

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第11期

Vol.38 No.11

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

天津市非道路移动源污染物排放清单开发	张意, Andre Michel, 李东, 张欣, 吴琳, 张衍杰, 马超, 邹超, 毛洪钧 (4447)
基于移动监测和土地利用回归模型的上海市近地面黑碳浓度空间模拟	彭霞, 余倩楠, 龙凌波, 刘敏, 徐茜, 魏宁, 周陶冶 (4454)
鄂东典型工业城市大气 PM ₁₀ 中元素浓度特征和来源分析	占长林, 张家泉, 郑敬茹, 姚瑞珍, 刘红霞, 肖文胜, 刘先利, 曹军骥 (4463)
常州夏秋季 PM _{2.5} 中碳质气溶胶特征及来源	叶招莲, 刘佳澍, 李清, 马帅帅, 许澎 (4469)
徐州市冬季大气细颗粒物水溶性无机离子污染特征及来源解析	范美益, 曹芳, 张园园, 鲍孟盈, 刘晓妍, 张雯淇, 高嵩, 章炎麟 (4478)
南宁市一次污染过程大气颗粒物理化特性及来源	刘慧琳, 陈志明, 李宏姣, 蒋靖坤, 张强, 黄炯丽, 毛敬英, 梁桂云, 杨俊超, 张达标, 莫招育 (4486)
西安市秋冬季不同空气质量下可培养微生物气溶胶浓度和粒径分布	李婉欣, 路瑞, 谢铮胜, 王金龙, 范春兰, 刘鹏霞, 李彦鹏 (4494)
黄渤海海域秋季营养盐及有色溶解有机物分布特征	唐永, 孙语嫣, 石晓勇, 韩秀荣, 苏荣国 (4501)
华东沿海滩涂区表层沉积物重金属含量特征及风险评价	张明, 鲍征宇, 陈国光, 雍太健, 朱意萍, 梁晓红 (4513)
基于地球化学特性的海州湾海洋牧场沉积物重金属研究	李大鹏, 张硕, 张中发, 罗娜, 魏青青, 张瑞, 黄宏 (4525)
尼洋河流域水化学特征及其控制因素	张涛, 蔡五田, 李颖智, 张智印, 耿婷婷, 边超, 赵森, 蔡月梅 (4537)
南亚热带地区水库夏季铁、锰垂直分布特征	杨思远, 赵剑, 余华章, 彭亮, 肖利娟 (4546)
辽河流域地表水中典型抗生素污染特征及生态风险评估	张晓娇, 柏杨巍, 张远, 马淑芹, 郭昌胜, 张莉 (4553)
东太湖渔业养殖对沉积物营养盐的影响	何肖微, 储瑜, 曾巾, 赵大勇, 陆建明, 曹萍, 吴庆龙 (4562)
浑太河不同水生态区营养盐对底栖硅藻的影响及阈值	张莉, 林佳宁, 张远, 王书平, 臧小苗, 张晓娇 (4570)
水环境条件对三峡库区消落带狗牙根根磷养分淹水浸泡释放的影响	肖丽微, 朱波 (4580)
野鸭湖湿地芦苇根际微生物多样性与磷素形态关系	滕泽栋, 李敏, 朱静, 宋明阳 (4589)
人为扰动背景下城市边缘溪流底质硝化-反硝化潜力分析	李如忠, 郑侠, 高苏蒂, 叶舟 (4598)
不同扰动下外源磷在形态磷间的分布规律	蔡顺智, 李大鹏, 唐鑫煜, 李浩冉, 朱伟, 黄勇 (4607)
伊乐藻-高效脱氮微生物协同作用对污染水体氮素脱除机制的影响	王浩, 李正魁, 张一品, 丁帮璟 (4617)
零价铁活化过硫酸钠去除废水中的砷(V)	周孜迈, 邓文娜, 杨艺琳, 孙艳秋, 王悦, 柳听义, 王中良 (4623)
nZVI/AC 复合材料对水中锑的去除	蒋婷, 鲍玥, 李威, 方荣业, 史惠祥 (4632)
流态对生物添加强化硝化效果的影响	于莉芳, 杜倩倩, 张茹, 杨秀玲, 李初, 渭思思, 冯云堂 (4641)
温度对 SBR 生物脱氮效能及胞外聚合物的影响	孙洪伟, 陈翠忠, 吴长峰, 赵华南, 于雪, 方晓航 (4648)
温度对间歇曝气 SBR 短程硝化及硝化活性的影响	刘宏, 彭永臻, 卢炯元, 李慧, 南彦斌, 王瑾, 陈永志 (4656)
不同诱导模式下 CAST 工艺的亚硝酸盐型反硝化除磷能力	马娟, 王谨, 俞小军, 张伟, 魏雪芬, 陈永志, 田文清 (4664)
污水处理厂 CANON 工艺小试	李冬, 赵世勋, 王俊安, 朱金凤, 关宏伟, 张杰 (4673)
SBR 加载不同粒径磁性活性炭对其污泥颗粒化进程的影响机制	信欣, 管蕾, 郭俊元, 刘洁, 冯梅, 余婷婷 (4679)
常温下厌氧氨氧化污泥的储存及活性恢复	黄佳路, 王小龙, 高大文 (4687)
同步脱氮除磷好氧颗粒污泥培养过程微生物群落变化	高景峰, 王时杰, 樊晓燕, 潘凯玲, 张丽芳, 张树军, 高永青, 张帅 (4696)
硫酸盐和 Fe(II) EDTA-NO ₃ /Fe(III) EDTA 厌氧还原过程特性及微生物群落分析	张玉, 万方, 周集体 (4706)
SBR 系统外加磁场对微生物群落多样性和处理效果的影响	耿淑英, 付伟章, 王静, 郑书联 (4715)
安徽某铁矿排土场废矿石中产酸微生物群落	杜泽瑞, 郝春博, 裴理鑫, 卫朋飞, 张鑫, 鲁艳春 (4725)
典型集雨人饮地区窖水微生物群落多样性及差异解析	杨浩, 张国珍, 杨晓妮, 武福平, 赵炜, 张洪伟, 张翔 (4733)
表层沉积物中 6:2 氟调醇生物降解对细菌群落结构的影响	王丹, 侯珍, 张琪, 周莹, 卢晓霞 (4747)
外源环烷酸在土壤中的降解过程及对微生物群落结构的影响	刘艳秋, 赵嫣然, 刘梦娇, 樊灏, 黄艺 (4756)
1 株异养硝化-好氧反硝化细菌 DK1 的分离鉴定及其脱氮特性	牟东阳, 靳鹏飞, 彭永臻, 李夕耀, 张琼, 何建中 (4763)
重庆缙云山 4 种典型植被覆盖下汞的释放通量及影响因素	杨光, 孙涛, 安思危, 马明 (4774)
模拟氮沉降对闽江口淡水感潮沼泽湿地 CO ₂ 、CH ₄ 排放通量的短期影响	李冬冬, 仝川, 谭立山, 陈坤龙, 孙东耀, 黄佳芳 (4782)
地膜覆盖对稻-油轮作农田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放的影响	石将来, 郝庆菊, 冯迪, 张凯莉, 石孝均, 江长胜 (4790)
西安市公园土壤多环芳烃污染特征、来源及风险评价	周燕, 卢新卫 (4800)
不同沙生灌木下土壤颗粒及重金属空间分布特征	代豫杰, 郭建英, 董智, 李锦荣, 李红丽 (4809)
不同水分梯度下 UV-B 辐射对 2 个稻田土壤碳氮转化的影响	蒋梦蝶, 王秋敏, 徐鹏, 周维, 郭磊, 胡荣桂 (4819)
喀斯特灌丛土壤丛枝菌根真菌群落结构及丰度的影响因子	梁月明, 苏以荣, 何寻阳, 陈香碧, 胡亚军 (4828)
生物炭和草酸活化磷矿粉对镉镍复合污染土壤的应用效果	段然, 胡红青, 付庆灵, 寇长林 (4836)
反复冻融与高温老化对神污染土壤固化稳定化效果的影响	杨洁, 钱赵秋, 王旌 (4844)
皂角苷和柠檬酸联合对污泥中 Cu、Pb 和 Zn 的去除及其稳定性特征	叶涛, 黄丽, 张克强, 张斌, 常红, 刘智杰, 杜连柱 (4850)
针铁矿与胡敏酸的交互作用及其复合物的稳定性	王锐, 朱朝菊, 向文军, 方敦, 杨小洪, 吴少尉, 魏世勇 (4860)
塑胶跑道中有机磷酸酯的含量及健康风险	印红玲, 刘琴, 廖林群, 王震, 罗怡, 邓旭, 丁凌刚, 唐铭 (4868)
农业废物堆肥化中理化参数对 GH6 家族基因影响	陈耀宁, 苟宇, 黎媛萍, 伍艳馨, 陈艳容, 李辉, 刘耀, 汪元南, 张道利, 朱福造, 曾光明 (4874)
F/M 及 HRT 对果蔬垃圾厌氧发酵产氢的影响	李标, 孔晓英, 李连华, 袁振宏, 孙永明, 吕鹏梅 (4882)
环境模型中敏感性分析方法评述	陈卫平, 涂宏志, 彭驰, 侯鹰 (4889)
《环境科学》征稿简则 (4462) 《环境科学》征订启事 (4672) 信息 (4647, 4705, 4789)	

黄渤海海域秋季营养盐及有色溶解有机物分布特征

唐永^{1,2}, 孙语嫣^{1,2}, 石晓勇^{1,3*}, 韩秀荣^{1,2}, 苏荣国^{1,2}

(1. 中国海洋大学化学化工学院, 青岛 261000; 2. 中国海洋大学海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室, 青岛 261000; 3. 国家海洋局海洋减灾中心, 北京 100194)

摘要: 本文利用 2013 年 11 月黄渤海海域航次采集的海水样品, 对该海域有色溶解有机物 (CDOM)、营养盐等的组成、来源、分布特征和主要环境影响因子进行了分析研究. 通过三维荧光光谱-平行因子分析法 (EEMs-PARAFAC) 对 CDOM 进行分析, 共鉴别出 2 类 4 种荧光组分: 类腐殖质组分 C1 (325/410 nm)、C2 (275, 370/435 nm)、C3 (270, 395/495 nm) 和类蛋白质组分 C4 (290/340 nm). 3 种类腐殖质组分在黄渤海海域各层的平面分布均为由近岸向远岸逐渐递减. 黄海表层和渤海中层类蛋白质组分荧光强度在近岸和远岸海域均出现极大值, 而其在渤海表底层及黄海中底层的分布呈现由近岸到远岸逐渐降低的趋势. 各层 CDOM 高值区主要分布在近岸海域. 渤海表层溶解无机氮 (DIN) 和溶解有机氮 (DON) 浓度高于底层浓度, 底层溶解无机磷 (DIP) 浓度高于表层浓度. 渤海 DIN 呈现由近岸到远岸逐渐降低的趋势, DIP 由曹妃甸近岸海域及中部海域的高值区向北部、东部和南部海域逐渐降低的趋势, DON 则呈现由渤海中部偏南海域的高值区向四周逐渐递减的趋势. 黄海底层 DIN 和 DIP 浓度高于表层, 而表层 DON 浓度最高. 黄海表层 DIN 和 DIP 呈现由近岸到远岸逐渐降低的趋势, 底层 DIN 和 DIP 则呈现由近岸到远岸逐渐增加的趋势, DON 呈现由近岸到远岸逐渐降低的趋势. 渤海 DIN、DON 和 DIP 的总体浓度均高于黄海. 将 4 种荧光组分 (C1 ~ C4)、吸收系数 (a_{355})、溶解有机碳 (DOC) 与叶绿素 a (Chl-a)、盐度 (S)、溶解氧 (DO)、DIN、DON、DIP 进行冗余分析, 结果表明黄渤海各荧光组分 (C1 ~ C4) 主要受陆源输入的影响, DOC 受陆源与海源的共同影响, 但陆源影响较大. 渤海 DIN 受陆源输入的影响较大, 而 DON 受海源影响较大; 黄海 DIN 受陆源和海源共同影响, 而 DON 主要受陆源输入影响. 黄渤海 DIP 均受陆源和海源共同影响.

