

钦州湾海水中石油烃时空变化特征及其影响因素

杨 斌^{1,2,3}, 钟秋平^{1,2}, 张晨晓^{1,2}, 鲁栋梁^{1,2,3}, 梁燕茹^{1,2}, 李尚平⁴

(1. 钦州学院 广西北部湾海洋生物多样性养护重点实验室, 广西 钦州 535099; 2. 钦州学院 北部湾海洋生物资源开发与保护广西高校重点实验室, 广西 钦州 535099; 3. 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; 4. 广西民族大学 化学化工学院, 广西 南宁 530006)

摘要: 2009年1月至11月对广西钦州典型养殖海湾-钦州湾海域表层海水石油烃进行了4次采样调查, 分析该海域石油烃污染状况, 探讨石油烃的时空分布特征及其影响因素。结果表明, 钦州湾表层海水石油烃的质量浓度在0.001~0.095 mg/L之间, 平均值为0.022 mg/L; 季节变化呈现夏季最高, 秋、冬季次之, 春季最低的特点, 夏、冬季海水受到不同程度石油污染, 春、秋季均达到国家《海水水质标准》二类标准。水平分布上总体呈现春、秋季节外湾大于内湾, 夏、冬季节内湾大于外湾的特征。钦州湾水产养殖活动及陆地径流输入是影响石油烃时空变化的主要因素。春季石油烃的质量浓度与温度和溶解氧等环境因子有着较好的相关性, 夏季石油烃和溶解无机磷存在显著正相关。总体上钦州湾海域目前受石油烃污染程度较轻, 仍有一定接纳自净能力。

关键词: 石油烃; 时空变化; 影响因素; 污染评价; 钦州湾

中图分类号: P734.5; X55 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)01-0076-09

doi: 10.11759/hyxx20150224001

近年来, 由于人类对石油的大量开发利用, 石油污染对海洋及近岸环境已造成严重威胁, 尤其是受人类活动影响较大的河口、港湾和浅海等区域更为显著^[1-2]。因此, 海洋石油污染问题已引起人们的普遍关注。海水中石油类污染物影响着大气海水输氧、鱼贝类养殖、海洋自净能力, 且会通过生物富集、食物链传递等方式影响海产品质量, 最终对人类健康造成危害^[3-6]。钦州湾位于广西北部湾顶端, 主要由内湾和外湾构成, 是我国南方重要的天然渔场和人工养殖基地^[7]。近年来随着广西石化钦州炼油厂投产运行, 钦州湾石油污染问题显得尤为关注。

目前, 已有部分学者对钦州湾海域的营养盐^[8-10]、COD^[11-12]、重金属^[13-14]、叶绿素 *a*^[15-16]等指标进行了相关研究, 但有关该海湾石油烃时空变化的研究报告很少且调查时间较为久远^[17]。为了解钦州湾海域石油烃的污染现状, 根据2009年4个季度的调查, 对钦州湾表层海水中石油烃质量浓度的时空变化及其影响因素进行分析, 并探讨石油烃质量浓度与各种环境因子之间的关系, 为该海区环境质量状况和生态环境保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间和站位

于2009年1月(冬季)、4月(春季)、7月(夏季)

和11月(秋季)对钦州湾进行了4个季度的调查, 共布设了15个站位(见图1), 其中, 站位1~6分布在内湾, 站位7~15分布在外湾, 调查站位采用纽曼 S550型GPS全球定位仪确定。采样时均在调查月份大潮期涨潮时采集, 对水样中的石油烃(PHC)、水温(*T*)、盐度(*S*)、pH、溶解氧(DO)、硝酸盐(NO₃⁻)、亚硝酸盐(NO₂⁻)、铵盐(NH₄⁺)、溶解无机磷(DIP)、叶绿素 *a*(Chl-*a*)等指标进行测定。

1.2 采样和分析方法

样品的采集和分析按照《海洋监测规范》(GB17378.4-2007)^[18]进行。石油烃采用抛浮式无油采水器采集表层(0.5 m)海水, 取500 mL水样于棕色玻璃瓶中, 现场立即加入5 mL H₂SO₄($\rho = 0.46 \text{ mg/L}$)酸化保存, 水样带回实验室经正己烷萃取后, 以油标准做参比, 采用岛津 UV-2450 紫外分光光度仪测定

收稿日期: 2015-02-24; 修回日期: 2015-05-18

基金项目: 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 No. 0992027-1); 广西教育厅科研项目(No. 201012MS195, No. 201106LX546)

[Foundation: Guangxi Science and Technology Development Program, No.0992027-1; Scientific Research Fund of Guangxi Education Department, No.201012MS195, No.201106LX546]

作者简介: 杨斌(1983-), 男, 安徽合肥人, 讲师, 博士, 主要从事海洋生物地球化学研究, E-mail: yangb0829@163.com; 钟秋平(1964-), 通信作者, 副教授, 从事海洋生态学研究, E-mail: zhqp02@163.com

