

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第1期

Vol.36 No.1

**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

2013年夏季典型光化学污染过程中长三角典型城市O<sub>3</sub>来源识别 ..... 李浩, 李莉, 黄成, 安静宇, 严茹莎, 黄海英, 王杨君, 卢清, 王倩, 楼晟荣, 王红丽, 周敏, 陶士康, 乔利平, 陈明华( 1 )

厦门冬春季大气VOCs的污染特征及臭氧生成潜势 ..... 徐慧, 张晗, 邢振雨, 邓君俊( 11 )

近10年海南岛大气NO<sub>2</sub>的时空变化及污染物来源解析 ..... 符传博, 陈有龙, 丹利, 唐家翔( 18 )

稻草烟尘中有机碳/元素碳及水溶性离子的组成 ..... 洪蕾, 刘刚, 杨孟, 徐慧, 李久海, 陈惠雨, 黄柯, 杨伟宗, 吴丹( 25 )

气相色谱-脉冲氦离子化检测法(GC-PDHID)分析大气中分子氢(H<sub>2</sub>)浓度 ..... 栾天, 方双喜, 周凌晔, 王红阳, 张根( 34 )

小浪底水库影响下的黄河花园口站和小浪底站pCO<sub>2</sub>特征及扩散通量 ..... 张永领, 杨小林, 张东( 40 )

夏季中国东海生源有机硫化物的分布及其影响因素研究 ..... 李江萍, 张洪海, 杨桂朋( 49 )

基于Landsat 8影像估算新安江水库总悬浮物浓度 ..... 张毅博, 张运林, 查勇, 施坤, 周永强, 王明珠( 56 )

温瑞塘河流域水体污染时空分异特征及污染源识别 ..... 马小雪, 王腊春, 廖玲玲( 64 )

人类活动影响下水化学特征的影响: 以西江中上游流域为例 ..... 于爽, 孙平安, 杜文越, 何师意, 李瑞( 72 )

太湖梅梁湾不同形态磷周年变化规律及藻类响应研究 ..... 汪明, 武晓飞, 李大鹏, 李祥, 黄勇( 80 )

鄱阳湖沉积物可转化态氮分布特征及其对江湖关系变化的响应 ..... 沈洪艳, 张绵绵, 倪兆奎, 王圣瑞( 87 )

影响浑太河流域大型底栖动物群落结构的环境因子分析 ..... 李艳利, 李艳粉, 徐宗学( 94 )

水华生消过程对巢湖沉积物微生物群落结构的影响 ..... 刁晓君, 李一葳, 王曙光( 107 )

蓝藻水华聚集对水葫芦生理生态的影响 ..... 吴婷婷, 刘国锋, 韩士群, 周庆, 唐婉莹( 114 )

汞在小浪底水库的赋存形态及其时空变化 ..... 程柳, 毛宇翔, 麻冰涓, 王梅( 121 )

三峡库区典型农田小流域土壤汞的空间分布特征 ..... 王娅, 赵铮, 木志坚, 王定勇, 余亚伟( 130 )

三峡库区农林畜复合小流域水体汞的时空变化特征 ..... 赵铮, 王娅, 木志坚, 王定勇( 136 )

环境条件对三峡库区消落带土壤中邻苯二甲酸二丁酯向上覆水静态迁移释放的影响 ..... 宋娇艳, 木志坚, 王强, 杨志丹, 王法( 143 )

三峡库区消落带土壤中溶解性有机质(DOM)吸收及荧光光谱特征 ..... 高洁, 江韬, 李璐璐, 陈雪霜, 魏世强, 王定勇, 闫金龙, 赵铮( 151 )

舟山渔场有色溶解有机物(CDOM)的三维荧光-平行因子分析 ..... 周倩倩, 苏荣国, 白莹, 张传松, 石晓勇( 163 )

太原市小店污灌区地下水中多环芳烃与有机氯农药污染特征及分布规律 ..... 李佳乐, 张彩香, 王焰新, 廖小平, 姚林林, 刘敏, 徐亮( 172 )

厦门杏林湾水系表层沉积物中PAHs分析与风险评估 ..... 程启明, 黄青, 廖祯妮, 苏丽, 刘兴强, 唐剑锋( 179 )

两种不同的地下水污染风险评价体系对比分析: 以北京市平原区为例 ..... 王红娜, 何江涛, 马文洁, 许真( 186 )

大冶湖滨岸带重金属水-土迁移特征与风险评价 ..... 张家泉, 李秀, 张全发, 李琼, 肖文胜, 王永奎, 张建春, 盖希光( 194 )

铁盐絮凝法从阳宗海湖水中除砷研究与现场扩大试验 ..... 陈景, 张曙, 杨项军, 黄章杰, 王世雄, 王莞, 韦群燕, 张良林, 肖军( 202 )

铋银氧化物混合物高效氧化降解四溴双酚A的研究 ..... 陈满堂, 宋洲, 王楠, 丁耀彬, 廖海星, 朱丽华( 209 )

一种纳米级不定形碳对水中四环素的吸附研究 ..... 吴亦潇, 李爱民, 汪的华, 张维昊( 215 )

磁性壳聚糖衍生物对阴离子染料的吸附行为 ..... 张聪璐, 胡筱敏, 赵研, 苏雷( 221 )

腐殖酸-高岭土复合体形成机制及对三氯乙烯的吸附 ..... 朱晓婧, 何江涛, 苏思慧( 227 )

降温过程对ANAMMOX工艺城市污水处理系统中微生物群落的影响 ..... 赵志瑞, 苗志加, 李铎, 崔丙健, 万敬敏, 马斌, 白志辉, 张洪勋( 237 )

FISH-NanoSIMS技术在环境微生物生态学上的应用研究 ..... 陈晨, 柏耀辉, 梁金松, 袁林江( 244 )

微囊藻毒素-LR对恶臭假单胞菌细胞活性和表面特性的影响 ..... 邓庭进, 叶锦韶, 彭辉, 刘芷辰, 刘则华, 尹华, 陈烁娜( 252 )

微生物除臭剂的筛选、复配及其除臭条件的优化 ..... 曾苏, 李南华, 盛洪产, 贺琨, 胡子全( 259 )

舟山青浜岛水体及海产品中有机氯农药的分布和富集特征 ..... 张泽洲, 邢新丽, 顾延生, 桂福坤, 祁士华, 黄焕芳, 瞿程凯, 张莉( 266 )

四川凉山藏彝青少年头发中多氯联苯污染水平的研究 ..... 周莹, 孙一鸣, 金军, 雷建容, 秦贵平, 何雪珠, 林尤静( 274 )

铜、毒死蜱单一与复合暴露对蚯蚓的毒性作用 ..... 徐冬梅, 王彦华, 王楠, 饶桂维( 280 )

外源硒对黄瓜抗性、镉积累及镉化学形态的影响 ..... 熊仕娟, 刘俊, 徐卫红, 谢文文, 陈蓉, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体( 286 )

厦门市道路灰尘中铂族元素的污染特征 ..... 洪振宇, 洪有为, 尹丽倩, 陈进生, 陈衍婷, 徐玲玲( 295 )

洋河流域不同土地利用类型土壤硒(Se)分布及影响因素 ..... 商靖敏, 罗维, 吴光红, 徐兰, 高佳佳, 孔佩儒, 毕翔, 程志刚( 301 )

不同钝化剂对重金属污染土壤稳定化效应的研究 ..... 吴烈善, 曾东梅, 莫小荣, 吕宏虹, 苏翠翠, 孔德超( 309 )

畜禽粪便有机肥中Cu、Zn在不同农田土壤中的形态归趋和有效性动态变化 ..... 商和平, 李洋, 张涛, 苏德纯( 314 )

华南某市生活垃圾组成特征分析 ..... 张海龙, 李祥平, 齐剑英, 陈永亨, 方建德( 325 )

生物沥浸耦合类Fenton氧化调理城市污泥 ..... 刘昌庚, 张盼月, 蒋娇娇, 曾成华, 黄毅, 徐国印( 333 )

基于平面波导型荧光免疫传感器的双酚A检测适用性研究 ..... 徐玮琦, 张永明, 周小红, 施汉昌( 338 )

一种新型“Turn-on”荧光探针用于硫化氢可视化检测 ..... 刘春霞, 马兴, 魏国华, 杜宇国( 343 )

典型黄土区油松树干液流变化特征分析 ..... 张涵丹, 卫伟, 陈利顶, 于洋, 杨磊, 贾福岩( 349 )

