

秋季和春季黄渤海黄色物质空间分布特征*

张国朋 张亭禄^① 陈树果 王建国

(中国海洋大学海洋技术系 青岛 266100)

摘要 利用 2013 年秋季和 2014 年春季两个季节黄渤海现场数据对黄色物质的水平分布及垂向分布的变化进行研究,并初步分析了其主要控制因素。垂向黄色物质表现为底部高上层低的特征。其中,秋季混合作用加强导致上层 40m 黄色物质混合较为均匀;春季北黄海温盐跃层已经形成,黄色物质分布开始出现明显的分层现象,上下层浓度差约为 $2\mu\text{g/L}$ 。春季南黄海盐度跃层尚未形成,水深小于 50m 的水层黄色物质垂向分布均匀,近岸和远岸海域浓度分界线明显。水平方向上,黄色物质在秋季和春季分布趋势一致,由渤海、北黄海至南黄海浓度依次降低,且呈现出由近岸向中央海区递减的趋势,但整体上春季浓度较秋季明显偏低。海表盐度与黄色物质浓度两者整体上呈现负相关关系,可以将黄色物质浓度分布作为研究黄海暖流走向、划分水团性质的重要指标。

关键词 黄色物质;空间分布;季节变化;黄渤海

中图分类号 P733.3 **doi:** 10.11693/hyhz20141100318

黄色物质又称有色可溶有机物(Chromophoric Dissolved Organic Matter, CDOM),是水体中各类高分子量化合物的混合物,主要由各种腐殖酸和棕磺酸等组成(Kirk, 1994)。研究黄色物质的分布具有重要意义。首先,黄色物质在生物地球化学循环中发挥着重要作用,其吸收光能后,发生一系列光降解过程,从而产生多种对海洋及大气环境发生影响的物质(Bushaw *et al*, 1996; Millet *et al*, 2010);其次,黄色物质不仅能吸收蓝绿波段的太阳辐射,同时对紫外波段的太阳辐射也有较大影响,是紫外波段吸收的主要影响因素,能够影响水下光场分布和水体中浮游植物的光合作用(Markager *et al*, 2000);再者,黄色物质是海洋学中的惰性物质,具有良好的保守性和稳定性,可以作为海水的固有示踪物,用于水团示踪和水体污染等的监测和评价(Ferrari, 2000; Stedmon *et al*, 2010)。

黄渤海海域受周围众多河流(特别是黄河及长江)输入的影响,不但具有较高的颗粒物浓度,同时也具有较高的黄色物质浓度。另外,该海域具有复杂的水动力环境(乔方利, 2012)和生物地球化学过程

(郭卫东等, 2008; 李永祺, 2012),其黄色物质分布在各时间尺度和空间尺度上都可能有剧烈的变化。目前,包括黄渤海在内的东中国海的黄色物质已进行了较多的研究,主要集中在两个方面:其一是黄色物质吸收特性的研究(邢小昱等, 2009; 雷惠等, 2009; 朱伟健等, 2010; 朱建华等, 2012),包括吸收系数曲线斜率的变化以及吸收性质与荧光性质的关系等;其二是黄色物质荧光性质的研究,包括黄色物质的荧光效率(夏英达等, 1999)、三维荧光特性与黄色物质来源的关系(任保卫等, 2007)。但目前对该区域的时空变化,特别是不同季节垂向变化的研究较少。赵军杰(2013)利用分层采集的样品实验室分析的结果,研究了黄渤海黄色物质的三维荧光性质和吸收性质的分布特征。但由于分层采样在垂直方向上采样率较低,限制了对分布细节变化的认识。本研究利用黄渤海春秋两个季节较高采样分辨率的黄色物质浓度数据,分析这两个季节黄色物质在水平方向及垂直方向上变化特征。该研究对于黄渤海海洋光化学、光生物学以及光学遥感等方面的研究都有重要应用价值。

*国家自然科学基金项目, 41276041 号, 40876005 号; 张国朋, 硕士研究生, E-mail: zgpeng33@163.com

通讯作者: 张亭禄, 博士生导师, 教授, E-mail: zhangtl@ouc.edu.cn

收稿日期: 2014-11-14, 收修改稿日期: 2015-01-19

1 数据

本文数据来源于黄渤海 2013 年秋季和 2014 年春季两个航次, 其中秋季的执行时间为南黄海为 11 月 4—14 日, 北黄海及渤海为 11 月 16—26 日。春季的执行时间为南黄海为 4 月 27 日至 5 月 6 日, 北黄海及渤海为 5 月 7—21 日。站位分布如图 1 所示。采用的仪器为黄色物质荧光仪, 由美国 Wet Labs 公司生产, 可对水体黄色物质浓度进行现场测量。本仪器利用 370nm 波长对水体进行荧光激发, 以 460nm 作为接受波长获取荧光强度, 然后利用定标系数, 将荧光强度转换为浓度数值。这里所测得的黄色物质浓度单位用 $\mu\text{g/L}$ 表示。本研究将黄色物质荧光仪及其他仪器安装在专用支架上, 通过船上的绞车实现黄色物质的剖面测量, 其它同时测量的参数包括温度、盐度、浊度以及叶绿素等。2013 年秋季和 2014 年春季航次分别进行了 96 和 124 个站位的剖面观测。