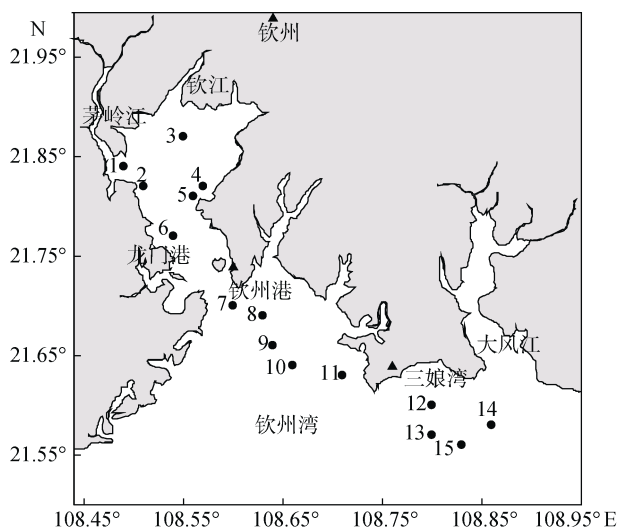


图 1 钦州湾调查海区采样站位
Fig. 1 Sampling sites in Qinzhou Bay

PHC 质量浓度。表层水温(T)、盐度(S)、pH 和溶解氧(DO)使用 YSI6920 多功能水质分析仪现场测定。表层营养盐水样经 $0.45\ \mu\text{m}$ 醋酸纤维滤膜过滤后, 使用 7230G 可见分光光度计测定, NO_2^- 采用重氮-偶氮法, NO_3^- 采用锌-镉还原法, NH_4^+ 采用次溴酸钠氧化法, 活性磷酸盐(PO_4^{3-}) 采用抗坏血酸还原磷钼蓝法, 溶解无机氮(DIN)为 NO_2^- 、 NO_3^- 和 NH_4^+ 之和^[19]。表层叶绿素 a (Chl- a)水样经 $0.7\ \mu\text{m}$ (Whatman, GF/F) 过滤后的滤膜以 90%丙酮萃取后采用日立 F-4500 荧光分光光度计分析测定^[20]。

1.3 数据处理

数据采用 SPSS19.0 for Windows 软件进行分析, 研究海区 PHC 与各环境因子的关系采用 Pearson 相关性分析, 显著性水平 $\alpha = 0.05$, 描述性统计值采用平均值 \pm 标准偏差(Mean \pm S.D.)表示。PHC 空间分布图和季节变化图分别采用 Surfer9.0 软件和 Origin8.5 软件生成。

表 1 钦州湾表层海水常规化学参数平均值及变化范围

Tab. 1 Seasonal average and range values of chemical parameters in surface seawater of Qinzhou Bay

参数	春季	夏季	秋季	冬季
T ($^{\circ}\text{C}$)	20.4 (14.3~24.1)	30.1 (28.0~31.5)	16.0 (14.3~19.5)	14.6 (14.0~16.0)
S	24.067 (6.723~29.717)	17.975 (1.446~30.718)	23.864 (9.108~30.157)	23.660 (13.358~29.164)
pH	7.82 (7.30~8.04)	8.11 (7.86~8.42)	8.01 (7.57~8.18)	8.10 (8.01~8.15)
DO (mg/L)	6.76 (6.39~7.26)	6.77 (5.61~8.00)	8.51 (7.57~9.80)	8.29 (7.57~9.43)
DIN (mg/L)	0.40 (0.19~0.72)	0.30 (0.05~0.48)	0.24 (0.05~0.52)	0.14 (0.02~0.43)
DIP (mg/L)	0.031 (0.006~0.158)	0.004 (0.001~0.007)	0.023 (0.005~0.123)	0.011 (0.001~0.046)
Chl- a ($\mu\text{g/L}$)	3.42 (1.59~7.12)	12.21 (1.58~32.5)	2.74 (0.83~3.95)	3.21 (2.04~4.25)

2 结果

2.1 常规化学参数分析

钦州湾表层海水常规环境因子季节性调查结果如表 1 所示。钦州湾表层海水温度表现为夏秋季高, 冬春季低的特点, 空间上呈现夏秋季河口区高于湾口区, 春冬季则相反。盐度表现出秋季最高, 冬春季次之, 夏季最低的特点, 全年空间分布均表现为河口区低, 湾口区高。研究海域全年 pH 值与正常海水相比略微偏低, 夏冬季高于春秋, 高值区全年出现在大风江口外海域^[21]。DO 呈现秋冬季高, 春夏季低的特点。除了春季 DO 含量空间分布较为均匀外, 夏秋冬季 DO 的高值区均出现在河口区。DIN 表现出明显的季节变化: 夏季>春季>秋季>冬季, 四个季节 DIN 含量空间分布均表现出由内湾向外湾逐渐降低的趋势。DIP 表现出春季最高, 秋冬季次之, 夏季最低的特点, 空间分布均呈现沿入海口向湾外逐渐降低, 且外湾浓度梯度变化较小^[22]。Chl- a 浓度夏季最高, 春冬季次之, 秋季最低, 空间分布上春、夏、冬季呈现内湾和外湾高、湾口低的分布特征, 秋季出现相反的特征^[16]。本次常规化学参数的调查结果 pH、DO 和 DIP 等质量浓度符合《GB3097-1997 海水水质标准》^[23]中的二类海水标准。

2.2 PHC 水平分布特征

冬季钦州湾海域内湾 PHC 质量浓度明显大于外湾, 其平均值分别为 $0.030\ \text{mg/L}$ 和 $0.012\ \text{mg/L}$ (图 2a)。从地域分布来看, 在内湾, PHC 质量浓度从龙门港镇一侧海域向离岸方向呈递减的分布特征; 在外湾, PHC 质量浓度呈现由近岸向远海逐渐递减的分布特征。春季整个钦州湾 PHC 质量浓度分布与冬季相反, 呈现外湾大于内湾的分布趋势, 其平均值分别为 $0.017\ \text{mg/L}$ 和 $0.002\ \text{mg/L}$ (图 2b)。在地域分布上, 三娘湾附近海域的 PHC 质量浓度高于钦州港附近海

