

2005 年夏季台湾海峡南部有色溶解有机物质吸收特征及其来源初探

周 雯¹, 吴璟瑜^{1,2}, 商少凌^{1*}, 董 强¹

(1. 近海海洋环境科学国家重点实验室(厦门大学), 2. 厦门大学海洋学系, 福建 厦门 361005)

摘要: 2005 年 7 月对台湾海峡南部有色溶解有机物质(CDOM)吸收特性的调查结果表明, CDOM 在 355 nm 波段的吸收值($a_g(355)$, 紫外可见分光光度法)变化范围在 0.02 ~ 0.27 m^{-1} 之间, 平均 0.13 m^{-1} , 与大洋水体相近; 光谱斜率 S_g (拟合光谱范围 300 ~ 500 nm) 为 0.017 ~ 0.043 nm^{-1} , 平均 0.022 nm^{-1} . $a_g(355)$ 的空间分布特征及其与盐度、叶绿素 a 的相关关系提示在本次观测期间, 该海域有色溶解有机物质主要来源于现场生产, 但东山以南近岸表层水中陆源影响为显著. 与浮游生物活动有关的紫外区波段(300 ~ 350 nm)强吸收信号的出现, 进一步说明了该海域有色溶解有机物质现场生产机制的重要性.

关键词: 有色溶解有机物质; 光吸收; 台湾海峡南部

中图分类号: P 733.3

文献标识码: A

文章编号: 0438-0479(2007)04-0538-05

海洋有机物质通常简单区分为颗粒与溶解态, 溶解态有机物质(DOM)中吸光的部分, 称为有色溶解有机物质(CDOM, Chromophoric Dissolved Organic Mater), 其浓度通常以某个波长的吸收系数(a_g)来表示. 正因其具备吸光特性, 一方面 CDOM 成为水色遥感可探测的要素之一, 另一方面是进行水色遥感叶绿素 a 反演过程中必须排除的一个干扰因素^[1-2]. 故而, CDOM 的研究近些年来吸引了大量注意, 研究内容包括 CDOM 的光化学反应、生物转化过程及其对海洋水色的影响等, 利用 CDOM 进一步反演溶解有机碳、盐度、追踪河口羽状锋等的研究也见诸报道^[2-3].

已有的 CDOM 调查研究主要覆盖各大洋及欧美近岸水体, $a_g(355)$ 高可达 33 m^{-1} , 低可至 0.047 m^{-1} ^[4]; 分布上, 通常由近岸向远岸降低; 在河口及近岸水域, CDOM 主要为陆源, 多呈现保守行为; 而在离岸区域, CDOM 更多受控于浮游植物降解、浮游动物摄食等现场生产^[1]. 中国海资料相对匮乏, 仅集中在 CDOM 浓度较高的河口及近岸区域, 如珠江口、九龙江口、胶州湾等.

台湾海峡沟通东海与南海, 其水系复杂, 在夏季, 受西南季风的驱动, 上升流现象显著, 包含珠江水、韩

江水等在内的粤东沿岸流都可能影响海峡南部^[5-6]. 相应于水团性质的变动, 生源要素、浮游生物均有响应^[7]. 本研究将报告 2005 年夏季台湾海峡南部 CDOM 吸收特性的调查结果, 分析其分布特征并探讨来源. 这对于加深认识的中国海 CDOM 特性, 将是一份积极有益的补充.