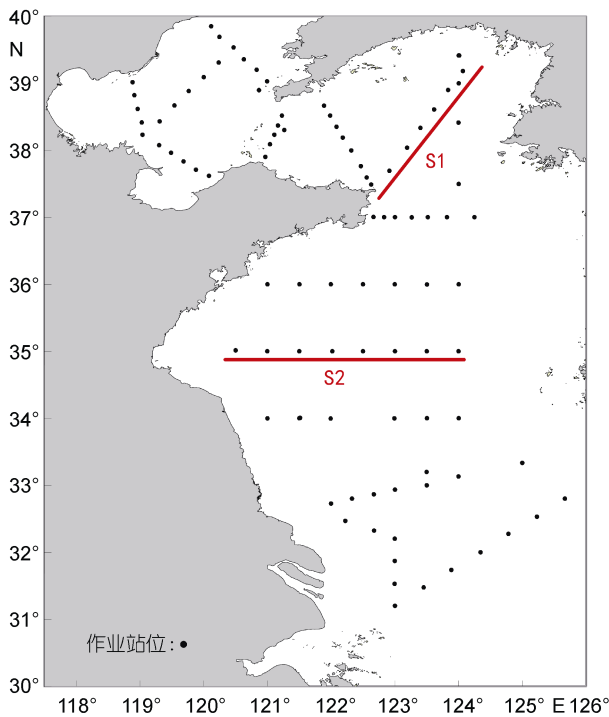


图 1 黄渤海调查站位图

Fig.1 Sampling sites in the Yellow Sea and Bohai Sea
S1: 成山头到鸭绿江河口的断面; S2: 南黄海的 35°N 断面

2 研究方法与分析

本文从垂直方向和水平方向两个方面分析黄色物质空间分布。本文选取两个代表断面研究垂向特征, 分别是北黄海从成山头到鸭绿江河口的断面 S1 和南

黄海的 35°N 断面 S2。S1 断面涵盖了山东半岛周边、北黄海中部以及鸭绿江外毗邻区域等海域的水体特征, 可作为北黄海的典型断面。S2 断面横穿南黄海冷水团, 是研究南黄海水体特征的典型断面。以下将分别对其分布情况进行分析。

2.1 黄渤海黄色物质浓度的垂直分布

2.1.1 北黄海 S1 断面 该断面黄色物质的分布如图 2 所示。可以看出, 无论秋季还是春季, 黄色物质浓度总体都呈现底部高、表层低的趋势。山东半岛附近的海区底部海域黄色物质浓度较大。

但这两个季节也存在显著不同。在秋季所测量的 S1 断面, 黄色物质在 40m 以浅垂向分布均匀, 浊度及叶绿素具有相似的分布特征(图 3), 由海水上下混合作用所致。由温、盐断面可以看到, 在 123°E 至 123.5°E 之间底部(大于 40m)冷水团仍显著存在。冷水团以外的水体垂向混合均匀。另外, 123.4°E 附近底部高黄色物质浓度向表层延伸, 形成高值条带。从温、盐及浊度分布特征来看, 该区域可能存在上升流, 将底部低温、高盐、高浊水体带入上层, 形成黄色物质的高值条带。该上升流正好位于冷水团边界处, 与赵宝仁(1987, 1996)的研究结果一致。

春季水体上层黄色物质的分布出现明显的分层现象。上混合层(厚约 20m)内黄色物质浓度明显低于下混合层, 浓度差约为 $2\mu\text{g/L}$ 。浊度也有相似的分布, 叶绿素在 15m 左右达到最大。由图 3 可以看出, 春季已形成较强的温跃层和盐跃层, 海水垂直趋于稳定, 阻碍了海水的垂向混合。该断面 124.1°E, 39.2°N 附近地处鸭绿江河口, 受到携带高浓度黄色物质的鸭绿江冲淡水的影响, 形成黄色物质高值区。另外, 山东半岛附近的底部海域黄色物质浓度较大, 与渤海流出的沿岸流携带的黄色物质浓度较高有关(薛春汀等, 2010)。

2.1.2 南黄海 S2 断面 S2 断面黄色物质浓度整体呈现出底层高上层低、沿岸高远岸低的特征且秋季整体要略高于春季(图 4)。从浊度和盐度来看, 近岸由于受到陆地冲淡水和泥沙的影响, 表现出低盐高浊的特征, 同时受陆源高浓度黄色物质的影响沿岸黄色物质浓度整体比远岸高。

秋季, 黄色物质在 40m 以浅的垂向分布均匀, 叶绿素及浊度也有类似的分布(图 5)。远离岸边的海域黄色物质浓度约为 $4.0\mu\text{g/L}$, 而近岸海域相对较高, 约为 $5.5\mu\text{g/L}$ 。水深大于 40m 的水域黄色物质浓度较高, 平均浓度为 $7.5\mu\text{g/L}$, 约为表层浓度的 2 倍。从该断面

