

# 钦州湾海域 COD 时空分布及对富营养化贡献分析

杨 斌<sup>1,2</sup>, 钟秋平<sup>2</sup>, 鲁栋梁<sup>1,2</sup>, 林美芳<sup>2</sup>, 李尚平<sup>2</sup>

(1. 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, 山东 青岛 266100; 2. 钦州学院 北部湾海洋保护与开发利用广西高校重点建设实验室, 广西 钦州 535099)

**摘要:** 根据 2010 年 4 月(春季)和 9 月(秋季)钦州湾海域现场调查资料, 对表层海水中化学需氧量(COD)的时空分布特征进行研究, 评价其污染水平, 分析 COD 对该海域富营养化的贡献, 并探讨了 COD 的主要来源及与环境因子之间的关系。研究表明, 钦州湾海域表层 COD 的平均浓度为  $(1.21 \pm 0.55)$  mg/L, 浓度范围为 0.57~2.38 mg/L, 水平分布呈现由湾内向湾外逐渐递减的趋势; 秋季研究海域 COD 污染水平高于春季; COD 对富营养化的贡献范围为 42.1%~64.7%, 平均贡献为  $(50.3 \pm 6.7)\%$ , 贡献随着富营养化指数的增加而减小; COD 与盐度、pH 存在显著负相关, 而与 DIN、 $\text{SiO}_3^{2-}$ -Si 存在显著正相关。COD 时空分布主要受陆地径流、陆源输入和水动力过程的影响, COD 是影响钦州湾海域富营养化的重要因素, 但并非决定性因子, 富营养化程度加重时来自营养盐的贡献表现更为突出。

**关键词:** COD; 分布特征; 影响因素; 富营养化贡献; 钦州湾

中图分类号: X17 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2014)03-0020-06

doi: 10.11759/hyxx20130227005

随着广西北部湾经济区的大力开发, 钦州湾作为重点开发建设海湾之一, 海湾周边经济和增养殖业得到迅速发展。据广西入海污染源调查统计资料显示<sup>[1-2]</sup>, 经陆源排放进入该湾的有机污染物量已由 1984 年的 35 679 t/a 上升到 1998 年的 85 754 t/a, 由此导致海湾水中 COD 的浓度从 1984 年的 0.43 mg/L 升高至 1998 年的 2.63 mg/L<sup>[3]</sup>。此外, 有害赤潮频繁发生, 2011 年 4 月钦州湾曾发生两次赤潮, 且间隔时间不到一周。近年来研究表明, 富营养化是引发近海水域有害赤潮的物质基础<sup>[4-5]</sup>。化学需氧有机物可以为浮游植物生长提供碳源, 直接促进浮游植物的生长, 因此 COD 与赤潮之间存在密切的关系<sup>[6]</sup>。有研究发现, COD 对富营养化指数评价的贡献率高达 82%<sup>[7]</sup>。

目前, 对钦州湾海水中的营养盐<sup>[8-10]</sup>、重金属<sup>[11-12]</sup>均有很多文献报道, 但有关 COD 的研究很少<sup>[13]</sup>, 且尚未见有关 COD 时空分布及对钦州湾海水富营养化贡献方面的研究报道。因此, 开展对整个钦州湾海域 COD 分布特征的分析, 并对其影响因素以及海水富营养化贡献的探讨, 这将有助于深入了解该湾富营养化产生的原因, 为有效防治钦州湾富营养化、有害赤潮的发生等海洋环境问题提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 样品采集与分析

