

南黄海有色可溶有机物日变化分析^①

马其琦^② 柯长青^③

(南京大学地理与海洋科学学院地理信息科学系 南京 210023)

摘 要 用高时间分辨率的韩国静止海洋水色仪(GOCI)影像,分析了2015年10月2日及2016年9月22日南黄海有色可溶有机物(CDOM)的时空分布特征及影响因素。结果表明,南黄海近岸CDOM浓度高于中央海域,江苏沿岸含量最高;近岸水体以陆源输入为主,远岸水体以微生物现场生产为主。结合叶绿素(chl-a)浓度采样数据分析发现,CDOM日变化时间、空间特征与chl-a日变化一致,回归分析的 R^2 高于0.88,验证了二者时空变化的正相关关系。在深水区,CDOM随悬浮物浓度增加而增加,且线性趋势明显。与提取的潮汐、潮流数据的对比分析发现,潮流是近岸水体(山东半岛南岸与江苏沿岸)表层CDOM变化的主要动力因素。

关键词 南黄海,有色可溶有机物(CDOM),日变化,叶绿素(chl-a),潮汐流

0 引 言

有色可溶有机物(colored dissolved organic matter, CDOM)是水体溶解有机物(dissolved organic matter, DOM)的主要成分,是二类水体中水色、水质的重要组分。一般认为有色可溶有机物(CDOM)的主要成分为腐殖酸、富里酸和芳烃聚合物等,由于其能够吸收蓝光、散射黄光,在水体中呈黄色,也称“黄色物质”。CDOM的光谱吸收峰主要为紫外光与蓝光,对紫外的吸收可保护水生生物免受伤害,但对蓝光的吸收会影响光合有效辐射和初级生产力,在二类水体中尤为明显^[1]。另一方面,CDOM作为重金属与有机污染物的载体,其迁移转化对重金属及有机污染物的变化有一定影响^[2]。因此,分析CDOM的变化对海洋水质监测、环境保护等具有重要意义。

南黄海海域是一个半封闭的陆架浅海,沿岸水体水较浅,无机悬浮物浓度较高,多为二类水体。南

黄海的水动力环境复杂,且具有明显的季节特征,生物地球化学过程多样,对CDOM的时空变化有一定影响。目前,对包括南黄海在内的中国近海CDOM的研究主要集中在吸收光谱特征、荧光性及时空差异。在中国近海,封闭或半封闭海湾以及河口海域CDOM在440nm的吸收系数较其它海域明显偏大,且吸收系数越大,其对水体总吸收的贡献越小^[3]。在黄海北部,275nm~300nm光谱斜率与400nm吸收系数相关性较高^[4]。闫丽红等^[5]、赵军杰等^[6]利用三维荧光光谱分析了CDOM荧光组分的空间分布,分析表明沿海及表层水体为陆源类腐殖质荧光团的高值区,远海及中层水体为海源类腐殖质和类蛋白质荧光团的高值区。雷惠等^[7]、周虹丽等^[8]基于多航次的实测数据对东黄海CDOM时空分布特征在季、年尺度上进行了分析,分析表明春秋季节高值区向外扩展较广,黄海CDOM含量呈多年增加趋势。以上基于实测值的研究由于时间与空间采样率较低,无法进行高频次大面积分析。利用遥感手段研究CDOM主要基于水色卫星宽视场水色扫描仪

① 国家自然科学基金(41371391)和国家重点研发计划(2016YFA0600102)资助项目。
② 男,1994年生,硕士生;研究方向:遥感及其应用;E-mail: mq113115@163.com
③ 通讯作者,E-mail: kecq@nju.edu.cn
(收稿日期:2017-03-09)

(SeaWiFS)、介质-分辨率成像分光计 (MERIS) 及搭载水色遥感波段的中分辨率成像光谱仪 (MODIS), 但在河口、海湾等二类水体中适应性较低^[9]。Slo-
necker 等尝试用 Landsat 8 提取河流及河口区 CDOM 浓度, 但效果一般^[10]。黄妙芬等建立了基于 HJ-1/CCD 传感器的 CDOM 遥感反演模型, 精度较高^[11]。遥感反演 CDOM 受卫星平台回访周期的限制, 无法提供更高时间分辨率下的分析结果。静止水色卫星静止海洋水色仪 (geostationary ocean color imager, GOCI) 提供黄东海、日本海等附近海域每日时序的多景影像, 次日即可提取海水水色、光学特性等参数。本文利用 GOCI 反演南黄海 CDOM 浓度的多时段数据, 在日尺度分析其时空变化及影响因素, 较其他卫星平台更具优势, 对黄海的水色、光学特性等进行高频次监测有重要应用价值。

1 数据与方法

1.1 研究区

南黄海为山东半岛成山角与朝鲜白翎岛连线以南, 长江口北岸启东嘴与济州岛西南角连线以北的海域, 大致位于 37.5°N~31.5°N。南黄海平均水深 46m, 海底中部由一条南北向的长条洼地纵贯, 即黄海槽。南黄海西岸的北部为废黄河三角洲, 地势平坦, 水深 10m~20m; 中部为苏北浅滩, 水深 0~25m, 以琼港为中心, 呈辐射状向东展开, 是一片低潮时露出水面的沙洲和水下沙脊群^[12]。南黄海主要受东、西黄海沿岸流、黄海暖流与黄海冷水团的影响。南黄海的潮波系统主要由南部进入黄海的半日潮波所控制, 大部分区域为规则半日潮^[13]。本文旨在讨论日尺度下 CDOM 的影响因素, 环流的日变化甚微, 故选两个潮位站及其附近区域 (A、B) 潮汐流变化情况来分析其影响, 分布如图 1 所示。