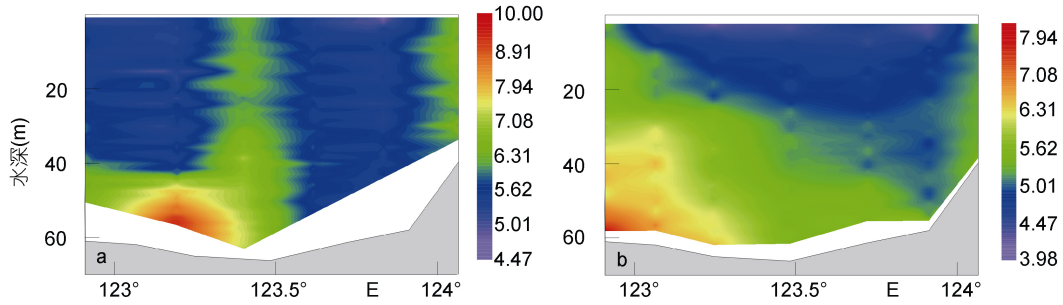


图 2 S1 断面黄色物质垂直分布(单位: $\mu\text{g/L}$): (a) 2013 年秋季, (b) 2014 年春季
Fig.2 Vertical distribution of yellow substance along Section S1: (a) autumn 2013, (b) spring 2014

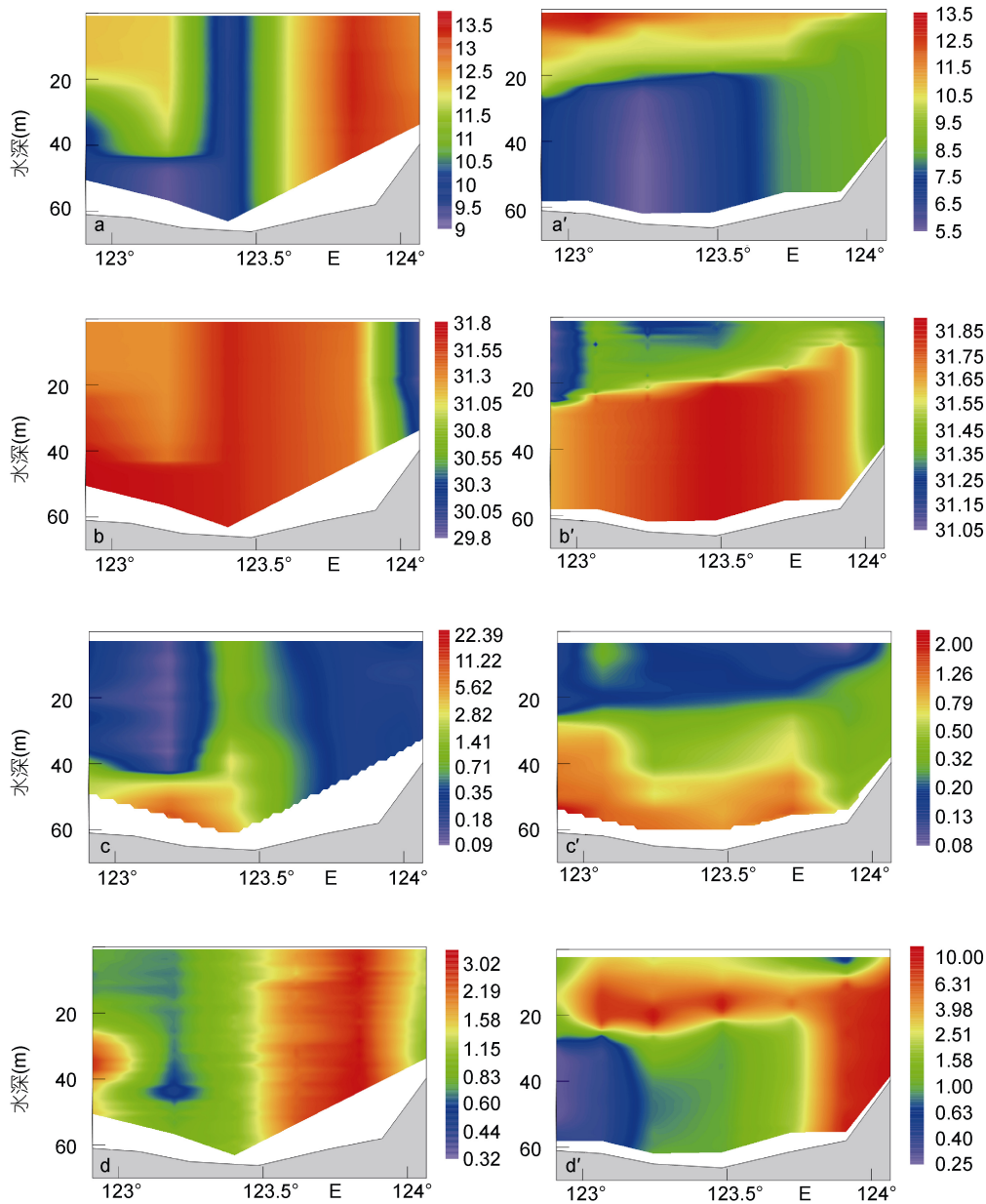


图 3 2013 年秋季(左) 和 2014 年春季(右) S1 断面相关参数: (a)温度($^{\circ}\text{C}$), (b)盐度, (c) 浊度(ftu), (d) 叶绿素($\mu\text{g/L}$)
Fig.3 Vertical distribution of (a) temperature, (b) salinity, (c) turbidity, (d) chlorophyll along Section S1 in (left) autumn 2013 and (right) spring 2014

