次表明调查海区 POC 主要为陆源, 且 POC 主要以有机碎屑的形式存在.

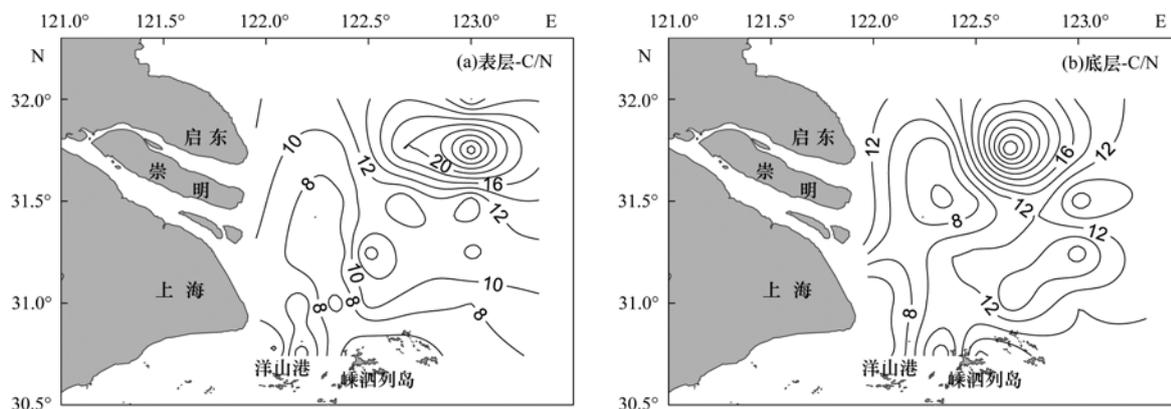


图 4 2012 年夏季长江口表、底层 C/N 比值分布

Fig. 4 Horizontal distribution of the C/N ratios in the surface and bottom layers of the Yangtze River Estuary in summer 2012

由上文可知, 夏季浮游植物也对长江口 POC 产生了一定的贡献, 因而定量估算浮游植物生物量对 POC 的贡献对于揭示该海域 POC 的生物地球化学过程具有重要意义. 1998 年夏季 Chang 等^[38]在东海的研究发现, 近海水体中浮游植物的生物量和 Chl a 含量的比值为 13. 本研究采用这个转化因子来估算浮游植物生物量对夏季长江口 POC 的贡献率. 计算公式如下:

$$\omega_{\text{浮游植物}} = \frac{\text{Chl a} \times f}{\text{POC} \times 1000} \times 100\%$$

式中, f 为转化因子, Chl a 的单位是 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, POC 的

单位是 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

估算结果表明, 2012 年夏季长江口表层浮游植物生物量对 POC 的贡献率介于 0.30% ~ 6.80% 之间, 平均贡献率为 2.54%; 底层浮游植物的贡献率在 0.11% ~ 2.51% 之间, 均值为 0.93%. 可以看出, 浮游植物生物量对表层 POC 的贡献率显著大于底层, 这与表层光照、营养物质以及溶氧充足, 有利于浮游植物的生长繁殖是分不开的^[16]. 但是总体来看浮游植物生物量对长江口 POC 的贡献率非常低, 这又再次印证了上文结论: POC 主要来源于陆源输入.

本文估算出的浮游植物生物量对 POC 的贡献率与林晶^[18]2006 年 8 月在长江口外海滨(122°E ~ 125°E, 28°N ~ 33°N) 的研究结果(平均贡献率 17.3%)相比显著偏低. 这可能是由于研究区域和站位设置的不同引起的. 本研究区域主要位于口门和最大浑浊带附近,水质极为浑浊,严重限制了浮游植物光合作用的进行,且站位设置密集;而林晶的研究范围较大,研究区域更偏向于东海中东部的广大海域,陆源输入的营养物质较为丰富,且水体透明度较高,浮游植物生长繁盛. 2010 年夏季刘庆霞等^[16]在珠江口的研究结果也表明,珠江口北部和中部海域的 POC 主要来源于陆源输入,而南部海域因水体透明度高,光照和温度适宜以及营养盐补充充足的缘故,浮游植物对 POC 的贡献率较高(平均贡献率为 68%). 综上,2012 年夏季长江口陆源 POC 的量远高于浮游植物贡献的 POC,非生命 POC 占有绝对优势.