利用巨藻发酵联产氢气与挥发性有机酸的研究 ..... 赵晓娟, 范晓蕾, 郭荣波, 薛志欣, 杨智满, 袁宪正, 邱艳玲( 357 )

人工纳米颗粒在水体中的行为及其对浮游植物的影响 ..... 李曼璐, 姜玥璐( 365 )

《环境科学》征订启事(251) 《环境科学》征稿简则(294) 信息(236,243,273,300)

# 舟山渔场有色溶解有机物 (CDOM) 的三维荧光-平行因子分析

周倩倩, 苏荣国\*, 白莹, 张传松, 石晓勇

(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 266100)

**摘要:** 利用三维荧光光谱(EEMs)-平行因子分析(PARAFAC)技术研究春季舟山渔场有色溶解有机物(CDOM)的荧光成分组成、分布特征及来源. PARAFAC模型解析出舟山渔场CDOM由2类5个荧光组分组成,即类腐殖质成分C1(330/420 nm)、C2[(290)365/440 nm]、C3[(260)370/490 nm]及类蛋白质成分C4(285/340 nm)、C5(270/310 nm). 5种荧光组分的平面分布模式基本一致,在各层均呈现由近岸海域向远岸海域逐渐减小的趋势,但各层又略有差别. 表层高值区出现在杭州湾口外北部海域、虾峙门航道口外海域,且杭州湾口外北部海域的荧光值要高于虾峙门航道口外海域;中层高值出现区域与表层相同,但杭州湾口外北部海域的荧光值要低于虾峙门航道口外海域;底层从近岸向远岸梯度减小,高值区出现在舟山本岛附近海域. 各荧光组分的分布与盐度之间存在明显负相关关系,与叶绿素a的线性关系不明显. 分析表明,春季舟山渔场CDOM表、中层主要受长江输入和舟山工农业等人为活动排放影响,而底层主要受舟山工农业等人为活动排放影响. 从垂直分布模式上,CDOM在30°N断面上由中、表层水体向底层呈现逐渐减小的趋势,并在近岸和远岸海域都出现了高值区,且与盐度低值区、叶绿素a高值区相对应,反映该断面近岸区CDOM主要受长江输入影响,远岸区CDOM主要受生物活动影响;在30°N断面,CDOM分布模式与30.5°N断面基本类似,只是在近岸区域底层出现CDOM高值区,可能是由于潮汐、底层上升流等物理外力作用下,沉积物间隙水中高浓度的CDOM释放出来,使得靠近沉积物界面的底层水体中CDOM浓度升高. 5种荧光组分中,C1、C3、C4之间相关性较强,与C2、C5相关性相对较弱,说明C1、C3、C4在来源上具有相似性与C2、C5有一定的差异性. 春季舟山渔场CDOM腐殖化指数(HIX)的值较小,反映了春季舟山渔场CDOM的腐殖化程度较低,稳定性较差,在环境中存在时间较短;生物指数(BIX)在舟山外海出现高值区,近岸海域出现低值区,反映出在近岸海域人类活动的影响较大,而在外海生物活动的影响较为明显.

**关键词:** 有色溶解有机物(CDOM); 三维荧光光谱; 平行因子分析; 舟山渔场; 腐殖化指数(HIX); 生物指数(BIX)

中图分类号: X131 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)01-0163-09 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.01.021

## Characterization of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Zhoushan Fishery Using Excitation-Emission Matrix Spectroscopy (EEMs) and Parallel Factor Analysis (PARAFAC)

ZHOU Qian-qian, SU Rong-guo\*, BAI Ying, ZHANG Chuan-song, SHI Xiao-yong

(Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** The composition, distribution characteristics and sources of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in Zhoushan Fishery in spring were evaluated by fluorescence excitation-emission matrix (EEM) combined with parallel factor analysis (EEMs-PARAFAC). Three humic-like components [C1(330/420 nm)], C2[(290)365/440 nm] and C3[(260)370/490 nm] and two protein-like components [C4(285/340 nm) and C5(270/310 nm)] were identified by EEMs-PARAFAC. The horizontal distribution patterns of the five components were almost the same with only slight differences, showing decreasing trends with increasing distance from shore. In the surface and middle layers, the high value areas were located in the north of Hangzhou Bay estuary and the outlet of Xiazhimen channel, and the former's was higher in the surface layer while the latter's was higher in the middle layer. In the bottom layer, CDOM decreased gradually from the inshore to offshore, with higher CDOM near Zhoushan Island. The distributions of fluorescence components showed an opposite trend with salinity, and no significant linear relationship with Chl-a concentration was found, which indicated that CDOM in the surface and middle layers were dominated by terrestrial input and human activities of Zhoushan Island and that of the bottom layer was attribute to human activities of Zhoushan Island. The vertical distribution of five fluorescent components along 30.5°N transect showed a decreasing trend from the surface and middle layers to bottom layer with high

收稿日期: 2014-07-11; 修订日期: 2014-08-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(41376106); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07501); 山东省自然科学基金项目(ZR2013DM017)

作者简介: 周倩倩(1989~),女,硕士研究生,主要研究方向为海洋中有色溶解有机物的生物地球化学循环,E-mail:zhouqianqian588@126.com

\* 通讯联系人,E-mail:surongguo@ouc.edu.cn

values in inshore and offshore areas, which were correlated with the lower salinity and higher Chl-a concentration, respectively. On this transect, CDOM was mainly affected by Yangtze River input in coastal area but by bioactivities in offshore waters. Along the 30°N transect, the vertical distribution patterns of CDOM were similar to those of 30.5°N transect but there was a high value area in the bottom layer near the shore, attributing to the CDOM release from the marine sediment pore water to the water body because of physical force role like tidal, the underlying upwelling and so on. A strong correlation occurred between C1 and C3, C4, indicating that they had similar sources; a weak correlation was found between C1 and C2, C5, reflecting some differences among their sources. CDOM in Zhoushan Fishery in spring had low humification index(HIX) values, which reflected a low degree of humification, poor stability and a short resident time in the environment. For biological index(BIX), its higher values appeared in the offshore waters and the lower values occurred in the inshore area, reflecting a greater influence of human and biological activities, respectively.

**Key words:** chromophoric dissolved organic matter (CDOM); fluorescence excitation emission matrix; parallel factor analysis; Zhoushan Fishery; humification index(HIX); biological index(BIX)

有色溶解有机物(chromophoric dissolved organic matter, CDOM)最早被 Kalle 称为“Gelbstoff”,意即黄色物质(yellow substance),被认为是水环境中最大的溶解有机碳(dissolved organic carbon, DOC)贮库<sup>[1]</sup>,也是天然水体溶解性有机物(dissolved organic matter, DOM)储库中主要的吸光物质. CDOM 在紫外可见光波段具有光吸收性质,尤其对紫外光吸收强烈,一方面,能阻止有害紫外线对水生生物的伤害,保护水体生态系统;另一方面,CDOM 吸收紫外光发生光化学反应,产生大量的小分子量的有机物,为浮游植物所利用,但对可见光的吸收又能抑制光合作用,影响初级生产力<sup>[2]</sup>. CDOM 的来源主要有两个:在靠近河口及受沿岸流影响的近岸海域,主要由陆地径流输入和生物降解产物组成;在远离沿岸流影响的近海和开阔大洋,主要由现场生物活动产生,以浮游植物和微生物等生物降解为主. CDOM 的组成主要为类腐殖质和类蛋白质 2 类<sup>[3]</sup>.

三维荧光光谱(EEMs)结合平行因子分析(PARAFAC)技术是近年来研究有色溶解有机物(CDOM)的常用分析技术,能够根据 CDOM 各成分的性质、来源、迁移转化途径等的不同,将 CDOM 各成分“分离”,较好地解析 CDOM,是已知的最为有效的 CDOM 分析技术之一,在湖泊、河流、海湾、大洋等水体的 CDOM 研究中得到广泛应用<sup>[4-8]</sup>.

舟山渔场位于长江口东南外海和杭州湾外缘,并且地处长江、钱塘江、甬江入海口,沿岸流、台湾暖流等交汇于此. 由于密集的人口和发达的工农业,来自于如上海、宁波、舟山等城市的工业、农业、生活污水等已成为主要的污染来源<sup>[9]</sup>. 目前国内外针对河口、海洋、湖泊和部分海湾的研究已开展较多<sup>[10-14]</sup>,而类似舟山渔场这种较为复杂的河口外缘海域的研究还鲜有报道. 因此,本研究将利用 EEMs-PARAFAC 技术对采自舟山渔场的表(距水面 2~4 m)、中(10~20 m)、底(距水底 2~3 m)层

CDOM 样品进行分析,同时分析了舟山渔场 CDOM 的水平、垂直分布特征,对 CDOM 的来源及其空间分布的影响因素进行探讨,以期进一步丰富海洋 CDOM 的研究,为全面了解该区域 DOM 地化特征提供研究基础.