域,而在内湾 PHC 质量浓度分布则较为均匀。夏季质量浓度分布与冬季较为相似,呈现出内湾高外湾低的特征,其平均值分别为 0.051 mg/L 和 0.030 mg/L (图 2c)。从地域分布来看,内湾的 PHC 质量浓度高值区分别出现在河口区和龙门港镇近岸海区,外湾 PHC 质

量浓度梯度变化不大。秋季整个钦州湾 PHC 质量浓度分布与春季相似,呈现外湾大于内湾的分布特征,其平均值分别为 0.022 mg/L 和 0.018 mg/L (图 2d),且外湾 PHC 质量浓度从近岸向远海呈递减的分布趋势,而内湾分布较为均匀。

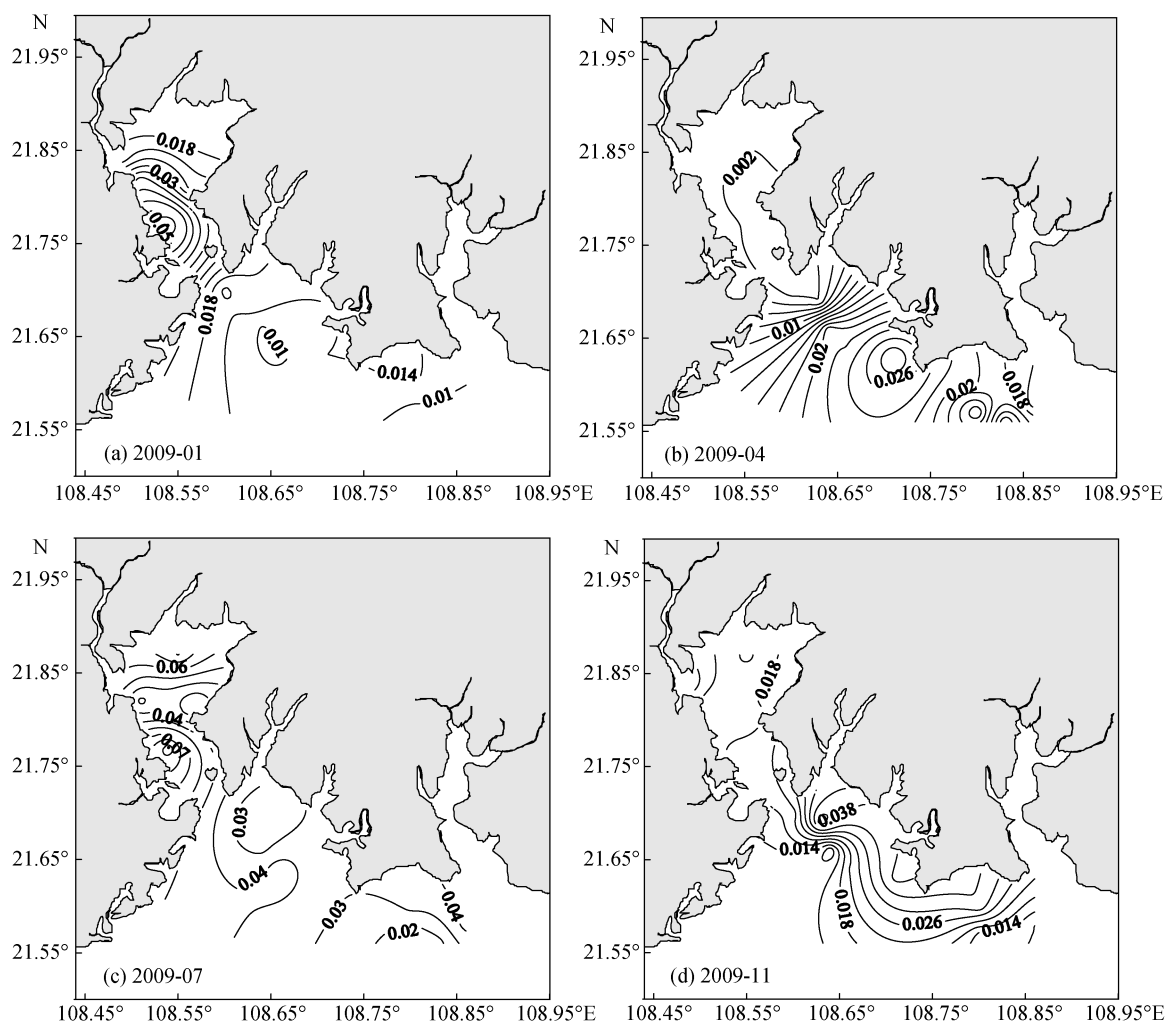


图 2 钦州湾石油烃质量浓度(mg/L)的空间分布

Fig. 2 Spatial distributions of petroleum hydrocarbon in Qinzhou Bay (unit: mg/L)

2.3 PHC 季节变化特征

冬季和春季 PHC 质量浓度之间存在显著性差异($P < 0.05$, $n=15$),总体上 PHC 质量浓度呈现出夏、秋、冬、春季节依次递减的变化趋势(图 3),可见整个钦州湾的 PHC 分布存在明显的季节变化特征。夏季 PHC 质量浓度明显高于其他三个季节,平均值为 0.038 mg/L;秋、冬季节 PHC 质量浓度相当,在春季 PHC 质量浓度达到最小,其平均值为 0.011 mg/L。

3 讨论

3.1 钦州湾 PHC 质量浓度现状评价

2009 年度钦州湾海域表层海水 PHC 质量浓度测定值见表 2。该湾 PHC 质量浓度变化范围为 0.001~0.095 mg/L,平均值为 0.022 mg/L \pm 0.018 mg/L。总体来看,钦州湾海域全年未超过国家《海水水质标准》(GB3097-1997) [23] 二类水质标准(0.050 mg/L)。春季和秋季所有测站点未出现超标现象,均低于国家规