关键词: 有色溶解有机物; 营养盐; 三维荧光光谱; 平行因子分析; 冗余分析; 黄海; 渤海

中图分类号: X55 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)11-4501-12 DOI: 10.13227/j.hjks.201703183

Distribution Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter and Nutrients from the Yellow Sea and Bohai Sea in Autumn

TANG Yong^{1,2}, SUN Yu-yan^{1,2}, SHI Xiao-yong^{1,3*}, HAN Xiu-rong^{1,2}, SU Rong-guo^{1,2}

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 261000, China; 2. Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 261000, China; 3. National Marine Hazard Mitigation Service, Beijing 100194, China)

Abstract: Water samples were collected from the Yellow and Bohai seas during November 2013 and the chromophoric dissolved organic matter (CDOM) and nutrients concentrations were investigated, including their composition, source and distribution characteristics. CDOM was analyzed by excitation-emission matrix spectroscopy (EEMS) in combination with a parallel factor analysis (PARAFAC). Three terrestrial humic-like substances (C1, C2, and C3) and one protein-like (C4) substances were identified. The three terrestrial humic-like components had a similar horizontal distribution, decreasing from inshore to offshore. The protein-like component, showed higher values for both inshore and offshore areas in the Yellow Sea at the surface layer and the middle layer of the Bohai Sea, while in other layers it had a similar distribution pattern as the terrestrial humic-like components. In the Bohai Sea, the dissolved inorganic nitrogen (DIN) concentration showed a decreasing trend from inshore to offshore areas and the concentration of dissolved inorganic phosphorus (DIP) gradually decreased from the Caofeidian coastal and central areas to other adjacent areas. The dissolved organic nitrogen (DON) showed an increasing from inshore to the central area of the Bohai Sea. DIN and DON were higher in surface layer than in the bottom layer and for DIP this was the opposite in the Bohai Sea. In the Yellow Sea, DON concentrations showed a decreasing trend from inshore to offshore areas. DIN and DIP had higher concentrations at inshore areas in the surface and middle layers, while in the bottom layer they had higher concentrations in offshore areas. The vertical distribution of the DIN and DIP showed higher values in the bottom layer than surface layers and for DON this was the opposite. These results also showed that the concentrations of DIN, DON, and DIP in the Bohai sea were overall higher than the Yellow Sea. A discriminant analysis was performed through redundancy analysis (RAD) of these water quality parameters, including the four fluorescent components, an absorption

收稿日期: 2017-03-21; 修订日期: 2017-05-27

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFC1402101); 国家海洋局海洋减灾中心科研项目 (2014AA060)

作者简介: 唐永 (1992 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为海区营养盐时空变化特征及其对浒苔绿潮的驱动机制, E-mail: tangyongshuos@163.com

* 通信作者, E-mail: shixy@ouc.edu.cn

coefficient (a_{355}), chlorophyll a concentration, conductivity, dissolved oxygen (DO), dissolved organic carbon (DOC), DIN, DON, and DIP. The RDA indicated that the four fluorescent components are mainly affected by terrestrial inputs. DOC was affected by both terrestrial and marine sources but terrestrial inputs were the major contributor. It was also indicated that the DIN concentration was affected by terrestrial inputs in the Bohai Sea area and by both terrestrial and marine sources in the Yellow Sea. DON concentrations were mainly affected by marine sources in the Bohai Sea and terrestrial inputs in the Yellow Sea. DIP concentrations were affected by both terrestrial and marine sources in the studied areas.

Key words: chromophoric dissolved organic matter (CDOM); nutrients; excitation-emission matrix spectroscopy; parallel factor analysis; redundancy analysis; Yellow Sea; Bohai Sea

近几十年来,我国沿海地区经济高速发展,给近海海洋环境造成了极大的压力,赤潮、绿潮、海岸侵蚀、海水入侵等灾害频发. 据统计,2016 年我国春季和夏季呈富营养化状态的海域面积分别为 72 490 km² 和 70 970 km²,重度富营养化海域主要集中在辽东湾、长江口、珠江口等近岸海域;这一年,我国近海海域发生赤潮 68 次,累计面积超过 7 000 km²,同年,发生于南黄海海域的绿潮最大分布面积达到 57 500 km²,为近 5 年来最大值^[1]. 陆源排放中丰富的营养物质(富营养化)是赤潮和绿潮生物暴发的物质基础^[2~4]. 近年来,关于各大海域生源要素分布的报道已有很多^[2~5],但主要集中于无机营养盐方面,且对溶解有机物(dissolved organic matter, DOM)的研究相对较少.

有色溶解有机物(chromophoric dissolved organic matter, CDOM)是天然水体中 DOM 的重要组成部分,能够吸收对生物生长不利的紫外线^[6],也能够发生光漂白效应而降解,为细菌和海洋浮游生物提供营养物质^[7],在溶解有机物海洋生物地球化学循环中起着重要作用. 此外,CDOM 还可以作为水团示踪物和环境指标因子^[8~10]. 根据荧光性质不同,CDOM 主要分为类蛋白质(protein-like)和类腐殖质(humic-like)两类^[11]. 海水中 CDOM 的来源主要有两种:陆地径流输入和海洋中生物活动产生^[12],此外,海洋底部沉积物再悬浮溶解的有机物质也是海水中 CDOM 的来源之一^[13]. 目前,常用的 CDOM 分析方法是三维荧光光谱结合平行因子技术(EEMs-PARAFAC)^[14~18].

渤海、黄海是我国重要的半封闭陆架海区,有多条大河流入,且周边陆域工农业发达,具有陆源排入量大、海水交换率小、初级生产力高等特点. 其中,渤海是典型的近封闭的内海,受陆源输入及人类活动影响较大^[19];而黄海是三面被陆地包围的半封闭的陆架浅海,陆海相互作用强烈^[20],同时还受黄海暖流、西部沿岸流、黄海冷水团等海流的影响,使得黄海生态环境复杂多变^[19]. 分析黄渤海海域海水中生源要素的浓度、分布及来源,探究海水

中营养物质的循环机制及其对海区生态环境的影响作用,对于海洋环境研究和保护具有重要意义. 本研究基于 2013 年 11 月黄渤海海域大范围现场调查所获得的数据,分析了黄渤海海域有色溶解有机物(CDOM)、营养盐等的组成、来源和分布特征,并对其与主要环境影响因子的关系进行了探讨.

1 材料与方法

1.1 样品的采集与预处理

2013 年 11 月,通过“东方红 2”在黄渤海海域进行了大面积调查,调查范围均为:118.8°~126°E、31°~40°N,设置 15 条断面,52 个站位(图 1),共计 213 组样品. 采样站位表、中、底层水样均采用 Niskin 采水器采集,水样经预先灼烧过的 GF/F 玻璃纤维膜过滤. 过滤的海水样品部分置于 40 mL 和 60 mL 棕色玻璃瓶中,用于 CDOM 和 DOC 的测定,部分海水样品置于 100 mL 塑料瓶中,用于营养盐的测定. 棕色玻璃瓶和塑料瓶均置于 -20℃ 的冰箱中冷冻保存,同时过滤后的滤膜用锡纸包好后冷冻(-20℃)保存.

1.2 样品的测定

1.2.1 吸收光谱的测定

将冷冻的海水样品自然解冻至室温,用 0.2 μm 的一次性聚醚砜针头滤器过滤后置于 5 cm 的石英比色皿中,用 UV-2500 紫外可见分光光度计(日本岛津)进行测定,测定光谱范围为 250~700 nm. 通过减去 680~700 nm 范围内的平均值以校正由细小颗粒物散射和仪器引起的基线漂移. 吸收系数的计算公式^[21]如下:

$$a(\lambda) = 2.303 \times [D(\lambda)_{\text{corr}}/L]$$

式中, λ 为波长,单位为 nm, $a(\lambda)$ 为 λ 波长下的吸收系数, $D(\lambda)_{\text{corr}}$ 为校正后的吸光度值, L 为光程,即比色皿的长度,单位为 m.

1.2.2 三维荧光光谱的测定

将样品从冰箱中取出后自然解冻至室温,用 0.2 μm 的一次性聚醚砜针头滤器过滤后置于 1 cm 的石英比色皿中,用 Fluorolog3-11 荧光分光光度计

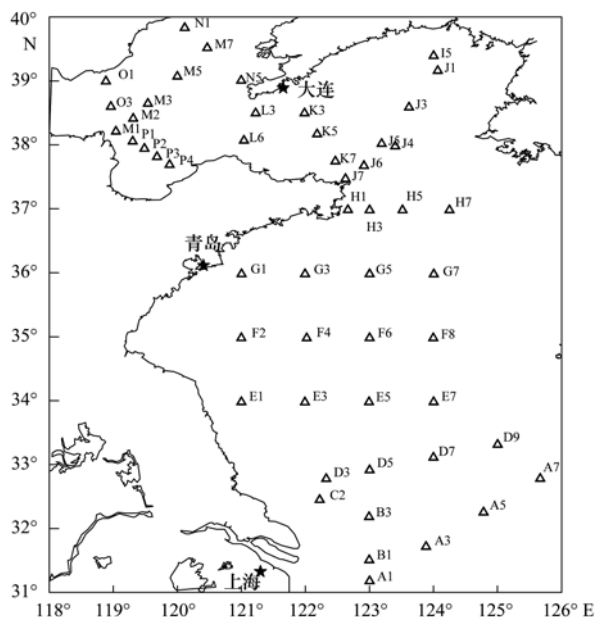


图1 2013年11月采样站示意图

Fig. 1 Map of the sampling station in November 2013

(Jobin Yvon, France) 扫描样品的三维荧光光谱, 扫描的激发波长为 240 ~ 480 nm, 发射波长为 250 ~ 580 nm, 步长和狭缝宽度均为 5 nm, 扫描信号的积分时间是 0.05 s.