3 结论

(1)2012 年夏季长江口水域 POC 的浓度范围在 0.68 ~ 34.80 mg·L⁻¹之间,均值为 3.74 mg·L⁻¹; PN 的变化范围为 0.03 ~ 9.13 mg·L⁻¹,均值 0.57 mg·L⁻¹;二者质量浓度均呈现表层低、底层高的特征.

(2)POC、PN 和 TSM 的平面分布特征极其相似,均呈现出近岸高、远岸低的分布趋势,表明长江口 POC、PN 的分布受陆源输入的影响很大,POC 与 PN 间极显著正相关关系表明二者具有高度同源性;与不同时期其他学者在长江口的研究结果处在同一个数量级上,但均显著高于渤海和黄、东海等陆架边缘海以及大洋中的水平.

(3)长江口夏季 POC 和 PN 变化不保守,二者的分布受陆源输入的颗粒物和人为污染物的影响极大,浮游植物现场生产不是该水域 POC、PN 的主要来源.

(4)C/N 摩尔比分析结果表明 2012 年夏季长江口 POC 主要来源于陆源输入;POC/Chl a 比值结果表明长江口 POC 主要以碎屑有机物的形式存在;定量估算结果表明浮游植物生物量对夏季长江口表层 POC 的平均贡献率仅为 2.54%,陆源 POC 的量远高于浮游植物贡献的 POC,非生命 POC 占绝对优势.

参考文献:

[1] 李宁,李学刚,宋金明. 海洋碳循环的关键生物地球化学过

程[J]. 海洋环境科学, 2005, 24(2): 75-80.

- [2] 张述伟,王江涛,李宁,等. 2010 年春季长江口邻近海区水体中溶解有机碳、氮的分布特征及其影响因素[J]. 海洋环境科学, 2013, 32(1): 33-38.
- [3] 张乃星,宋金明,贺志鹏. 海水颗粒有机碳(POC)变化的生物地球化学机制[J]. 生态学报, 2006, 26(7): 2328-2339.
- [4] 刘瑞玉,罗秉征. 三峡工程对长江口及邻近海域生态与环境的影响[J]. 海洋科学集刊, 1992, 33: 1-13.
- [5] 林以安,唐仁友,李炎. 长江口区 C、N、P 的生物地球化学变化对悬浮体凝聚沉降的影响[A]. 见:张经(主编). 中国主要河口的生物地球化学研究——化学物质的迁移与环境[M]. 北京:海洋出版社, 1996. 133-145.
- [6] Zhang J, Wu Y, Jennerjahn T C, *et al.* Distribution of organic matter in the Changjiang (Yangtze River) Estuary and their stable carbon and nitrogen isotopic ratios: Implications for source discrimination and sedimentary dynamics [J]. *Marine Chemistry*, 2007, 106(1-2): 111-126.
- [7] 林晶,吴莹,张经,等. 最大浑浊带对长江口有机碳分布的影响初探[J]. 海峡科学, 2009, (6): 150-152.
- [8] Cauwet G, Mackenzie F. Carbon inputs and distribution in estuaries of turbid rivers: the Yangtze and Yellow rivers (China) [J]. *Marine Chemistry*, 1993, 43(1-4): 235-246.
- [9] Milliman J D, Xie Q C, Yang Z S. Transfer of particulate organic carbon and nitrogen from the Yangtze River to the ocean [J]. *American Journal of Science*, 1984, 284(7): 824-834.
- [10] Cai D L, Tan F C, Edmond J M. Sources and transport of particulate organic carbon in the Amazon River and estuary [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1988, 26(1): 1-14.
- [11] Wang X C, Chen R F, Gardner G B. Sources and transport of dissolved and particulate organic carbon in the Mississippi River estuary and adjacent coastal waters of the northern Gulf of Mexico [J]. *Marine Chemistry*, 2004, 89(1-4): 241-256.
- [12] Abril G, Nogueira M, Etcheber H, *et al.* Behaviour of organic carbon in nine contrasting European estuaries [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2002, 54(2): 241-262.
- [13] 张向上. 黄河口有机碳的时空分布及影响因素研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2004. 19-20.
- [14] 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.
- [15] 蔡艳雅,韩舞鹰. 珠江口有机碳的研究[J]. 海洋环境科学, 1990, 9(2): 8-13.
- [16] 刘庆霞,黄小平,张霞,等. 2010 年夏季珠江口海域颗粒有机碳的分布特征及其来源[J]. 生态学报, 2012, 32(14): 4403-4412.
- [17] 谢肖勃,戴敏英,苗辉,等. 长江口区海水中溶解有机碳和颗粒有机碳的分布及变化的研究[J]. 海洋科学集刊, 1992, 33: 131-137.
- [18] 林晶. 长江口及其毗邻海区溶解有机碳和颗粒有机碳的分布[D]. 上海:华东师范大学, 2007. 30-47.
- [19] 李宁. 长江口与胶州湾海水有机碳的分布、来源及与氮、磷的耦合关系[D]. 青岛:中国科学院海洋研究所, 2006. 1-