1.2 数据与方法

GOCI 传感器于 2010 年由韩国发射升空, 是全球第一颗静止水色卫星, 空间分辨率为 500m, 时间分辨率为 1h, 提供 08:00 至 15:00 (北京时间) 的影像。本文使用的数据为几何校正后的初级数据 (Level 1B), 选取受云、气溶胶影响较小的两天:

2015 年 10 月 2 日、2016 年 9 月 22 日, 由韩国海洋卫星中心免费下载 (http://kosc.kiost.ac/eng/p10/kosc_p11.html)。

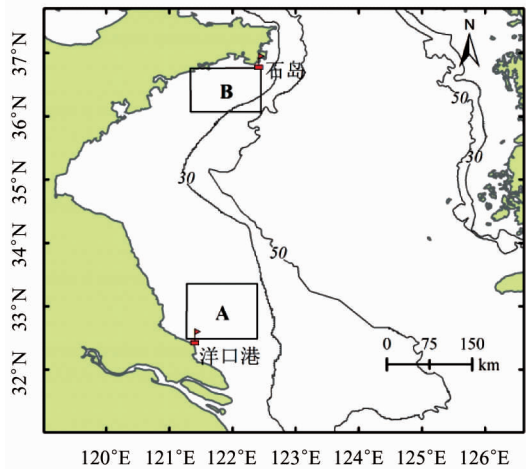


图 1 南黄海及潮位站、采样区 (A、B) 位置

利用韩国海洋卫星中心提供的 GOCI 数据处理软件 GDPS (GOCI data processing system) 反演出逐时变化的 CDOM 浓度, 以及相关影响因素: 叶绿素 (chlorophyll-a, chl-a) 浓度、总悬浮物 (total suspended matter, TSM) 浓度及潮流。由 GOCI 标准大气校正算法^[14] 处理后, 基于大黄海生态系统项目 (Yellow Sea Large Marine Ecosystem Ocean Color Work Group, YOC) 算法^[15] 反演 CDOM 与 chl-a 的浓度。CDOM 浓度用 440nm 吸收系数代表, 单位是 m^{-1} , 模型如下:

$$CDOM(m^{-1}) = 10^{(a_1 + a_2 \times \lg(R) + a_3 \times \lg(R)^2)} \tag{1}$$

$$R = \left(\frac{R_{rs}(490)}{R_{rs}(555)} \right) (R_{rs}(443))^{a_4} \tag{2}$$

式中, $R_{rs}(443)$ 、 $R_{rs}(490)$ 、 $R_{rs}(555)$ 分别为 3 个波段 (443nm、490nm、555nm) 的遥感反射率 (remote sensing reflectance, R_{rs}), 系数 $a_1 = -0.990$, $a_2 = -1.781$, $a_3 = -2.180$, $a_4 = 0.059$ 。

叶绿素浓度反演模型为

$$chl-a(mg/m^3) = 10^{(b_1 + b_2 \times \lg(R) + b_3 \times \lg(R)^2)} \tag{3}$$

$$R = \left(\frac{R_{rs}(490)}{R_{rs}(555)} \right) \left(\frac{R_{rs}(490)}{R_{rs}(555)} \right)^{b_4} \tag{4}$$

式中, 系数 $b_1 = 0.342$, $b_2 = -2.511$, $b_3 = -0.277$, $b_4 = -1.012$ 。

悬浮物浓度的反演,是基于大气校正算法 KO-SC 提出的适于高度浑浊水体 ($TSM > 50\text{g}/\text{m}^3$) 的算法 Case-2^[16]:

$$TSM(\text{g}/\text{m}^3) = 10^{(c_0 + c_1 \times \frac{R_{rs}(745)}{R_{rs}(555)} + c_2 \times \frac{R_{rs}(680)}{R_{rs}(490)})} \quad (5)$$

式中,系数 $c_1 = 0.088$, $c_2 = 1.627$, $c_3 = 1.121$ 。

潮流的提取算法是基于时序的两景叶绿素浓度影像,通过计算相似单元的位移来获取^[17]。在源单元(S)周围搜索相似的目标单元(T),单元大小为 5 个×5 个像元,搜索半径为 15 个像元。首先计算单元间的余弦相似度来确定目标单元:

$$C = \frac{\sum (S \times T)}{\sqrt{\sum S^2} \times \sqrt{\sum T^2}} \quad (6)$$

