

流沙湾海水中石油烃的时空分布特征研究

李雪英, 孙省利*, 赵利容, 张瑜斌

广东海洋大学海洋资源与环境监测中心, 广东 湛江 524088

摘要: 于 2008 年 2 月(冬季)、5 月(春季)、8 月(夏季)和 11 月(秋季)对流沙湾进行了 4 次采样考察, 研究分析了流沙湾表层海水中石油烃质量浓度的平面分布和季节变化特征。结果表明, 在 2008 年度, 流沙湾表层海水石油烃的质量浓度为 0~1.930 mg·L⁻¹, 平均值为 0.080 mg·L⁻¹, 季节差异比较明显, 呈春、冬、夏、秋季依次减小的变化趋势, 冬、春季节海水呈现不同程度石油污染, 夏、秋季节属 I、II 级水质, 整个流沙湾海域表层海水石油烃的平面分布相对比较均匀。在内外湾分布上, 冬、春、秋季节外湾大于内湾, 而夏季内湾大于外湾。流沙湾的水产养殖活动是其海水石油烃时空分布的主要影响因素。

关键词: 流沙湾; 石油烃; 时空分布

中图分类号: X55

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2011) 05-0908-05

目前, 石油污染成为全球日益关注的问题。石油烃的化学成分较为复杂, 所涉及的分子量大小范围很宽^[1], 一般而言, 低分子多环芳烃多具有高毒性, 且难以被降解, 而部分高分子多环芳烃会形成致癌的活性代谢产物^[2]。所以, 一方面, 海洋石油污染具有难以消除的特点^[3]; 另一方面, 石油污染对海洋生态系统的影响较为严重, 过多的石油烃进入水体后, 由于其生物毒性, 会造成生物的大量死亡, 水体中的石油烃又可以通过颗粒物的吸附沉降进入海底沉积物中^[4], 致使海底因为有机物的富集而出现厌氧环境, 且石油烃的进入导致沉积物中海水渗透量倍减, 海底生物群落的氧气、营养物质和食物的供应就会随之减少, 对海底生物群落造成有害的影响^[5-6]。

流沙湾是一个半封闭型港湾, 属于南海海域, 位于雷州半岛西南部, 水域约近 70 km², 周围无大河注入, 属热带季风性气候, 日光充足, 气候温暖, 从珍珠的生态学上来看, 是非常适宜的养殖生产基地, 现已成为我国“南珠”的主要产区之一。近期又发现流沙湾海底分布着共约 800~900 hm² 的海草场, 因其规模大、生物多样性丰富、易于管理与保护, 被拟定为中国的海草示范保护区。另外, 流沙湾是天然良港, 两侧分别设有渔港和军港, 船只往来频繁, 船只所带来的含油洗舱水和生活污水直接排放入海, 造成流沙湾石油烃质量浓度逐显升高。本文以流沙湾为考察对象, 分析了其表层海水中石油烃质量浓度的平面分布和季节变化特征, 同时探讨了石油烃质量浓度与 TOC、多环芳烃的相关关系, 本研究可在一定程度上指示流沙湾的环境质量状况,

为流沙湾的生态环境保护提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

于 2008 年 2 月(冬季)、5 月(春季)、8 月(夏季)和 11 月(秋季)对流沙湾进行了一年的跟踪调查。考虑到湾内外的珍珠养殖区、网箱鱼排和大规模的扇贝养殖区, 采用了从湾内到湾外的站点布设格局, 共设置了 14 个站位, 其中站位 1~7 分布在外湾, 站位 8~14 分布在内湾, 具体站位分布如图 1。站位采用 GPS 定点。在各站位采集表层水样, 14 个站位的采样深度为 4.4~17.0 m, 表层为海面以下 0.5 m 的水层, 把 500 mL 棕色玻璃瓶固定于采油器中直接采样, 样品带回实验室后立即进行石油烃质量浓度测定。