- 85.
- [20] 张岩松, 章飞军, 郭学武, 等. 东海秋季典型站位沉降颗粒物通量[J]. 海洋与湖沼, 2006, **37**(1): 28-34.
- [21] 宋晓红, 石学法, 蔡德陵, 等. 三峡截流后长江口秋季 TSM、POC 和 PN 的分布特征[J]. 海洋科学进展, 2007, **25**(2): 168-177.
- [22] Tipping E, Marker A F H, Butterwick C, *et al.* Organic carbon in the Humber rivers [J]. *Science of the Total Environment*, 1997, **194-195**: 345-355.
- [23] 王江涛, 于志刚, 张经. 鸭绿江口溶解有机碳的研究[J]. 青岛海洋大学学报, 1998, **28**(3): 471-475.
- [24] Álvarez-Salgado X A, Miller A E J. Dissolved organic carbon in a large macrotidal estuary (the Humber, UK): behaviour during estuarine mixing [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1999, **37**(3-7): 216-224.
- [25] 张龙军, 官萍, 张向上. 河口有机碳研究综述[J]. 中国海洋大学学报, 2005, **35**(5): 737-744.
- [26] 金海燕, 林以安, 陈建芳, 等. 黄海、东海颗粒有机碳的分布特征及其影响因子分析[J]. 海洋学报, 2005, **27**(5): 46-53.
- [27] Hung J J, Lin P L, Liu K K. Dissolved and particulate organic carbon in the southern East China Sea [J]. *Continental Shelf Research*, 2000, **20**(4-5): 545-569.
- [28] 陈吉余, 陈沈良. 长江口生态环境变化及对河口治理的意见[J]. 水利水电技术, 2003, **34**(1): 19-25.
- [29] 胡利民, 邓声贵, 郭志刚, 等. 夏季渤海湾及邻近海域颗粒有机碳的分布与物源分析[J]. 环境科学, 2009, **30**(1): 39-46.
- [30] 吴家林, 石晓勇, 李克强, 等. 夏季黄东海颗粒有机碳的分布特征[J]. 中国海洋大学学报, 2012, **42**(增刊): 150-156.
- [31] Loh A N, Bauer J E. Distribution, partitioning and fluxes of dissolved and particulate organic C, N and P in the eastern North Pacific and Southern Oceans [J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2000, **47**(12): 2287-2316.
- [32] Becquevort S, Bouvier T, Lancelot C, *et al.* The seasonal modulation of organic matter utilization by bacteria in the Danube-Black Sea mixing zone [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2002, **54**(3): 337-354.
- [33] 李炎. 杭州湾锋面颗粒态化学物质的输移: 潮周期相应和过滤作用[A]. 见: 张经(主编). 中国主要河口的生物地球化学研究——化学物质的迁移与环境[M]. 北京: 海洋出版社, 1996. 78-91.
- [34] Kawabe M, Kawabe M. Factors determining chemical oxygen demand in Tokyo Bay [J]. *Journal of Oceanography*, 1997, **53**(5): 443-453.
- [35] Wei X G, Shen C D, Sun Y M, *et al.* Characteristic of the organic carbon-isotope composition and contribution of suspended matter in the Pearl River [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2003, **23**(4): 471-476.
- [36] 周伟华, 袁翔城, 霍文毅, 等. 长江口邻域叶绿素 a 和初级生产力的分布[J]. 海洋学报, 2004, **26**(3): 143-150.
- [37] Cifuentes L A, Sharp J H, Fogel M L. Stable carbon and nitrogen isotope biogeochemistry in the Delaware estuary [J]. *Limnology and Oceanography*, 1988, **33**(5): 1102-1115.
- [38] Chang J, Shiah F K, Gong G C, *et al.* Cross-shelf variation in carbon-to-chlorophyll a ratios in the East China Sea, summer 1998 [J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2003, **50**(6): 1237-1247.