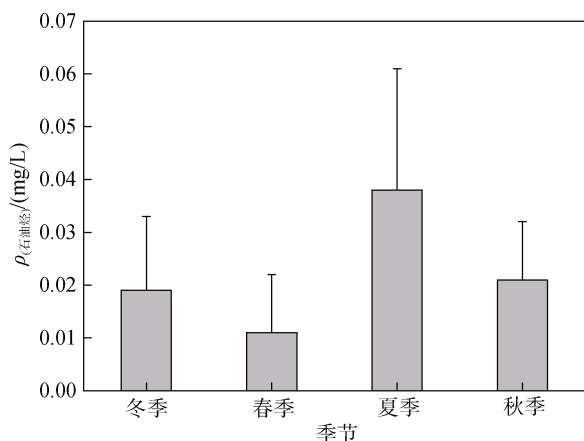


图3 钦州湾石油烃季节变化

Fig.3 Seasonal variations of petroleum hydrocarbon in Qinzhou Bay

表2 2009年不同季节钦州湾表层海水PHC质量浓度(mg/L)

Tab.2 Petroleum hydrocarbon concentrations (mg/L) in surface seawater of Qinzhou Bay in different seasons, 2009

季节	冬季	春季	夏季	秋季	平均值
$\rho(\text{PHC})$	0.008~0.059	0.001~0.030	0.014~0.095	0.007~0.045	0.022
超标率(%)	6.7	0	20.0	0	
单因子污染指数(P_i)	0.4	0.2	0.8	0.4	评价标准 0.050

3.2 PHC时空变化的影响因素

整个钦州湾呈南北向葫芦型，腰部由东西向钦州港至龙门港将海湾分成内湾和外湾，钦州湾潮汐以不规则全日潮流为主；外湾潮流主要为气旋式环流，内湾潮流运动以往复流为主^[25]，这种潮流特征使得内湾海水流动性较大，且内湾靠近陆地，潮汐带来的海水冲击力要大于外湾，有利于内湾污染物的输运^[26]。这可能是导致春、秋季PHC质量浓度外湾大于内湾的一个重要原因。夏季钦江和茅岭江入海径流量是春、秋季的3倍左右，是冬季的6倍左右^[27]，陆地径流携带大量含有PHC组分的工农业废水和市政生活污水进入海湾致使PHC质量浓度增高^[28]，丰水期陆源性径流的输入很可能是造成夏季PHC质量浓度内湾高于外湾，且浓度季节最高的重要影响因素之一。钦州湾内湾(茅尾海)是全国最大的大蚝(近江牡蛎)天然苗种繁育基地，占全国蚝苗繁育的70%，同时也是中国著名的大蚝养殖基地，目前钦州市沿海浅滩涂插养及深水吊养的大蚝主要分布在内湾。夏、冬季分别是蚝苗采集和大蚝收获的繁忙季节，海上养殖作业频繁，产生大量的船舶废水和养殖污水是造成夏、冬季内湾PHC质量浓度大于外湾的重要原因^[29]。龙门港镇是广西沿海最大的渔业生

定的二类海水水质标准，只有冬季和夏季部分站位超过二类海水水质标准，超标率分别为6.7%和20.0%。单因子污染指数是一种反映和评价环境质量状况的数量尺度方法，其计算公式如下^[24]：

$$P_i = C_i/S_i$$

式中 P_i 、 C_i 和 S_i 分别为 PHC 评价指标、实测数据和评价标准值，当 $P_i > 1$ 时，表明水质已经受到污染；当 $P_i \leq 1$ 时，表明水质未受到污染， P_i 越大，表明水体受污染程度越高。本研究采用国家二类海水水质标准^[23]。单因子污染指数显示整个钦州湾2009年度PHC质量浓度仍在二类海水水质标准范围内(表2)，表明钦州湾海域目前受PHC的污染还尚不明显，该海区对PHC仍具有一定的接纳自净能力。

产基地之一，截止2009年10月，全镇拥有各类渔船735艘，海水养殖面积达2936.33ha，其中大蚝2464.33ha，对虾410ha，网箱养鱼51ha，其他养殖11ha。素有“十里蚝排”之称的龙门七十二泾大蚝浮筏生态养殖示范区，渔业活动主要通过船舶作业排污、码头作业排油和舱底污染等途径向海水中输入PHC致使浓度较高^[29]，这可能是导致夏、冬季内湾龙门港镇近岸区均出现PHC高值区的重要原因(图2)。此外，秋季正是钦州湾主要海产品石斑鱼、对虾、青蟹和大蚝生长旺盛季节，大量的鱼虾贝类摄食活动会吸收部分PHC，造成海水PHC质量浓度下降^[30]。春季钦州湾养殖海产品已收获完毕水体交换能力增强，且海上船只活动明显减少，大量海洋浮游植物死亡遗骸成为海洋颗粒物也会吸附部分PHC沉降于海底^[30]。因此，钦州湾鱼虾贝类水产养殖活动是影响PHC质量浓度季节显著变化的一个重要因素。夏季海水温度最高且光照最强，PHC在海水中蒸发、分解速率增大会使PHC质量浓度有所降低，但同时水体中溶解速率增大和吸附量减少也会使PHC质量浓度有所抬升^[31]。因此，综合上述影响因素PHC质量浓度夏季明显高于其他三个季节。进入秋冬季，一方面，沿岸陆地径流量相对减小致使携带相对较少的废污