1.2.3 叶绿素 a 的测定

采用分光光度法测定叶绿素 a (Chl-a) 的浓度, 该方法的检出限为 $0.094 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 精密度为 5.87% ~ 9.84% [22]. 将冷冻的 GF/F 滤膜取出, 放入具塞离心管中, 加入 10 mL 90% 的丙酮溶液, 振荡, 置于冰箱的冷藏室中萃取 24 h. 将萃取液置于 1 cm 的石英比色皿中, 以 90% 的丙酮溶液作参比溶液, 用紫外可见光光度计测量萃取液在 400 ~ 800 nm 处的吸光度. 由于叶绿素 a 遇光极易分解, 因此操作的全过程均需避光. 选取 630、647、664、750 nm 处的吸光度值按 Jeffrey-Humphrey 的方程计算 Chl-a ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) 的浓度 [23]:

$$\text{Chl-a} = [11.85 \times (E_{664} - E_{750}) - 1.54 \times (E_{647} - E_{750}) - 0.08 \times (E_{630} - E_{750})] \times V_e / (L \times V_f)$$

式中, V_e 为提取液的体积, 单位为 mL, L 为比色皿的长度, 单位为 cm, V_f 为过滤样品的体积, 单位为 L, E 为吸光度.

1.2.4 溶解有机碳的测定

采用高温催化氧化法测定溶解有机碳 (DOC). 将冷冻的海水样品自然解冻至室温, 用 Multi N/C 3100 总氮/总碳分析仪对样品的 DOC 浓度进行测定. 该仪器测定量程为 $4 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ~ $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 测定

相对标准偏差小于 2%, 方法精度为 $0.005 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ [24]. 样品用 $3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸酸化后再用高纯氧纯化以除去溶液中的无机碳. 对样品进行测量时每次的进样量均为 $300 \mu\text{L}$, 测量 2 ~ 3 次取平均值.

1.2.5 溶解无机氮、溶解有机氮和溶解无机磷的测定

取出样品自然解冻至室温, 用营养盐自动分析仪 (AutoAnalyzer 3) 测定溶解无机氮 (DIN) 和溶解无机磷 (DIP), 用碱性过硫酸钾氧化法处理水样后测总溶解氮 (TDN) 浓度 [25]. 各项营养盐 ($\text{NO}_2^- \text{-N}$, $\text{NO}_3^- \text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$) 的检测限 (根据 EPA 方法) 分别为 0.003 、 0.015 、 $0.024 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 氨氮 ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$) 的检测限 ($0.56 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{N}$) 为 $0.04 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. 溶解有机氮 (DON) 的计算公式如下:

$$\text{DON} = \text{TDN} - \text{DIN}$$

1.3 数据的转换及散射的去除

利用 Origin 8.0 软件将测到的 SPC 格式的样品的光谱数据转换为 TXT 格式, 用 Matlab 7.6 软件处理 CDOM 三维荧光光谱 (EEMs) 数据. 通过 Delaunay 三角形插值法来消除 EEMs 产生的散射峰 [26].

1.4 平行因子分析

1.4.1 平行因子模型

利用 PARAFAC 分析将 EEMs 解析成为单独的荧光组分, 该分析利用 Matlab 7.6 中 “DOMFluor toolbox” 工具箱, 通过残差分析得出组分数并用折半分析对得到的组分数验证 [21].

1.4.2 荧光强度的计算

通过平行因子分析模型得到的每种组分的荧光强度, 其计算公式如下:

$$I_n = \text{Score}_n \times E_{xn}(\lambda_{\max}) \times E_{mn}(\lambda_{\max})$$

式中, I_n 为第 n 种组分的荧光强度, Score_n 为第 n 种组分的相对荧光强度, $E_{xn}(\lambda_{\max})$ 为第 n 种组分激发负载的最大值, $E_{mn}(\lambda_{\max})$ 为第 n 种组分发射负载的最大值.

总荧光强度 (total fluorescence intensity, TFI) 和每种组分所占比例 P_n 的计算公式如下:

$$\text{TFI} = \sum_{i=1}^n I_n$$

$$P_n = I_n / \text{TFI}$$

式中, TFI 为总荧光强度, I_n 为第 n 种组分的荧光强度.

2 结果与讨论

2.1 CDOM 的来源及分布

2.1.1 CDOM 的荧光组分及其相关性

通过对 2013 年 11 月黄渤海 213 组样品的三维荧光光谱做平行因子分析,在该区域共鉴别出 4 种荧光组分(图 2):3 种为类腐殖质组分(C1、C2 和 C3),1 种为类蛋白质组分(C4),见表 1. C1 的最大激发波长出现在 325 nm,发射波长出现在 410 nm,

这与类腐殖质荧光峰 M^[27]类似,尽管 C1 与 M 峰相似,被认为是海源类腐殖质组分,但 Stedmon 等^[28]在陆源环境中发现了该组分(250,325/416 nm, Stedmon 鉴别的 C4 组分),并认为该组分为陆源类腐殖质, Fellman 等^[29]也认为它是陆源类腐殖质组分. C2 的激发波长在 275 nm 和 370 nm 处均出现极大值,最大发射波长为 435 nm,这与文献[13,27,29,30]的研究结果相似,被认为是紫外光区 A 峰和可见光区 C 峰相结合的陆源类腐殖质组分. C3 的

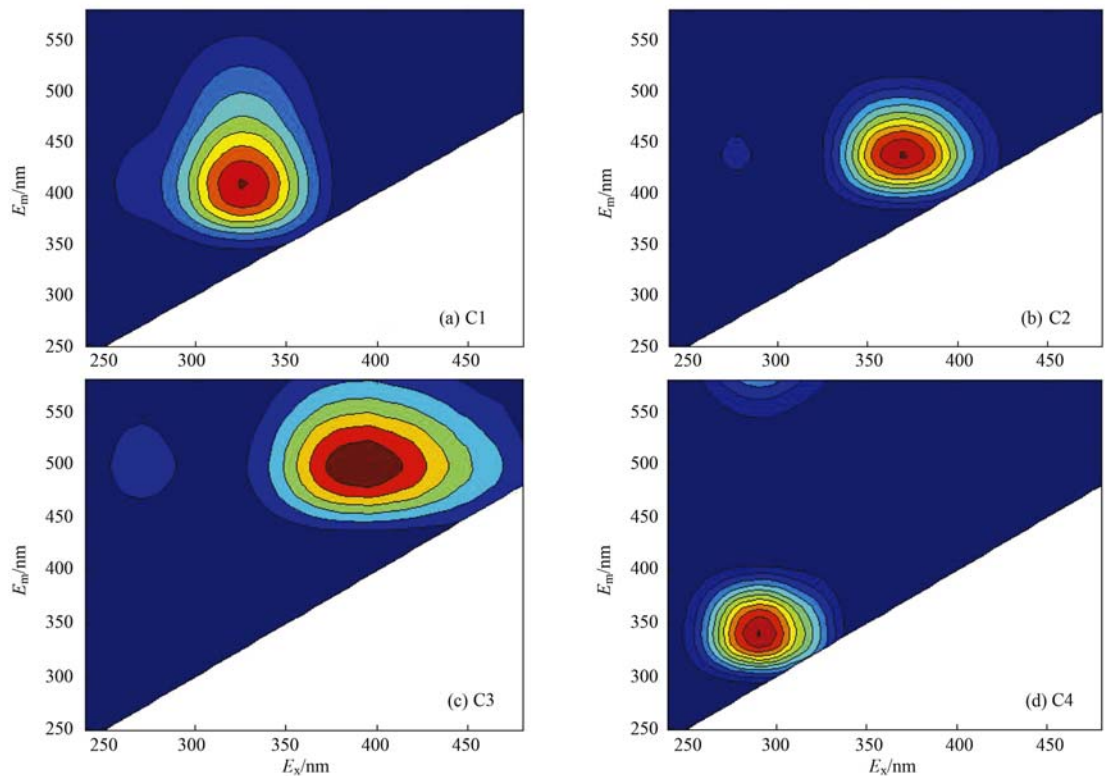


图 2 PARAFAC 鉴别出黄渤海海域 CDOM 的 4 个荧光组分

Fig. 2 Four fluorescent components of CDOM in the Yellow Sea and the Bohai Sea identified by the PARAFAC model

表 1 黄渤海海域 CDOM 荧光组分特征

Table 1 Fluorescent component characteristics for CDOM in the Yellow Sea and the Bohai Sea

荧光组分	$E_x/E_m/\text{nm}$	描述	来源
C1	325/410	陆源类腐殖质	Peak M: 290-310/370-410 ^[27] C4: (250)325/416 ^[28] C4: 340/410 ^[29]
C2	(275)370/435	陆源类腐殖质	Peak A: 260/380-460 ^[13] Peak C: 320-360/420-460 ^[27] C3: <250(370)/440 ^[29] C4: <250(360)/440 ^[30]
C3	(270)395/495	陆源类腐殖质	Peak D: 390/509 ^[28] C2: <250(385)/504 ^[30]
C4	290/340	类色氨酸	Peak T: 275/340 ^[13] C7: 280/344 ^[30] C2: 230(280)/340 ^[31] C7: 240(300)/338 ^[32]

最大激发波长为 270 nm 和 395 nm,最大发射波长为 495 nm,代表了具有最宽的激发带和发射带的荧光组分,含有高分子量的芳香烃,被认为是陆源类腐殖质组分^[28,30]. 最大激发和发射波长分别为 290 nm 和 340 nm 的 C4,与 Coble^[13]发现的吡啶环结构的色氨酸组分峰 T 类似,被认为与水体中的生物活动有关,文献[30~32]都认为它既来源于陆源物质的分解,也来源于海洋自产.

对 2013 年 11 月黄渤海海域各荧光组分进行相关性分析(表 2),发现各荧光组分间均存在较好的相关性,但 C1、C2、和 C3 之间的相关性比 C4 与 C1~C3 相关性更好, R^2 在 0.9 以上. 这表明 C1、C2 和 C3 的来源及去除途径非常相似,而 C4 的来源和去除途径与其它组分相比略有不同. 这也间接说明 C1、C2 和 C3 均为陆源类腐殖质组分,主要受陆源输入影响;而 C4 为类蛋白质组分,受陆源和海源共同影响.