CONTENTS

Observation Study on Aerosol Optical Properties and Radiative Forcing Using the Ground-based and Satellite Remote Sensing at Background Station During the Regional Pollution Episodes	ZHANG Xiao-ling, XIA Xiang-ao, CHE Hui-zheng, <i>et al.</i>	(2439)
<i>In-situ</i> Measurement of Atmospheric Methyl Chloroform at the Shangdianzi GAW Regional Background Station	YAO Bo, ZHOU Ling-xi, LIU Zhao, <i>et al.</i>	(2449)
Distribution of CO at Lin'an Station in Zhejiang Province	FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, LUAN Tian, <i>et al.</i>	(2454)
Pollution Characteristics of Organic and Elemental Carbon in Atmospheric Particles in Nanjing Northern Suburb in Summer	DUAN Qing, AN Jun-lin, WANG Hong-lei, <i>et al.</i>	(2460)
Characteristics of Water-soluble Organic Nitrogen of PM _{2.5} in Xi'an During Wintertime Non-haze and Haze Periods	CHENG Yu-ting, WANG Ge-hui, SUN Tao, <i>et al.</i>	(2468)
Effect of Sand Dust Weather on Major Water-soluble Ions in PM ₁₀ in Lanzhou, China	WANG Fang, CHEN Qiang, ZHANG Wen-yu, <i>et al.</i>	(2477)
Diversity of Bacterial Areasols in Precipitation of Shanghai Area	LIANG Zong-min, DU Rui, DU Peng-rui, <i>et al.</i>	(2483)
Concentrations and Deposition Fluxes of Heavy Metals in Precipitation in Core Urban Areas, Chongqing	PENG Yu-long, WANG Yong-min, QIN Cai-qing, <i>et al.</i>	(2490)
Anthropogenic VOC Emission Inventory and Contribution from Industrial Sources in Ningbo	LI Xuan, WANG Xue-song, LIU Zhong, <i>et al.</i>	(2497)
Evaluation and Selection of VOCs Treatment Technologies in Packaging and Printing Industry	WANG Hai-lin, WANG Jun-hui, ZHU Chun-lei, <i>et al.</i>	(2503)
Experimental Study on CO ₂ Absorption by Aqueous Ammonia-based Blended Absorbent	XIA Zhi-xiang, XIANG Qun-yang, ZHOU Xu-ping, <i>et al.</i>	(2508)
Preliminary Investigation on Emission of PCDD/Fs and DL-PCBs Through Flue Gas from Coke Plants in China	SUN Peng-cheng, LI Xiao-lu, CHENG Gang, <i>et al.</i>	(2515)
Distribution and Source of Particulate Organic Carbon and Particulate Nitrogen in the Yangtze River Estuary in Summer 2012	XING Jian-wei, XIAN Wei-wei, SHENG Xiu-zhen	(2520)
Characteristics of Optical Absorption Coefficients and Their Differences in Typical Seasons in Lake Qiandaohu	WANG Ming-zhu, ZHANG Yun-lin, SHI Kun, <i>et al.</i>	(2528)
Dynamic Distributions of Dissolved Oxygen in Lake Qiandaohu and Its Environmental Influence Factors	YIN Yan, WU Zhi-xu, LIU Ming-liang, <i>et al.</i>	(2539)
Source Analysis of Urea-N in Lake Taihu During Summer	HAN Xiao-xia, ZHU Guang-wei, XU Hai, <i>et al.</i>	(2547)
Phytoplankton Community Structure and Its Succession in Isolated Lakes of Poyang-Junshan Lake	LIU Xia, QIAN Kui-mei, TAN Guo-liang, <i>et al.</i>	(2557)
Vertical Distribution and Relationship Between ²¹⁰ Pb _{ex} Activities and Nutrients in Sediment Cores of Two Different Eutrophication Level Lakes	WANG Xiao-lei, YANG Hao, GU Zhu-jun, <i>et al.</i>	(2565)
Simulation of Nitrate Pollution in Groundwater Using Pump-and-treat Optimization Method	JIANG Lie, HE Jiang-tao, JIANG Yong-hai, <i>et al.</i>	(2572)