2010 年 4 月(春季)和 9 月(秋季)对钦州湾进行现

场调查, 根据钦州湾的自然环境特点, 共布设 15 个调查站位(见图 1), 使用 Niskin 采水器采集表层海水。化学需氧量(COD)水样采集后加入 2~3 滴浓  $\text{H}_2\text{SO}_4$  固定并冷藏保存, 在实验室应用碱性高锰酸钾法测定。营养盐水样先用 0.45  $\mu\text{m}$  醋酸纤维滤膜过滤, 再用 0.3%  $\text{CHCl}_3$  固定并冷藏保存, 用 UNICO 2000 分光光度计(美国尤尼柯光度计公司生产), 按照《海洋监测规范》(GB17378-2007)<sup>[14]</sup>中的要求测定溶解无机态营养盐-亚硝酸盐( $\text{NO}_2^-$ -N)、硝酸盐( $\text{NO}_3^-$ -N)、铵盐( $\text{NH}_4^+$ -N)、磷酸盐( $\text{PO}_4^{3-}$ -P)及硅酸盐( $\text{SiO}_3^{2-}$ -Si)。溶解无机氮(DIN)为  $\text{NO}_2^-$ -N、 $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 三者之和, 溶解无机磷(DIP)为  $\text{PO}_4^{3-}$ -P。叶绿素 *a*(Chl-*a*)水样采集后经 0.7  $\mu\text{m}$ (Whatman, GF/F)滤膜过滤后, 用铝箔包裹冷冻保存, 待返回实验室后将滤膜取出, 以 90%丙酮水溶液在暗处萃取 24 h, 利用 F-4500 荧光分光光度计(日本日立公司生产)测定。石油烃水样使用不锈钢采水器采集, 加入 HCl 溶液调至 pH4.0 以下, 且避光 4℃保存, 用石油醚萃取后

收稿日期: 2013-02-27; 修回日期: 2013-06-06

基金项目: 广西自然科学基金项目(2010GXNSFA013063, 2010GXNSFE013006); 广西教育厅科研项目(201106LX546)

作者简介: 杨斌(1983-), 男, 安徽合肥人, 讲师, 博士研究生, 主要从事海洋化学研究, 电话: 0532-66782005, E-mail: yangb0829@163.com; 钟秋平(1964-), 通信作者, 电话: 0777-2696585, E-mail: zhqp02@163.com

利用 F-4500 荧光仪测定。现场采样站位的水温、盐度(S)、pH 和溶解氧(DO)参数应用 YSI6920 多功能水质分析仪(美国 YSI 公司生产)现场测定。

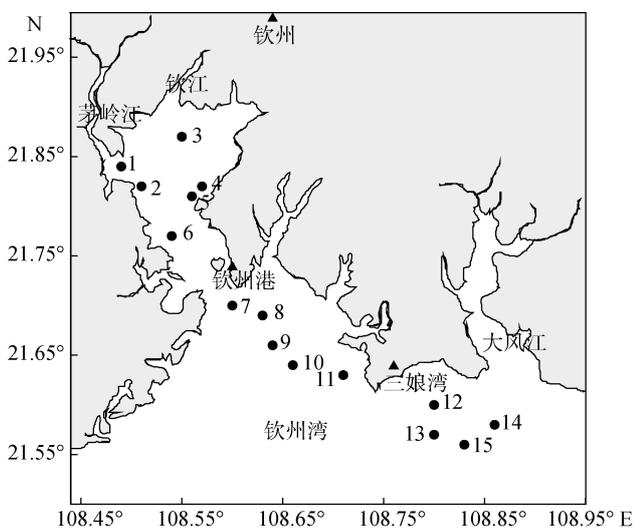


图1 钦州湾调查海区采样站位图  
Fig. 1 Sampling stations in the Qinzhou Bay

### 1.2 数据处理方法

采用 Surfer8.0 软件绘制 COD 水平分布图; 数据

表1 钦州湾海域各调查站位 COD 的含量(mg/L)  
Tab. 1 The content of COD in the Qinzhou Bay (mg/L)

时间 (年-月)	站点														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2010-04	1.61	2.38	1.65	1.64	1.19	1.00	0.79	0.58	0.57	0.57	0.61	0.95	0.81	1.01	1.18
2010-09	1.76	2.02	1.86	2.11	2.08	1.91	1.17	0.82	1.15	0.98	0.78	0.92	0.80	0.62	0.69
均值	1.68	2.20	1.75	1.87	1.64	1.45	0.98	0.70	0.86	0.78	0.69	0.93	0.80	0.81	0.94