表 2 秋季黄渤海海域 CDOM 各荧光组分的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of the four fluorescent components from the Yellow Sea and the Bohai Sea in autumn

项目	样本数量(<i>n</i>)	R^2	<i>P</i>
C1 与 C2	213	0.92	<0.01
C1 与 C3	213	0.99	<0.01
C1 与 C4	213	0.78	<0.01
C2 与 C3	213	0.91	<0.01
C2 与 C4	213	0.71	<0.01
C3 与 C4	213	0.74	<0.01

2.1.2. 秋季黄渤海海域 CDOM 的分布特征

图 3 为黄渤海基本环流体系^[36]. 图 4 为秋季黄渤海海域 C1、C4、总荧光强度(TFI)和盐度(*S*)在各层的分布趋势(由于 C1、C2、C3 在各层分布相似,限于篇幅,仅给出 C1 在各层中的分布,图 4). 由于渤海沿岸受陆源输入的影响,中部和东部受黄海暖流高盐水影响^[33],因此盐度呈现由中部和东部向南部、北部、西部三面递减的趋势. 3 种类腐殖质组分(C1、C2 和 C3)在渤海海域表层、中层和底层的分布相似,均为由近岸向远岸逐渐降低,与总荧光强度的分布相近,并且 3 种类腐殖质组分的分布与盐度的分布呈负相关,说明这 3 种类腐殖质组分在渤海海域主要受陆源输入的影响. 在渤海中层海域,类蛋白质组分(C4)荧光强度在近岸海域和远岸海域出现极大值,而在渤海表层和底层海域,最大值均出现在近岸海域,且与盐度的分布呈负相关,表明类蛋白质组分(C4)在渤海海域受陆源和海源的共同影响,但陆源影响较大. 在渤海海域,4 种荧光组

分及总荧光强度的高值区主要集中于黄河入海口附近海域、莱州湾、渤海湾以及辽东湾,这是由于京津唐地区以及山东北部沿海地区经济发达、人口密集,工农业发展迅速,使得大量的工业废水、生活污水以及农业废水排入近岸海域,再加上辽东湾沿岸水、渤南沿岸水等水团运动的影响,在一定程度上将污染物质限制在近岸,引起近岸海域 CDOM 荧光强度值升高.

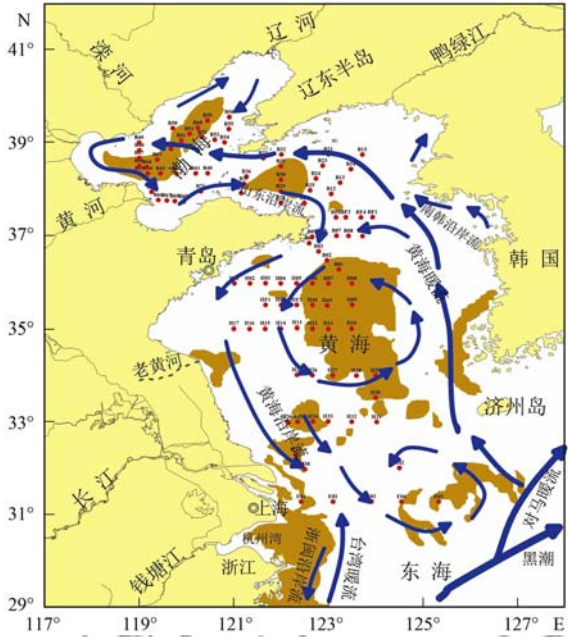


图 3 黄渤海基本环流体系

Fig. 3 Diagram of the current systems in the Yellow Sea and the Bohai Sea

黄海海域由于受黄海暖流高盐水的影响,盐度呈现南高北低且向东偏移的分布趋势. 3 种类腐殖质组分(C1、C2 和 C3)在黄海海域的表层、中层和底层的分布相似,呈现由近岸向远岸逐渐降低的趋势,与总荧光强度的分布相近,并且 3 种类腐殖质组分的分布与盐度的分布呈负相关,说明这 3 种类腐殖质组分主要受陆源输入影响. 在黄海表层海域,类蛋白质组分(C4)荧光强度在近岸海域和远岸海域出现极大值,而在黄海中层和底层海域,极大值均出现在近岸海域,且与盐度的分布呈负相关,表明类蛋白质组分(C4)受陆源和海源的共同影响,但陆源影响较大. 在黄海表层近岸海域,4 种荧光组分及总荧光强度的变化趋势比中层和底层明显,梯度变化较大,高值区主要集中于鸭绿江口及其沿岸区域、山东半岛沿岸海域和江苏沿岸区域,这是由于鸭绿江沿岸地区以及山东和江苏两省经济发达、人口密集,工农业和海水养殖业发展迅速,使得大量的工业

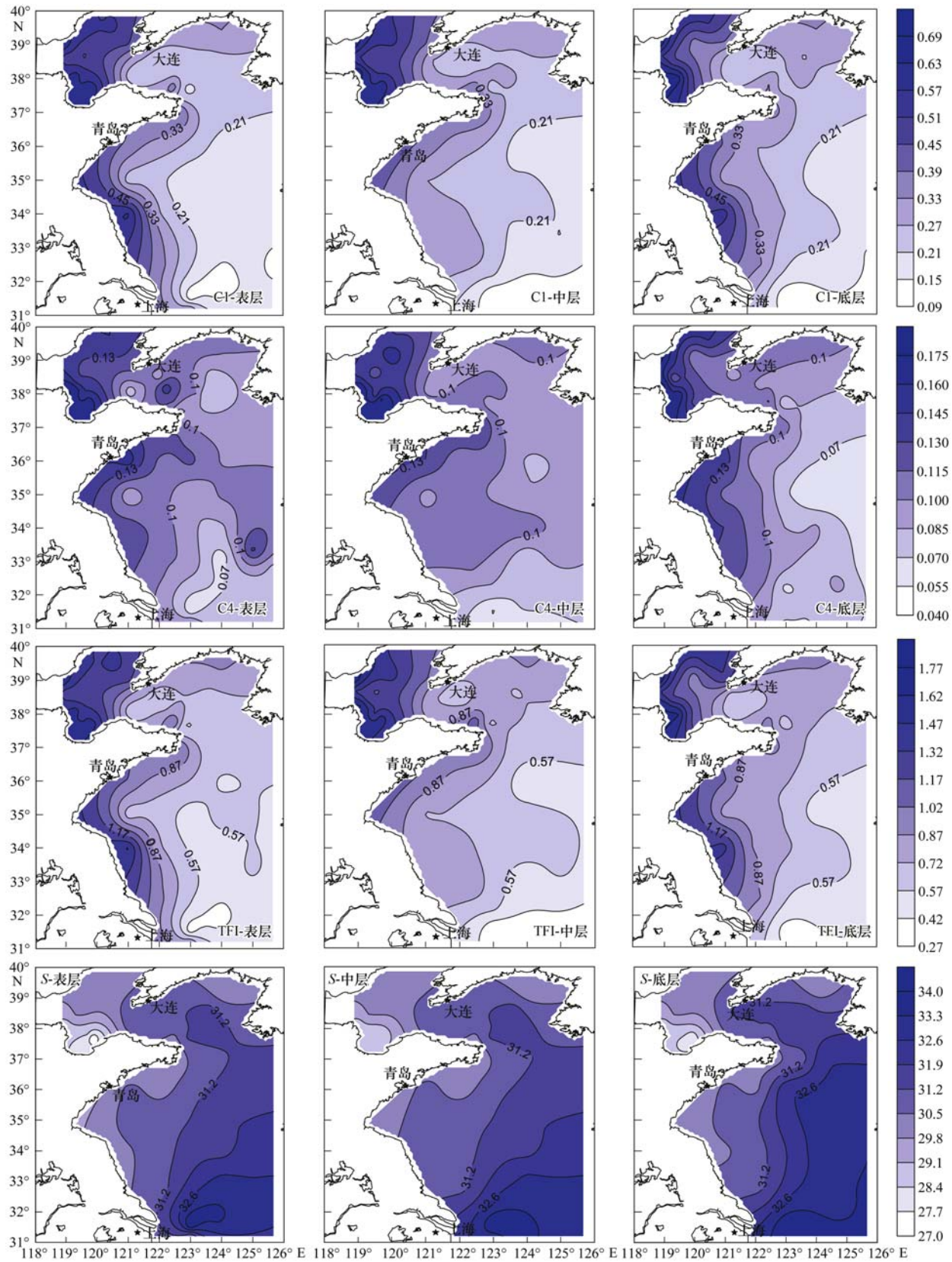


图 4 秋季黄渤海海域 C1、C4、TFI 和 S 的分布

Fig. 4 Distributions of component 1, component 4, total fluorescence intensity and salinity from the Yellow Sea and the Bohai Sea in autumn

废水、生活污水、农业和海水养殖废水排入近岸海域,再加上辽南沿岸水、鲁北沿岸水以及苏北沿岸

水等水团运动的影响,在一定程度上将污染物质限制在近岸^[34],引起近岸海域 CDOM 荧光强度值升

高。在黄海底层海域,类腐殖质组分及总荧光强度的荧光值比中层大,表明黄海底层 CDOM 受底层沉积物再悬浮的影响较大^[35]。

在黄渤海海域各层,渤海海域平均荧光强度均高于黄海海域,这主要是由于渤海是一近封闭的内海,水深较浅,海水交换能力较差,海区自净能力差,使陆源排入渤海海域的有机物质无法迅速降解而累积。

2.2 秋季黄渤海海域营养盐的分布特征

2.2.1 秋季黄渤海海域营养盐的浓度变化特征

表 3 列出了秋季黄渤海海域溶解无机氮(DIN)、溶解有机氮(DON)和溶解无机磷(DIP)的平均浓度及其变化范围。结果表明,秋季渤海海域 DIN、DON 和 DIP 的浓度变化范围分别为 2.13 ~ 30.38、10.18 ~ 49.45 和 0.16 ~ 0.98 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,平均值分别为 (16.74 ± 6.56) 、 (21.72 ± 8.29) 和 (0.55 ± 0.20) $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。而秋季黄海海域 DIN、DON 和 DIP 的浓度变化范围则分别为 0.82 ~

17.18、5.60 ~ 36.17 和 0.02 ~ 1.25 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,平均值分别为 (7.41 ± 3.58) 、 (13.36 ± 5.55) 和 (0.43 ± 0.28) $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在黄渤海海域 DON 平均浓度均高于 DIN 的平均浓度,表明黄渤海海域溶解态氮主要组成部分为溶解有机氮^[37]。秋季黄渤海海域各项营养盐在不同层次水体中存在差异性。渤海海域 DIN 平均浓度在表层最高,中层次之,底层最低;DIP 平均浓度为表层最低,中层和底层相当;DON 平均浓度则为表层最高,中层次之,底层最低。而黄海海域 DIN 和 DIP 平均浓度均表现为底层最高,表层次之,中层最低;DON 平均浓度为表层最高,中层和底层相当。

此外,渤海海域 DIN、DON 和 DIP 的总体浓度均高于黄海海域,尤其是 DIN,其在渤海海域的平均浓度为黄海海域的 2 倍多。这是因为渤海是一近封闭的内海,交换和自净能力较差,受陆源影响较大,而黄海海域除受陆源输入影响外,在黄海海域底层还受黄海冷水团等水团作用的影响^[38~40]。

表 3 秋季黄渤海海域 DIN、DON 和 DIP 的平均浓度及变化范围/ $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 3 Concentrations and ranges of DIN, DON, and DIP in autumn of the Yellow Sea and the Bohai Sea/ $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