Variation of Water DOC During the Process of Pre-pressure and Coagulation Sedimentation Treatment	CHEN Wen-jing, CONG Hai-bing, XU Ya-jun, <i>et al.</i>	(2579)
Adsorption of Perchlorate by Calcined Mg/Zn/Al Layered Double Hydroxides	WANG Hong-yu, LIU Yan	(2585)
Adsorption Kinetic Mechanism of Ionic Soluble Dye Mixture on Fly Ash	SUN De-shuai, ZHENG Qiang-qiang, ZHANG Xiao-dong, <i>et al.</i>	(2590)
Effect of SDS on the Adsorption of Cd ²⁺ onto Amphoteric Modified Bentonites	WANG Jian-tao, MENG Zhao-fu, YANG Ya-ti, <i>et al.</i>	(2596)
Structural Changes of Aged Biochar and the Influence on Phenanthrene Adsorption	TANG Wei, GUO Yue, WU Jing-gui, <i>et al.</i>	(2604)
Photocatalytic Degradation Kinetics of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) in TiO ₂ Dispersion and Its Mechanism	LI Ming-jie, YU Ze-bin, CHEN Ying, <i>et al.</i>	(2612)
Characterizing the Interaction Between Roxarsone and Humic Acid by Fluorescence Quenching Experiment	ZHU Jiang-peng, MEI Ting, PENG Yun, <i>et al.</i>	(2620)
Modification of Activated Carbon Fiber for Electro-Fenton Degradation of Phenol	MA Nan, TIAN Yao-jin, YANG Guang-ping, <i>et al.</i>	(2627)
Investigation of Enhanced Low Carbon Wastewater Denitrification by Catalytic Iron	WANG Meng-yue, MA Lu-ming	(2633)
Denitrification Performance of PBS as a Solid Carbon Source of Denitrification	LIU Jia, SHEN Zhi-qiang, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i>	(2639)
Concentrations, Distribution Characteristics and Electron Beam Radiolysis Degradation of PCDD/Fs in Waste Water from a Paper Mill	QING Xian, HUANG Jin-qiong, YU Xiao-wei, <i>et al.</i>	(2645)
Study on the Quality of Digested Piggery Wastewater in Large-Scale Farms in Jiaying	WEI Dan, WAN Mei, LIU Rui, <i>et al.</i>	(2650)
New Ways to Improve Volatile Fatty Acids Accumulation in Sludge Alkaline Fermentation System	LI Xiao-ling, PENG Yong-zhen, CHAI Tong-zhi, <i>et al.</i>	(2658)
Distribution and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Sediments and Soils from Dishui Lake and Its Water Exchange Areas	GUO Xue, BI Chun-tuan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i>	(2664)
Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water and Sediment from Zhoushan Coastal Area, China	JIANG Min, Le Huy Tuan, MEI Wei-ping, <i>et al.</i>	(2672)
Contamination Levels and Source Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organochlorine Pesticides in Soils and Grasses from Lake Catchments in the Tibetan Plateau	XIE Ting, ZHANG Shu-juan, YANG Rui-qiang	(2680)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Soil from Jiufeng Mountain Range in Fujian, China	HUANG Huan-fang, QI Shi-hua, QU Cheng-kai, <i>et al.</i>	(2691)
Pollution Fingerprints and Sources of Perfluorinated Compounds in Surface Soil of Different Functional Areas	ZHANG Hong, ZHAO Liang, HE Long, <i>et al.</i>	(2698)
Distribution, Seasonal Variation and Influence Factors of Dissolved Inorganic Arsenic in the Sanggou Bay	LI Lei, REN Jing-ling, LIU Su-mei, <i>et al.</i>	(2705)