1.2 测试方法

油类测定采用紫外分光光度法^[7], 使用仪器为

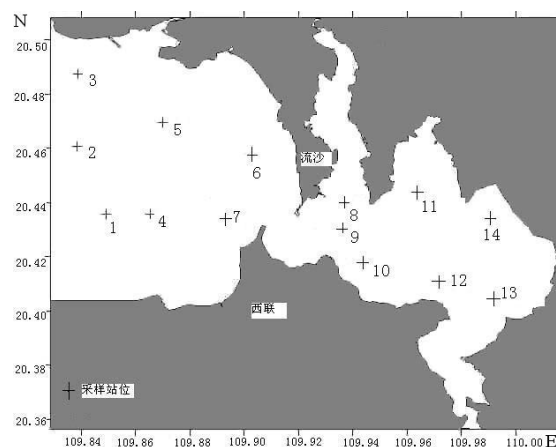


图 1 采样站位分布图

Fig.1 Sampling sites distribution

基金项目: 海洋公益性行业科研专项 (200905005-05); 广东省海洋渔业科技推广专项 (A200899J01)

作者简介: 李雪英(1981 年生), 女, 博士研究生, 主要从事海洋环境化学研究。E-mail: lxylly9831@163.com

*通信作者: 孙省利, 教授, 博士, 主要从事海洋环境化学研究。E-mail: xingsun@126.com

收稿日期: 2011-04-01

表 1 不同季节流沙湾石油烃质量浓度
Table 1 Oil contents of Liusha Bay in different seasons

季节	冬季	春季	夏季	秋季	平均值
ρ (石油烃)	0.006~0.110	0.041~1.930	0.010~0.090	nd~0.044	0.080
ρ (平均值)	0.055	0.219	0.032	0.014	
超标率	46.2%	71.4%	14.3%	0	
污染指数	1.1	3.7	0.6	0.3	评价标准 0.050
水质状况	轻污染	重污染	影响	允许	
总量	0~1.930				

岛津 UV-2450，其中 RSD<1.9%，回收率为 (97%±3%)，检出限 $3.5 \times 10^{-3} \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，使用波长 225 nm，分辨率 0.1 nm。

2 结果

2.1 不同季节流沙湾石油烃的平面分布特征

整体来看，如表 1，在 2008 年度流沙湾表层海水中石油烃的质量浓度为 $0\sim 1.930 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，平均值为 $0.080 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，超过了国家 I、II 级海水水质标准($0.050 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)^[8]，季节差异比较明显，冬、春季超标率较高，水质出现污染，夏、秋季石油烃质量浓度仍在 I、II 级水质标准范围内。

2.1.1 冬季

从图 2 可以看出，冬季时，整个流沙湾海域石油烃质量浓度呈外湾大于内湾的分布趋势，站点 1~7 分布在外湾，其石油烃质量浓度平均值为 $0.084 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，其中站点 2 最大为 $0.110 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，站点 3 最小为 $0.044 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，站点 8~14 分布在内湾，其石油烃质量浓度平均值为 $0.020 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，最大值出现在站点 13，为 $0.041 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，最小值出现在站点 8，为 $0.006 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。从地域分布来看，在外湾，石油烃质量浓度从湾两侧向中间呈逐渐增大的趋势；在内湾，石油烃质量浓度从内向外递减的趋势较为明显。

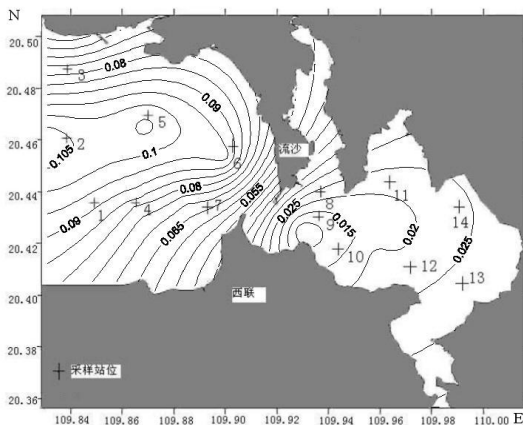


图 2 冬季流沙湾表层水石油烃的平面分布
Fig.2 The plane distribution of oil in surface seawater of Liusha Bay in winter