## 1 材料与方法

### 1.1 样品的采集与预处理

2011 年 4 月 26 日~5 月 7 日在舟山渔场进行一个航次的现场采样,采样范围为 29°~31°N,122°~124° E,站位如图 1 所示. 各层水样均用 Niskin 采水器采集,在船上采集站点水样后,立即用 0.7 μm 的 GF/F 膜(预先于马弗炉中 450°C 灼烧 4 h)过滤水样并收集于 100 mL 洁净棕色玻璃瓶(预先于马弗炉中 450°C 灼烧 4 h)中冷冻保存. 水样进行荧光测定前解冻至室温并用孔径为 0.22 μm 的一次性聚醚砜针头过滤器过滤.

站位图、荧光成分等的平面分布以及垂直分布图均使用 Surfer 11.0 软件绘制.

### 1.2 光谱测定

分析仪器用 Jobin Yvon Fluorolog-3 荧光光谱仪,以 Milli-Q 水为空白,进行荧光扫描. 配 1 cm 石英比色皿;光源为 450 W 氙弧灯,PMT 电压为 700 V;激发波长( $E_x$ )240~480 nm,发射波长( $E_m$ )250~580 nm,步长为 5 nm,狭缝宽度为 5 nm,扫描信号积分时间为 0.05 s. 荧光强度采用 0.01 mg·L<sup>-1</sup> 硫酸奎宁稀硫酸溶液进行定标<sup>[15]</sup>.

### 1.3 数据转换及去除瑞利和拉曼散射

用 Origin 7.5 软件将得到的 SPC 光谱文件转换成 TXT 形式,并运用 Matlab 7.6 软件处理 CDOM 三维荧光光谱(EEMs)数据. EEMs 中散射峰的去采用 Delaunay 三角形插值法<sup>[16]</sup>,该技术首先将散射区数据置零,然后以散射区域邻近数据为基准进行三维插值,可有效恢复散射区域的荧光信号.

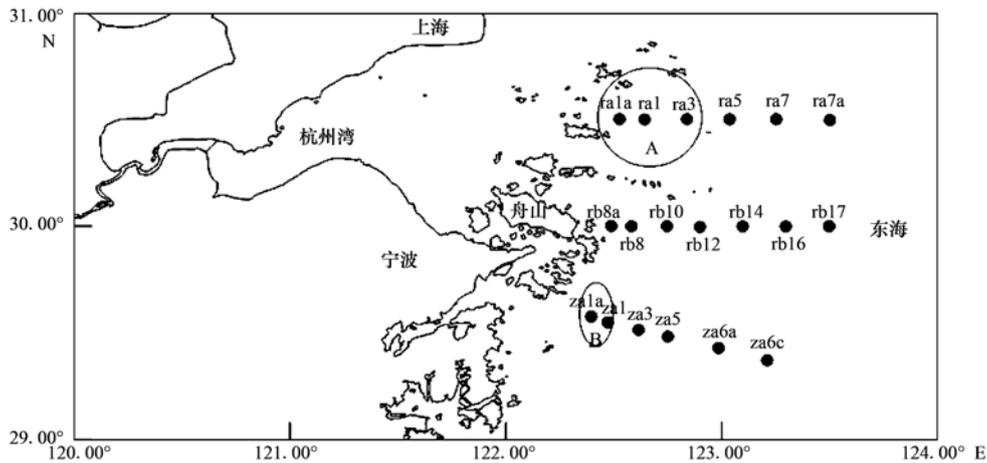


图1 采样站示意图

Fig. 1 Map showing the locations of the sampling sites

## 1.4 EEMs 的平行因子分析

### 1.4.1 平行因子模型

平行因子分析(PARAFAC)用来分解 EEMs 成为单独的荧光组分,该分析在 Matlab 7.6 中使用 DOMFluor 工具箱进行,通过残差分析得出组分数并用折半分析对分离出的组分进行验证<sup>[4]</sup>.

平行因子算法(PARAFAC)是基于交替最小二乘原理的迭代型三维数阵分解算法,可以将三维数据阵  $X$  分解为 3 个载荷矩阵: A、B 和 C,而且每个矩阵都具有实际的物理意义<sup>[17]</sup>. 对于 EEMs,有如下模型:

$$x_{ijk} = \sum_{n=1}^N a_{in} b_{jn} c_{kn} + e_{ijk}$$

$$i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J; k = 1, \dots, K$$

式中, $K$  为样本数, $I$  为激发波长数, $J$  为发射波长数,所有样本的 EEMs 构成三维数阵  $X(I \times J \times K)$ ,  $N$  为对体系有实际贡献的独立荧光成分数; $x_{ijk}$  是三维响应数阵  $X$  中的元素,它表示第  $k$  个样本在激发波长为  $i$ 、发射波长为  $j$  时的荧光强度; $c_{kn}$  是相对浓度阵  $C(K \times N)$  中的元素( $k, n$ );  $a_{in}$  是相对激发光谱阵  $A(I \times N)$  中的元素( $i, n$ );  $b_{jn}$  是相对发射光谱阵  $B(J \times N)$  中的元素( $j, n$ );  $e_{ijk}$  是三维残差数阵  $E(I \times J \times K)$  中的元素( $i, j, k$ ).

### 1.4.2 荧光强度的计算

通过平行因子分析模型可得到每种成分的相对荧光强度(scores),各成分的荧光强度  $I_n$  按照以下公式计算<sup>[18]</sup>:

$$I_n = \text{Score}_n \times E_{\lambda_n}(\lambda_{\max}) \times E_{m_n}(\lambda_{\max})$$

式中, $\text{Score}_n$  代表第  $n$  种成分的相对荧光强度, $E_{\lambda_n}(\lambda_{\max})$  代表第  $n$  种成分激发负载的最大值,

$E_{m_n}(\lambda_{\max})$  代表第  $n$  种成分发射负载的最大值.

总荧光强度和每种组分所占比例  $P_n$  的计算公式如下:

$$\text{TFI} = \sum_1^n I_n, P_n = I_n / \text{TFI}$$

## 1.5 腐殖化指数和生物指数

腐殖化指数(HIX)被用来指示 CDOM 的腐殖化程度、来源等,在激发波长 254 nm(此处 255 nm)处,用发射波长 435 ~ 480 nm 的区域积分值除以发射波长 300 ~ 345 nm 的区域积分值<sup>[19~22]</sup>,得到腐殖化指数(HIX)值,HIX 值越大表示 CDOM 腐殖化程度越高,稳定性越好,在环境中存在的时间相对较长,一般来说,陆源 CDOM 具有较高的 HIX,而水体自产或排污而来的 CDOM 则具有较低的 HIX. 生物指数(BIX)用来指示原地生物活动、CDOM 来源等,在激发波长 310 nm 处,用发射波长 380 nm 处的荧光强度值除以发射波长 430 nm 处的荧光强度值<sup>[19~21]</sup>,得到生物指数(BIX)值,BIX 较高表示 CDOM 以生物源为主,包括浮游植物和细菌的有机体降解产物;低值表示主要来自陆源输入.