Distribution of Soil Heavy Metal and Pollution Evaluation on the Different Sampling Scales in Farmland on Yellow River Irrigation Area of Ningxia; A Case Study in Xingqing County of Yinchuan City	WANG You-qi, BAI Yi-ru, WANG Jian-yu	(2714)
Release of Mercury from Soil and Plant in Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir Area and Its Accumulation in Zebrafish	LI Chu-xian, SUN Rong-guo, WANG Ding-yong, <i>et al.</i>	(2721)
Residues and Health Risk Assessment of Sulfonamides in Sediment and Fish from Typical Marine Aquaculture Regions of Guangdong Province, China	HE Xiu-ting, WANG Qi, NIE Xiang-ping, <i>et al.</i>	(2728)
Health Risk Assessment of Heavy Metals in Atmospheric Dust of Qingdao City	ZHANG Chun-rong, WU Zheng-long, YAO Chun-hui, <i>et al.</i>	(2736)
Health Risk Assessment of Coke Oven PAHs Emissions	BO Xin, WANG Gang, WEN Rou, <i>et al.</i>	(2742)
Effects of Combined Pollution of Cd, Cu and Pb on Antioxidant Enzyme Activities of Earthworm in Soils	WANG Hui, XIE Xin-yuan	(2748)
Toxicity of Three Chlorophenols to Protozoa <i>Tetrahymena thermophila</i>	LI Ya-jie, CUI Yi-Bin, JIANG Li-juan, <i>et al.</i>	(2755)
Phytoexclusion Potential Studies of Si Fertilization Modes on Rice Cadmium	CHEN Zhe, TIE Bo-qing, LEI Ming, <i>et al.</i>	(2762)
Effects of Conservation Tillage on Soil CO ₂ and N ₂ O Emission During the Following Winter-Wheat Season	PAN Ying, HU Zheng-hua, WU Yang-zhou, <i>et al.</i>	(2771)
Mineralization of Soil Organic Carbon and Its Relationship with Soil Enzyme Activities in Apple Orchard in Weibei	JIA Man-li, GUO Hong, LI Hui-ke	(2777)
Steam and Air Co-injection in Removing TCE in 2D-Sand Box	WANG Ning, PENG Sheng, CHEN Jia-jun	(2785)
Effect of Cu ²⁺ on the Power Output of Dual-chamber Microbial Fuel Cell	MU Shu-jun, LI Xin-fen, REN Yue-ping, <i>et al.</i>	(2791)
Emissions of Greenhouse Gas and Ammonia from Sewage Sludge Composting by Continuous Aerated Turning Pile	ZHAO Chen-yang, WEI Yuan-song, GE Zhen, <i>et al.</i>	(2798)
Emissions of NH ₃ , N ₂ O, and NO from Swine Manure Solid Storage in Winter	DING Gang-qiang, HAN Sheng-hui, YUAN Yu-ling, <i>et al.</i>	(2807)
Variation Characteristics and Mathematical Model of Humic Substances in Landfill Leachates with Different Landfill Ages	HUANG You-fu, XU Xin-ya, FAN Liang-xin, <i>et al.</i>	(2816)
Research on the Variation Regularity of Effluent from the Leachate Reverse Osmosis Concentrate Recirculation	WANG Dong-mei, LIU Dan, LIU Qing-mei, <i>et al.</i>	(2822)
Quantitative Analysis on the Changes in Anthropogenic Lead Flows of China	MA Lan, MAO Jian-su	(2829)
Research Progress in Microbiological Characteristics in Combined N ₂ Removal Process by Partial Nitrification and Anaerobic Ammonium Oxidation	ZHAO Zhi-ru, HOU Yan-lin	(2834)

《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)

2014年7月15日 第35卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 7 Jul. 15, 2014

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