叶绿素浓度均为正值,系数 C 值域为 $[0,1]$,高值说明两单元相似度高, $C > 0.9$ 即认为 T 是 S 的目标单元。然后根据两单元中心像元的坐标差可获得源单元的移动速率(v)与方向(α)

$$v = \frac{\sqrt{(x_t - x_s)^2 + (y_t - y_s)^2}}{\Delta t} \quad (7)$$

$$\alpha = \arctan \frac{y_t - y_s}{x_t - x_s} \quad (8)$$

式中, (x_s, y_s) 、 (x_t, y_t) 分别为源单元与目标单元中心像元的坐标, Δt 为两景影像的间隔时长。

1.3 算法精度

由于南黄海西岸水体较浅,悬浮物浓度较高,多为二类水体,大气校正误差、泥沙浓度对水色参数反演一定影响^[18]。为提高大气校正精度,校正算法进行了替代定标(vicarious calibration),处理软件 GDPS 在 1.3 及以后版本中加入了定标增益因子,大气校正精度提高在 1% 内,由 KOSC 标准大气校正算法反演得到的遥感反射率产品 $R_{rs}(443)$ 、 $R_{rs}(490)$ 、 $R_{rs}(555)$ 、 $R_{rs}(680)$ 与实测值的绝对误差百分比(absolute percentage difference, APD)分别为 25.4%、16.5%、13.5% 和 35.5%^[19]。

随着总悬浮物浓度增加($> 25\text{g}/\text{m}^3$),水体波谱反射峰值产生“红移”,但在 400nm ~ 550nm 内,悬浮物浓度的变化对 R_{rs} 影响较小^[20]。YOC 算法是根据中国黄东海数十年的实测数据(大黄海生态系统项目,1998–2007)修正进而形成的区域性经验算法,总悬浮物浓度较高时(3 月 ~ 5 月),反演的

CDOM、chl-a 与实测值的 APD 分别为 16% ~ 40% 与 26% ~ 48%;总悬浮物浓度较低时(9 月 ~ 10 月),其 APD 分别为 27% ~ 49% 与 25% ~ 47%。YOC 算法适应性良好,反演 CDOM、chl-a 与实测值相比, R^2 分别为 0.82 和 0.84,平均相对误差分别为 35.9% 和 37.2%^[15]。

TSM 反演模型 Case-2 是针对黄海总悬浮物浓度过高时($50\text{g}/\text{m}^3 \sim 200\text{g}/\text{m}^3$)反演误差较大而提出,结果与实测值的 R^2 、均方根误差(RMSE)分别为 0.97 与 $6.913\text{g}/\text{m}^3$ ^[16]。

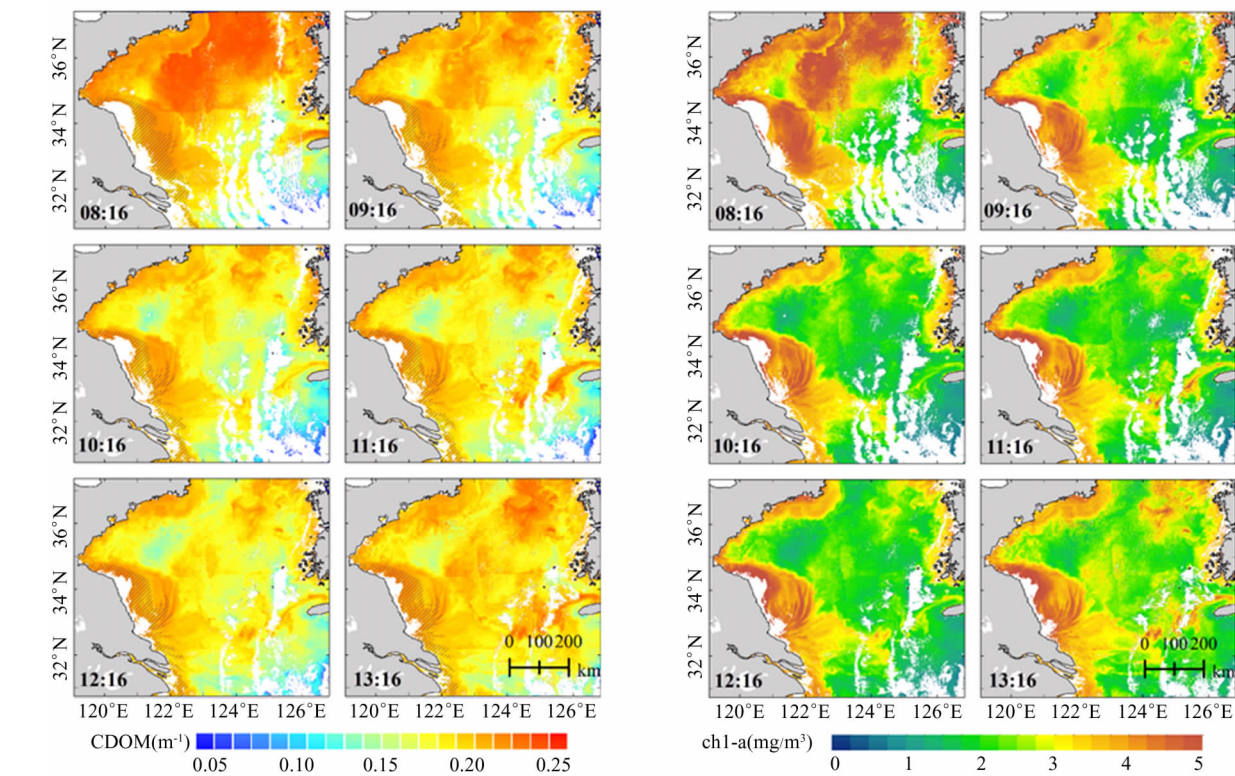
2 结果与分析

2.1 CDOM 与 chl-a 浓度

2015 年 10 月 2 日南黄海 CDOM 与 chl-a 逐时变化(图 2)表明两者在空间分布上较为一致,从 8:16 到 13:16 逐渐降低。苏北沿岸、山东半岛南岸以及朝鲜半岛西岸浓度较高,其中以苏北沿岸最为明显,CDOM 与 chl-a 浓度最高,且高值区域最大;南黄海中部 CDOM 浓度较低。总体为边缘区域大于中央区域,西北部高于东南部,CDOM 与 chl-a 分布特征与之前研究结果一致^[3,6,21]。