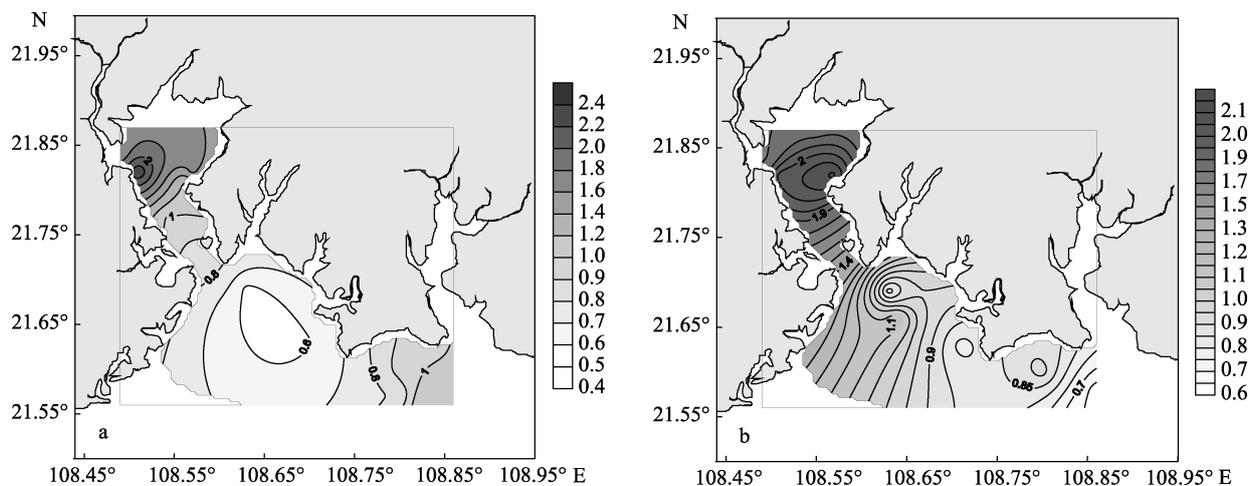


图2 钦州湾海域春季(a)、秋季(b)COD 的水平分布(mg/L)  
Fig. 2 The horizontal distribution of COD (mg/L) in the Qinzhou Bay in spring (a) and autumn (b)

处理使用 SPSS19.0 软件, 显著性水平  $\alpha = 0.05$ , 本文中数据均以算术平均值±标准偏差( $\bar{X} \pm SD$ )表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 COD 水平分布特征

调查期间, 钦州湾海域表层 COD 的平均浓度为  $(1.21 \pm 0.55)$  mg/L, 浓度范围为 0.57~2.38 mg/L(表 1)。其中春季 COD 平均浓度为  $(1.10 \pm 0.52)$  mg/L, 浓度范围为 0.57~2.38 mg/L, 水平分布呈现由湾内向湾外, 由近岸向远岸逐渐递减的趋势(图 2a), 最高浓度值出现在茅岭江口外的 2 站位。秋季 COD 的平均浓度为  $(1.31 \pm 0.57)$  mg/L, 浓度范围为 0.62~2.11 mg/L, 水平分布表现出明显的湾内高于湾外的特征(图 2b), 与盐度的变化特征相反, 最高值出现在内湾近岸的 4 站位。总体上, COD 水平分布趋势呈现较一致的变化规律, 均为湾内高、湾外低, 近岸高、远岸低(图 2), 但其浓度在春季和秋季两个季节的表层与表层之间存在显著差异( $P < 0.05$ )。

### 2.2 钦州湾海域 COD 污染评价

COD 是反映水体有机物污染程度的重要综合性指标之一<sup>[15-16]</sup>。COD 污染评价通常采用周爱国等<sup>[17]</sup>

提出的单因子污染指数( $P_i$ )法, 其计算公式如下:

$$P_i = C_i / S_i \quad (1)$$

式中  $C_i$  和  $S_i$  分别为 COD 实测数据和评价标准值, 本研究以我国国家 I 类海水水质标准  $COD \leq 2 \text{ mg/L}$  评价<sup>[18]</sup>。当  $P_i > 1$  时, 视为超标准水质已经受到污染; 当  $P_i \leq 1$  时, 表明水质未受到污染, 水体受污染程度随  $P_i$  值的增大而加重。COD 的污染评价计算结果见表 2 所示。

表 2 钦州湾海域 COD 污染评价

Tab. 2 The pollution evaluation of COD in the Qinzhou Bay

项目	COD(mg/L)		
	$P_i$ 平均值	$P_i$ 范围	超标率/%
春季	$0.55 \pm 0.26$	0.28~1.19	10
秋季	$0.66 \pm 0.29$	0.31~1.06	30