水进入海湾,使得海水 PHC 质量浓度降低^[12];另一方面,冬季风浪较大使得水体悬浮颗粒物含量较高(14.2 mg/L \pm 2.7 mg/L),吸附沉积过程对于浅海水域海水中 PHC 的去除尤为重要^[32],悬浮颗粒物会将水体中的 PHC 富集并随悬浮泥沙沉降于海底^[33]。进入春季,水温逐渐回升,微生物迅速繁殖活动能力增强,对 PHC 的降解程度明显加强^[34],且外源性输入较少,这可能是造成春季表层海水 PHC 质量浓度全年最低值的重要影响因素之一。

3.3 PHC 与其他环境因子的关系

相关分析结果表明,春季 PHC 质量浓度与 $T(r=0.82, P<0.01)$ 呈显著的正相关(表 3),表明春季表层海水水温对 PHC 的影响作用较为明显,随着温度的升高,PHC 的溶解度逐渐增大^[29]。此外,春季 PHC 质量浓度与 $DO(r=-0.71, P<0.01)$ 呈显著的负相关,这可能是春季微生物大量繁殖降解 PHC 消耗了海水中的氧,导致海水中氧含量降低^[35]。

DIN 和 DIP 是海洋中主要营养盐类,是海洋浮游植物繁殖和生长所必需的营养要素。海水中大量的 DIN 和 DIP 主要来源于陆源性径流输入和海洋生物体分解再生的结果^[36-37]。由表 3 可见,夏季钦州湾表层海水 PHC 与 DIP 存在显著的正相关($r=0.57, P<0.05$),这与大亚湾大鹏澳、胶州湾、桑沟湾表层海水中 PHC 与 DIP 也有着较好的相关性一致^[29, 35, 38]。此外,钦州湾水体中营养盐的浓度在一定程度上可能会对微生物降解 PHC 产生影响。有研究表明,微生物对水体中 PHC 的降解过程中, N 和 P 很可能影响其降解的速率^[39-40]。已知 C:N:P 在细菌细胞中的比例为 100:20:1,生态系统中有机物质的分解速率

与该系统中 C:N:P 比值有一定的相关关系,只有当 C:N:P 低于 100:5:1 时,生态系统中含碳有机物质才能得以充分分解^[35]。因此,在水体中适当补充 N 和 P 能够提高微生物对 PHC 的降解速率,这与深圳湾和湄洲湾表层海水中 PHC 与营养盐关系研究结论相一致^[3, 41]。

PHC 是既含有生物活性又含有毒性的多组物质,当水体中浓度相对较低时(0.010~0.500 mg/L),能够促进浮游植物的生长^[5],Chl-*a* 是估算海洋浮游植物生物量及初级生产力的的重要指标^[42-43]。因此,当海水中 PHC 质量浓度不是很高(0.010~0.500 mg/L)时,PHC 与 Chl-*a* 质量浓度之间有良好的正线性相关^[29, 41]。本研究结果显示,表层海水各站位全年 PHC 质量浓度(0.001~0.095 mg/L)在有利于浮游植物生长的浓度范围内。然而,本研究并未发现二者之间存在良好的相关关系(表 3)。浮游植物从海水中摄取的 DIN:DIP(原子比)约为 16:1^[44],偏离过高或过低都可能引起浮游植物受某一相对低浓度元素的限制^[39]。本研究全年 DIP 平均含量范围处于较低水平(0.004~0.031 mg/L),且 N/P 平均比值范围(23~166)均高于海水中浮游植物生长 N/P 的 Redfield 比值(16:1),表明调查期间 P 是浮游植物生长潜在的营养盐限制因子,这与以前的研究结果相一致^[22]。因此,钦州湾表层海水中浮游植物生物量更为重要的是受营养盐的影响,而非有机物质。由此可见,除了调查海洋中 PHC 和各环境因子,比较它们之间的相关性外,可进一步进行实验室模拟,单独进行某一个环境因子对 PHC 降解过程的影响实验研究,将会使这一过程更加具体化^[45-46]。

表 3 钦州湾 PHC 质量浓度(mg/L)与环境因子的相关性($n=15$)

Tab.3 The correlations of petroleum hydrocarbon concentrations (mg/L) with environment factors in Qinzhou bay ($n=15$)

项目	$T(^{\circ}\text{C})$	S	pH	DO(mg/L)	DIN(mg/L)	DIP(mg/L)	Chl- <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)
春季	0.82 ^a	0.54	0.56	-0.71 ^a	-0.44	-0.43	0.38
夏季	0.26	-0.29	-0.14	-0.14	-0.00	0.57 ^b	-0.14
秋季	-0.16	0.11	-0.00	-0.10	-0.13	-0.01	0.27
冬季	-0.21	-0.43	0.07	-0.20	0.46	0.37	-0.21

注: a 表示置信水平在 99% 以上, b 表示置信水平在 95% 以上。

4 结论

(1) 整个钦州湾表层海水 PHC 质量浓度春、秋季外湾大于内湾,夏、冬季内湾大于外湾。同时存在明显的季节差异,呈现夏季>秋季>冬季>春季的季节

变化特征。单因子污染指数显示该海区对 PHC 仍有一定的接纳自净能力。

(2) 钦州湾表层海水 PHC 质量浓度时空变化受潮汐流、陆地径流、水产养殖、水文环境、悬浮颗粒物吸附以及微生物降解等综合因素的影响,其中,

陆地径流和鱼虾贝类养殖活动是影响 PHC 质量浓度时空变化的重要因素。

(3) 营养盐和有机物浓度在一定程度上都会对浮游植物的生长产生影响, 钦州湾全年浮游植物生长潜在受 P 限制影响, PHC 与 Chl-*a* 质量浓度之间无良好的相关性表明, 钦州湾全年表层海水中浮游植物生物量是受营养盐影响更为重要, 而非有机物质。

致谢: 在样品的分析过程中, 得到了防城港市海洋环境监测预报中心工作人员的大力协助, 谨致谢忱!