南黄海 CDOM 空间分布特征与 CDOM 的来源密切相关。海洋中的 CDOM 来源于两个方面:一是以地表径流、地下水为主的陆源输入;二是以浮游动植物生产、微生物降解为主的海洋源生。在较深的中部海域,陆源输入较少,CDOM 浓度较小,主要受浮游生物活动的影响。浮游植物光合作用、浮游动植物降解、浮游动物与细菌排泄等都是远海 CDOM 的重要来源^[22]。水体次表层浮游植物活跃,CDOM 浓度与叶绿素浓度呈正相关,浮游植物的生产对 CDOM 的生成有一定贡献^[6,23],2015 年 10 月 2 日 CDOM 的时空分布特征与叶绿素浓度变化规律相似,与以上论述相符。另一方面,浮游植物生产及微生物降解对 CDOM 的贡献有限^[24]。所以,在靠近河口区及受沿岸流影响的沿岸海区,陆地径流(植物尸体降解与沿岸浅滩土壤内的类腐殖质)是海水中 CDOM 的主要来源^[5,25]。苏北沿岸、山东半岛南岸 CDOM 浓度较高,表明陆源输入是南黄海南岸海域

CDOM 的主要来源。



白色区域由于云覆盖而在大气校正时被掩膜(陆架区域)或由于近红外波段反射率过高无法反演(沿岸区域)

CDOM 浓度图中斜线阴影(苏北沿岸)为悬浮物浓度较高(>25g/m³)而水体波谱反射峰值产生“红移”

图 2 2015 年 10 月 2 日 CDOM 与 chl-a 浓度逐时变化

此外,沿岸高值区与远海低值区之间界线明显,在苏北沿岸和山东半岛南岸可以观察到。这是由于黄海陆架锋的存在,锋面附近存在上升流,促进底层与表层水体营养盐、温度等交换^[26],丰富的营养物质促进浮游植物光合作用,提高了生产力。锋区富聚现象的存在、锋面的屏障作用使物质无法交换^[27],造成锋面两侧 CDOM、chl-a 等物质浓度差异较大,呈现出明显的分界。

2016 年 9 月 22 日南黄海 CDOM 与 chl-a 逐时变化(图 3)与图 2 类似,但总体 CDOM 与 chl-a 浓度较 2015 年 10 月 2 日低。苏北沿岸、朝鲜半岛西岸以及山东半岛南岸附近高值区明显,且面积依次减小;CDOM 与 chl-a 浓度逐时减少,14:16 有所回升,朝鲜半岛西岸区域较为明显,高值区小幅增大。

为进一步量化 chl-a 对 CDOM 日变化的影响,在反演所得的逐时变化浓度结果中采取等间距采样

的方式(经纬度采样间隔均为 15'),提取对应坐标点的 CDOM 与 chl-a 浓度值进行回归分析。CDOM 与叶绿素浓度呈正相关关系,但随叶绿素浓度上升,CDOM 浓度增加速率趋缓,且高浓度 CDOM 会制约浮游植物生长^[28]。据此,选用对数模型进行拟合:

$$y = a - b \times \ln(x + c) \tag{9}$$

式中, x , y 分别代表 chl-a 浓度和 CDOM 浓度。拟合效果良好(表 1、图 4)。

2015 年 10 月 2 日与 2016 年 9 月 22 日的拟合优度 R^2 分别为 0.881 和 0.969,与 CDOM、chl-a 时空分布(图 2、图 3)规律一致的结果相吻合。可以看出,当 CDOM 浓度较低时($0.050\text{m}^{-1} \sim 0.150\text{m}^{-1}$),数据点较集中,近似呈线性相关,浮游植物与微生物降解产物可能为影响 CDOM—chl-a 散点图的主要变量^[24]。进一步说明在远海的低值区,CDOM 主要来源于浮游生物现场生产^[29]。