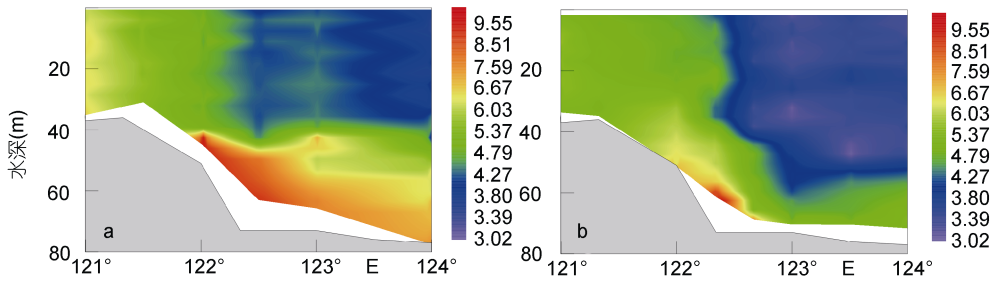


图 4 S2 断面黄色物质垂直分布(单位: $\mu\text{g/L}$): (a)2013 年秋季, (b)2014 年春季
Fig.4 Vertical distribution of yellow substance along Section S2: (a) autumn 2013, (b) spring 2014

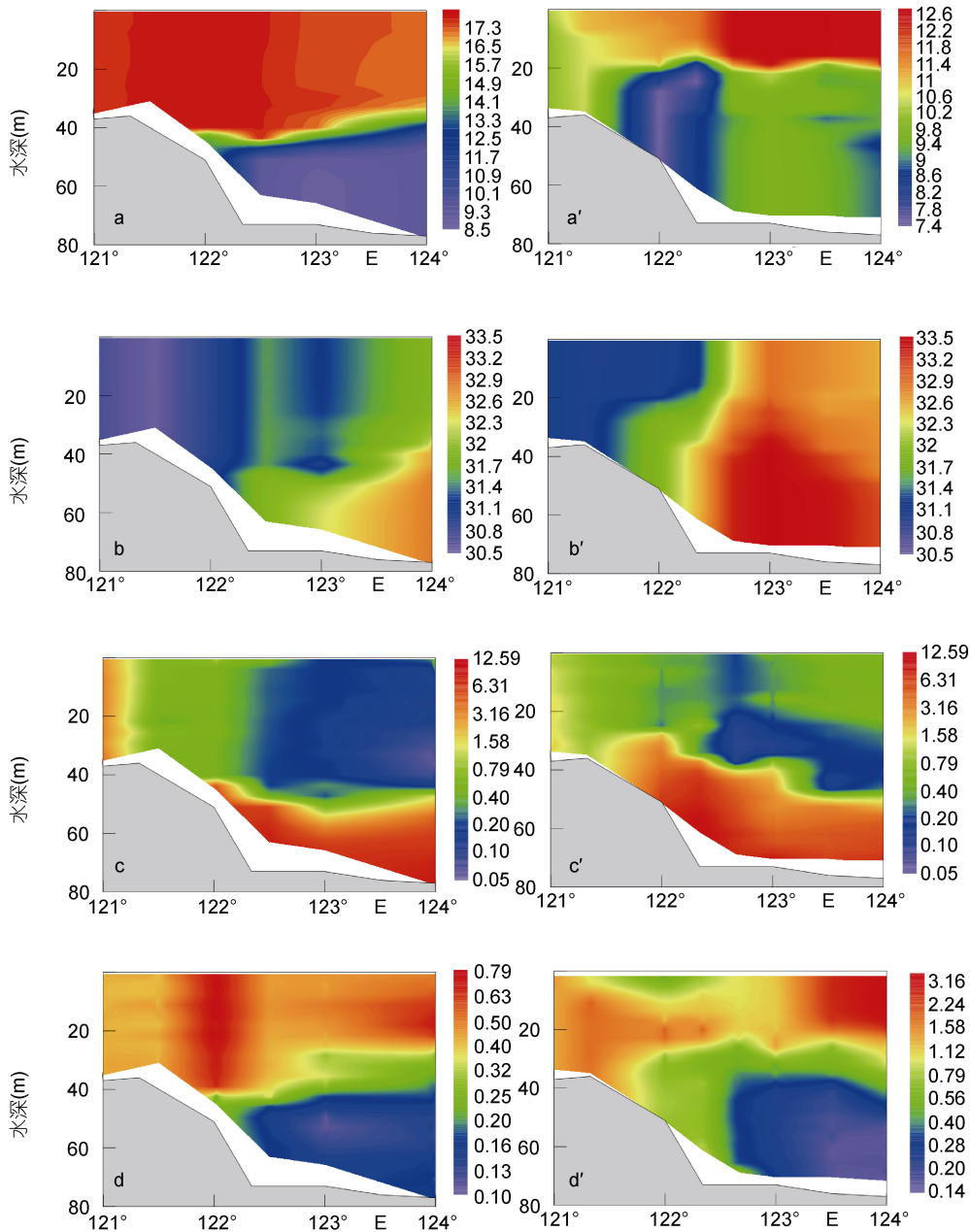


图 5 2013 年秋季(左)和 2014 年春季(右)S2 断面相关参数: (a)温度($^{\circ}\text{C}$), (b)盐度, (c)浊度(ftu), (d)叶绿素($\mu\text{g/L}$)
Fig.5 Vertical distribution of (a) temperature, (b) salinity, (c) turbidity, (d) chlorophyll along Section S2 in (left)autumn 2013 and (right) spring 2014