参考文献:

- [1] Atlas R M. Bioremediation of petroleum pollutants[J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 1995, 35(1): 317-327.
- [2] Gin K Y H, Huda K, Kiat L W, et al. An oil spill-food chain interaction model for coastal waters[J]. Marine Pollution Bulletin, 2001, 42(7): 590-597.
- [3] 胡利芳, 孙省利, 李雪英, 等. 深圳湾海水石油烃分布特征及其相关因素的探讨[J]. 广东海洋大学学报, 2010, 30(3): 99-102.
Hu Lifang, Sun Xingli, Li Xueying, et al. Characteristics of petroleum hydrocarbon distribution in Shenzhen Bay and corresponding factors[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2010, 30(3): 99-102.
- [4] 林钦, 贾晓平, 吕晓瑜. 珠江口海洋动物体的石油烃[J]. 海洋科学, 1990, (5): 34-38.
Lin Qin, Jia Xiaoping, Lü Xiaoyu. Petroleum hydrocarbons in marine animals from the Pearl River Estuary[J]. Marine Sciences, 1990, (5): 34-38.
- [5] 贾晓平, 林钦. 广州湾海洋鱼类的石油烃[J]. 海洋科学, 1990, (3): 36-39.
Jia Xiaoping, Lin Qin. Petroleum hydrocarbons in marine fish from Guangzhou Bay[J]. Marine Sciences, 1990, (3): 36-39.
- [6] Ma H Q, Song Q, Wang X C. Accumulation of petroleum hydrocarbons and heavy metals in clams (*Ruditapes philippinarum*) in Jiaozhou Bay, China[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2009, 27: 887-897.
- [7] 韦蔓新, 童万平, 赖廷和, 等. 钦州湾内湾贝类养殖海区水环境特征及营养状况初探[J]. 黄渤海海洋, 2001, 19(4): 51-55.
Wei Manxin, Tong Wanping, Lai Tinghe, et al. A preliminary study on the water environment characteristics and nutrient status of the shellfish culture area in the inner Qinzhou Bay[J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai seas, 2001, 19(4): 51-55.
- [8] 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.
Yang Bin, Fang Huaiyi, Zhong Qiuping, et al. Distribution characteristics of nutrients and eutrophication assessment in summer in Qinzhou Bay[J]. Marine Sciences Bulletin, 2012, 31(6): 640-645.
- [9] 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.
Yang Bin, Zhong Qiuping, Zhang Chenxiao, et al. Status analysis and evaluation on nutrients in Qinzhou Bay in spring[J]. Environmental Monitoring in China, 2013, 29(5): 103-106.
- [10] 闭文妮, 唐艳葵, 洪鸣, 等. 钦州湾无机氮入海通量及其富营养化症状分析[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(1): 174-178.
Bi Wenni, Tang Yankui, Hong Ming, et al. Estimation of the flux of inorganic nitrogen and analysis of eutrophic symptoms in Qinzhou Bay[J]. Environmental Science & Technology, 2014, 37(1): 174-178.
- [11] 杨斌, 鲁栋梁, 钟秋平, 等. 钦州湾近岸海域水质状况及富营养化分析[J]. 中国环境监测, 2014, 30(3): 60-64.
Yang Bin, Lu Dongliang, Zhong Qiuping, et al. An analysis on water quality and eutrophication in the coastal area of Qinzhou Bay[J]. Environmental Monitoring in China, 2014, 30(3): 60-64.
- [12] 杨斌, 钟秋平, 鲁栋梁, 等. 钦州湾海域 COD 时空分布及对富营养化贡献分析[J]. 海洋科学, 2014, 38(3): 20-25.
Yang Bin, Zhong Qiuping, Lu Dongliang, et al. Temporal and spatial distributions of COD and its contribution to the eutrophication in the Qinzhou Bay[J]. Marine Sciences, 2014, 38(3): 20-25.
- [13] 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.
Wei Manxin, He Benmao. Change trend of water environment index in recent 20a in Qinzhou Bay III. Content distribution of trace metal and its source analysis[J]. Marine Environmental Science, 2004, 23(1): 29-32.
- [14] 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.
Yang Bin, Zhong Qiuping, Li Zonghuo, et al. Distribution and pollution evaluation of heavy metals in the surface seawaters of Qinzhou Bay[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2012, 40(11): 146-147, 173.
- [15] 韦蔓新, 何本茂. 钦州湾近 20a 来水环境指标的变化趋势 V 浮游植物生物量的分布及其影响因素[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(3): 253-257.
Wei Manxin, He Benmao. Change trend of water environment index in last 20 a of Qinzhou Bay V. Biomass distribution of phytoplankton and effect factors[J]. Marine Environmental Science, 2008, 27(3): 253-257.
- [16] 杨斌, 钟秋平, 张晨晓, 等. 钦州湾叶绿素 a 和初级