1 材料与方法

1.1 研究区域

2005 年 7 月 5 日至 14 日, 对台湾海峡南部进行了采样调查, 在东山、南澳岛外设有三个垂直岸的断面 A、B、C, 跨越台湾浅滩, 站位如图 1 所示. 根据离岸距离、水深及地理位置, 我们将 A3 - B3 - C3 向岸的区域

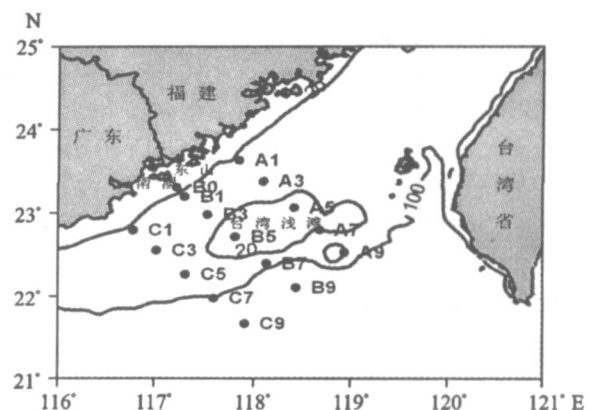


图 1 台湾海峡南部地形及 2005 年 7 月采样站位图

Fig. 1 Bathymetry and sampling sites in the southern Taiwan Strait in July 2005

收稿日期: 2006-12-18

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40331004), 国家自然科学基金面上项目(40376031)和厦门大学新世纪人才计划资助

*通讯作者: slshang@xmu.edu.cn

归类为近岸区, A9 - B9 - C9 归为陆架坡折区, 其余为浅滩区。

1.2 采样与测定

CDOM 吸收样品的采集及测定均严格按照国际标准进行, 具体的操作程序参考 Hong 等^[1]。根据 CDOM 在可见光波段的吸收光谱类似于递减指数函数的特征, 本研究根据下式对其吸收光谱进行非线性拟合:

$$a_g(\lambda) = a_g(\lambda_0) \exp(-S_g(\lambda - \lambda_0)) + K$$

其中 $a_g(\lambda)$ 是 CDOM 在波长 λ 处的吸收系数 (m^{-1}), λ_0 是参比波长, S_g 为吸收光谱斜率 (nm^{-1}), K 为残差; 拟合光谱范围 300 ~ 500 nm, 获得 S_g , 并取 355 nm 的吸收系数 $a_g(355)$ 作为 CDOM 丰度的指标^[1]。

温度、盐度、深度数据由 CTD(SBE 19) 获取; Chl a 用荧光光度法测定(岛津 RF - 5301 PCS 荧光分光光度计)^[8]。

2 结果与讨论

2.1 CDOM 浓度与光谱斜率

2005 年夏季调查期间, 台湾海峡南部 CDOM 吸收 $a_g(355)$ 为 0.02 ~ 0.27 m^{-1} , 平均 0.13 m^{-1} , 95% 的样品在 0.05 ~ 0.25 m^{-1} 之间(图 2)。由表 1 看来, 调查期间, 本研究海域的 CDOM 浓度范围与同纬度的大西洋马尾藻海 BATS 站相近, 低于欧美近海水体, 与春季的黄海也在同等量级上, 若按的波长依存关系推断, 春季的黄海略低。由于沿岸陆地的低植被覆盖率导致陆源输入的 CDOM 贡献较小, 这可能是台湾海峡、黄海 $a_g(355)$ 都低于多数近海水体中 CDOM 的主要原因。

光谱斜率 S_g 范围为 0.017 ~ 0.043 nm^{-1} , 平均 0.022 nm^{-1} , 相比于春季黄海的结果(光谱范围: 250 ~ 550 nm; 平均 0.0179 nm^{-1})^[11], 本海域略高。通常