温度及盐度分布看, 该季节混合作用较强, 上混合层的深度约为 40m, 其下仍为冷水团控制(翁学传等, 1988)。

春季, 50m 以上黄色物质垂向分布均匀, 且基本以 122.5°E 为分界线, 远岸海域黄色物质浓度为 4.0 $\mu\text{g/L}$, 而近岸海域则在 5.0 $\mu\text{g/L}$ 左右, 浓度较远岸大 40%。黄色物质浓度在 50m 以深海域大于以浅海域, 而叶绿素及浊度分布出现了明显的分层现象。从该断面温度及盐度分布看, 该季节在水深 20m 左右出现较强的温度跃层, 而盐度的分布从表层到底层分布较均匀, 仍呈现冬季的特征, 可见黄色物质的垂向分布与盐度的垂向分布关系更密切。

2.2 黄渤海黄色物质浓度的水平分布

图6和表1给出了黄色物质秋季和春季的水平分布特征。整体上看, 黄色物质的水平分布春季和秋季分布特征相似: 渤海浓度最高, 北黄海次之, 南黄海最低。黄色物质浓度分布呈现出由近岸向中央海区递减的趋势, 且近海及沿岸海域, 特别是河口附近, 等值线较为密集, 浓度值减少幅度较大, 而远离岸边以及没有冲淡水影响的海域等值线较为稀疏, 浓度值梯度较小。

但两个季节黄色物质的分布也存在较大差异: 浓度分布呈现秋季高、春季低的特征。渤海秋季黄色物质最低浓度为 9.73 $\mu\text{g/L}$, 而春季浓度则为 6.24 $\mu\text{g/L}$, 浓度下降约 36%, 平均值由 14.66 $\mu\text{g/L}$ 下降到 9.11 $\mu\text{g/L}$, 其它海域也有类似变化特征。在南黄海, 黄色物质浓度为 4 $\mu\text{g/L}$ 的等值线在秋季位于 70m 等深线附近, 而在春季, 则提升至 40m 等深线附近, 黄色物质浓度高值区域明显缩小, 整体浓度降低。

秋季和春季黄色物质的浓度差异主要与两季海

水动力环境不同有关。由图7浊度分布特征可以看出, 秋季渤海内部以及沿岸河口地区等近岸海域浊度值较春季较高, 这是由于大风及降温造成的垂直混合作用在秋季较强。垂向混合作用将底部高浓度的黄色物质带入上层, 因此秋季黄色物质浓度在水深较浅的沿岸较大。另外由于渤海湾和辽东湾的海流作用, 渤海水体主要通过渤海海峡南部进入黄海形成沿岸流(薛春汀等, 2010), 由此形成了山东半岛沿岸及其南部沿岸流所经海域的黄色物质高值条带。

无论秋季还是春季, 黄色物质的分布均在南黄海中部最低, 低值区向北黄海中部延伸, 可至渤海中部, 这与盐度的分布特征一致, 也与黄海暖流的走向一致。因此, 黄色物质的分布可用于追踪水团的运动轨迹。黄海暖流是对马暖流大约在 31°30'N, 128°15'E 附近向西北分出的一个支流, 由济州岛西南部沿黄海槽向西北流入黄海中部, 并沿 50m 等深线继续北上(鲍献文等, 2004), 与周围海水相比具有高温高盐特征, 且黄色物质浓度较低。研究结果显示, 黄海暖流在强盛期可影响到渤海中部(赵胜等, 2011)。

表1 黄色物质浓度水平分布的最小值、最大值、平均值和标准差

Tab.1 Minimum, maximum, average and standard deviation of yellow substance concentration on surface

海区	季节	最小值	最大值	平均值	标准差
渤海	秋季	9.73	28.41	14.66	3.90
	春季	6.24	14.70	9.11	2.37
北黄海	秋季	4.95	11.68	6.31	1.91
	春季	3.96	6.73	4.97	0.76
南黄海	秋季	2.22	31.51	7.33	5.94
	春季	1.98	19.08	5.30	3.24

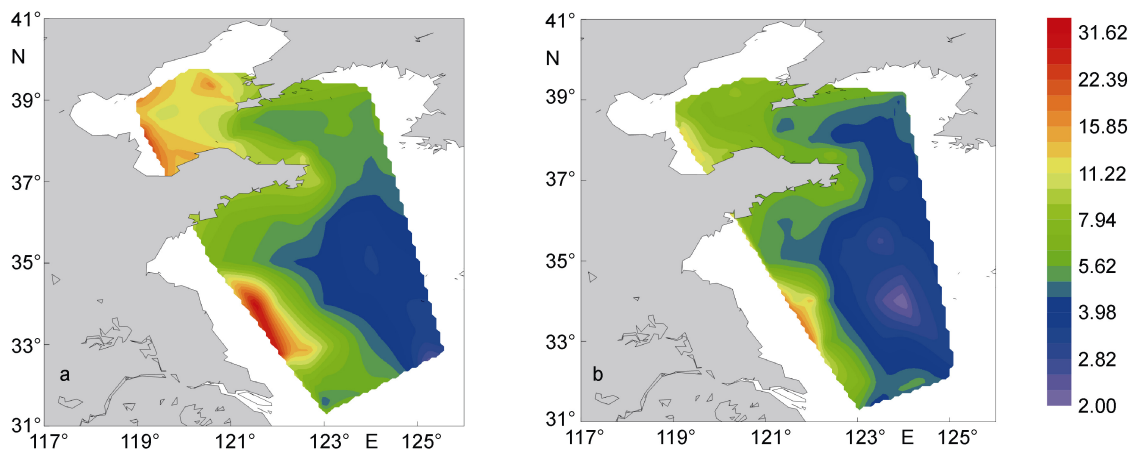


图6 黄色物质浓度水平分布(单位: $\mu\text{g/L}$): (a) 2013 年秋季, (b) 2014 年春季

Fig.6 Surface distribution of yellow substance concentration: (a) autumn 2013, (b) spring 2014