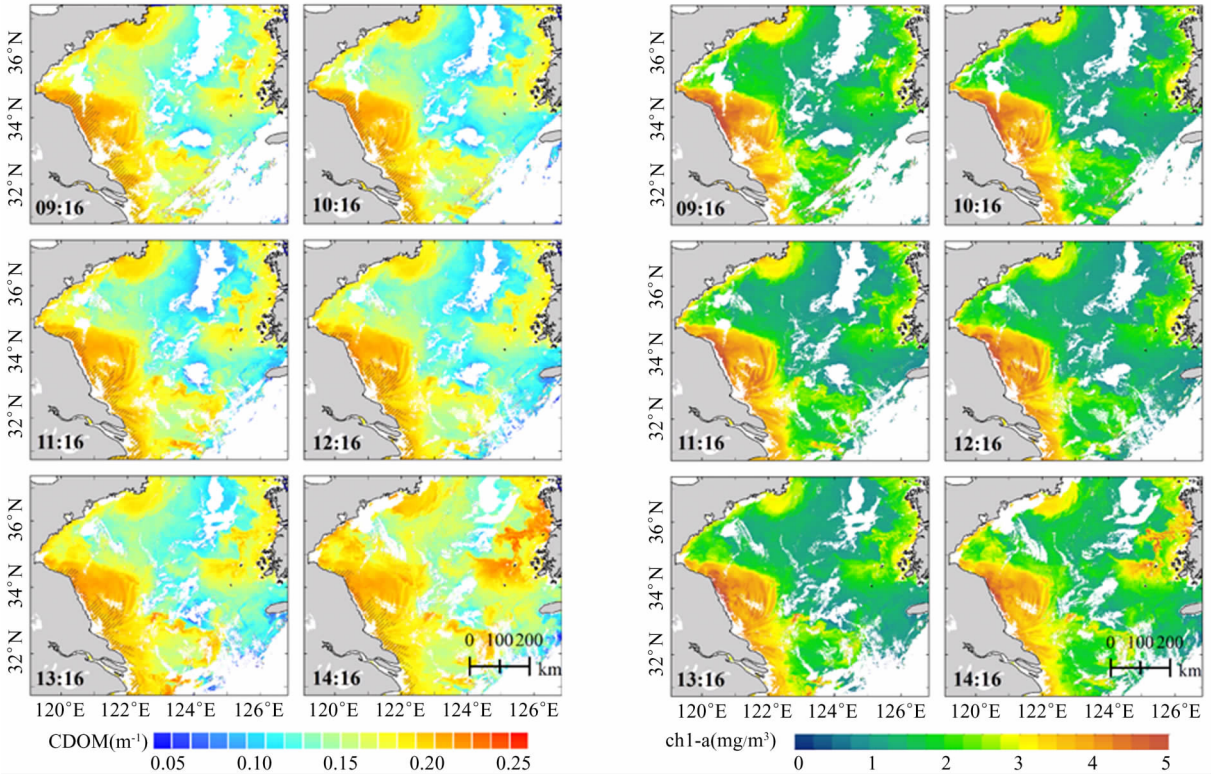


图3 2016年9月22日CDOM与chl-a浓度逐时变化

表1 CDOM与chl-a回归分析参数

时间	参数			R^2	N	P
	a	b	c			
2015/10/02	0.148	-0.050	-0.341	0.881	2733	<0.001
2016/09/22	0.136	-0.056	-0.307	0.969	2475	<0.001

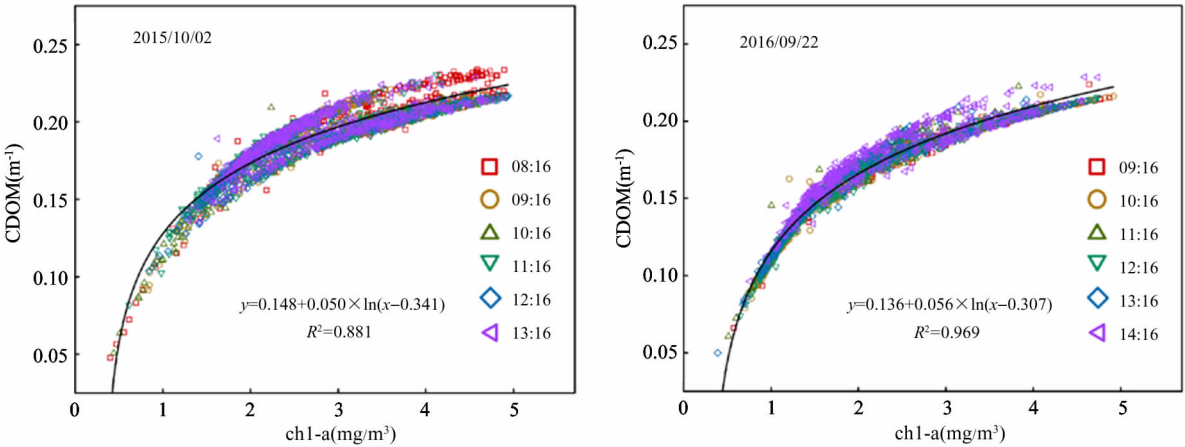


图4 CDOM浓度与chl-a浓度回归分析

2.2 CDOM与TSM的关系

将反演所得6景CDOM与TSM逐时影像合成

为1幅日均值影像,用等间距采样的方式(经纬度采样间隔均为15'),提取对应坐标点的CDOM与

TSM 浓度日均值进行相关性分析(图 5)。程远月等通过测定河口沉积物再悬浮期间的荧光特征,证明了水体中悬浮物含有类腐殖质与类蛋白质荧光物质,表明悬浮物是近岸水体中 CDOM 一个重要来源^[30]。