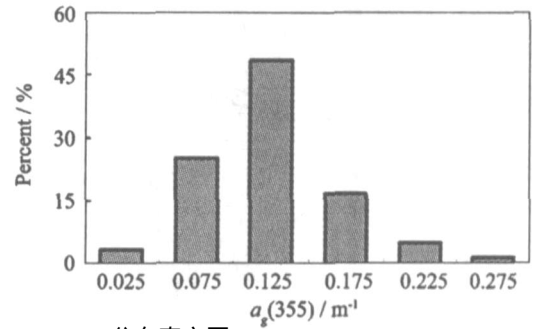


图 2 $a_g(355)$ 分布直方图

Fig. 2 Histogram of $a_g(355)$

受陆源影响较小的离岸水体光谱斜率较高, 多在 0.025 nm^{-1} 左右^[4], 故台湾海峡南部受陆源影响应相对较小。

2.2 CDOM 吸收的空间分布特征

图 3 所示为 $a_g(355)$ 剖面分布结果。三个断面的水平与垂直变化特征各不相同。A 断面 $a_g(355)$ 无论水平或垂直变化都比较微弱, 最大变化幅度 < 0.1 m^{-1} 。B 断面的特征是, $a_g(355)$ 最高值出现在近岸的 B0 站, 最低值出现在陆架坡折处的 B9 站, 与 B 断面其他站位有较显著的差异; 置于其间的由近岸区到浅滩区的 B1 - B7 站, 浓度及水平、垂直变化特征相对接近, 变化范围与 A 断面类同(水平/垂直变化幅度 < 0.1 m^{-1})。C 断面水平与垂直变化强烈, 并且从浓度范围与垂直结构上可以截然区分近岸区与浅滩和陆架坡折区, 前者在 0.13 ~ 0.25 m^{-1} 之间变化, 表层高底层低, 最大垂直变化幅度 > 0.1 m^{-1} ; 后者浓度范围在 0.05 ~ 0.12 m^{-1} 之间, 表层低底层高。

图 4 为 A、B、C 断面盐度分布图。可以看到, C 断面由 C3 站向岸, 5 m 以浅完全由盐度 < 32 的低盐水体占据。李立等^[6]认为韩江冲淡水可以沿着台湾浅滩直达澎湖水道; 陈华等利用 1999 年 8 月台湾海峡调查

表 1 一些近岸水体、大洋水体及本研究中台湾海峡南部 CDOM 吸收系数和光谱斜率

Tab. 1 Absorption coefficients (m^{-1}) and spectral slopes (nm^{-1}) of CDOM from some coastal waters and open ocean in the world, as well as this study

| 研究海区 | $a_g(355)$ (m^{-1}) | S_g (nm^{-1}) | 参考文献 |
|---------------|--------------------------------|----------------------------|------|
| Chesapeake 海湾 | 0.5 ~ 2.2(四月) | | [1] |
| | 0.7 ~ 2.1(十月) | | [1] |
| 南波罗地海(沿岸区) | 1.4 ~ 12.8 | | [1] |
| 北海南部沿线 | 0.17 ~ 1.75 ($a_g(380)$) | 0.0180 | [9] |
| 阿拉伯海 | 0.03 ~ 0.288 ($a_g(375)$) | 0.0143 ~ 0.018 | [10] |
| 马尾藻海 BATS 站 | 0.05 ~ 0.25 ($a_g(325)$) | | [2] |
| 黄海(春季) | 0.015 ~ 0.25 ($a_g(340)$) | 0.0179 | [11] |
| 台湾海峡南部 | 0.02 ~ 0.27 | 0.022 | 本研究 |