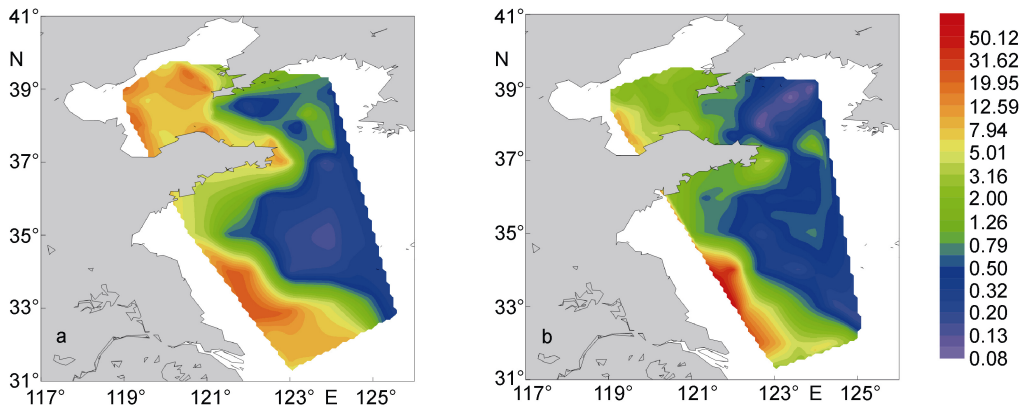


图7 浊度水平分布(单位: ftu): (a)2013年秋季, (b)2014年春季
Fig.7 Surface distribution of turbidity: (a) autumn 2013, (b) spring 2014

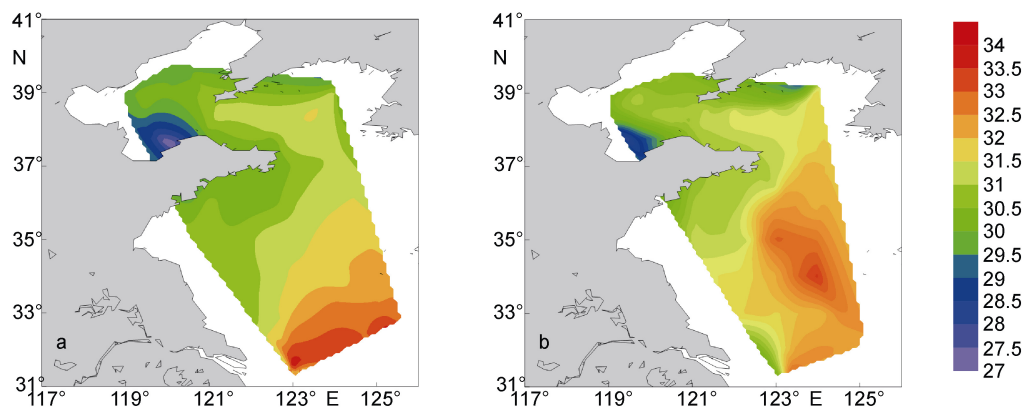


图8 盐度水平分布: (a)2013年秋季, (b)2014年春季
Fig.8 Surface distribution of salinity: (a) autumn 2013, (b) spring 2014

2.3 黄色物质与水体浊度、浮游植物浓度及盐度的相关性

黄色物质的时空分布受多种因素的影响, 除与河流输入及动力环境等因素密切相关外, 还与生物地球化学等过程有关。一般来说, 微生物分解和光化学降解等过程也会影响黄色物质的分布, 然而, 已有的研究结果(赵军杰, 2013)表明该部分对黄渤海水体黄色物质的分布影响较小。下面通过黄色物质与其它参数的相关性分析影响黄渤海黄色物质分布的主要因素。

(1) 黄色物质与浊度的相关关系

垂向和水平方向黄色物质浓度和浊度之间均呈正相关关系。水平方向上, 利用春季和秋季表层的黄色物质浓度和浊度的数据分析得出, 对于黄渤海大部分区域, 两者都存在较强相关性(图 9), 相关系数为 0.77。从分布趋势来看, 周围有河流输入的水体通常具有较高的悬浮体浓度和黄色物质浓度。这说明黄渤海黄色物质的主要来自周围河流的输入。

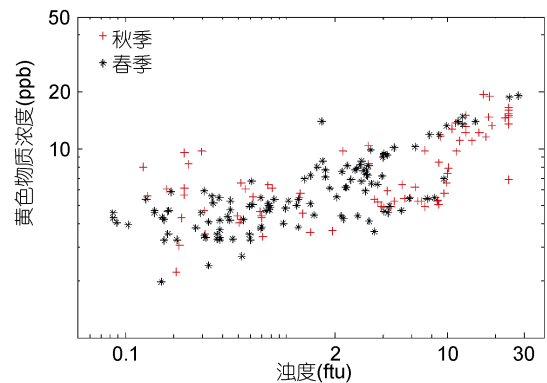


图9 浊度和黄色物质浓度的关系
Fig.9 Relationship between turbidity and yellow substance in concentration