由表 2 可见, 该调查海域 COD 污染指数范围为 0.28~1.19, 均值为  $0.60 \pm 0.27$ 。其中, 春季 COD 污染指数范围为 0.28~1.19, 平均污染指数为  $0.55 \pm 0.26$ , 超标率为 10%; 而秋季 COD 污染指数相对较高, 范围在 0.31~1.06, 平均指数为  $0.66 \pm 0.29$ , 超标率达到 30%。总体来说, 调查期间钦州湾水域仍处于国家 I 类水质正常范围, 只有局部水域超标受污染。图 3 显示, 钦州湾海域已受到化学耗氧有机物不同程度的污染, 且主要集中在湾内。春季该湾表层海水整体上未受到化学耗氧有机物的污染, 只有茅岭江口外的 2 站位  $P_i > 1$ , 超过国家 I 类水质标准。秋季相比较春季, 研究海域 COD 超标率明显增加, 超标准的水域主要出现在茅岭江口、旅游度假区和贝类养殖区一带水域(2、4、5 站位), 而湾口至湾外的其他站位均未出现超标现象, COD 污染指数较低。

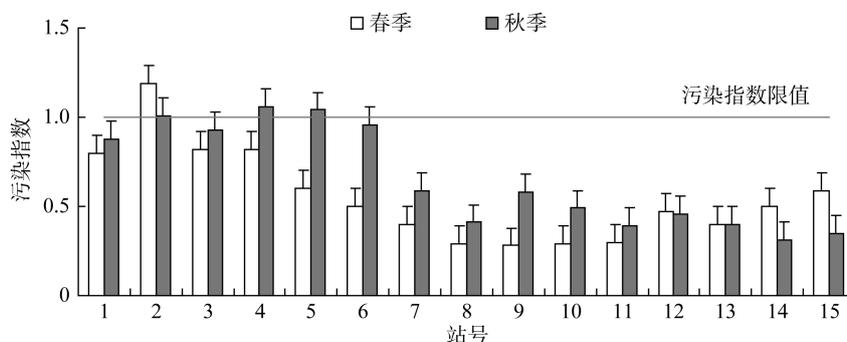


图 3 钦州湾海域 COD 污染指数

Fig. 3 Pollution indexes of COD in the Qinzhou bay

### 2.3 富营养化指数及 COD 对富营养化的贡献

为了综合调查研究海域富营养化程度, 本文根据 COD 和营养盐调查数据, 应用综合指数方法计算调查海域富营养化指数( $E$ )<sup>[19]</sup>, 其计算公式如下:

$$E = \frac{C_{COD} \times C_{DIN} \times C_{DIP}}{4500} \times 10^6 \quad (2)$$

式中,  $C_{COD}$ 、 $C_{DIN}$  和  $C_{DIP}$  分别为 COD、DIN 和 DIP 的浓度, 单位均为 mg/L。当该指数  $E \geq 1$  时, 表示海域水体已呈富营养化状态,  $E$  值越大, 富营养化程度越严重。

由于  $E$  计算公式中 COD 与各营养盐参数之间为相乘关系, 直接计算其贡献率较为困难, 故将公式(1)进行变形后取以 10 为底的对数, 得公式为:

$$\lg 4500E = \lg 100C_{DIN} + \lg 100C_{COD} + \lg 100C_{DIP} \quad (3)$$

COD 对  $E$  的贡献可表示为:

$$E_{COD}(\%) = \frac{\lg 100C_{COD}}{\lg 4500E} \times 100\% \quad (4)$$

富营养化指数  $E$  及 COD 对富营养化的贡献  $E_{COD}(\%)$

计算结果见表 3。

表 3 钦州湾海域富营养化指数及 COD 对富营养化的贡献

Tab. 3 The eutrophication index and COD contribution to eutrophication in the Qinzhou Bay

项目	$E$		$E_{COD}(\%)$	
	范围	平均值	范围	平均值
春季	0.13~16.1	$4.72 \pm 5.53$	43.6~64.2	$51.4 \pm 5.7$
秋季	0.19~43.9	$15.8 \pm 17.9$	42.1~64.7	$49.1 \pm 7.6$