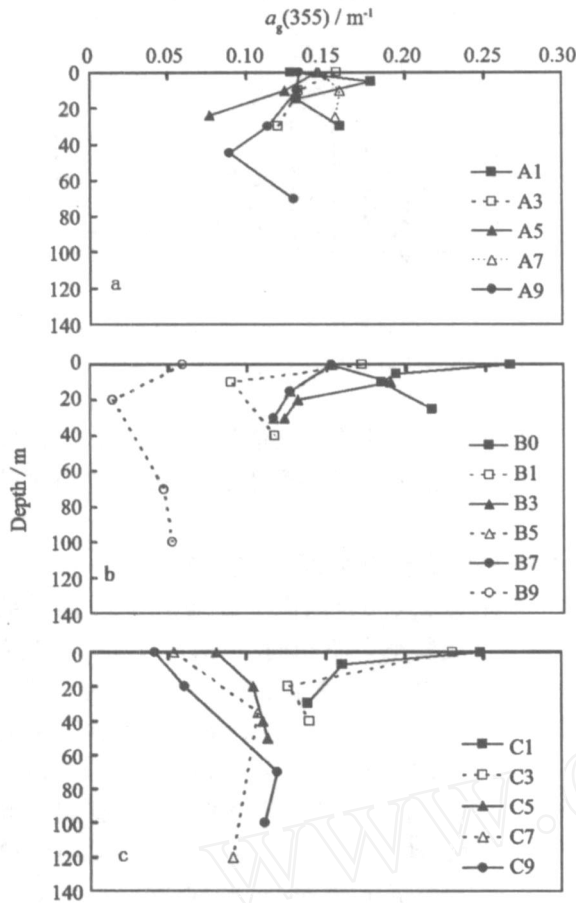


图 3 CDOM 吸收 $a_g(355)$ 剖面分布 (a) A 断面; (b) B 断面; (c) C 断面

Fig. 3 Vertical distribution of CDOM absorption coefficients at 355 nm ($a_g(355)$)

(a) Transect A; (b) Transect B; (c) Transect C

中走航式温盐仪的资料分析研究认为,珠江冲淡水的作用可以影响到台湾浅滩南面^[5]. 这支自陆源注入的低盐水,显然是导致本研究所观察到的 C 断面近岸 $a_g(355)$ 高值的原因.

B 断面的 B1 - B3 站 5 m 以浅同样发现盐度 < 32 的低盐水,但盐度已显著升高. 有趣的是,极近岸的 B0 站盐度达到 33,高盐水在此爬升的趋势显著,提示一个典型的夏季西南季风驱动的上升流的出现. 上升流携带营养盐,通常使得浮游植物旺发,很可能是导致 B0 站出现 $a_g(355)$ 最高值的主要原因.

A 断面除 A9 站水深在 80 m 左右,多数在 40 m 以浅,水体混合相对均匀,且未见陆源低盐水影响,因而 $a_g(355)$ 变化相对微弱.

对 $a_g(355)$ 和盐度进一步做相关分析发现,盐度低于 32 的区域, $a_g(355)$ 和盐度呈反相关;但在盐度高于 32 的区域, $a_g(355)$ 与盐度没有共变趋势(图 5). 当 CDOM 主要来自陆源时(如河口和近岸区),混合过程

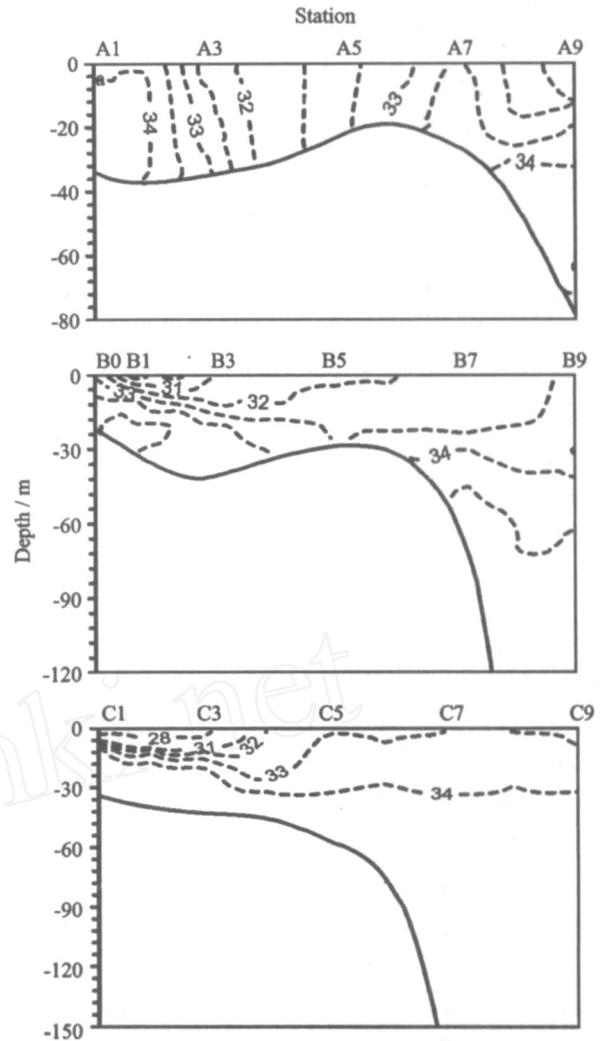


图 4 2005 年夏季台湾海峡南部 A, B, C 断面盐度分布图

Fig. 4 Vertical distribution of salinity on Transect A, B, C in southern Taiwan Strait during July 2005