## 2 结果与讨论

### 2.1 春季舟山渔场 CDOM 的荧光组分特征

将舟山渔场采集 CDOM 样品的三维荧光光谱矩阵输入 PARAFAC 模型对其进行解析,通过残差分析、折半分析等确定春季舟山渔场 CDOM 的荧光性成分为 5 个(如图 2),经与文献[4,23~31]对比可知:其中 3 个组分为类腐殖质组分: C1( $E_{\lambda}/E_m$ /nm,330/420)、C2[(290)365/440]和 C3[(260)370/490],2 个类蛋白质组分: C4(285/340)和

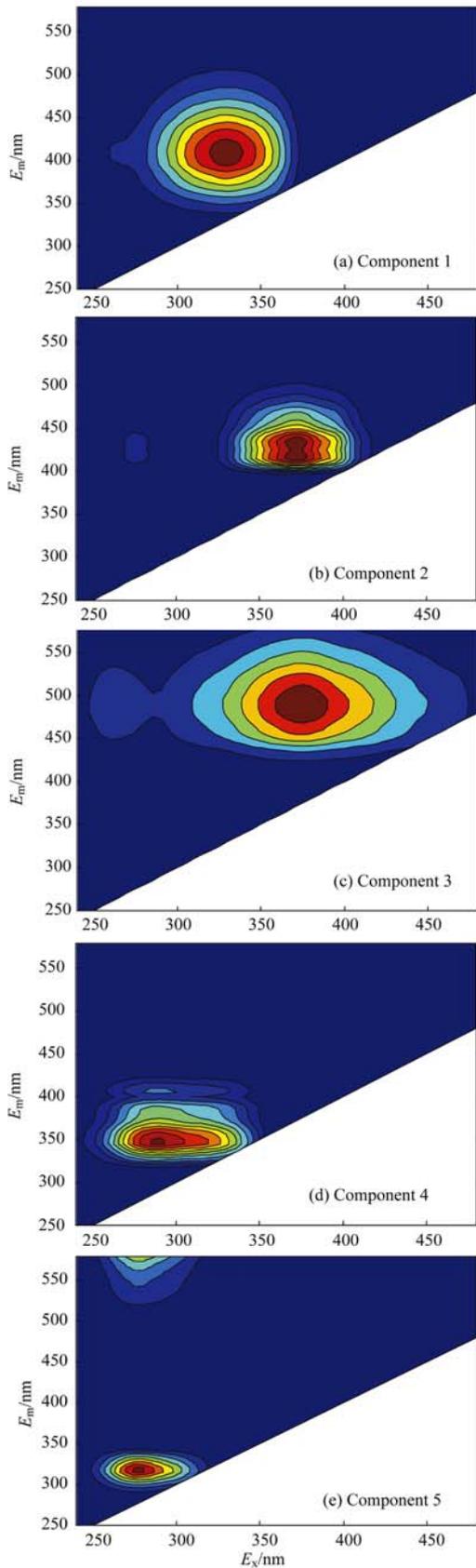


图2 PARAFAC 鉴别出舟山渔场 CDOM 的 5 个荧光组分

Fig. 2 Five fluorescent components of CDOM in Zhoushan Fishery identified by PARAFAC model

C5(270/310)(表 1)。C1、C2 在河流、河口、近岸海区、藻类中都曾观测到,被认为是陆源类腐殖质,也可以通过水体自生以及人类活动影响,C1 在低激发波长下出现一小的肩峰,出现的原因尚不明确,有待进一步研究,对于 C2 也有人认为是还原型辅酶(NADH)的氧化形式——泛醌<sup>[23]</sup>,C3 反映了长波类腐殖质的荧光性质,其中 260/490 nm 峰位于传统的 A 峰区域,而 370/490 nm 峰与传统 C 峰相比其激发和发射波长都更长且其激发波长范围较广,这与其结构中高分子量和高芳香度基团有关,普遍认为是陆源类腐殖质,主要成分为胡敏酸(HA);C4、C5 属于典型的类蛋白质组分,分别为类色氨酸和类酪氨酸基团,主要来源于海洋生物活动,但在人类活动影响严重的区域,陆源输入经常成为类蛋白质组分的主要来源<sup>[25~27,30~32]</sup>。C5 在 270/570 nm 处出现了峰,该峰尚未见文献报道,但峰很小,且组分 5 主要被作为类蛋白质组分,该峰明显不属于类蛋白质,所以不予考虑,出现的原因有待进一步研究。

表 1 舟山渔场 CDOM 荧光成分特征

Table 1 Fluorescent component characteristics of CDOM in Zhoushan Fishery

荧光成分	$E_x/E_m/nm$	荧光成分类型	$E_x/E_m/nm$	文献
C1	330/420	类腐殖质 (富里酸)	C1: 320/422	[24]
			C5: 325/428	[25]
			C4: 325/416	[4]
C2	(290)365/440	类腐殖质(富里酸、胡敏酸)	C3: 370/440	[26]
			P8: 260,355/434	[28]
			C4: 255,365/450	[23]
C3	(260)370/490	类腐殖质 (胡敏酸)	C3: 270,360/478	[4]
			C1: 260,360/480	[29]
			C3: 260,370/490	[28]
C4	285/340	类蛋白质 (色氨酸)	C8: 280/330-340	[26]
			C3: 280/340	[27]
			C7: 280/344	[25]
C5	270/310	类蛋白质 (酪氨酸)	C4: 275/304	[30]
			C4: 275/306	[31]
			C8: 275/304	[25]

2.2 春季舟山渔场 CDOM 的分布特征

2.2.1 春季舟山渔场 CDOM 的水平分布特征

5 种荧光成分在表层的分布模式基本类似(图 3),且与 CDOM 总荧光强度(TFI)的分布模式相吻合,即由近岸海域向远岸海域逐渐减小且由北向南也有减小的趋势,高值区出现在杭州湾口外北部海域(调查区域西北部)和舟山本岛南部虾峙门航道口外海域,且杭州湾口外北部海域(调查区域西北部)CDOM 荧光值明显高于舟山本岛南部虾峙门航道口外海域,表层盐度与 CDOM 呈相反分布模式,

叶绿素 a 值在舟山东部海域出现两个高值区,其中北部的高值区与 CDOM 高值区特别是 C5 高值区有明显重叠,而与盐度的分布没有明显对应性,这表明春季舟山渔场杭州湾口外北部海域 CDOM 主要受长江径流输入影响,生物活动也会产生一定贡献,而在舟山本岛南部虾峙门航道口外海域则主要受舟山工农业生产等人类活动排放影响. 表层 CDOM 的 HIX 值在 0.4 ~ 1.2 之间,较小的 HIX 值反映 CDOM 腐殖化程度较低,在环境中存在时间较短,就分布而

言, HIX 的高值区出现在杭州湾口外北部海域,主要受长江径流输入的影响, BIX 的分布与 HIX 呈现相反趋势,且在舟山本岛南部虾峙门航道口外海域也出现一个高值区,反映了舟山近海受人类活动以及远岸海域受生物活动的影响程度.

在中层, CDOM(TFI、C1、C2、C3、C4、C5) 的分布模式与表层类似,但虾峙门航道口外海域的 CDOM 荧光值要明显高于杭州湾口外北部海域,且其分布模式与叶绿素 a 的相关性明显增强,中层低