- 生产力时空变化及其影响因素[J]. 环境科学学报, 2015, 35(5): 1333-1340.
- Yang Bin, Zhong Qiuping, Zhang Chenxiao, et al. Spatio-temporal variations of chlorophyll a and primary productivity and its influence factors in Qinzhou Bay[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2015, 35(5): 1333-1340.
- [17] 韦蔓新, 何本茂. 钦州湾近 20a 来水环境指标的变化趋势 II 油类的分布特征及其污染状况[J]. 海洋环境科学, 2003, 22(2): 49-52.
- Wei Manxin, He Benmao. Trend of environmental index in the recent 20 years in QinZhou Bay II. Characteristic distribution and polluted situation of oils[J]. Marine Environmental Science, 2003, 22(2): 49-52.
- [18] GB17378.4-2007 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社.
- GB17378.4-2007 Specification for marine monitoring[S]. Beijing: Standards Press of China.
- [19] 杨斌, 钟秋平, 鲁栋梁, 等. 钦州湾秋季营养盐分布特征及营养状态分析研究[J]. 环境科学与管理, 2013, 38(12): 40-44.
- Yang Bin, Zhong Qiuping, Lu Dongliang, et al. Analysis on Distribution Characteristics and Nutritional Status of Nutrients of Qinzhou Bay in Autumn[J]. Environmental Science and Management, 2013, 38(12): 40-44.
- [20] Parsons T R, Maita Y, Lalli C M. A manual for chemical and biological methods for seawater analysis[M]. Pergamon Press, Oxford, 1984.
- [21] 杨斌, 张晨晓, 钟秋平, 等. 钦州湾表层海水温度盐度及 pH 值时空变化[J]. 钦州学院学报, 2012, 27(3): 1-5.
- Yang Bin, Zhang Chenxiao, Zhong Qiuping, et al. Temporal and spatial variations of temperature, salinity and pH of surface seawater in Qinzhou Bay[J]. Journal of Qinzhou University, 2012, 27(3): 1-5.
- [22] 林美芳, 钟秋平. 广西钦州湾营养状况季节分析与评价研究[J]. 环境科学与管理, 2014, 39(6): 159-163.
- Lin Meifang, Zhong Qiuping. Seasonal variation and evaluation on nutrients in Qinzhou Bay of Guangxi Province[J]. Environmental Science and Management, 2014, 39(6): 159-163.
- [23] GB3097-1997 海水水质标准[S]. 北京: 中国标准出版社.
- GB3097-1997 Marine water quality standard[S]. Beijing: Standards Press of China.
- [24] 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.
- Zhou Aiguo, Cai Hesheng. Geological environmental quality evaluation theory and application[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1998.
- [25] 邱绍芳, 侍茂崇, 陈波. 钦州湾潮流特征分析[J]. 海洋通报, 2003, 22(3): 9-14.
- Qiu Shaofang, Shi Maochong, Chen Bo. Analysis of tidal current characteristics in Qinzhou Bay[J]. Marine Science Bulletin, 2003, 22(3): 9-14.
- [26] 高劲松, 陈波, 陆海生, 等. 钦州湾潮流场及污染物输运特征的数值研究[J]. 广西科学, 2014, 21(4): 345-350.
- Gao Jingsong, Chen Bo, Lu Haisheng, et al. Numerical study on the characteristics of tidal current field and pollutant transport in Qinzhou Bay[J]. Guangxi Sciences, 2014, 21(4): 345-350.
- [27] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志, 十二分册: 广西海湾[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.
- Compiling Committee of Records of China Bays. Records of China Bays 12th Fascicule: The bays in Guangxi[M]. Beijing: Ocean Press, 1993.
- [28] 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.
- Marine Environmental Monitoring Center of Guangxi Province. Environmental Quality Report of Guangxi inshore in 2006~2010[R]. Beihai: Marine Environmental Monitoring Center of Guangxi Province, 2011.
- [29] 郝林华, 孙丕喜, 姜美洁, 等. 桑沟湾海域石油烃的分布特征及其与环境因子的相关性[J]. 海洋科学进展, 2011, 29(3): 386-394.
- Hao Linhua, Sun Pixi, Jiang Meijie et al. Characteristics of petroleum hydrocarbon distribution and its relationship with environmental factors in Sanggou Bay[J]. Advances in Marine Science, 2011, 29(3): 386-394.
- [30] 李雪英, 孙省利, 赵利容, 等. 流沙湾海水中石油烃的时空分布特征研究[J]. 生态环境学报, 2011, 20(5): 908-912.
- Li Xueying, Sun Xingli, Zhao Lirong et al. Temporal and spatial distribution of oil hydrocarbon in seawater in Liusha Bay[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2011, 20(5): 908-912.
- [31] Riaz M R, Edalat M. Prediction of the rate of oil removal from seawater by evaporation and dissolution[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 1996, 16(4): 291-300.
- [32] 李文森, 杨庆霄, 徐俊英. 影响海水中矿物颗粒对石油烃吸附过程的因素研究[J]. 海洋环境科学, 1991, 10(2): 42-45.
- Li Wensen, Yang Qingxiao, Xu Junying. Study effect factors for mineral particles on the absorption process of the petroleum hydrocarbons in seawater[J]. Marine Environmental Science, 1991, 10(2): 42-45.
- [33] 尹海龙, 武周虎. 石油在水中悬浮物上的吸附研究[J]. 海洋环境科学, 2001, 20(3): 34-37.
- Yin Hailong, Wu Zhouhu. Study on the property of oil adsorption by suspension in water[J]. Marine Environmental Science, 2001, 20(3): 34-37.
- [34] Kim M, Yim U H, Hong S H, et al. Hebei Spirit oil spill monitored on site by fluorometric detection of residual oil in coastal waters off Taean, Korea[J]. Marine Pollu-