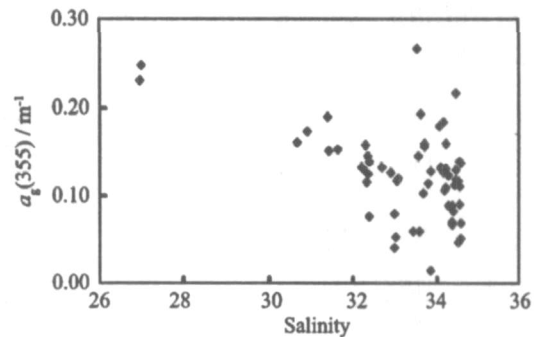
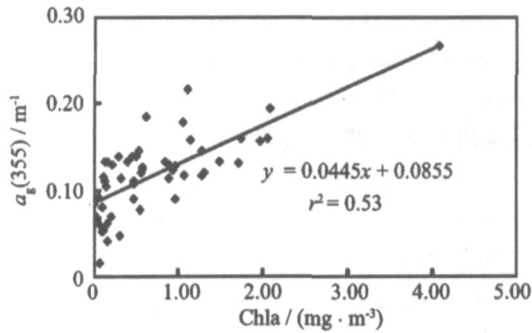


图 5 $a_g(355)$ 与盐度关系图 ($n = 60$)

Fig. 5 The relationship between $a_g(355)$ and salinity

起控制作用,CDOM 与盐度呈线性反相关分布^[11]. 在台湾海峡南部观测到的 CDOM 吸收与盐度的非线性关系,证明在调查期间,陆源对台湾海峡南部 CDOM 的影响小,仅局限于盐度低于 32 的区域,而大部分区

图 6 $a_g(355)$ 与 Chla 关系图 ($r^2 = 0.53$; $n = 53$)Fig. 6 The relationship between $a_g(355)$ and Chla ($r^2 = 0.53$; $n = 53$)

域则几乎不受影响. 取盐度高于 32 的样品做 $a_g(355)$ 和 Chla 的相关分析, 二者呈线性相关 (图 6). 对于 CDOM 现场生产的原理, 目前还没有定论. 大量的研究发现 CDOM 和 Chla 之间没有相关性, 但 Twardowski 和 Donaghay 却在近岸水体的近表层, 观测到浮游植物生长对 CDOM 的贡献^[4]; Nelson 和 Siegel 研究发现, CDOM 吸收与细菌浓度密切相关, CDOM 吸收随细菌浓度的增加而增加, 随细菌生长速度的下降而下降, 并认为浮游植物生长可以提供让细菌转化成 CDOM 的原料^[2,12]. 从本航次的调查结果来看, 2005 年夏季台湾海峡南部 CDOM 除了 C 断面近岸表层明显受到陆源的影响外, 其他区域 CDOM 吸收与 Chla 存在很好的线性关系, 说明无论确切的生产途径如何, 是由浮游植物直接释放, 或经过食物链的转换间接产生 CDOM, 现场生产应是 CDOM 的主要来源.