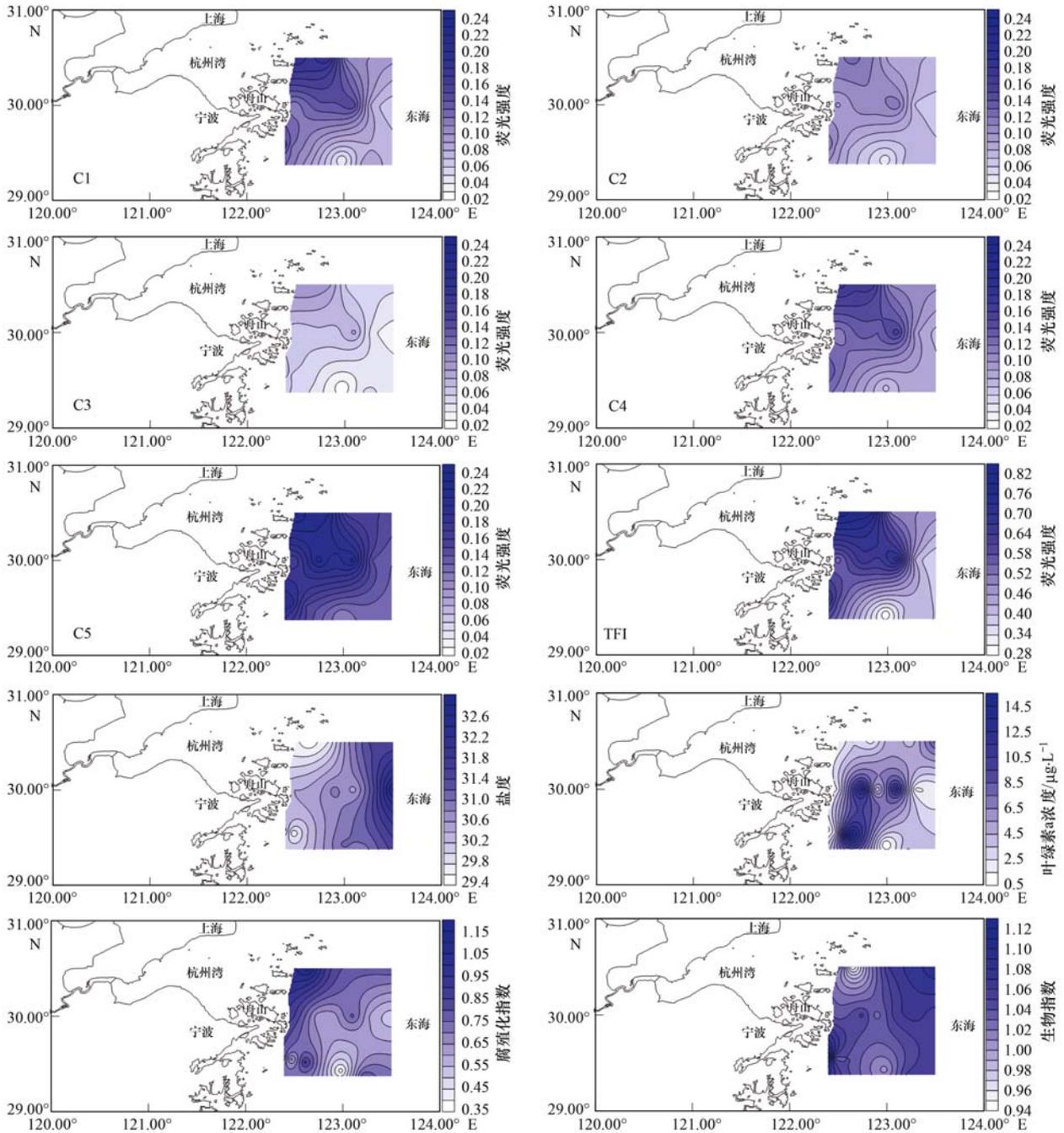


图3 PARAFAC 鉴别出的舟山渔场 5 个荧光组分的表层分布

Fig. 3 Horizontal distribution of five PARAFAC components in the surface layer of Zhoushan Fishery

盐度区范围明显收缩,这表明,相对于表层,中层水体 CDOM 受长江输入的影响减弱,而舟山排污和生物活动的影响相对增强. HIX 与 BIX 值也反映出相同的 CDOM 性质和来源特征.

在底层,5 种荧光组分的分布模式均为由近岸到远岸梯度减少,在舟山近海出现高值区,与盐度的分布趋势相反,底层叶绿素 a 的值很小,且底层 CDOM 的 HIX 值较低, BIX 高于表中层,因此,该区域底层 CDOM 主要受舟山工业、农业、生活污水等排放的影响. 在绝大多数站位底层的 CDOM 荧光值低于表中层,但在 rb8a、rb8 站位及附近水域,底层荧光强度值高于表中层,说明该区域沉积物间隙水 CDOM 的释放产生了重要的影响.

各组分的百分贡献率是对在不同位置采集的 CDOM 样品荧光性质进行简单、定量描述的一种指标,可以用来研究 CDOM 的组成、性质变化<sup>[18]</sup>. 对于表、中层的 2 个高值区 A 和 B(图 1),在 A 区域, C1、C2、C3、C4、C5 占 CDOM 总荧光强度的比例分别为: 23.36% ~ 24.46%、14.40% ~ 18.00%、11.82% ~ 12.54%、19.10% ~ 21.58%、26.92% ~ 28.51%; 在 B 区域, C1、C2、C3、C4、C5 的相对含量分别为: 19.63% ~ 23.19%、14.53% ~ 17.75%、

9.32% ~ 12.33%、20.15% ~ 21.72%、27.33% ~ 33.18%. A 区域具有较高的类腐殖质含量,长江输入特征明显, B 区域具有较高的类蛋白质含量,反映了舟山人类活动排放的显著影响.

### 2.2.2 春季舟山渔场 CDOM 的垂直分布特征

从图 4 可以看出,在 30.5°N 断面, CDOM 的 5 种荧光组分与总荧光强度的分布模式是相似的,在近岸海域表层和远岸海域次表层出现高值区,近岸海域高值区与盐度低值区相对应,远岸海域的高值区与叶绿素 a 高值区相对应. 30.5°N 断面位于杭州湾口外北部海域,是长江口与杭州湾交汇处,近岸海域主要受长江径流输入的影响,远岸海域 CDOM 受生物活动影响明显.

CDOM 在 30°N 断面的分布特征与 30.5°N 断面基本类似,该区域 CDOM 近岸高值区主要受舟山本岛居民工农业及生活污水排放的影响. 与 30.5°N 断面不同的是 30°N 断面在近岸底层出现高值区,从断面分布可以看出底层沉积物对水体 CDOM 的显著贡献,这可能是由于在潮汐、底层上升流等物理外力作用下,沉积物发生再悬浮,使间隙水中高浓度的 CDOM 释放出来,造成底层水体中 CDOM 的浓度较高<sup>[33]</sup>.

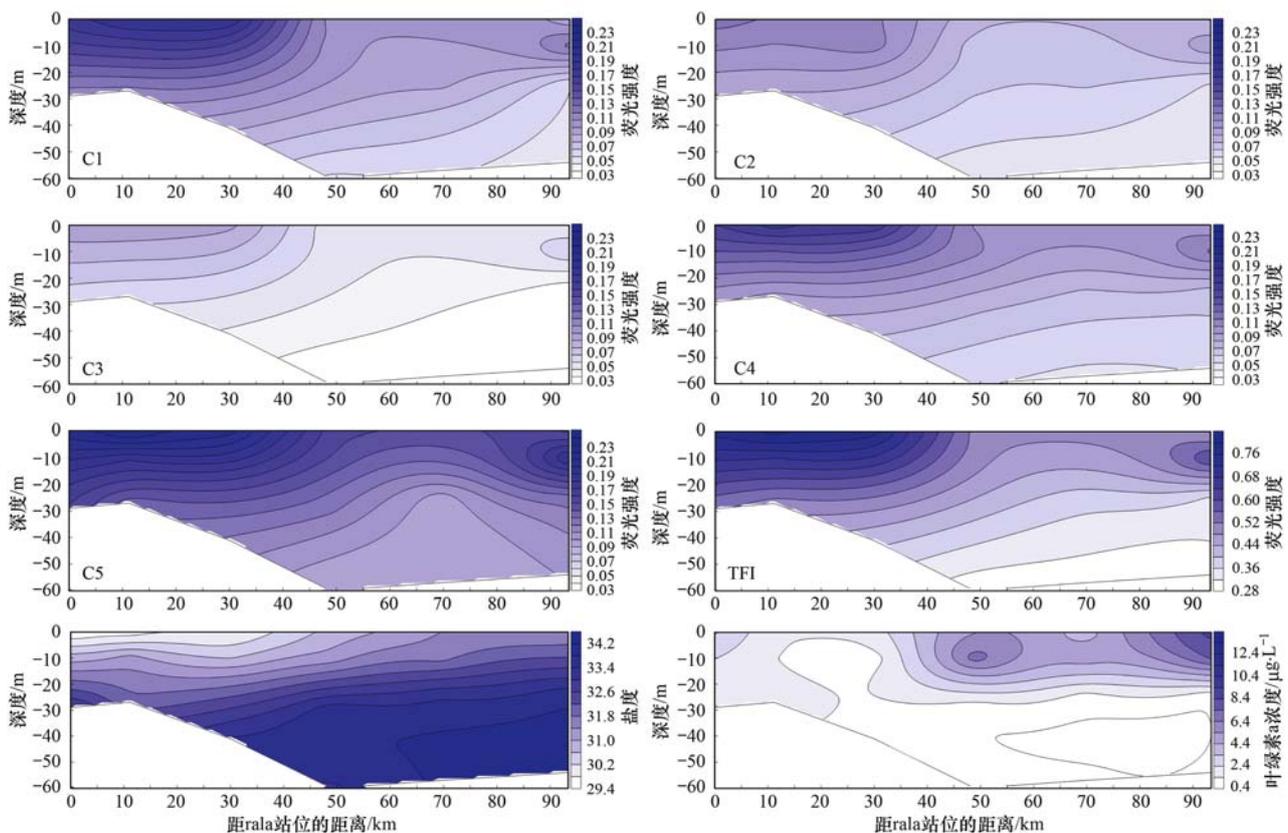


图 4 荧光组分在 30.5°N 断面的垂直分布

Fig. 4 Vertical distribution of the fluorescent components along 30.5°N

### 2.3 春季舟山渔场各荧光组分与盐度的关系

春季舟山渔场 CDOM 荧光值与盐度之间呈负相关(图 5),即随盐度的增加 CDOM 荧光值呈减小的趋势,与海水保守型混合模式类似,说明海水物理稀释作用对研究区域 CDOM 的分布起

着重要作用<sup>[34~37]</sup>. 其中,表、底层 CDOM 与盐度的相关性强于中层, C1、C3、C4 与盐度的相关性强于 C2、C5,反映了该区域 CDOM 主要受陆源排放控制,生物活动等其他环境因子也起着重要的作用.