由表 3 可见, 该研究海域富营养化指数  $E$  范围在 0.13~43.9, 均值为  $10.3 \pm 14.2$ ; COD 对富营养化的贡献  $E_{COD}(\%)$  范围为 42.1%~64.7%, 均值为  $(50.3 \pm 6.7)\%$ 。其中, 春季表层海水中  $E$  范围为 0.13~16.1, 平均值为  $4.72 \pm 5.53$ ,  $E_{COD}(\%)$  范围为 43.6%~64.2%, 平均值为  $(51.4 \pm 5.7)\%$ 。秋季时, 表层海水中  $E$  范围为 0.19~43.9, 平均值为  $15.8 \pm 17.9$ ,  $E_{COD}(\%)$  范围为 42.1%~64.7%, 平均值为  $(49.1 \pm 7.6)\%$ 。春季  $E$  的平均值远低于秋季, 但  $E_{COD}(\%)$  平均值却略高于秋季,

这说明就整个钦州湾而言, 秋季的富营养化程度较春季要高, 但 COD 对海水富营养化的贡献率却要低。由图 4 可见, 春、秋季钦州湾表层海域  $E < 1$  的站位分别占整个调查海域的 47%和 73%, 且 COD 对富营养化的贡献在春、秋两季的表层与表层之间存在显著差异( $P < 0.05$ ), 其贡献的时空差异除了主要受营养盐时空分布差异影响外, 还与藻类活动、沉积物再悬浮有关<sup>[20]</sup>。另外,  $E_{COD}(\%)$ 随着  $E$  的升高呈现逐渐下降的趋势(图 4), 且在秋季表现的尤为明显。李磊等<sup>[20]</sup>发现长江口邻近海域 COD 对富营养化的贡献也随着富营养化指数的增加而减少。在贫营养条件( $E < 1$  时)下  $E_{COD}(\%)$  尚能维持在 50%以上, 但当  $E$  超过 1 时,  $E_{COD}(\%)$  基本上下降至 50%以下(图 4), 这表明富营养化程度加重时来自营养盐的贡献更为突出, 这与王颢等<sup>[6]</sup>对东海赤潮高发区海域 COD 与赤潮关系研究的结论相一致。

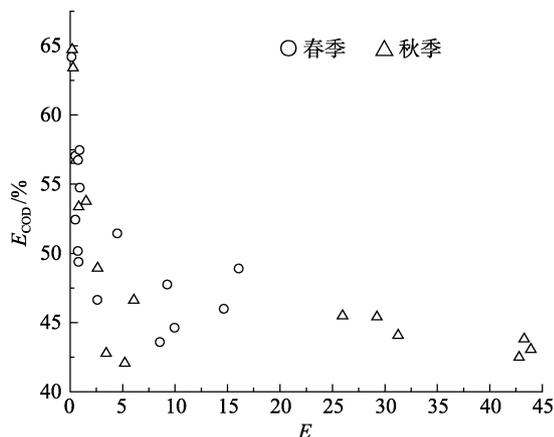


图 4 春季、秋季钦州湾海域 COD 对富营养化指数的贡献

Fig. 4 The contribution of COD to the eutrophication in the Qinzhou Bay in spring and autumn

### 3 讨论

#### 3.1 钦州湾海域 COD 的来源分析及与环境因子的关系

由钦州湾海域 COD 与盐度之间的相关分析(表 4)可见, 春、秋季表层海水中 COD 与盐度均存在显

著的负相关性( $P < 0.001$ ), 表明陆地河流输入以及陆源排放对该湾 COD 的分布起着重要影响, 在一定程度上甚至是决定性因子。春、秋季研究海域 COD 与 DIN、 $SiO_3^{2-}-Si$  均存在显著的正相关性( $P < 0.01$ ), 而与 pH 存在显著的负相关性( $P < 0.001$ )。此外, 春季 COD 与石油烃还存在显著的正相关( $P < 0.01$ ), 秋季 COD 与 DIP 存在较显著的正相关( $P < 0.05$ )。