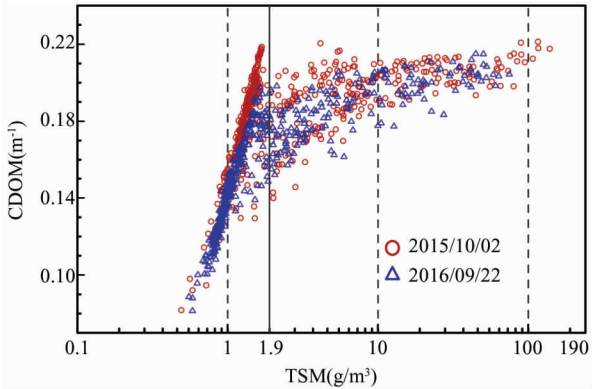


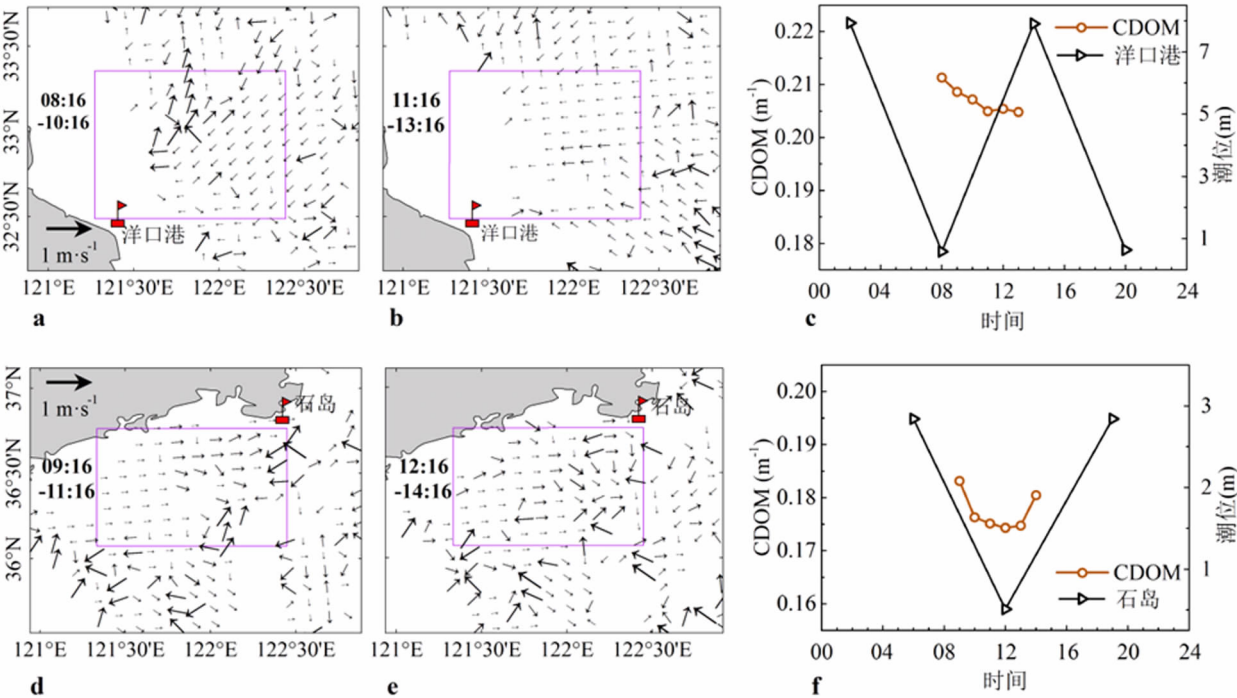
图 5 日平均 CDOM 与 TSM

将 TSM 浓度划分为三个层次:低值($0 \sim 2\text{g/m}^3$)、中值($2\text{g/m}^3 \sim 10\text{g/m}^3$)、高值($> 10\text{g/m}^3$)^[31],分别讨论其与 CDOM 的关系。悬浮物浓度低值区位于黄海槽中南部的一类水体,中值区主要位于海州湾以东及苏北浅滩外的陆架区,高值区为苏北浅

滩^[32],与 CDOM 空间分布特征相似。结合散点图(图 5),在南黄海中南部,CDOM 浓度随 TSM 浓度上升而迅速增加,近似呈线性正相关。在中值区,CDOM 浓度变化趋缓,部分区域达最大值,随悬浮物浓度增加而增加,但线性关系不明显。在苏北浅滩,CDOM 浓度最高,不再随 TSM 浓度增加而变化。在珠江口海域、朝鲜半岛附近及东海也发现类似现象^[31,33]。

2.3 CDOM 与潮汐、潮流的关系

选取间隔为 2h 的叶绿素浓度影像提取潮流变化信息(图 6)。图(a)、(b)、(c)为 2015 年 10 月 2 日 A 采样区 CDOM 浓度及其附近区域潮汐变化,其 CDOM 浓度逐时降低,均值由 8:16 的 0.2113m^{-1} 下降至 13:16 的 0.2048m^{-1} 。与其相反,洋口港潮位在该时段内持续上升,且潮流方向均为远海指向沿岸,说明水体不断向江苏浅滩涌进,致使 A 采样区内表层水体 CDOM 被冲淡,所以其浓度呈现下降的趋势。图(d)、(e)、(f)为 2016 年 9 月 22 日 B 采样区 CDOM 与潮汐潮流变化,CDOM 浓度在上午逐时降低,午后有所上升,9:16、13:16、14:16 的 CDOM 浓度均值分别为 0.1831m^{-1} 、 0.1747m^{-1} 、 0.1805m^{-1} 。



(a)、(b)、(c)为 2015 年 10 月 2 日 A 采样区 CDOM 浓度及其附近区域潮汐变化;(d)、(e)、(f)为 2016 年 9 月 22 日 B 采样区 CDOM 与潮汐潮流变化;(e)、(f)中圆点数据点为成像时刻采样区内 CDOM 浓度的平均值