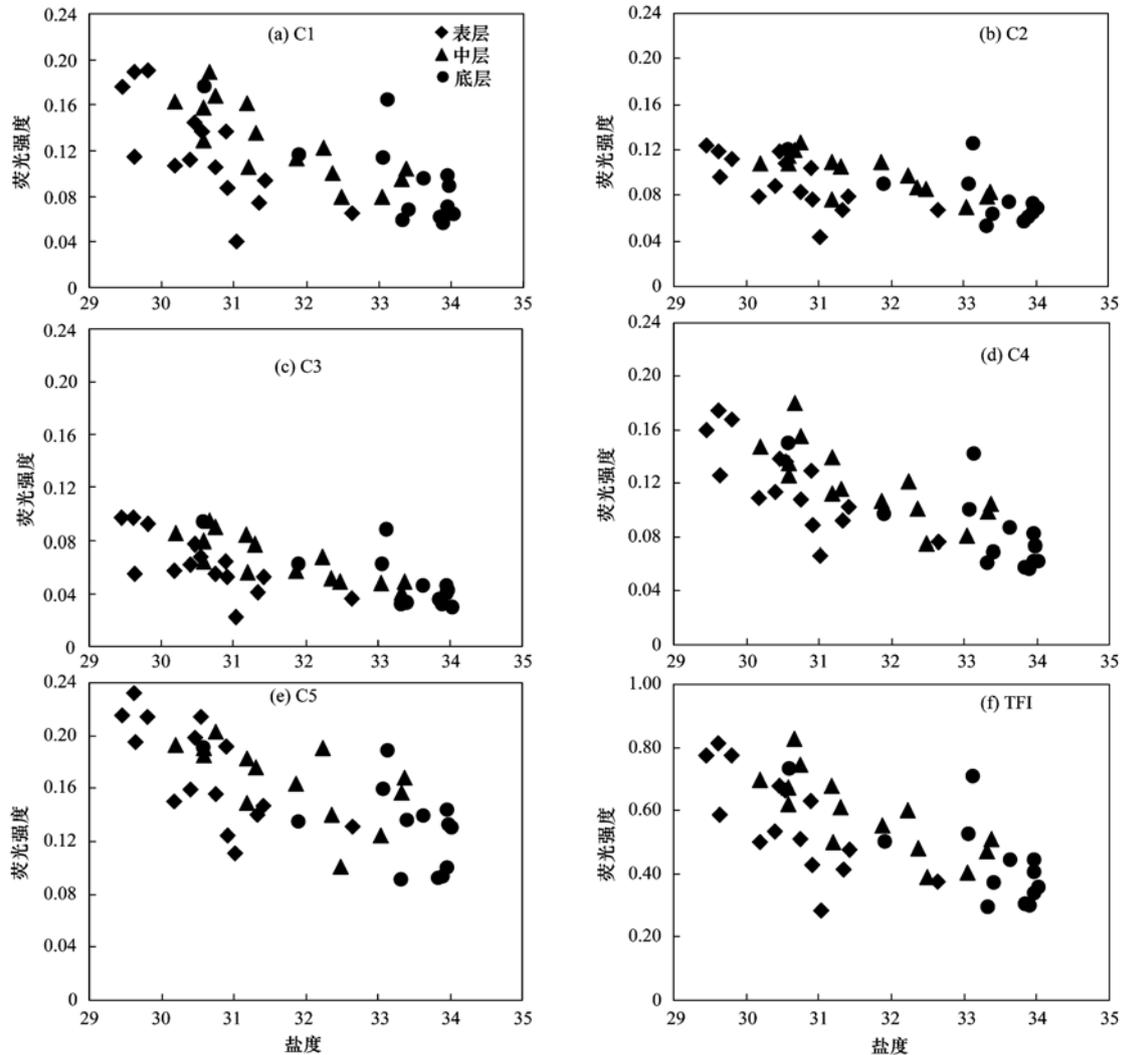


图 5 各荧光组分与盐度的关系

Fig. 5 Relationships between salinity and each fluorescence component by PARAFAC model

### 2.4 春季舟山渔场各荧光组分的相互关系

对各荧光成分进行相关性分析(表 2),类腐殖质组分 C1、C3 与类蛋白质组分 C4 之间有很好的相关性,C1、C3 是传统陆源类腐殖质组分,主要受陆源输入影响<sup>[2, 24]</sup>,C4 为类色氨酸组分,主要来源于海洋生物活动,但在人类活动影响强烈的地区陆源输入成为主要来源,这与文献报道相一致<sup>[38]</sup>,因此,C1、C3、C4 在研究海域具有相似的来源. 而 C1、C2 和 C5 之间的相关性稍差,说明 3 种成分在来源上具有一定差异性. Fellman 等<sup>[26]</sup>研究发现森林、

湿地土壤 CDOM 中含有较高的 C2 成分,Stedmon 等<sup>[31]</sup>在农业集水区 CDOM 中也解析出该成分. C5

表 2 各荧光成分之间的相关性分析

Table 2 Correlation analysis among five fluorescent components		
类型	$R^2$	$P$
C1 vs C2	0.89	<0.001
C1 vs C3	0.96	<0.001
C1 vs C4	0.91	<0.001
C1 vs C5	0.81	<0.001
C2 vs C5	0.79	<0.001