海区	层次	DIN		DON		DIP	
		平均值 $\pm$ S. D.	浓度范围	平均值 $\pm$ S. D.	浓度范围	平均值 $\pm$ S. D.	浓度范围
渤海	表层	19.29 $\pm$ 7.00	9.58 ~ 30.38	22.88 $\pm$ 10.61	13.01 ~ 49.45	0.52 $\pm$ 0.20	0.16 ~ 0.94
	中层	17.12 $\pm$ 5.52	9.54 ~ 24.57	22.79 $\pm$ 7.55	10.18 ~ 39.27	0.56 $\pm$ 0.20	0.23 ~ 0.95
	底层	15.00 $\pm$ 6.54	2.13 ~ 26.81	19.55 $\pm$ 5.90	10.71 ~ 28.22	0.55 $\pm$ 0.22	0.19 ~ 0.98
	平均	16.74 $\pm$ 6.56	2.13 ~ 30.38	21.72 $\pm$ 8.29	10.18 ~ 49.45	0.55 $\pm$ 0.20	0.16 ~ 0.98
黄海	表层	6.60 $\pm$ 3.64	0.82 ~ 16.53	14.69 $\pm$ 5.69	5.99 ~ 36.17	0.33 $\pm$ 0.21	0.02 ~ 0.78
	中层	6.36 $\pm$ 3.28	1.25 ~ 16.75	13.00 $\pm$ 4.65	7.68 ~ 23.87	0.31 $\pm$ 0.20	0.04 ~ 0.80
	底层	9.61 $\pm$ 3.39	5.09 ~ 17.18	13.04 $\pm$ 5.39	5.60 ~ 28.05	0.62 $\pm$ 0.30	0.17 ~ 1.25
	平均	7.41 $\pm$ 3.58	0.82 ~ 17.18	13.36 $\pm$ 5.55	5.60 ~ 36.17	0.43 $\pm$ 0.28	0.02 ~ 1.25

2.2.2 秋季黄渤海海域营养盐的平面分布特征

图 5 为秋季黄渤海海域溶解无机氮(DIN)、溶解有机氮(DON)和溶解无机磷(DIP)在各层的平面分布图。在渤海海域,DIN 高值区主要集中于莱州湾,其分布总体上呈现由近岸高值区到远岸逐渐降低的趋势,这表明渤海海域 DIN 主要受陆源输入的影响。渤海海域 DIP 高值区主要集中在曹妃甸近岸海域及渤海中部海域,其分布总体上呈现由高值区向北部、东部和南部海域逐渐降低的趋势,说明渤海海域 DIP 受陆源和海源共同影响。DON 在表层和底层的高值区主要出现在渤海中部偏南海域,中层的高值区集中在黄河入海口方向及附近海域,呈现由高值区向四周海域逐渐递减的趋势,这表明渤海海域 DON 受陆源和海源影响,但海源影响相对较大。

在黄海海域,DIN 和 DIP 在表层和中层的分布均呈现由近岸到远岸逐渐降低的趋势,与盐度的分布呈负相关,表明 DIN 和 DIP 在表、中层海域受陆源输入影响较大;而在底层,DIN 和 DIP 总体上呈现由近岸到远岸逐渐增加的趋势,尤其是 DIP,与盐度的分布呈正相关,表明 DIN 和 DIP 在底层海域主要受海源的影响。在表层,DIN 和 DIP 高值区域主要集中在山东半岛附近海域、长江入海口附近及江苏近岸海域,这主要是人类活动排放的大量的工业废水、生活污水、农业和海水养殖废水排入近岸海域导致 DIN 和 DIP 浓度的升高^[41,42]。此外,由江苏近岸向长江口外海方向出现 DIN 和 DIP 较高浓度的水舌,其伸展趋势与黄海西部沿岸流的扩展路径几乎一致,说明黄海西部沿岸流对 DIN 和 DIP 的分布有影响^[38,43]。在底层,DIN 和 DIP 高值区域主要

集中于黄海中部海域,其分布区域与底层黄海冷水团的分布基本一致,说明黄海冷水团对无机营养盐的累积有重要影响^[38-40]. DON 在表层、中层和底层基本呈现由近岸到远岸逐渐降低的趋势,表明黄海海域 DON 主要受陆源影响. 黄海海域 DON 高值区主要集中在江苏射阳、大丰、如东等近岸海域,这主要是由于该海域海水养殖所投放的养殖饲料中含有丰富的有机营养盐^[44].

从表 3 和图 5 可以看出,渤海海域各层的 DIN 和 DON 平均浓度均高于黄海海域,在表层和中层,渤海海域 DIP 的平均浓度高于黄海海域,但黄海底

层海域 DIP 的平均浓度高于渤海海域,一方面说明由于渤海海域是一近封闭的内海,受陆源影响较大;另一方面,这也说明黄海冷水团对黄海底层海域无机营养盐,特别是 DIP 的累积有重要的影响.

2.3 冗余分析

冗余分析(redundancy analysis, RDA)是通过原始变量与典型变量之间的相关性,分析引起原始变量变异原因的约束性排序分析方法. 在 CDOM 荧光组分的基础上,可通过 RDA 分析各环境因子与各荧光组分间相关性及其影响程度. 对秋季黄渤海海域的表层、中层和底层的 4 种荧光组分、DOC 与波长

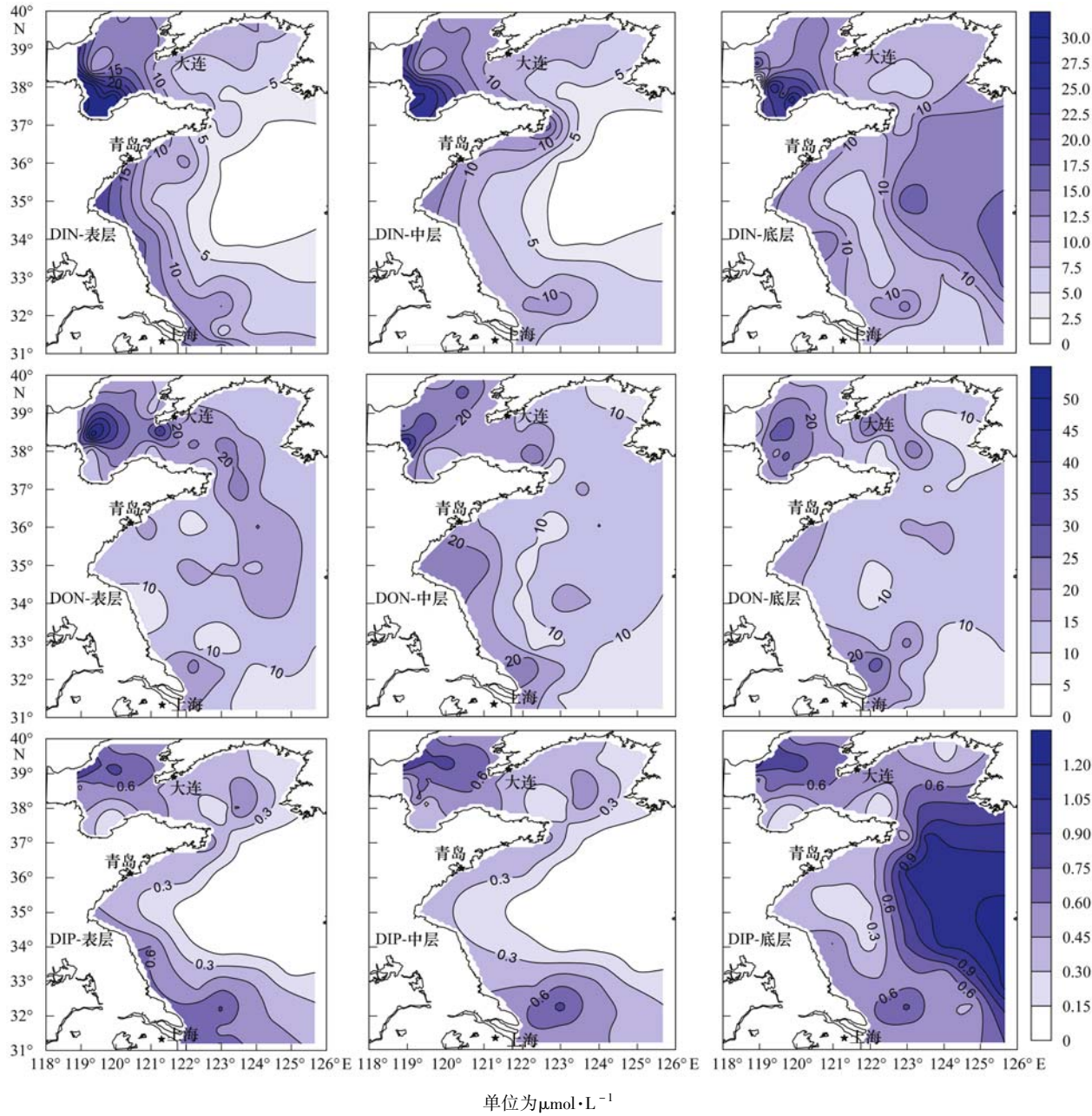


图 5 秋季黄渤海海域 DIN、DON 和 DIP 的分布

Fig. 5 Distributions of DIN, DON, and DIP in the Yellow Sea and the Bohai Sea in autumn

为 355 nm 处的吸收系数 (a_{355}) 进行去趋势对应分析^[45], 结果表明, 各层的排序轴最大梯度长度均小于 3, 因此选择了基于线性模型的冗余分析 (RDA). 由于 DO 在表层易受海气交换和浮游植物初级生产

力的影响, 所以在表层的分析中暂不考虑 DO. 秋季黄渤海海域各层的 CDOM (4 种荧光组分 C1 ~ C4、 a_{355})、DOC 和变量 (S 、Chl-a、DO、DIN、DON、DIP) 的排序结果如图 6 和图 7 所示.