2.1.2 春季

图 3 显示，在春季，流沙湾海域外湾石油烃质

量浓度明显大于内湾，其平均值分别为 $0.351 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.086 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。从地域分布来看，在外湾，从流沙镇一侧海域到西联镇一侧海域石油烃质量浓度没有明显的变化趋势，而从内向外则呈递增趋势；在内湾，石油烃质量浓度从流沙镇一侧海域到西联镇一侧海域呈现递增趋势。

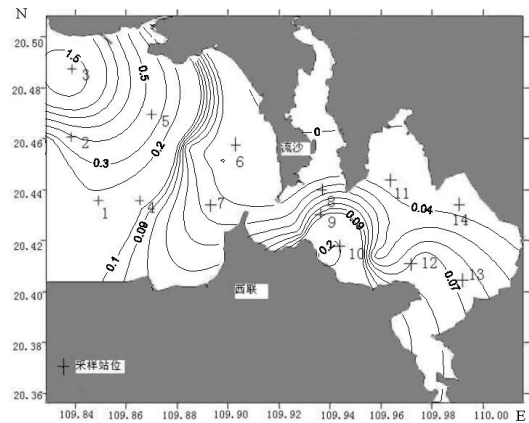


图 3 春季流沙湾表层水石油烃的平面分布
Fig.3 The plane distribution of oil in surface seawater of Liusha Bay in spring

2.1.3 夏季

从图 4 可以看出，夏季时，流沙湾海域的石油烃质量浓度仍是外湾大于内湾，其平均值分别为 0.045 和 $0.020 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。其中，内湾和外湾的最大值分别出现在站点 9 和站点 4，其值分别为 0.032 和 $0.090 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，最小值分别出现在站点 14 和站点 4，其值分别为 0.010 和 $0.012 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。从地域分布来看，在外湾，石油烃质量浓度从湾两侧向中间递增的趋势较为明显；在内湾，湾的两侧石油烃质量浓度基本无差异，且从内向外呈明显递增的趋势。

2.1.4 秋季

根据图 5，整个流沙湾石油烃的内外湾分布和冬、春、夏季相反，呈现内湾大于外湾的分布趋势，其平均值分别为 0.019 和 $0.010 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。其中，内、外湾石油烃质量浓度最大值分别出现在站点 11 和站点 1，最小值分别出现在站点 9 和站点 6。从石油烃的地域分布来看，在外湾，西联镇一侧海域的石油烃质量浓度稍高于流沙镇一侧海域；在内湾，

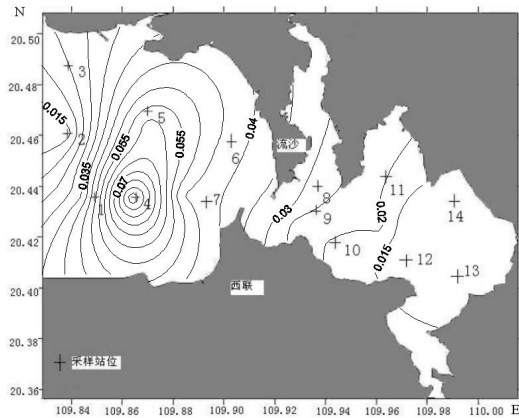


图4 夏季流沙湾表层水石油烃的平面分布
Fig.4 The plane distribution of oil in surface seawater of Liusha Bay in summer

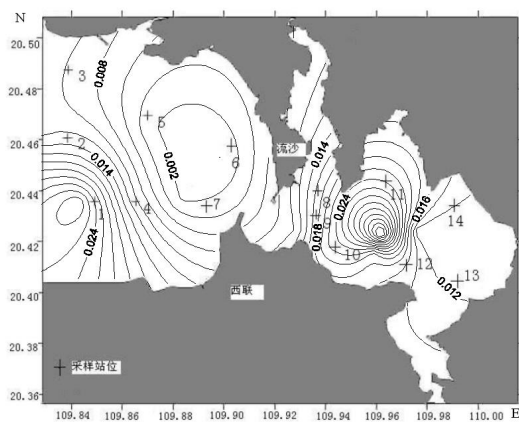


图5 秋季流沙湾表层水石油烃的平面分布
Fig.5 The plane distribution of oil in surface seawater of Liusha Bay in autumn