(2) 黄色物质与浮游植物浓度的关系

从黄色物质浓度和叶绿素浓度在春秋两季的分布结果来看, 无论在垂直方向还是在水平方向, 黄色物质与浮游植物分布的相关性均较弱。即使在叶绿素浓度含量较高的上层水体中, 二者相关性仍较差, 相

关系数为 0.09(如图 10)。这与赵军杰(2013)的研究结果一致。在黄渤海海域, 黄色物质浓度较高主要受到河流的影响。所以, 尽管浮游植物的消亡过程会产生黄色物质, 而该过程的贡献相对较小, 因此二者相关性较弱。

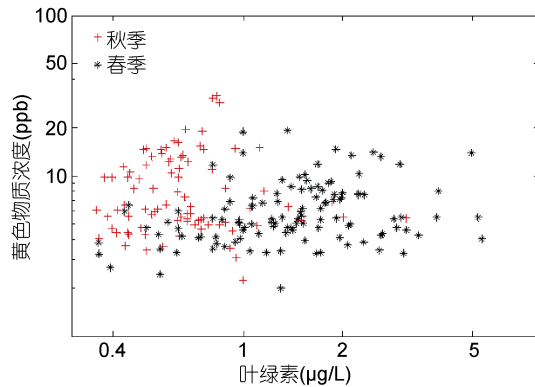


图 10 叶绿素和黄色物质浓度的关系

Fig.10 Relationship between chlorophyll and yellow substance in concentration(3)黄色物质与盐度的关系

黄色物质浓度和盐度在水平方向上呈现负相关关系。近岸海域以及远岸中上层海域垂向也大体呈负相关, 但在远岸下层海域, 两者之间负相关关系减弱甚至消失。

形成这种特征的原因可能是河口沿岸地区受到低盐且具有较高黄色物质浓度的陆地径流的影响, 而在远离岸边的北黄海中部和南黄海东部海域, 则受到黄海暖流影响则表现出高盐、低黄色物质浓度的特征, 因此盐度和黄色物质浓度两者之间整体呈现出负相关关系(Ferrari *et al*, 1998)。但是, 在一些环境比较复杂的近岸海域, 冲淡水中溶解有机物成分的变化、黄色物质的光降解作用、细菌作用以及海水混合动力加强等(Granskog *et al*, 2007)导致黄色物质和盐度的负相关关系不稳定。比如苏北沿岸附近, 盐度和黄色物质浓度均较高。由浊度的分布来看, 这可能是此处海域深度较浅、上下层海水混合动力较强造成的。

秋季和春季两个航次各站位水平方向黄色物质浓度和盐度的相关趋势如图 11 所示, 两者相关系数为 0.70。根据两个航次的数据可以得出盐度和黄色物质浓度之间的关系式如下:

$$c_{dom} = 83.41 - 2.46 \times \text{salinity}$$

其中, c_{dom} 为黄色物质浓度值, salinity 为盐度值。

从以上结果看, 黄渤海海域黄色物质的主要来源为河流的输入, 而浮游植物降解的贡献并不明显。

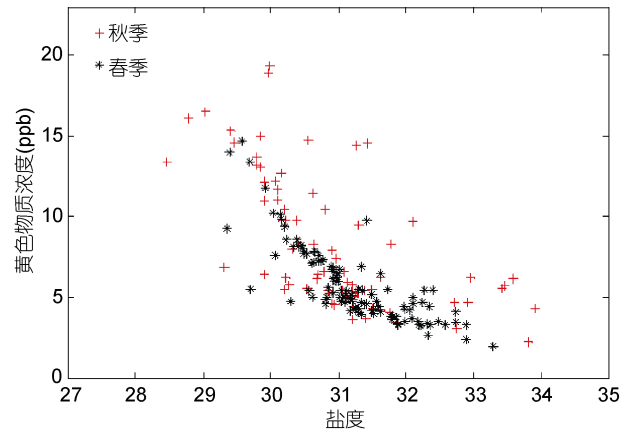


图 11 盐度和黄色物质浓度的关系

Fig.11 Relationship between salinity and yellow substance in concentration

另外, 由于缺乏相关数据, 本研究没有考虑黄色物质光降解以及细菌影响等因素对黄色物质分布的影响。

3 结语

本文利用 2013 年秋季和 2014 年春季现场获取的黄色物质数据, 分析了这两个季节黄渤海黄色物质水平分布和垂向分布的变化特征, 并简要分析了其主要的控制因素。得出的主要结论如下:

(1) 黄色物质浓度垂向整体呈现出底层高、上层低的特点。在秋季, 由于混合作用加强, 上层 40m 黄色物质混合较为均匀。春季北黄海已形成了较强的温度跃层和盐度跃层, 黄色物质的分布也开始出现明显的分层现象, 而南黄海形成了较强的温度跃层, 但盐度跃层尚未形成, 50m 以浅黄色物质垂向分布均匀。

(2) 水平分布上, 秋季和春季整体分布趋势一致, 均呈现出近岸高远岸低的特征, 黄色物质浓度由近岸向中央海区递减, 在黄河口附近和苏北沿岸海域浓度出现最大值。春季较秋季黄色物质整体浓度显著降低, 尤其在渤海湾口以及苏北沿岸附近海域降幅明显。