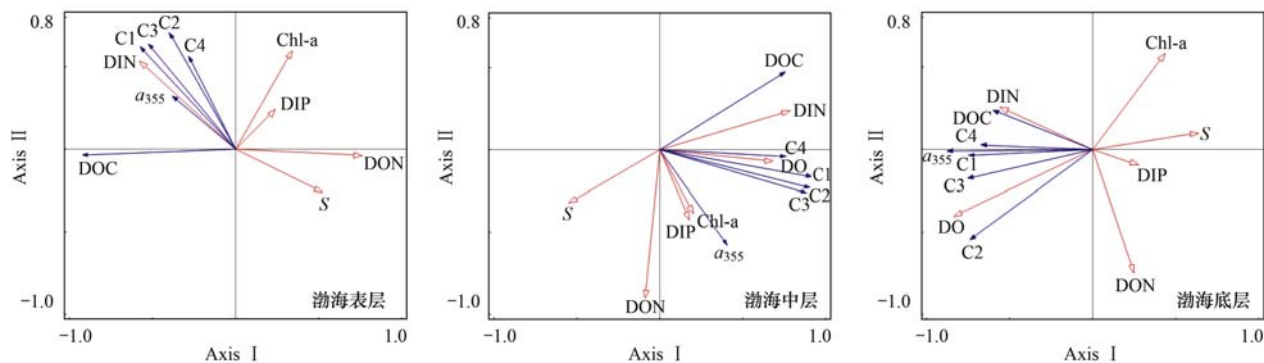


图 6 秋季渤海海域 4 种荧光组分、 a_{355} 、DOC 与环境因子 RDA 排序

Fig. 6 RDA ordination diagram of the four fluorescent components, a_{355} , DOC and environmental factors in the Bohai Sea in autumn

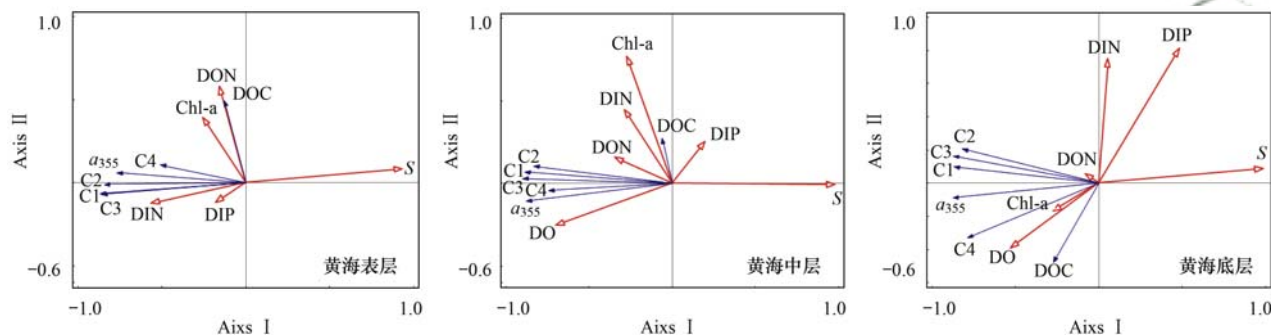


图 7 秋季黄海海域 4 种荧光组分、 a_{355} 、DOC 与环境因子 RDA 排序

Fig. 7 RDA ordination diagram of the four fluorescent components, a_{355} , DOC and environmental factors in the Yellow Sea in autumn

图 6 为渤海海域 4 种荧光组分、 a_{355} 、DOC 与环境变量的 RDA 排序图. 尽管渤海海域调查数据与黄海海域相比较少, 但总体来看, 4 种荧光组分与 a_{355} 的箭头之间的方向相同, 夹角较小, 说明它们之间的相关性较强. 各层盐度与 4 种荧光组分箭头方向相反, 与其反向延长线的夹角较小, 表明陆源输入是渤海海域 CDOM 的主要来源. 在各层, DOC 与 S 箭头方向相反, 与各荧光组分的箭头方向相同, 与各荧光组分的箭头间夹角小于 90° , 与 S 间夹角大于 90° , 表明 DOC 与 CDOM 有一定的正相关性, 与 S 有一定的负相关性, 即 DOC 与 CDOM 的来源及去除途径具有一定的相似性, 这说明渤海海域 DOC 主要受陆源输入控制. 各层的 DIN 与 S 箭头方向相反, 与各荧光组分的箭头方向相同, 且 DIN 与 S 箭头反方向的夹角较小, 说明陆源输入对各层 DIN 的影响较大. 在表层和底层, DIP 与 S 箭头方向相同, 但中层的 DIP 与各荧光组分的箭头方向相同, 表明渤海海域 DIP 受陆源和海源共同影响. 在表层、中层和底

层, DON 均与 S 箭头方向相同, 夹角较小, 说明渤海海域 DON 受海源影响较大.

图 7 为黄海海域 4 种荧光组分、 a_{355} 、DOC 与环境变量的 RDA 排序图. 从中可知, 4 种荧光组分与 a_{355} 的箭头之间的方向相同, 夹角很小, 说明它们之间的相关性很强. 在表层、中层和底层, 各环境因子对 CDOM 的影响程度由大到小为 $S > DO$ (表层不考虑 DO) $> Chl-a$, 且盐度与 4 种荧光组分及 a_{355} 箭头方向相反, 与其反向延长线的夹角较小, 表明陆源输入是 CDOM 的主要来源. 在中层和底层, DO 与 C4 箭头方向相同, 夹角较小且小于其它荧光组分, DO 在 C4 的投影长度与 C4 长度相差相对较小, 表明 C4 荧光组分受海洋微生物活动的影响较大. 在底层, Chl-a 与类腐殖质组分 (C1、C2 和 C3) 箭头方向相同, 且夹角小于表层和中层, 但 Chl-a 在类腐殖质组分的投影长度相对较短, 表明底层的类腐殖质组分与海洋浮游植物初级生产有关, 但影响较小. 在各层, DOC 与 S 箭头方向相反, 与 a_{355} 箭头方向相

同,与 a_{355} 箭头间夹角小于 90° ,与 S 间夹角大于 90° ,表明 DOC 与 CDOM 有一定的正相关性,与 S 有一定的负相关性,即 DOC 与 CDOM 的来源及去除途径具有一定的相似性,这说明 DOC 主要受陆源输入控制. 中、底层的 DOC 与 DO 箭头间夹角较小,说明 DOC 还受海源的影响^[46,47]. 表层的 DIN 和 DIP 均与 S 箭头方向相反,与 a_{355} 箭头方向相同,且 DIN 和 DIP 均与 a_{355} 箭头夹角小于 90° ,与 S 反方向的夹角较小,说明陆源输入对表层 DIN 和 DIP 的影响较大;在底层, DIN 和 DIP 均与 S 箭头方向相同,与 a_{355} 箭头方向相反,且 DIN、DIP 与 S 夹角均小于与 a_{355} 的夹角,表明 DIN、DIP 在底层主要受海源影响. 在表层、中层和底层, DON 均与 S 箭头方向相反,与 a_{355} 箭头方向相同,且中层和底层的 DON 与 3 种类腐殖质组分荧光组分箭头之间夹角很小,表明 DON 与 CDOM 有一定的相关性,尤其中、底层的 DON 与类腐殖质组分相关性强于类蛋白质组分和 S ,说明 DON 主要受陆源输入影响.

综上所述,黄渤海海域各层 CDOM 主要受陆源输入的影响,类蛋白质组分还受微生物活动等海源因素的影响,这与 2.1.1 和 2.1.2 节的结论相一致. 渤海海域 DIN 受陆源输入的影响较大, DIP 受陆源和海源共同影响. 而黄海海域 DIN 和 DIP 在表层受陆源输入影响较大,底层的 DIN、DIP 主要受海源影响,总体来说,黄海海域 DIN 和 DIP 受陆源和海源共同影响. 渤海海域 DON 受海源影响较大,而黄海海域 DON 主要受陆源输入影响. 这与 2.2.2 节的结论相一致. 黄渤海海域 DOC 在各层主要受陆源输入的影响,且海源也有一定的贡献.

3 结论

(1)通过三维荧光光谱-平行因子分析法解析了 2013 年秋季南黄海海域的荧光组分,共有 4 种:3 种类腐殖质组分(C1、C2、C3)和 1 个类蛋白质组分(C4). 3 种类腐殖质组分在黄渤海海域的各层的水平分布与总荧光强度的分布相吻合,呈现由近岸向远岸逐渐递减的趋势,表明类腐殖质组分主要受陆源输入的影响;在黄海表层和渤海中层海域,类蛋白质组分荧光强度在近岸和远岸海域出现极大值,而在渤海表层和底层海域以及黄海中层和底层海域的分布与总荧光强度的分布相吻合,表明类蛋白质组分受陆源和海源的共同影响,但陆源影响较大. 渤海海域各荧光组分荧光强度均高于黄海海域. 黄渤海海域 DOC 受陆源与海源的共同影响,但陆源影

响较大.

(2)秋季渤海海域 DIN、DON 和 DIP 的平均浓度为 (16.74 ± 6.56) 、 (21.72 ± 8.29) 和 $(0.55 \pm 0.20) \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. 黄海海域 DIN、DON 和 DIP 的平均浓度为 (7.41 ± 3.58) 、 (13.36 ± 5.55) 和 $(0.43 \pm 0.28) \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. 渤海海域 DIN、DON 和 DIP 的总体浓度均高于黄海海域. 渤海海域表层 DIN 和 DON 浓度高于底层浓度;而渤海海域底层 DIP 浓度高于表层浓度. 黄海海域底层 DIN 和 DIP 浓度高于表层,而表层 DON 浓度最高,中层和底层 DON 浓度相当.

(3)渤海海域 DIN 在各层的分布总体上呈现由近岸到远岸逐渐降低的趋势, DIP 总体上呈现由曹妃甸近岸海域及中部海域的高值区向北部、东部和南部海域逐渐降低的趋势, DON 则呈现由渤海中部偏南海域的高值区向四周逐渐递减的趋势. 在黄海表层和中层海域, DIN 和 DIP 的分布均呈现由近岸到远岸逐渐降低的趋势,而在黄海底层海域, DIN 和 DIP 则呈现由近岸到远岸逐渐增加的趋势,主要受黄海冷水团的影响. DON 在黄海各层海域基本呈现由近岸到远岸逐渐降低的趋势. 渤海海域 DIN 受陆源输入的影响较大, DIP 受陆源和海源共同影响. 而黄海海域 DIN 和 DIP 受陆源和海源共同影响. 渤海海域 DON 受海源影响较大,而黄海海域 DON 主要受陆源输入影响.

参考文献:

- [1] 国家海洋局. 2016 年中国海洋灾害公报[EB/OL]. http://www.coi.gov.cn/gongbao/zaihai/201703/t20170331_35445.html, 2017-03-31.
- [2] 张传松, 王修林, 石晓勇, 等. 东海赤潮高发区营养盐时空分布特征及其与赤潮的关系[J]. 环境科学, 2007, **28**(11): 2416-2424.
Zhang C S, Wang X L, Shi X Y, *et al.* Seasonal variation and spatial distribution of nutrients and their relationships with harmful algal blooms in coastal area of the East China Sea[J]. Environmental Science, 2007, **28**(11): 2416-2424.
- [3] 李鸿妹, 石晓勇, 陈鹏, 等. 春季东海赤潮发生前后营养盐及溶解氧的平面分布特征[J]. 环境科学, 2013, **34**(6): 2159-2165.
Li H M, Shi X Y, Chen P, *et al.* Distribution of dissolved inorganic nutrients and dissolved oxygen in the high frequency area of harmful algal blooms in the East China Sea in spring[J]. Environmental Science, 2013, **34**(6): 2159-2165.
- [4] 夏斌, 马绍赛, 崔毅, 等. 黄海绿潮(浒苔)暴发区温盐、溶解氧和营养盐的分布特征及其与绿潮发生的关系[J]. 渔业科学进展, 2009, **30**(5): 94-101.
Xia B, Ma S S, Cui Y, *et al.* Distribution of temperature, salinity, dissolved oxygen, nutrients and their relationships with green tide in *Enteromorpha prolifera* outbreak area of the Yellow