COD 作为陆源排海的主要污染物之一, 主要来自排海量大、处理率低的沿岸工农业废水和生活污水, 其共同特征是混浊度大, 含有大量悬浮物、胶体物、沉淀物、纤维素和溶解的有机质, 在污水排放量大的时候, 影响尤为显著<sup>[15-16]</sup>。近年来研究发现, 河流输入是钦州湾入海污染源的最主要部分, 入海污染物以有机物(COD)和营养盐为主<sup>[21]</sup>, 本研究中 COD 与盐度的显著负相关性也充分证实了这一点。COD 与 DIN、 $SiO_3^{2-}-Si$  的正相关性表明了三者之间的同源性, 秋季 DIP 也表现出相同的来源, 陆地径流输入和陆源排放是其主要来源, COD 在一定程度上表征了陆源排海带来的营养盐量<sup>[20]</sup>。春、秋季研究海域 COD 与 pH 表现显著负相关性, 浮游植物的死亡腐烂降解释放大量的内源性化学耗氧有机物, 很可能是导致 pH 下降的重要原因<sup>[22]</sup>。此外, 春季 COD 与石油烃的正相关性也达到显著性水平( $P < 0.01$ ), 表明该季度月人工合成的有机化合物和石油制品可能是通过污水排放或交通工具的泄漏等人为因素导致该海域 COD 的污染<sup>[23-24]</sup>。

#### 3.2 钦州湾海域 COD 的空间分布及富营养化贡献

钦州湾海域水动力过程较为复杂, 潮流以往复流运动形式为主, 涨潮时流向偏北, 落潮时流向偏南, 是广西沿海港湾中平均涨落潮流速最大的海湾<sup>[25]</sup>, 且该湾内水动力过程主要受茅岭江(年均径流量 19.6 亿  $m^3$ )和钦江(年均径流量 14.8 亿  $m^3$ )较强径流的推动作用, 湾颈至湾外又属强流区, 对污染物的迁移扩散极为有利<sup>[26]</sup>。化学耗氧有机物随茅岭江和钦江进入湾内河口区并向湾颈外部扩展, 图 2 所示的春、

表 4 钦州湾海域 COD 与环境因子的相关关系( $n = 15$ )

Tab. 4 The correlations of COD content with environment factors in the Qinzhou bay ( $n = 15$ )

项目	DIN(mg/L)	DIP(mg/L)	$SiO_3^{2-}-Si$ (mg/L)	Chl- <i>a</i> ( $\mu$ g/L)	S/(PSU)	pH	DO(mg/L)	石油烃(mg/L)	SS(mg/L)
春季	0.82 <sup>a</sup>	0.21	0.75 <sup>a</sup>	0.03	-0.81 <sup>a</sup>	-0.80 <sup>a</sup>	0.12	0.74 <sup>a</sup>	0.16
秋季	0.88 <sup>a</sup>	0.61 <sup>b</sup>	0.83 <sup>a</sup>	-0.49	-0.93 <sup>a</sup>	-0.80 <sup>a</sup>	0.18	-0.19	-0.06

注: a 标示置信水平在 99%以上, b 标示置信水平在 95%以上

秋季 COD 的空间分布也清楚印证了这一特征。与其他研究海域相比较,本研究海域 COD 对富营养化的贡献高于渤海海区<sup>[27]</sup>(平均贡献率为25%左右),低于东海赤潮高发区<sup>[28]</sup>(平均贡献率为82%),与长江口邻近海域相近<sup>[20]</sup>(平均贡献率为46.53%),表明调查期间钦州湾海域 COD 对富营养化的贡献处于中等水平(平均贡献率为50.3%)。COD 是影响该海区富营养化的重要因素,但并非决定性因子,尤其是在富营养化程度加重时,营养盐的贡献显得尤为突出(图4)。近年来的监测结果显示,钦州湾水质主要污染因子为无机氮和磷酸盐以及 COD<sup>[29-30]</sup>,河流输入营养盐通量的增加,将导致海湾营养盐浓度和结构变化,大大增加了钦州湾发生赤潮的生态风险<sup>[31]</sup>。因此,政府有必要进一步采取措施加强对该海湾 N、P 营养盐和 COD 污染物的排放,控制其入海通量,防止钦州湾水质污染加重及富营养化发生的关键所在。