图 6 采样区 CDOM 浓度变化与潮流的关系

与洋口港相反,石岛潮位与 CDOM 浓度变化一致,先降低后升高,但潮流方向显示表层水体流向一直为石岛方向。由于石岛的潮差(2.3m)远小于洋口港(7.1m),潮波的能量较小,水位上升对表层 CDOM 浓度的变化影响较小。而表层水流矢量与 B 采样区 CDOM 浓度变化一致,12:16 之前的潮流以指向石岛方向为主(图 6(d)),12 时之后,潮汐回落,122°E 以东的潮流与之相反(图 6(e))。14:16 B 采样区平均 CDOM 浓度升高一是陆源输入的原因,二是潮流方向改变,导致浅水区(水深 < 20m)底部的表层沉积物再悬浮,垂向混合作用下使 CDOM 浓度上升^[6,30]。以上结果表明,影响表层水体 CDOM 浓度的动力因素主要为潮流,潮汐作为次表层的影响因素,在潮差较小的区域驱动效果不显著。

3 结 论

本文通过对南黄海 CDOM 日变化及其相关因素进行遥感反演、分析,发现近岸浅水区有色可溶有机物浓度高于中央海域,苏北浅滩与山东半岛南岸附近浓度最高。近岸水体 CDOM 以陆地与河流径流的陆源输入为主,远岸水体的海源 CDOM 主要由海洋浮游动植物活动与细菌降解所产生。由于海洋锋的存在,高值区与低值区的界线明显。结合叶绿素浓度反演结果,发现 CDOM 日变化时间、空间特征与 chl-a 一致,回归分析结果 R^2 高于 0.88,验证了二者时空变化的正相关关系。在南黄海中南部的深水区,悬浮物与 CDOM 近似呈线性正相关;在西岸的浅水区,二者变化趋势不一致。与提取的潮流数据对比,潮汐驱动次表层水体物质变化,对表层 CDOM 变化影响较小,潮流为近岸水体表层 CDOM 变化的主要动力因素;浅水区底部的表层沉积物再悬浮也会导致 CDOM 浓度上升。

南黄海水体动力环境、海洋生化反应多样,光学性质复杂,有色可溶有机物作为主要水色因子,研究其时空分布特征对我国近海水色反演、水质监测具有重要实际意义。另一方面,遥感影像数据更加丰富,更新速度加快,综合探究海洋水色变化,为海洋资源开发、海洋生态保护提供决策支持将成为后续

的工作方向。

参考文献

- [1] Mannino A, Novak M G, Hooker S B, et al. Algorithm development and validation of CDOM properties for estuarine and continental shelf waters along the northeastern U. S. coast. *Remote Sensing of Environment*, 2014, 152 (3): 576-602
- [2] Kowalczyk P, Cooper W J, Durako M J, et al. Characterization of dissolved organic matter fluorescence in the South Atlantic Bight with use of PARAFAC model: relationships between fluorescence and its components, absorption coefficients and organic carbon concentrations. *Marine Chemistry*, 2010, 118(1-2): 22-36
- [3] 朱建华,周虹丽,李铜基等. 中国近海黄色物质吸收光谱特征分析. *光学技术*, 2012, 38(3): 295-299
- [4] 王林,赵冬至,杨建洪等. 黄海北部 CDOM 近紫外区吸收光谱特性研究. *光谱学与光谱分析*, 2010, 30(12): 3379-3383
- [5] 闫丽红,苏荣国,段亚丽等. 渤海有色溶解有机物的三维荧光光谱特征. *海洋与湖沼*, 2013, 44(5): 1162-1169
- [6] 赵军杰,张婧,杨桂朋. 秋季东、黄海有色溶解有机物(CDOM)的光学特性研究. *海洋环境科学*, 2013, 32(6): 818-823
- [7] 雷惠,潘德炉,陶邦一等. 东海典型水体的黄色物质光谱吸收及分布特征. *海洋学报*, 2009, 31(2): 57-62
- [8] 周虹丽,朱建华,李铜基等. 中国近海典型海区黄色物质含量年际变化分析. *海洋技术*, 2012, 31(3): 60-63
- [9] Aurin D A, Dierssen H M. Advantages and limitations of ocean color remote sensing in CDOM-dominated, mineral-rich coastal and estuarine waters. *Remote Sensing of Environment*, 2012, 125(10): 181-197
- [10] Slonecker E T, Jones D K, Pellerin B A. The new Landsat 8 potential for remote sensing of colored dissolved organic matter (CDOM). *Marine Pollution Bulletin*, 2016, 107(2): 518-527
- [11] 黄妙芬,王迪峰,邢旭峰等. 珠江口海域 ag(440)遥感模式研究及应用. *海洋学报*, 2015, 37(7): 67-77