为类酪氨酸组分,其与叶绿素 a 具有较强的对应关系,说明相对于其余 3 个组分,C2 和 C5 受生物活动影响更为明显。

### 3 结论

通过三维荧光光谱-平行因子分析法分析出 2011 春季舟山渔场共有 5 个荧光组分: 3 个类腐殖质组分(C1、C2、C3)和 2 个类蛋白质组分(C4、C5)。从水平分布上来看,CDOM 在各层均呈现由近岸海域向远岸海域逐渐减小的趋势,高值区主要分布在杭州湾口外北部海域以及虾峙门航道口外海域;从垂直分布上来看,CDOM 在近岸表层受陆源输入影响最大,出现了高值区,随深度及离岸距离的增加,CDOM 呈减小趋势,同时在远岸次表层、30°N 断面近岸底层水体 CDOM 也出现了明显的高值区。分析表明该区域 CDOM 主要受长江输入和舟山岛居民工农业生产等活动的影响,现场生物活动及底层沉积物再悬浮在部分区域会对 CDOM 产生显著贡献。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Green S A, Blough N V. Optical absorption and fluorescence properties of chromophoric dissolved organic matter in natural waters[J]. *Limnology and Oceanography*, 1994, **39**(8): 1903-1916.
- [ 2 ] Kowalczuk P, Durako M J, Young H, *et al.* Characterization of dissolved organic matter fluorescence in the South Atlantic Bight with use of PARAFAC model: Interannual variability[J]. *Marine Chemistry*, 2009, **113**(3-4): 182-196.
- [ 3 ] Blough N V, Del Vecchio R. Chromophoric DOM in the coastal environment [ A ]. In: Hansell D, Carlson C ( Eds. ). *Biogeochemistry of marine dissolved organic matter* [ M ]. San Diego, CA: Academic Press, 2002. 509-546.
- [ 4 ] 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.
- [ 5 ] Guéguen C, Granskog M A, McCullough G, *et al.* Characterisation of colored dissolved organic matter in Hudson Bay and Hudson Strait using parallel factor analysis[J]. *Journal of Marine Systems*, 2011, **88**(3): 423-433.
- [ 6 ] Stedmon C A, Bro R. Characterizing dissolved organic matter fluorescence with parallel factor analysis: a tutorial [ J ]. *Limnology and Oceanography: Methods*, 2008, **6**: 572-579.
- [ 7 ] Andrew A A, Vecchio R D, Subramaniam A, *et al.* Chromophoric dissolved organic matter(CDOM) in the Equatorial Atlantic Ocean: Optical properties and their relation to CDOM structure and source [ J ]. *Marine Chemistry*, 2013, **148**: 33-43.
- [ 8 ] 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.
- [ 9 ] 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.
- [ 10 ] Yan L H, Su R G, Zhang C S, *et al.* Assessing the dynamics of chromophoric dissolved organic matter(CDOM) in the Yellow Sea and the East China Sea in autumn by EEMs-PARAFAC [ J ]. *Science China Chemistry*, 2012, **55**(12): 2595-2609.
- [ 11 ] Dainard P G, Guéguen C. Distribution of PARAFAC modeled CDOM components in the North Pacific Ocean, Bering, Chukchi and Beaufort Seas [ J ]. *Marine Chemistry*, 2013, **157**(20): 216-223.
- [ 12 ] 郭卫东, 黄建平, 洪华生, 等. 河口区溶解有机物三维荧光光谱的平行因子分析及其示踪特性[J]. *环境科学*, 2010, **31**(6): 1419-1427.
- [ 13 ] 朱伟健, 沈芳, 洪官林. 长江口及邻近海域有色溶解有机物(CDOM)的光学特性[J]. *环境科学*, 2010, **31**(10): 2292-2298.
- [ 14 ] 张运林, 秦伯强. 梅梁湾、大太湖夏季和冬季 CDOM 特征及可能来源分析[J]. *水科学进展*, 2007, **18**(3): 415-423.
- [ 15 ] Wada S, Aoki M N, Tsuchiya Y, *et al.* Quantitative and qualitative analyses of dissolved organic matter released from *Ecklonia cava* Kjellman, in Oura Bay, Shimoda, Izu Peninsula, Japan [ J ]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2007, **349**(2): 344-358.
- [ 16 ] Barber C B, Dobkin D P, Huhdanpaa H. The quickhull algorithm for convex hulls [ J ]. *ACM Transactions on Mathematical Software(TOMS)*, 1996, **22**(4): 469-483.
- [ 17 ] Olivieri A C. Computing sensitivity and selectivity in parallel factor analysis and related multiway techniques: the need for further developments in net analyte signal theory[J]. *Analytical Chemistry*, 2005, **77**(15): 4936-4946.
- [ 18 ] Kowalczuk P, Stoń-Egiert J, Cooper W J, *et al.* Characterization of chromophoric dissolved organic matter(CDOM) in the Baltic Sea by excitation emission matrix fluorescence spectroscopy [ J ]. *Marine Chemistry*, 2005, **96**(3-4): 273-292.
- [ 19 ] Salve P R, Lohkare H, Gobre T, *et al.* Characterization of chromophoric dissolved organic matter ( CDOM ) in rainwater using fluorescence spectrophotometry [ J ]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2012, **88**(2): 215-218.
- [ 20 ] Para J, Coble P G, Charrière B, *et al.* Fluorescence and absorption properties of chromophoric dissolved organic matter ( CDOM ) in coastal surface waters of the Northwestern Mediterranean Sea ( Bay of Marseilles, France ) [ J ]. *Biogeosciences Discussions*, 2010, **7**(4): 5675-5718.
- [ 21 ] 肖隆庚, 陈文松, 陈国丰, 等. 中国南海 CDOM 三维荧光光谱特征研究[J]. *环境科学学报*, 2014, **34**(1): 160-167.

- [22] Ohno T. Fluorescence inner-filtering correction for determining the humification index of dissolved organic matter [ J ]. *Environmental Science & Technology*, 2002, **36**(4): 742-746.
- [23] Brym A, Paerl H W, Montgomery M T, *et al.* Optical and chemical characterization of base-extracted particulate organic matter in coastal marine environments [ J ]. *Marine Chemistry*, 2014, **162**: 96-113.
- [24] Yamashita Y, Panton A, Mahaffey C, *et al.* Assessing the spatial and temporal variability of dissolved organic matter in Liverpool Bay using excitation-emission matrix fluorescence and parallel factor analysis [ J ]. *Ocean Dynamics*, 2011, **61**(5): 569-579.
- [25] Stedmon C A, Markager S. Resolving the variability of dissolved organic matter fluorescence in a temperate estuary and its catchment using PARAFAC analysis [ J ]. *Limnology and Oceanography*, 2005, **50**(2): 686-697.
- [26] 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.
- [27] Wu J, Zhang H, He P J, *et al.* Insight into the heavy metal binding potential of dissolved organic matter in MSW leachate using EEM quenching combined with PARAFAC analysis [ J ]. *Water Research*, 2011, **45**(4): 1711-1719.
- [28] 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.
- [29] Baghoth S A, Sharma S K, Amy G L. Tracking natural organic matter ( NOM ) in a drinking water treatment plant using fluorescence excitation-emission matrices and PARAFAC [ J ]. *Water Research*, 2011, **45**(2): 797-809.
- [30] Santín C, Yamashita Y, Otero X L, *et al.* Characterizing humic substances from estuarine soils and sediments by excitation-emission matrix spectroscopy and parallel factor analysis [ J ]. *Biogeochemistry*, 2009, **96**(1-3): 131-147.
- [31] Stedmon C A, Markager S. Tracing the production and degradation of autochthonous fractions of dissolved organic matter using fluorescence analysis [ J ]. *Limnology and Oceanography*, 2005, **50**(5): 1415-1426.
- [32] Coble P G. Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy [ J ]. *Marine Chemistry*, 1996, **51**(4): 325-346.
- [33] Klinkhammer G P, Chin C S, Wilson C, *et al.* Distributions of dissolved manganese and fluorescent dissolved organic matter in the Columbia River estuary and plume as determined by in situ measurement [ J ]. *Marine Chemistry*, 1997, **56**(1-2): 1-14.
- [34] 王林, 赵冬至, 杨建洪, 等. 大洋河河口海域有色溶解性有机物的光学特性及遥感反演模型 [ J ]. *海洋学报*, 2011, **33**(1): 45-51.
- [35] Kowalczyk P, A Stedmon C, Markager S. Modeling absorption by CDOM in the Baltic Sea from season, salinity and chlorophyll [ J ]. *Marine Chemistry*, 2006, **101**(1-2): 1-11.
- [36] 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.
- [37] Bai Y, Su R G, Yan L H, *et al.* Characterization of chromophoric dissolved organic matter ( CDOM ) in the East China Sea in autumn using excitation-emission matrix ( EEM ) fluorescence and parallel factor analysis ( PARAFAC ) [ J ]. *Science China Chemistry*, 2013, **56**(12): 1790-1799.
- [38] Mostofa K M G, Wu F C, Liu C Q, *et al.* Characterization of Nanming River ( southwestern China ) sewerage-impacted pollution using an excitation-emission matrix and PARAFAC [ J ]. *Limnology*, 2010, **11**(3): 217-231.