## 4 结论

(1) 受陆地径流、陆源输入和水动力过程的影响,春、秋季钦州湾海域表层 COD 水平分布均呈现出湾内高于湾外,近岸高于远岸的趋势,但其浓度在春季和秋季两个季节的表层与表层之间存在显著差异。调查期间钦州湾表层海水整体上未受到化学耗氧有机物污染,只有局部水域超标受污染,秋季 COD 超标率高于春季,且受污染区域均出现在湾内。

(2) 钦州湾海域春、秋季表层海水中 COD 与盐度、pH 之间均存在显著负相关,而与 DIN、 $\text{SiO}_3^{2-}$ -Si 均存在显著正相关。此外,春季 COD 与石油烃存在显著的正相关,秋季 COD 与 DIP 存在较为显著的正相关关系。

(3) COD 对富营养化的贡献  $E_{\text{COD}}(\%)$  范围为 42.1%~64.7%,平均贡献为 $(50.3 \pm 6.7)\%$ ,其贡献在春、秋两季的表层与表层之间存在显著差异。与其他研究海域相比,本研究海域 COD 对富营养化的贡献处于中等水平,COD 是影响钦州湾海域富营养化的重要因素,但并非决定性因子,当富营养化程度加重时来自营养盐的贡献表现更为突出。

### 参考文献:

- [1] 广西海洋研究所. 广西海岸带污染源分布及污染物入海情况调查报告[R]. 北海: 广西海洋研究所, 1986.
- [2] 国家海洋局南海分局北海海洋环境监测中心. 广西入海污染源调查研究报告[R]. 北海: 国家海洋局南海分局北海海洋环境监测中心, 1998.
- [3] 韦蔓新, 何本茂. 钦州湾近 20a 来水环境指标的变化趋势 IV 有机污染物(COD)的含量变化及其补充、消减途径[J]. 海洋环境科学, 2006, 25(4): 48-51.
- [4] 李红山, 黎松强. 赤潮形成与富营养化有生化防治机理-污水深度处理与脱氮除磷[J]. 海洋技术, 2002, 21(2): 69-73.
- [5] 孙冷, 黄朝迎. 赤潮及其影响[J]. 灾害学, 1999, 14(2): 51-54.
- [6] 王颢, 石晓勇, 张传松, 等. 2004 年春季东海赤潮高发区 COD 分布及其与赤潮关系的初步研究[J]. 海洋科学, 2008, 32(12): 82-86.
- [7] 蔡清海. 福建南部海岛周围海域的化学耗氧量分布[J]. 海洋通报, 1998, 17(5): 40-45.
- [8] 韦蔓新, 赖廷和, 何本茂. 钦州湾丰、枯水期营养状况变化趋势及其影响因素[J]. 热带海洋学报, 2003, 22(3): 16-21.
- [9] 杨斌, 方怀义, 钟秋平, 等. 钦州湾夏季营养盐的分布特征及富营养化评价[J]. 海洋通报, 2012, 31(6): 640-645.
- [10] 杨斌, 钟秋平, 张晨晓, 等. 钦州湾春季水质营养状况分析与评价[J]. 中国环境监测, 2013, 29(5): 103-106.
- [11] 韦蔓新, 何本茂. 钦州湾近 20a 来水环境指标的变化趋势, III 微量重金属的含量分布及其来源分析[J]. 海洋环境科学, 2004, 23(1): 29-32.
- [12] 杨斌, 钟秋平, 李宗活, 等. 钦州湾表层海水重金属分布特征及其污染评价[J]. 广州化工, 2012, 40(11): 146-147, 173.
- [13] 韦蔓新, 何本茂. 钦州湾近 20a 来水环境指标的变化趋势 IV 有机污染物(COD)的含量变化及其补充、消减途径[J]. 海洋环境科学, 2006, 25(4): 48-51.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB17378.4-2007 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [15] 杨美兰, 林钦, 黄洪辉, 等. 珠江口水域化学耗氧量(COD)的分布特征[J]. 海洋通报, 2005, 24(4): 22-26.
- [16] 方倩, 张传松, 王修林. 东海赤潮高发区 COD 的平面分布特征及其影响因素[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2010, 40(增刊): 173-178.
- [17] 周爱国, 蔡鹤生. 地质环境质量评价理论与应用[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998.
- [18] 国家环境保护总局. 海水水质标准(GB3097-1997)[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
- [19] 邹景忠, 董丽萍, 秦保平. 渤海湾富营养化和赤潮问题的初步探讨[J]. 海洋环境科学, 1983, 2(2): 41-54.