- [12] 许东禹,刘锡清,张训华等. 中国近海地质. 北京: 地质出版社,1997. 9-11
- [13] 孙湘平. 中国近海区域海洋. 北京: 海洋出版社, 2008. 131-149
- [14] Ahn J H, Park Y J, Ryu J H, et al. Development of atmospheric correction algorithm for Geostationary Ocean Color Imager (GOCI). *Ocean Science Journal*, 2012, 47 (3): 247-259
- [15] Siswanto E, Tang J, Yamaguchi H, et al. Empirical ocean-color algorithms to retrieve chlorophyll-a, total suspended matter, and colored dissolved organic matter absorption coefficient in the Yellow and East China Seas. *Journal of Oceanography*, 2011, 67(5): 627-650
- [16] Min J E, Choi J K, Park Y J, et al. Retrieval of suspended sediment concentration in the coastal waters of yellow sea from Geostationary Ocean Color Imager (GOCI). In: Proceeding of the International Symposium of Remote Sensing, Beijing, China, 2013. 809-812
- [17] Choi J K, Yang H, Han H J, et al. Quantitative estimation of suspended sediment movements in coastal region using GOCI. *Journal of Coastal Research*, 2013, 2(65): 1367-1372
- [18] Chen J, Zhang M, Cui T, et al. A review of some important technical problems in respect of satellite remote sensing of chlorophyll-a concentration in coastal waters. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2013, 6(5): 2275-2289
- [19] Ahn J H, Park Y J, Kim W, et al. Vicarious calibration of the geostationary ocean color imager. *Optics Express*, 2015, 23(18): 23236-23258
- [20] 樊辉,黄海军,唐军武. 黄河口水体光谱特性及悬沙浓度遥感估测. 武汉大学学报(信息科学版), 2007, 32 (7): 601-604
- [21] 郑国侠,宋金明,戴纪翠等. 南黄海秋季叶绿素 a 的分布特征与浮游植物的固碳强度. 海洋学报, 2006, 28 (3): 109-118
- [22] Andrew A A, Del Vecchio R, Subramaniam A, et al. Chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in the equatorial Atlantic Ocean: optical properties and their relation to CDOM structure and source. *Marine Chemistry*, 2013, 148(9): 33-43
- [23] Chen R F, Bissett B, Coble P. Chromophoric dissolved organic matter (CDOM) source characterization in the Louisiana Bight. *Marine Chemistry*, 2004, 89(1): 257-272
- [24] Sasaki H, Miyamura T, Saitoh S, et al. Seasonal variation of absorption by particles and colored dissolved organic matter (CDOM) in Funka Bay, southwestern Hokkaido, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, 64(2-3): 447-458
- [25] Del Vecchio R, Blough N V. Spatial and seasonal distribution of chromophoric dissolved organic matter and dissolved organic carbon in the Middle Atlantic Bight. *Marine Chemistry*, 2004, 89(1-4): 169-187
- [26] 赵保仁. 南黄海西部的陆架锋及冷水团锋区环流结构的初步研究. 海洋与湖沼, 1987, 18(3): 218-226
- [27] 韦钦胜,吕新刚,王宗兴等. 黄海陆架锋特征及其生态效应的初步分析. 地球科学进展, 2010, 25(4): 435-443
- [28] Brezonik P L, Olmanson L G, Finlay J C, et al. Factors affecting the measurement of CDOM by remote sensing of optically complex inland waters. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 157: 199-215
- [29] Deborah K S, Norman B N, Craig A C, et al. Production of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in the open ocean by zooplankton and the colonial cyanobacterium *Trichodesmium* spp. *Marine Ecology Progress Series*, 2004, 267(1): 45-56
- [30] 程远月,郭卫东,胡明辉. 近岸沉积物再悬浮期间所释放溶解有机物的荧光特征. 地球化学, 2008, 37 (1): 51-58
- [31] Kim W, Moon J E, Park Y J, et al. Evaluation of chlorophyll retrievals from Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) for the North-East Asian region. *Remote Sensing of Environment*, 2016, 184: 482-495
- [32] 刘芳,黄海军,郜昂. 春、秋季黄东海海域悬浮体平面分布特征及海流对其分布的影响. 海洋科学, 2006, 30(1): 68-72
- [33] 姜广甲,段国钦,黄志雄等. 珠江口海域主导光学因子的遥感分类及其变化特征. 海洋学报, 2016, 38 (9): 64-75

Diurnal variation of colored dissolved organic matter in the South Yellow Sea

Ma Qiqi, Ke Changqing

(Department of Geographic Information Science, School of Geographic and
Oceanographic Science, Nanjing University, Nanjing 210023)

Abstract

The temporal-spatial distribution of the colored dissolved organic matter (CDOM) and the influencing factors to it in the South Yellow Sea on October 2, 2015 and September 22, 2016 were analyzed based on the high temporal resolution images of Geostationary Ocean Color Imager (GOCI). The analyzing results indicate that the CDOM concentration in the nearshore area is higher than that of the central area of the sea, and the maximum value is located in the coastal area of Jiangsu Province. The nearshore water is dominated by terrestrial input, while offshore water is mainly dominated by microbial production. Given the existence of oceanic fronts, the boundary between areas with high value and low value range is obvious. The temporal and spatial characters of CDOM are found to coincide with that of chlorophyll-a. The regression analysis shows that the fitting coefficient is higher than 0.88, which verifies the positive correlation between CDOM and chlorophyll-a. In deep water, CDOM increases with total suspended matter, of which the linear trend is significant. A contrastive analysis of tide and tidal current finds that tide-driven sub-surface water substance changes little on surface CDOM. Tidal current is a main dynamic factor of CDOM variation in coastal waters (Shandong peninsula south coast and Jiangsu coast).

Key words: South Yellow Sea, colored dissolved organic matter (CDOM), diurnal variability, chlorophyll-a, tidal current