2.3 CDOM 特殊吸收光谱

在本航次期间, 7 月 5 日 B1 站 40 m 层, 7 月 8 日 B0 站 5 m 层 CDOM 样品, 观测到 300 ~ 350 nm 处有明显的吸收峰 (图 7). 已有的研究发现, 水溶性物质类菌胞素氨基酸 (mycosporine-like amino acids, MAAs) 能在 310 ~ 360 nm 处产生最大吸收峰, 对水生生物能起到紫外光防护的作用. 能产生 MAAs 的水生生物很多, 如细菌、蓝细菌、藻类、无脊椎动物、脊椎动物等^[13]. Vernet 和 Whitehead 在美国加利福尼亚州湾观测到, 沿岸水体中 MAAs 导致 CDOM 在 360 nm 处出现明显吸收峰, 并认为该 MAAs 主要来自浮游植物^[14]; Steinberg 等近期发现, 束毛藻及某些浮游动物如桡足类均会产生 CDOM, 使 CDOM 在紫外 (如 325, 360 nm) 及蓝光波段产生吸收峰^[15], 而且与 Morrison 等的看法相似, 其认为浮游动物活动是联系大洋中紫外吸收物质及 CDOM 的纽带, 将表层的溶解有机物质带到底层^[13], 这可能是导致在 B1 站 40 m 层出现 CDOM 特殊吸收峰的原因. 本研究组亦曾在厦门海域

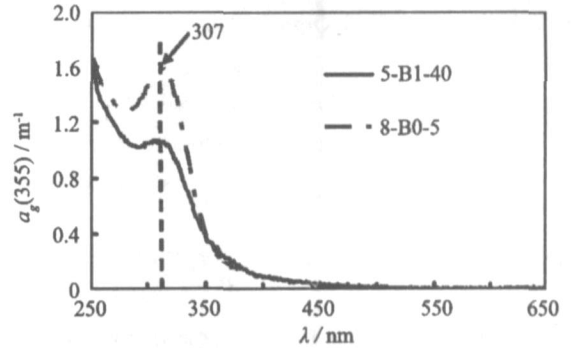


图 7 CDOM 特殊吸收光谱 (5-B1-40 表示 7 月 5 日 B1 站 40 米层, 8-B0-5 同)

Fig. 7 Special absorption spectra of CDOM (5-B1-40 means station B1 at 40 m depth, sample was collected on July 5th)

观测到红色中缢虫赤潮水体的 CDOM 吸收光谱特殊, 在 315 ~ 350、260 ~ 310 nm 均出现明显隆起^[4]. 本航次期间观测到的 CDOM 特殊吸收现象, 与红色中缢虫赤潮水体相似, 推测可能是由某种浮游动物活动释放 MAAs 引起, 但也不排除浮游植物活动引起的可能性. 这对于本次调查期间, 本研究海域 CDOM 主要来源于现场生产的结论同样构成了支持.

3 结 语

2005 年 7 月对台湾海峡南部的调查结果表明, 台湾海峡南部 CDOM 丰度低, $a_g(355)$ 与大洋水体较为接近. 只有盐度低于 32 的近岸样品, $a_g(355)$ 与盐度呈反相关关系; 盐度高于 32 的区域 $a_g(355)$ 和 Chla 呈显著线性相关 ($r^2 = 0.53$, $n = 53$), 说明本次调查期间台湾海峡南部 CDOM 主要来源于现场生产, 但在东山以南的近岸表层陆源输入影响显著.

同时观测到个别站点出现 CDOM 的紫外吸收峰 (波长 300 ~ 350 nm 处), 推测可能出自某种浮游动物释放的 MAAs 引起, 但究竟是何种生物的贡献仍有待进一步的确定.

致谢: 厦门大学陈照章老师提供 CTD 数据, 黄邦钦老师提供 Chla 数据, 隋晓飞同学协助采样, 延平二号考察船全体船员及调查队员为完成航次付出艰苦劳动, 谨此一并致谢!