(3) 黄渤海海域黄色物质的主要来源为河流的输入, 而浮游植物降解的贡献并不明显。

(4) 黄色物质的浓度和盐度总体呈现负相关关系, 黄色物质的分布较好地显示了黄海暖流的走向, 因此黄色物质可以作为黄渤海划分水团性质的重要指标。

参 考 文 献

邢小罡, 赵冬至, 刘玉光等, 2009. 渤海非色素颗粒物和黄色物质的吸收特性研究. 海洋环境科学, 27(6): 595—598

- 朱伟健, 沈 芳, 洪官林, 2010. 长江口及邻近海域有色溶解有机物(CDOM)的光学特性. *环境科学*, 31(10): 2292—2298
- 朱建华, 周虹丽, 李铜基等, 2012. 中国近海黄色物质吸收光谱特征分析. *光学技术*, 38(3): 295—299
- 乔方利, 2012. 中国区域海洋学-海洋物理学. 北京: 海洋出版社
- 任保卫, 赵卫红, 王江涛等, 2007. 胶州湾围隔实验中溶解有机物三维荧光特征. *环境科学*, 28(4): 712—718
- 李永祺, 2012. 中国区域海洋学-海洋环境生态学. 北京: 海洋出版社
- 赵军杰, 2013. 基于吸收和荧光性质对中国黄渤海海域有色溶解有机物(CDOM)的分布特征研究. 青岛: 中国海洋大学硕士学位论文
- 赵宝仁, 1987. 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*, 18(3): 217—226
- 赵宝仁, 1996. 北黄海冷水团环流结构探讨-潮混合锋对环流结构的影响. *海洋与湖沼*, 27(4): 420—435
- 赵 胜, 于 非, 刁新源等, 2011. 黄海暖流的路径及机制研究. *海洋科学*, 35(11): 73—80
- 夏达英, 李宝华, 吴永森等, 1999. 海水黄色物质荧光特性的初步研究. *海洋与湖沼*, 30(6): 719—725
- 翁学传, 张以恩, 王从敏等, 1988. 黄海冷水团的变化特征. *海洋与湖沼*, 19(4): 368—379
- 雷 惠, 潘德炉等, 2009. 东海典型水体的黄色物质光谱吸收及分布特征. *海洋学报*(2): 57—62
- 鲍献文, 苏 洁, 郭心顺等, 2004. 黄渤海热结构及环流季节变化的数值模拟. *中国海洋大学学报*, 34(4): 513—522
- 薛春汀, 张 勇, 2010. 中国近岸海区沿岸流和海岸流对沉积物的搬运. *海洋地质与第四纪地质*(1): 1—7
- Bushaw K L, Zepp R G, Tarr M A *et al*, 1996. Photochemical release of biologically available nitrogen from aquatic dissolved organic matter. *Nature*, 381: 404—407
- Ferrari G M, 2000. The relationship between chromophoric dissolved organic matter and dissolved organic carbon in the European Atlantic coastal area and in the Mediterranean Sea (Gulf of Lions). *Marine Chemistry*, 70(4): 339—357
- Ferrari G M, Dowell M D, 1998. CDOM absorption characteristics with relation to fluorescence and salinity in coastal areas of the southern Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47(1): 91—105
- Granskog M A, Macdonald R W, Mundy C J *et al*, 2007. Distribution, characteristics and potential impacts of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in Hudson Strait and Hudson Bay, Canada. *Continental Shelf Research*, 27(15): 2032—2050
- Kirk J T O, 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge university press.
- Markager S, Vincent W F, 2000. Spectral light attenuation and the absorption of UV and blue light in natural waters. *Limnology and Oceanography*, 45(3): 642—650
- Millet D B, Guenther A, Siegel D A *et al*, 2010. Global atmospheric budget of acetaldehyde: 3-D model analysis and constraints from in situ and satellite observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10: 3405—3425
- Stedmon C A, Osburn C L, Kragh T, 2010. Tracing water mass mixing in the Baltic-North Sea transition zone using the optical properties of colored dissolved organic matter. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87(1): 156—162

SPATIAL DISTRIBUTION OF YELLOW SUBSTANCE IN THE YELLOW SEA AND BOHAI SEA IN AUTUMN AND SPRING

ZHANG Guo-Peng, ZHANG Ting-Lu, CHEN Shu-Guo, WANG Jian-Guo
(Department of Marine Technology, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract We studied the spatial distribution of yellow substance in the Yellow Sea and Bohai Sea and analyzed the main controlling mechanism, based on data collected in autumn 2013 and spring 2014. High concentration of yellow substance occurred in the lower layer and near-shore area, while low concentration in the upper layer and off-shore area. In autumn, yellow substance distributed evenly in the areas of <40m in depth due to strong water mixing. In spring, thermocline and halocline formed in the North Yellow Sea and the distribution of yellow substance was stratified obviously in concentration difference between upper and lower layers. Halocline was not formed in the South Yellow Sea when yellow substance well distributed in the depth of <50m. The distribution pattern at sea surface is similar in autumn and in spring in a descending order of Bohai Sea, North Yellow Sea, and South Yellow Sea, showing a decreasing trend off the coast. However, the overall concentration in spring is clearly lower than that in autumn. Yellow substance concentration showed a negative correlation to salinity in the sea surface. Therefore, yellow substance in seawater reflects important information for understanding the ocean current direction and water mass distribution in the Yellow Sea.

Key words yellow substance; spatial distribution; seasonal change; the Yellow Sea and Bohai Sea