- Sea[J]. Progress in Fishery Sciences, 2009, **30**(5): 94-101.
- [5] 王文涛, 杨桂朋, 于娟, 等. 夏季黄海和渤海微表层和次表层海水中营养盐的分布特征[J]. 环境科学, 2013, **34**(8): 2983-2991.
- Wang W T, Yang G P, Yu J, *et al.* Distributional characteristics of nutrients in the sea – surface microlayer and subsurface water of the Bohai and Yellow Sea in summer[J]. Environmental Science, 2013, **34**(8): 2983-2991.
- [6] Nelson N B, Siegel D A, Michaels A F. Seasonal dynamics of colored dissolved material in the Sargasso Sea[J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 1998, **45**(6): 931-957.
- [7] Kieber D J, Mopper K. Photochemical formation of glyoxylic and pyruvic acids in seawater[J]. Marine Chemistry, 1987, **21**(2): 135-149.
- [8] Green S A. Applications of fluorescence spectroscopy to environmental chemistry[D]. Coastal South Florida, Gulf of Mexico; Massachusetts Institute of Technology, Woods Hole Oceanographic Institution, 1992.
- [9] Nieke B, Reuter R, Heuermann R, *et al.* Light absorption and fluorescence properties of chromophoric dissolved organic matter (CDOM), in the St. Lawrence Estuary (Case 2 waters)[J]. Continental Shelf Research, 1997, **17**(3): 235-252.
- [10] Kowalczyk P, Cooper W J, Whitehead R F, *et al.* Characterization of CDOM in an organic-rich river and surrounding coastal ocean in the South Atlantic Bight[J]. Aquatic Sciences, 2003, **65**(4): 384-401.
- [11] Singh S, D'Sa E, Swenson E. Seasonal variability in CDOM absorption and fluorescence properties in the Barataria Basin, Louisiana, USA[J]. Journal of Environmental Sciences, 2010, **22**(10): 1481-1490.
- [12] 何小松, 张慧, 黄彩红, 等. 地下水中溶解性有机物的垂直分布特征及成因[J]. 环境科学, 2016, **37**(10): 3813-3820.
- He X S, Zhang H, Huang C H, *et al.* Vertical distribution characteristics of dissolved organic matter in groundwater and its cause[J]. Environmental Science, 2016, **37**(10): 3813-3820.
- [13] Coble P G. Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy[J]. Marine Chemistry, 1996, **51**(4): 325-346.
- [14] Zhang Y L, Van Dijk M A, Liu M L, *et al.* The contribution of phytoplankton degradation to chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in eutrophic shallow lakes: field and experimental evidence[J]. Water Research, 2009, **43**(18): 4685-4697.
- [15] Cory R M, McKnight D M. Fluorescence spectroscopy reveals ubiquitous presence of oxidized and reduced quinones in dissolved organic matter[J]. Environmental Science & Technology, 2005, **39**(21): 8142-8149.
- [16] Zhao Y, Song K, Li S, *et al.* Characterization of CDOM from urban waters in Northern-Northeastern China using excitation – emission matrix fluorescence and parallel factor analysis[J]. Environmental Science & Pollution Research, 2016, **23**(15): 15381-15394.
- [17] Fellman J B, Miller M P, Cory R M, *et al.* Characterizing dissolved organic matter using parafac modeling of fluorescence spectroscopy: a comparison of two models[J]. Environmental Science & Technology, 2009, **43**(16): 6228-6234.
- [18] Zhang Y L, Qin B Q, Zhu G W, *et al.* Chromophoric dissolved organic matter (CDOM) absorption characteristics in relation to fluorescence in Lake Taihu, China, a large shallow subtropical lake[J]. Hydrobiologia, 2007, **581**(1): 43-52.
- [19] 王丽莎, 张传松, 王颢, 等. 夏季黄渤海生源要素的平面分布特征[J]. 海洋环境科学, 2015, **34**(3): 361-366, 383.
- Wang L S, Zhang C S, Wang H, *et al.* Horizontal distribution features of biogenic elements in Bohai Sea and the Yellow Sea in summer[J]. Marine Environmental Science, 2015, **34**(3): 361-366, 383.
- [20] 石晓勇, 张婷, 张传松, 等. 黄海、东海颗粒有机碳的时空分布特征[J]. 海洋环境科学, 2011, **30**(1): 1-6.
- Shi X Y, Zhang T, Zhang C S, *et al.* Spatial and temporal distribution of particulate organic carbon in Yellow Sea and East China Sea[J]. Marine Environmental Science, 2011, **30**(1): 1-6.
- [21] 闫丽红. 基于三维荧光光谱 – 平行因子分析技术的黄东海有色溶解有机物(CDOM)的分布特征研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- Yan L H. The study on distribution and characteristics of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) using excitation emission matrix spectroscopy – parallel factor analysis in the Yellow Sea and the East China Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [22] 刘畅. 分光光度法测定水中叶绿素 a 的方法研究[J]. 现代农业科技, 2014, (11): 238, 241.
- Liu C. Research on determination of chlorophyll a in water by spectrophotometric method[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2014, (11): 238, 241.
- [23] Jeffrey D S W, Humphrey G F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c₁ and c₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton[J]. Biochimie Physiologie der Pflanzen, 1975, **167**(2): 191-194.
- [24] 李鸿妹, 石晓勇, 商容宁, 等. 秋季黄渤海溶解有机碳的分布特征及影响因素[J]. 海洋环境科学, 2013, **32**(2): 161-164, 181.
- Li H M, Shi X Y, Shang R N, *et al.* Distribution of dissolved organic carbon and its influence factors in the Bohai Sea and Yellow Sea in autumn[J]. Marine Environmental Science, 2013, **32**(2): 161-164, 181.
- [25] 祝陈坚. 海水分析化学实验[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2006.
- [26] Zepp R G, Sheldon W M, Moran M A. Dissolved organic fluorophores in southeastern US coastal waters: correction method for eliminating Rayleigh and Raman scattering peaks in excitation-emission matrices[J]. Marine Chemistry, 2004, **89**(1-4): 15-36.
- [27] Coble P G, Castillo C E D, Avril B, *et al.* Distribution and optical properties of CDOM in the Arabian Sea during the 1995 Southwest Monsoon[J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 1998, **45**(10-11): 2195-2223.
- [28] Stedmon C A, Markager S, Bro R. Tracing dissolved organic matter in aquatic environments using a new approach to fluorescence spectroscopy[J]. Marine Chemistry, 2003, **82**(3-4): 239-254.
- [29] Fellman J B, D'Amore D V, Hood E, *et al.* Fluorescence characteristics and biodegradability of dissolved organic matter in

- forest and wetland soils from coastal temperate watersheds in southeast Alaska [J]. *Biogeochemistry*, 2008, **88**(2): 169-184.
- [30] Stedmon C A, Markager S. Resolving the variability in dissolved organic matter fluorescence in a temperate estuary and its catchment using PARAFAC analysis [J]. *Limnology and Oceanography*, 2005, **50**(2): 686-697.
- [31] Wang Y, Zhang D, Shen Z Y, *et al.* Characterization and spacial distribution variability of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in the Yangtze Estuary [J]. *Chemosphere*, 2014, **95**: 353-362.
- [32] Murphy K R, Stedmon C A, Waite T D, *et al.* Distinguishing between terrestrial and autochthonous organic matter sources in marine environments using fluorescence spectroscopy[J]. *Marine Chemistry*, 2008, **108**(1-2): 40-58.
- [33] 苏纪兰. 中国近海水文[M]. 北京: 海洋出版社, 2005.
- [34] 韦钦胜, 于志刚, 冉祥滨, 等. 黄海西部沿岸流系特征分析及其对物质运输的影响[J]. *地球科学进展*, 2011, **26**(2): 145-156.
- Wei Q S, Yu Z G, Ran X B, *et al.* Characteristics of the western coastal current of the Yellow Sea and its impacts on material transportation[J]. *Advances in Earth Science*, 2011, **26**(2): 145-156.
- [35] Guo W D, Yang L Y, Zhai W D, *et al.* Runoff-mediated seasonal oscillation in the dynamics of dissolved organic matter in different branches of a large bifurcated estuary—the Changjiang estuary[J]. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2014, **119**(5): 776-793.
- [36] 高立蒙. 渤、黄海表层沉积物中有机碳的分布、来源与保存[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2016.
- [37] 李志林, 石晓勇, 张传松. 春季黄渤海海水中尿素分布特征及溶解态氮的组成[J]. *环境科学*, 2015, **36**(11): 3999-4004.
- Li Z L, Shi X Y, Zhang C S. Distribution characteristics of urea and constitution of dissolved nitrogen in the Bohai Sea and the Huanghai Sea in spring[J]. *Environmental Science*, 2015, **36**(11): 3999-4004.
- [38] 于子洋. 2011-2013 年南黄海及东海北部海域营养盐分布规律研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- Yu Z Y. Characteristics of nutrient in the southern Yellow Sea and northern East China Sea from 2011 to 2013[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [39] Su N, Du J Z, Liu S M, *et al.* Nutrient fluxes via radium isotopes from the coast to offshore and from the seafloor to upper waters after the 2009 spring bloom in the Yellow Sea[J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2013, **97**: 33-42.
- [40] 韦钦胜, 周明, 魏修华, 等. 冬季南黄海海水化学要素的分布特征及变化趋势[J]. *海洋科学进展*, 2010, **28**(3): 353-363.
- Wei Q S, Zhou M, Wei X H, *et al.* Distribution features and variation tendency of chemical elements in the southern Yellow Sea in winter[J]. *Advances in Marine Science*, 2010, **28**(3): 353-363.
- [41] Li H M, Zhang C S, Han X R, *et al.* Changes in concentrations of oxygen, dissolved nitrogen, phosphate, and silicate in the southern Yellow Sea, 1980-2012: Sources and seaward gradients [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2015, **163**: 44-55.
- [42] Ounissi M, Ziouch O R, Aounallah O. Variability of the dissolved nutrient (N, P, Si) concentrations in the Bay of Annaba in relation to the inputs of the Seybouse and Mafrah estuaries[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, **80**(1-2): 234-244.
- [43] Lin C, Ning X, Su J, *et al.* Environmental changes and the responses of the ecosystems of the Yellow Sea during 1976-2000 [J]. *Journal of Marine Systems*, 2005, **55**(3-4): 223-234.
- [44] 李鸿妹. 营养盐与黄海浒苔绿潮暴发关系的探究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
- Li H M. Relationship between nutrients and the occurrence of macroalgal blooms in the Yellow Sea [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015.
- [45] Lepš J, Šmilauer P. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2003. 1-269.
- [46] Astoreca R, Rousseau V, Lancelot C. Coloured dissolved organic matter (CDOM) in southern North Sea waters: optical characterization and possible origin[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2009, **85**(4): 633-640.
- [47] 陈欣, 张霄宇, 雷惠. 长江口 CDOM 的光谱吸收特征以及 DOC 物源示踪意义[J]. *海洋环境科学*, 2012, **31**(5): 625-630.
- Chen X, Zhang X Y, Lei H. Optical absorption properties of CDOM and tracing implication of DOC in the Changjiang estuary [J]. *Marine Environmental Science*, 2012, **31**(5): 625-630.