## CONTENTS

Ozone Source Apportionment at Urban Area during a Typical Photochemical Pollution Episode in the Summer of 2013 in the Yangtze River Delta	LI Hao, LI Li, HUANG Cheng, <i>et al.</i>	( 1 )
Pollution Characteristics and Ozone Formation Potential of Ambient VOCs in Winter and Spring in Xiamen	XU Hui, ZHANG Han, XING Zhen-yu, <i>et al.</i>	( 11 )
Temporal and Spatial Characteristics of Atmospheric NO <sub>2</sub> over Hainan Island and the Pollutant Sources in Recent 10 Years	FU Chuan-bo, CHEN You-long, DAN Li, <i>et al.</i>	( 18 )
Composition of Organic Carbon/Elemental Carbon and Water-soluble Ions in Rice Straw Burning	HONG Lei, LIU Gang, YANG Meng, <i>et al.</i>	( 25 )
Gas Chromatography with a Pulsed Discharge Helium Ionization Detector for Measurement of Molecular Hydrogen(H <sub>2</sub> ) in the Atmosphere	LUAN Tian, FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i>	( 34 )
Partial Pressure of CO <sub>2</sub> and CO <sub>2</sub> Degassing Fluxes of Huayankou and Xiaolangdi Station Affected by Xiaolangdi Reservoir	ZHANG Yong-ling, YANG Xiao-lin, ZHANG Dong	( 40 )
Distribution of Biogenic Organic Dimethylated Sulfur Compounds and Its Influencing Factors in the East China Sea in Summer	LI Jiang-ping, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng	( 49 )
Remote Sensing Estimation of Total Suspended Matter Concentration in Xin'anjiang Reservoir Using Landsat 8 Data	ZHANG Yi-bo, ZHANG Yun-lin, ZHA Yong, <i>et al.</i>	( 56 )
Spatio-temporal Characteristics and Source Identification of Water Pollutants in Wenritang River Watershed	MA Xiao-xue, WANG La-chun, LIAO Ling-ling	( 64 )
Effect of Hydrochemistry Characteristics Under Impact of Human Activity: A Case Study in the upper Reaches of the Xijiang River Basin	YU Shi, SUN Ping-an, DU Wen-yue, <i>et al.</i>	( 72 )
Annual Variation of Different Phosphorus Forms and Response of Algae Growth in Meiliang Bay of Taihu Lake	WANG Ming, WU Xiao-fei, LI Da-peng, <i>et al.</i>	( 80 )
Distribution of Transferable Nitrogen in Poyang Lake Sediments and Its Response to the Variation of River-Lake Relationship	SHEN Hong-yan, ZHANG Mian-mian, NI Zhao-kui, <i>et al.</i>	( 87 )
Effect of Environmental Factors on Macroinvertebrate Community Structure in the Huntai River Basin in the Huntai River Basin	LI Yan-li, LI Yan-fen, XU Zong-xue	( 94 )
Effects of Outbreak and Extinction of Algal Blooms on the Microbial Community Structure in Sediments of Chaohu Lake	DIAO Xiao-jun, LI Yi-wei, WANG Shu-guang	( 107 )
Impacts of Algal Blooms Accumulation on Physiological Ecology of Water Hyacinth	WU Ting-ting, LIU Guo-feng, HAN Shi-qun, <i>et al.</i>	( 114 )
Speciation and Spatial-temporal Variation of Mercury in the Xiaolangdi Reservoir	CHENG Liu, MAO Yu-xiang, MA Bing-juan, <i>et al.</i>	( 121 )
Spatial Distribution of Mercury in Soils of a Typical Small Agricultural Watershed in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Ya, ZHAO Zheng, MU Zhi-jian, <i>et al.</i>	( 130 )
Temporal and Spatial Variation of Mercury in Water of Agro-forestry and Livestock Compound Watershed in the Three Gorges Reservoir Area	ZHAO Zheng, WANG Ya, MU Zhi-jian, <i>et al.</i>	( 136 )
Effect of External Condition on the Static Migration and Release of Dibutyl-phthalate in the Soil of the Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir to the Overlying Water	SONG Jiao-yan, MU Zhi-jian, WANG Qiang, <i>et al.</i>	( 143 )
Ultraviolet-Visible(UV-Vis) and Fluorescence Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter(DOM) in Soils of Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Region	GAO Jie, JIANG Tao, LI Lu-lu, <i>et al.</i>	( 151 )
Characterization of Chromophoric Dissolved Organic Matter(CDOM) in Zhoushan Fishery Using Excitation-Emission Matrix Spectroscopy(EEMs) and Parallel Factor Analysis(PARAFAC)	ZHOU Qian-qian, SU Rong-guo, BAI Ying, <i>et al.</i>	( 163 )
Pollution Characteristics and Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organochlorine Pesticides in Groundwater at Xiaodian Sewage Irrigation Area, Taiyuan City	LI Jia-le, ZHANG Cai-xiang, WANG Yan-xin, <i>et al.</i>	( 172 )
Risk Assessment and Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Surface Sediments of Xinglin Bay Suburb Rivers of Xiamen	CHENG Qi-ming, HUANG Qing, LIAO Zhen-ni, <i>et al.</i>	( 179 )
Comparative Analysis of Two Different Methods for Risk Assessment of Groundwater Pollution: A Case Study in Beijing Plain	WANG Hong-na, HE Jiang-tao, MA Wen-jie, <i>et al.</i>	( 186 )
Transportation and Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Water-Soil from the Riparian Zone of Daye Lake, China	ZHANG Jia-quan, LI Xiu, ZHANG Quan-fa, <i>et al.</i>	( 194 )
Arsenic Removal by Coagulation Process and the Field Expanding Experiments for Yangzonghai Lake	CHEN Jing, ZHANG Shu, YANG Xiang-jun, <i>et al.</i>	( 202 )
Efficient Oxidative Degradation of Tetrabromobisphenol A by Silver Bismuth Oxide	CHEN Man-tang, SONG Zhou, WANG Nan, <i>et al.</i>	( 209 )
Removal of Tetracycline by a Kind of Nano-Sized Amorphous Carbon	WU Yi-xiao, LI Ai-min, WANG Di-hua, <i>et al.</i>	( 215 )
Adsorption Behavior of Anionic Dyes onto Magnetic Chitosan Derivatives	ZHANG Cong-lu, HU Xiao-min, ZHAO Yan, <i>et al.</i>	( 221 )
Forming Mechanism of Humic Acid-Kaolin Complexes and the Adsorption of Trichloroethylene	ZHU Xiao-jing, HE Jiang-tao, SU Si-hui	( 227 )
Impact on the Microbial Community of Municipal Sewage in the ANAMMOX System During the Cooling Process	ZHAO Zhi-rui, MIAO Zhi-jia, LI Duo, <i>et al.</i>	( 237 )
Application of FISH-NanoSIMS Technique in Environmental Microbial Ecology Study	CHEN Chen, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i>	( 244 )
Influence of Microcystin-LR on Cell Viability and Surface Characteristics of <i>Pseudomonas putida</i>	DENG Ting-jin, YE Jin-shao, PENG Hui, <i>et al.</i>	( 252 )
Screening, Combination of Microbial Deodorizer and the Optimization of Its Deodorizing Conditions	ZENG Su, LI Nan-hua, SHENG Hong-chan, <i>et al.</i>	( 259 )
Distribution and Enrichment Characteristics of Organochlorine Pesticides in Water and Halobios from Qingbang Island in Zhoushan, China	ZHANG Ze-zhou, XING Xin-li, GU Yan-sheng, <i>et al.</i>	( 266 )
Levels of Polychlorinated Biphenyls in Tibetan and Yi Adolescents' Hair from Liangshan Prefecture, Sichuan Province	ZHOU Ying, SUN Yi-ming, JIN Jun, <i>et al.</i>	( 274 )
Effects of Single and Co-Exposure of Cu and Chlorpyrifos on the Toxicity of Earthworm	XU Dong-mei, WANG Yan-hua, WANG Nan, <i>et al.</i>	( 280 )
Effect of Exogenous Selenium on Accumulation and Chemical Forms of Cadmium in Cucumber( <i>Cucumis sativus</i> L.)	XIONG Shi-juan, LIU Jun, XU Wei-hong, <i>et al.</i>	( 286 )
Pollution Characteristics of Platinum Group Elements in Road Rust in Xiamen	HONG Zhen-yu, HONG You-wei, YIN Li-qian, <i>et al.</i>	( 295 )
Spatial Distribution of Se in Soils from Different Land Use Types and Its Influencing Factors Within the Yanghe Watershed, China	SHANG Jing-min, LUO Wei, WU Guang-hong, <i>et al.</i>	( 301 )
Immobilization Impact of Different Fixatives on Heavy Metals Contaminated Soil	WU Lie-shan, ZENG Dong-mei, MO Xiao-rong, <i>et al.</i>	( 309 )
Form Tendency and Bio-availability Dynamics of Cu and Zn in Different Farm Soils After Application of Organic Fertilizer of Livestock and Poultry Manures	SHANG He-ping, LI Yang, ZHANG Tao, <i>et al.</i>	( 314 )
Analysis of Composition Characteristics of Municipal Solid Waste in South China	ZHANG Hai-long, LI Xiang-ping, QI Jian-ying, <i>et al.</i>	( 325 )
Sewage Sludge Conditioning by Bioleaching Combined with Fenton-like Oxidation	LIU Chang-geng, ZHANG Pan-yue, JIANG Jiao-jiao, <i>et al.</i>	( 333 )
Applicability of Bisphenol A Detection by a Planar Waveguide Fluorescent Biosensor	XU Wei-qi, ZHANG Yong-ming, ZHOU Xiao-hong, <i>et al.</i>	( 338 )
A New "Turn-on" Fluorescent Probe for Visual Detection of Hydrogen Sulfide	LIU Chun-xia, MA Xing, WEI Guo-hua, <i>et al.</i>	( 343 )
Analysis of Sap Flow Characteristics of the Chinese Pine in Typical Loess Plateau Region of China	ZHANG Han-dan, WEI Wei, CHEN Li-ding, <i>et al.</i>	( 349 )
Simultaneous Production of Hydrogen and Volatile Fatty Acid from <i>Macrocystis pyrifera</i>	ZHAO Xiao-xian, FAN Xiao-lei, GUO Rong-bo, <i>et al.</i>	( 357 )
Behaviors of Engineered Nanoparticles in Aquatic Environments and Impacts on Marine Phytoplankton	LI Man-lu, JIANG Yue-lu	( 365 )

# 《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军  
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明  
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞  
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

## 环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2015年1月15日 第36卷 第1期

## ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 1 Jan. 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. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. 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