- tion Bulletin, 2010, 60(3): 383-389.
- [35] 王宪, 徐鲁荣, 李凌云, 等. 大亚湾大鹏澳水体石油烃含量变化及其与环境因子的关系[J]. 台湾海峡, 2002, 21(2): 167-171.
Wang Xian, Xu Lurong, Li Lingyun, et al. Relationship between the distribution of petroleum hydrocarbon and environmental factor in Dapengao, Daya Bay[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2002, 21(2): 167-171.
- [36] 宋云利, 崔毅, 孙耀, 等. 桑沟湾养殖海域营养状况及其影响因素分析[J]. 海洋水产研究, 1996, 17(2): 41-51.
Song Yunli, Cui Yi, Sun Yao, et al. Study on nutrient state and influencing factors in Sanggou Bay[J]. Marine Fisheries Research, 1996, 17(2): 41-51.
- [37] 孙丕喜, 张朝晖, 郝林华, 等. 桑沟湾海水中营养盐分布及潜在性富营养化分析[J]. 海洋科学进展, 2007, 25(4): 436-445.
Sun Pixi, Zhang Zhaohui, Hao Linhua, et al. Analysis of nutrient distributions and potential eutrophication in seawater of the Sanggou Bay[J]. Advances in Marine Science, 2007, 25(4): 436-445.
- [38] 王江涛, 李雪莲, 赵卫红, 等. 胶州湾石油烃的含量变化及其与环境因子的相互关系[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2008, 38(2): 319-322.
Wang Jiangtao, Li Xuelian, Zhao Weihong, et al. The variation of petroleum hydrocarbon concentration and the relationship between petroleum hydrocarbon and environmental factors in Jiaozhou Bay[J]. Periodical of Ocean University of China (Natural Sciences), 2008, 38(2): 319-322.
- [39] Smith S V. Phosphorus versus nitrogen limitation in the marine environment[J]. Limnology and Oceanography, 1984, 29(1): 1149-1160.
- [40] Piehler M F, Swistak J G, Pinckney J L, et al. Stimulation of diesel fuel biodegradation by indigenous nitrogen fixing bacterial consortia[J]. Microbial Ecology, 1999, 38(1): 69-78.
- [41] 王宪, 田春雨, 郑盛华. 湄洲湾表层海水石油烃的分布特征分析[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2008, 29(2): 241-244.
Wang Xian, Tian Chunyu, Zheng Shenghua. Research on the distributed characteristics of petroleum hydrocarbon in surface seawater of Meizhou Bay[J]. Journal of Huaqiao University (Natural Science), 2008, 29(2): 241-244.
- [42] Oviatt C, Keller A, Reed L. Annual primary production in Narragansett Bay with no bay-wide winter-spring phytoplankton bloom[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2002, 54(6): 1013-1026.
- [43] Glé C, Del Amo Y, Sautour B, et al. Variability of nutrients and phytoplankton primary production in a shallow macrotidal coastal ecosystem (Arcachon Bay, France)[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2008, 76(3): 642-656.
- [44] Redfield A C, Ketchum B H, Richards F A. The influence of organisms on the composition of sea water[C]// Hill M N. The Sea, 1963, volume 2. New York: Interscience Press, 26-77.
- [45] Wang X, Chen Y W, Li W Q, et al. Distribution features of oil and preventive countermeasures in Meizhou Bay, China[J]. Journal of Environmental Science, 1999, 11(1): 18-22.
- [46] 蔡明刚, 钱爱红, 王宪, 等. 大亚湾大鹏澳油污染状况和自净能力的研究-污染有机物可降解性研究[J]. 海洋通报, 2003, 22(5): 34-37.
Cai Minggang, Qian Aihong, Wang Xian, et al. Study on the condition of oil pollution and self-purification at Dapeng'ao, Daya Bay[J]. Marine Science Bulletin, 2003, 22(5): 34-37.

Spatiotemporal variations of petroleum hydrocarbon and its influencing factors in seawater of Qinzhou Bay

YANG Bin^{1, 2, 3}, ZHONG Qiu-ping^{1, 2}, ZHANG Chen-xiao^{1, 2}, LU Dong-liang^{1, 2, 3}, LIANG Yan-ru^{1, 2}, LI Shang-ping⁴

(1. Guangxi Key Laboratory of Beibu Gulf Marine Biodiversity Conservation, Qinzhou University, Qinzhou 535099, China; 2. Key Laboratory of Exploitation and Protection of Beibu Gulf Marine Biological Resources, Guangxi Colleges and Universities, Qinzhou University, Qinzhou 535099, China; 3. Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 4. School of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi University for Nationalities, Nanning 530006, China)

Received: Feb., 24, 2015

Key words: petroleum hydrocarbon; spatiotemporal variations; influence factor; pollution assessment; Qinzhou Bay

Abstract: In this study, we conducted four cruises in Qinzhou Bay, a typical aquaculture area in Qinzhou, Guangxi Zhuang Autonomous Region, from January to October 2009, to determine petroleum hydrocarbon (PHC) concentrations, to analyze the PHC pollution status in the surface seawater, and to determine the spatiotemporal variations of PHC and its influencing factors. Our results show that the concentrations of PHC ranged from 0.001–0.095 mg/L, with an average of 0.022 mg/L, and the PHC concentrations varied seasonally as follows: summer>autumn>winter>spring. The seawater of Qinzhou Bay displayed different PHC pollution levels in summer and winter, and seawater quality fell within the national seawater quality standards for the first and second classes of seawater in spring and autumn. The PHC concentration in the outer bay was higher than that in the inner bay in spring and autumn, and vice versa in summer and winter. Aquaculture activities and land runoff were the main factors influencing spatiotemporal variations of PHC in the surface seawater of Qinzhou Bay. The PHC concentration corresponds well with water temperature and with dissolved oxygen in spring, and is positively correlated with dissolved inorganic phosphate in summer. Overall, while Qinzhou Bay is only moderately contaminated with PHC at present, steps could be taken to improve its self-purification ability.

(本文编辑: 康亦兼)