- [20] 李磊, 王云龙, 蒋玫, 等. 春、夏季长江口邻近海域 COD 分布特征、影响因素及对富营养化的贡献[J]. 海洋通报, 2012, 31(3): 329-335.
- [21] 蓝文陆, 杨绍美, 苏伟. 环钦州湾河流入海污染物通量及其对海水生态环境的影响[J]. 广西科学, 2012, 19(3): 257-262.
- [22] 张运林, 杨龙云, 秦伯强, 等. 太湖北部湖区 COD 浓度空间分布及与其他要素的相关性研究[J]. 环境科学, 2008, 29(6): 1457-1462.
- [23] 姚野梅. 长江口石油类污染状况调查[J]. 上海水产大学学报, 1995, 4(3): 225-230.
- [24] 孟伟, 秦延文, 郑丙辉, 等. 长江口水体中氮、磷含量及其化学耗氧量的分析[J]. 环境科学, 2004, 25(6): 65-68.
- [25] 何本茂, 韦蔓新. 钦州湾的生态环境特征及其与水体自净条件的关系分析[J]. 海洋通报, 2004, 23(4): 50-54.
- [26] 广西海洋研究所. 广西沿海重点港湾水动力条件调查报告[R]. 北海: 广西海洋研究所, 1993.
- [27] 郭全, 王修林, 韩秀荣, 等. 渤海海区 COD 分布及对海水富营养化贡献分析[J]. 海洋科学, 2005, 29(9): 71-75.
- [28] 张传松, 王修林, 石晓勇, 等. 东海赤潮高发区 COD 和石油烃分布特征及其与赤潮发生关系的初步研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1093-1096.
- [29] 广西北海海洋环境监测中心站. 广西近岸海域 2006~2010 年环境质量报告[R]. 北海: 广西北海海洋环境监测中心站, 2011.
- [30] 蓝文陆. 近 20 年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响[J]. 生态学报, 2011, 31(20): 5970-5976.
- [31] 蓝文陆, 彭小燕. 茅尾海富营养化程度评价及其对浮游植物生物量的影响[J]. 广西科学院学报, 2011, 27(2): 109-112.

## Temporal and spatial distributions of COD and its contribution to the eutrophication in the Qinzhou Bay

YANG Bin<sup>1, 2</sup>, ZHONG Qiu-ping<sup>2</sup>, LU Dong-liang<sup>1, 2</sup>, LIN Mei-fang<sup>2</sup>, LI Shang-ping<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. Key Laboratory of Beibu Gulf Marine Protection and Development of Guangxi Universities, Qinzhou University, Qinzhou 535099, China)

**Received:** Feb., 27, 2013

**Key words:** COD; distribution characters; influencing factors; contribution to the eutrophication; Qinzhou Bay

**Abstract:** Based on the investigation data in the Qinzhou Bay in April (spring) and September (autumn) of 2010, the distribution characteristics of chemical oxygen demand (COD) and its influencing factors were studied. The pollution level was evaluated, and its contribution to the eutrophication in the study area was analyzed. Meanwhile, the main source of COD, the relationship between COD and environmental factors were also discussed. The results showed that the average concentration of COD was  $(1.21 \pm 0.55)$  mg/L, with a range from 0.57 mg/L to 2.38 mg/L. The distribution of COD was characterized by a decreasing tendency from the upper bay to the outside bay in spring and autumn. The pollution level of COD in autumn was higher than that in spring. The range of contribution to the eutrophication was from 42.1% to 64.7%, and the mean value was  $(50.3 \pm 6.7)\%$ . The contribution decreased with the increase of eutrophication index. During the survey period, the content of COD showed a negative correlation with salinity and pH, while a positive correlation with DIN and  $\text{SiO}_3^{2-}$ -Si. The temporal and spatial distributions of COD were affected by the land runoff, terrestrial input and hydrodynamic process. COD was an important factor contributing to eutrophication, but was not the decisive factor., When the eutrophication degree increased, the contribution of nutrient to the eutrophication became more dramatic.

(本文编辑: 康亦兼)