参考文献:

- [1] Hong H S, Wu J Y, Shang S L, et al. Absorption and fluorescence of Chromophoric dissolved organic matter in the Pearl River Estuary, South China [J]. Mar Chem, 2005, 97: 78 - 89.
- [2] Nelson N B, Siegel D A. Chromophoric DOM in the open ocean [C] // Hansell D, Carlson C, eds. Biogeochemistry of

- Marine Dissolved Organic Matter. San Diego, CA: Academic Press, 2002:547 - 578.
- [3] Del Castillo C E, Coble P G, Morell J M, et al. Analysis of the optical properties of the Orinoco River plume by absorption and fluorescence spectroscopy [J]. Mar Chem, 1999, 66:35 - 51.
- [4] 吴璟瑜. 中国东南近海光吸收特性研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2005.
- [5] 陈华, 胡建宇, 潘伟然, 等. 台湾海峡 1999 年 8 月表层温盐的走航式观测[J]. 海洋通报, 2001, 20(6):25 - 31.
- [6] 李立, 郭小钢, 吴日升. 台湾海峡南部的海洋锋[J]. 台湾海峡, 2000, 19(2):147-156.
- [7] 吴丽云, 阮五崎. 闽南 - 台湾浅滩渔场上升流区营养盐的研究[C]//闽南 - 台湾浅滩渔场上升流生态系统研究. 北京: 科学出版社, 1991:169 - 178.
- [8] 国家技术监督局. GB - 12763 海洋调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社.
- [9] Warnock R E, Geskes W W C, Van Laar S. Regional and seasonal differences in light absorption by yellow substance in the Southern Bight of the North Sea[J]. Journal of Sea Research, 1999, 42:169 - 178.
- [10] Del Castillo C E, Coble P G. Seasonal variability of the colored dissolved organic matter during the 1994-95 NE and SW Monsoons in the Arabian Sea[J]. Deep-Sea Research II, 2000, 47:1563 - 1579.
- [11] 朱建华, 李铜基. 探讨黄色物质吸收曲线参考波长选择[J]. 海洋技术, 2003, 22(3): 10 - 14.
- [12] Nelson N B, Carlson C A, Steinberg D K. Production of chromophoric dissolved organic matter by Sargasso Sea microbes[J]. Mar Chem, 2004, 89:273 - 287.
- [13] Morrison R J, Nelson N B. Seasonal cycle of phytoplankton UV absorption at the Bermuda Atlantic Time-series Study (BATS) site[J]. Limnol Oceanogr, 2004, 49(1): 215 - 224.
- [14] Whitehead K, Vernet M. Influence of mycosporine-like amino acids (MAAs) on UV absorption by particulate and dissolved organic matter in La Jolla Bay[J]. Limnol Oceanogr, 2000, 45(8):1788 - 1796.
- [15] Steinberg D K, Nelson N B, Carlson C A, et al. Production of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in the open ocean by zooplankton and the colonial cyanobacterium *Trichodesmium* spp [J]. Mar Ecol Prog Ser, 2004, 267:45 - 56.

Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter Absorption in the Southern Taiwan Strait During Summer 2005

ZHOU Wen¹, WU Jing-yu^{1,2}, SHANG Shao-ling^{1*}, DONG Qiang¹

(1. State Key Laboratory of Marine Environmental Science (Xiamen University),

2. Department of Oceanography, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract : An investigation of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in the southern Taiwan Strait (TWS) was carried up during summer 2005. It was found that CDOM absorption coefficients at 355 nm ($a_g(355)$), determined by UV-visible spectrophotometer, ranged from 0.02 ~ 0.27 m^{-1} , similar to those observed in the open ocean. The spectral slope (S_g) (300 ~ 500 nm) varied from 0.017 to 0.043 nm^{-1} . $a_g(355)$ showed a linear, inverse relationship with salinity in the surface water near Dongshan Island. However, for most of the samples with salinity higher than 32 (53 samples), $a_g(355)$ was highly correlated with chlorophyll a with a correlation coefficient (r^2) of 0.53. Several samples showed obvious absorption peaks in UV-B bands (300 ~ 350 nm), which was probably associated with MAAs released by planktons. It was thus demonstrated that during the period under investigation, CDOM was mainly originated from local production rather than terrestrial input.

Key words : CDOM; absorption; southern Taiwan Strait