CONTENTS

Development of a Non-Road Mobile Source Emissions Inventory for Tianjin	ZHANG Yi, Andre Michel, LI Dong, <i>et al.</i> (4447)
Spatial Simulation of Black Carbon Concentrations Based on a Land Use Regression Model and Mobile Monitoring over Shanghai, China	PENG Xia, SHE Qian-nan, LONG Ling-bo, <i>et al.</i> (4454)
Characteristics and Sources of Elements of a PM ₁₀ Measurements from a Typical Industrial City in Eastern Hubei Province	ZHAN Chang-lin, ZHANG Jia-quan, ZHENG Jing-ru, <i>et al.</i> (4463)
Characteristics and Source Identification of Carbonaceous Aerosols in PM _{2.5} Measurements During Summer and Fall in Changzhou	YE Zhao-lian, LIU Jia-shu, LI Qing, <i>et al.</i> (4469)
Characteristics and Sources of Water Soluble Inorganic Ions in Fine Particulate Matter During Winter in Xuzhou	FAN Mei-yi, CAO Fang, ZHANG Yuan-yuan, <i>et al.</i> (4478)
Physicochemical Properties and Sources of Atmospheric Particulate Matter During Pollution Monitoring in Nanning, China	LIU Hui-lin, CHEN Zhi-ming, LI Hong-jiao, <i>et al.</i> (4486)
Concentration and Size Distribution Characteristics of Culturable Bioaerosols at Various Air Quality Levels During Fall and Winter in Xi'an, China	LI Wan-xin, LU Rui, XIE Zheng-sheng, <i>et al.</i> (4494)
Distribution Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter and Nutrients from the Yellow Sea and Bohai Sea in Autumn	TANG Yong, SUN Yu-yan, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> (4501)
Characteristics and Risks of Heavy Metals Content in Surface Sediment of Tidal Flat Areas in Eastern China	ZHANG Ming, BAO Zhen-yu, CHEN Guo-guang, <i>et al.</i> (4513)
Heavy Metals in Sediments from the Haizhou Bay Marine Ranching Based on Geochemical Characteristics	LI Da-peng, ZHANG Shuo, ZHANG Zhong-fa, <i>et al.</i> (4525)
Major Ionic Features and Their Possible Controls in the Water of the Niyang River Basin	ZHANG Tao, CAI Wu-tian, LI Ying-zhi, <i>et al.</i> (4537)
Vertical Distribution Characteristics of Fe and Mn in Subtropical Reservoirs During Summer	YANG Si-yuan, ZHAO Jian, YU Hua-zhang, <i>et al.</i> (4546)
Occurrence, Distribution, and Ecological Risk of Antibiotics in Surface Water in the Liaohe River Basin, China	ZHANG Xiao-jiao, BAI Yang-wei, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (4553)
Effects of Optimized Fish Farming on the Sediment Nutrients of Eastern Lake Taihu	HE Xiao-wei, CHU Yu, ZENG Jin, <i>et al.</i> (4562)
Responses of the Benthic Diatom Community to Nutrients and the Identification of Nutrient Thresholds in Three Aquatic Ecoregions of the Huntai River, Northeast China	ZHANG Li, LIN Jia-ning, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (4570)
Impacts of Environmental Conditions on the Soaking Release of Nitrogen and Phosphorus from <i>Cynodon dactylon</i> (Linn.) Pers. in the Water-level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir Region	XIAO Li-wei, ZHU Bo (4580)
Effects of Soil Microbial Diversity on the Phosphate Fraction in the Rhizosphere of <i>Phragmites communis</i> in the Yeyahu Wetland in Beijing, China	TENG Ze-dong, LI Min, ZHU Jing, <i>et al.</i> (4589)
Nitrification and Denitrification Potential of Benthic Sediments in a Suburban Stream under Intense Human Disturbance Scenarios	LI Ru-zhong, ZHENG Xia, GAO Su-di, <i>et al.</i> (4598)
Distribution of External Phosphorus in the Sedimentary Phosphorus forms Under Different Disturbances	CAI Shun-zhi, LI Da-peng, TANG Xin-yu, <i>et al.</i> (4607)
Effect of <i>Elodea nuttallii</i> -Immobilized Nitrogen Cycling Bacteria on the Mechanism of Nitrogen Removal in Polluted River Water	WANG Hao, LI Zheng-kui, ZHANG Yi-pin, <i>et al.</i> (4617)
Zero-Valent Iron (ZVI) Activation of Persulfate (PS) for Oxidation of Arsenic (V) Form Aqueous Solutions	ZHOU Zi-mai, DENG Wen-na, YANG Yi-lin, <i>et al.</i> (4623)
Removal of Antimony from Water by Nano Zero-Valent Iron/Activated Carbon Composites	JIANG Ting, BAO Yue, LI Wei, <i>et al.</i> (4632)
Effect of the Flow Patterns of Main-stream Reactors on the Efficiency of Nitrification Enhancement with Bioaugmentation	YU Li-fang, DU Qian-qian, ZHANG Ru, <i>et al.</i> (4641)
Effect of Temperature on Nitrogen Removal Performance and the Extracellular Polymeric Substance (EPS) in a Sequencing Batch Reactor (SBR)	SUN Hong-wei, CHEN Cui-zhong, WU Chang-feng, <i>et al.</i> (4648)
Effects of Temperature on Shortcut Nitrification and Nitrification Activity of Nitrification in an Intermittent Aeration Sequencing Batch Reactor	LIU Hong, PENG Yong-zhen, LU Jiong-yuan, <i>et al.</i> (4656)
Nitrite Type Denitrifying Phosphorus Removal Capacity of Cycle Activated Sludge Technology Processes Under Different Inducing Patterns	MA Juan, WANG Jin, YU Xiao-jun, <i>et al.</i> (4664)
Laboratory-scale CANON Processes Applied to Wastewater Treatment Plants	LI Dong, ZHAO Shi-xun, WANG Jun-an, <i>et al.</i> (4673)
Effects of Magnetic Activated Carbon with Different Particle Sizes on Sludge Granulation in a SBR System	XIN Xin, GUAN Lei, GUO Jun-yuan, <i>et al.</i> (4679)
Storage and Reactivation of Anaerobic Ammonium Oxidation (ANAMMOX) Sludge at Room Temperature	HUANG Jia-lu, WANG Xiao-long, GAO Da-wen (4687)
Microbial Population Dynamics During Sludge Granulation in a Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal System	GAO Jing-feng, WANG Shi-jie, FAN Xiao-yan, <i>et al.</i> (4696)
Anaerobic Reduction Process Characteristics and Microbial Community Analysis for Sulfate and Fe(II) EDTA-NO ₃ /Fe(III) EDTA	ZHANG Yu, WAN Fang, ZHOU Ji-ti (4706)
Treatment Efficiency and Microbial Community Diversity in a Magnetic Field Enhanced Sequencing Batch Reactor (SBR)	GENG Shu-ying, FU Wei-zhang, WANG Jing, <i>et al.</i> (4715)
Molecular Research of Acid-Generating Microbial Communities in Abandoned Ores in the Waste Dump of an Iron Mine in Anhui Province	DU Ze-rui, HAO Chun-bo, PEI Li-xin, <i>et al.</i> (4725)
Microbial Community Diversity and Differences in Cellar water of Typical Rainwater Harvesting Area	YANG Hao, ZHANG Guo-zhen, YANG Xiao-ni, <i>et al.</i> (4733)
Impact of the Biodegradation of 6:2 Fluorotelomer Alcohol on the Bacterial Community Structure of Surface Sediment	WANG Dan, HOU Zhen, ZHANG Qi, <i>et al.</i> (4747)
Degradation Process of Exogenous Naphthenic Acids and Their Effects on Microbial Community Structure in Soil	LIU Yan-qiu, ZHAO Yan-ran, LIU Meng-jiao, <i>et al.</i> (4756)
Identification and Nitrogen Removal Characteristics of the Heterotrophic Nitrification and Aerobic Denitrification Bacterial Strain DK1	MU Dong-yang, JIN Peng-fei, PENG Yong-zhen, <i>et al.</i> (4763)
Mercury Release Flux and Its Influencing Factors Under Four Typical Vegetation Covers at Jinyun Mountain, Chongqing	YANG Guang, SUN Tao, AN Si-wei, <i>et al.</i> (4774)
Short-term Effects of Nitrogen Deposition on CO ₂ and CH ₄ Fluxes from Wetlands in the Minjiang River Estuary	LI Dong-dong, TONG Chuan, TAN Li-shan, <i>et al.</i> (4782)
Effects of Plastic Film Mulching on Methane and Nitrous Oxide Emissions from a Rice-Rapeseed Crop Rotation	SHI Jiang-lai, HAO Qing-ju, FENG Di, <i>et al.</i> (4790)
Assessment of Pollution, Sources, and Risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soil from Urban Parks in Xi'an City, China	ZHOU Yan, LU Xin-wei (4800)
Spatial Distribution of Soil Particles and Heavy Metals Under Different Psammophilic Shrubs in the Ulan Buh Desert	DAI Yu-jie, GUO Jian-ying, DONG Zhi, <i>et al.</i> (4809)
Effects of UV-B Radiation on Soil Carbon and Nitrogen Transformation under Different Soil Moisture Contents from Two Paddy Fields	JIANG Meng-die, WANG Qiu-min, XU Peng, <i>et al.</i> (4819)
Various effects on the Abundance and Composition of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities in Soils in Karst Shrub Ecosystems	LIANG Yue-ming, SU Yi-rong, HE Xun-yang, <i>et al.</i> (4828)
Remediation of Cd/Ni Contaminated Soil by Biochar and Oxalic Acid Activated Phosphate Rock	DUAN Ran, HU Hong-qing, FU Qing-ling, <i>et al.</i> (4836)
Effects of Repeated Freezing and Thawing and High Temperature Aging on the Solidification and Stabilization of Arsenic Contaminated Soil	YANG Jie, QIAN Zhao-qiu, WANG Jing (4844)
Evaluation of the Combined Removal of Heavy Metals by Saponin and Citric Acid from Municipal Sewage Sludges and Metal Stability Features	YE Tao, HUANG Li, ZHANG Ke-qiang, <i>et al.</i> (4850)
Interactions between Goethite and Humic Acid and the Stability of Goethite-Humic Acid Complex	WANG Rui, ZHU Chao-ju, XIANG Wen-jun, <i>et al.</i> (4860)
Contents and Health Risks of Organic Phosphorus Esters in Plastic Runway Products	YIN Hong-ling, LIU Qin, LIAO Lin-qun, <i>et al.</i> (4868)
Effects on Physico-chemical Parameters of Glycoside Hydrolase Family 6 Genes During Composting of Agricultural Waste	CHEN Yao-ning, GOU Yu, LI Yuan-ping, <i>et al.</i> (4874)
Effect of the Food to Mass Ratio and Hydraulic Retention Time on Hydrogen Production from Fruit and Vegetable Waste	LI Biao, KONG Xiao-ying, LI Lian-hua, <i>et al.</i> (4882)
Comment on Sensitivity Analysis Methods for Environmental Models	CHEN Wei-ping, TU Hong-zhi, PENG Chi, <i>et al.</i> (4889)