湾两侧海域的石油烃质量浓度高于中间海域。

2.2 流沙湾石油烃的季节变化和年度分布特征

根据表1, 整个流沙湾的石油烃分布存在明显的季节差异, 呈春、冬、夏、秋依次减小的趋势。春季石油烃质量浓度明显高于其他3个季节, 平均值为 $0.219 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 夏、秋季节石油烃质量浓度依次减小, 在秋季石油烃质量浓度达到最小, 其平均值为 $0.014 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 冬季石油烃质量浓度又有所回升, 平均值为 $0.055 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

从总年度来看, 24个站位中, 除站位3的石油烃质量浓度年平均值($0.502 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)偏大外, 其余13个站位相差不大, 其年平均值为 $0.026\text{--}0.085 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 其中最小值出现在站位12, 站位1、4和10的石油烃质量浓度年平均值稍偏高。总体来看, 流沙湾各站点间石油烃质量浓度年平均值的差异均在可变化范围之内, 即从全年来看, 整个流沙湾表层海水石油烃的平面分布相对比较均匀。

3 讨论

从流沙湾海水石油烃质量浓度的内外湾分布

来看, 冬、春、秋季节外湾大于内湾, 而夏季内湾大于外湾。推测其主要影响因素为内、外湾潮流特征存在差异和鱼虾贝类的养殖。整个流沙湾呈北西向葫芦形, 腰部有南北向沙嘴将港湾分成内湾和外湾, 流沙湾为日潮流海区, 其中外湾为规则日潮流, 内湾为不规则日潮流; 外湾潮流主要为顺时针的旋转流运动, 内湾为带有旋转流的往复流运动^[9], 这种潮流特征使内湾的海水流动性比较大, 且内湾靠近陆地, 潮汐所带来的海水冲击力要大于外湾, 所以在冬、春、秋季节外湾石油烃质量浓度大于内湾。另一方面, 流沙湾海域养殖总面积达到 13.6 km^2 , 占流沙湾海域总面积的 19.7% , 且主要分布在内湾。夏季是鱼虾贝类的生长旺季, 海上养殖作业繁忙, 产生更多的养殖污水和船舶废水, 致使夏季是内湾石油烃质量浓度大于外湾。

从石油烃质量浓度的平面分布来看, 站位3的石油烃质量浓度年平均值达到最大, 为 $0.502 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 最小值出现在12站位, 为 $0.026 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 在另外12个站位中, 站位1、2、4、5和10的石油烃质量浓度年平均值稍偏高, 大于 $0.050 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 站位6、7、8、9、11、13和14的石油烃质量浓度较低, 小于 $0.050 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。其中, 站位3处在外湾通往北部湾的出口处, 往来船只比较多, 且站位3处在贝类养殖区内, 所以此处的石油烃质量浓度较高。站位1、2、4、5都分布在外湾, 海上交通较为频繁, 石油烃质量浓度相对偏高, 站位10在大井角海军码头旁边, 处在航道上, 船舶含油废水的排放致使此站位石油烃质量浓度也较高。站位6、7处在湾口附近, 从地理位置来看, 其石油烃质量浓度应该比较高, 但因其不在养殖区内, 且偏离航道和码头, 所以石油烃的质量浓度反而较低。站位8、9、11、12、13和14处在内湾, 受潮汐和潮流的影响比较大, 石油烃扩散和降解速度较快, 故其质量浓度值较低。

从周年变化来看, 流沙湾海水石油烃质量浓度呈春、冬、夏、秋依次减小的趋势。出现这种现象主要是受水产养殖活动和气候变化的影响。流沙湾属于热带, 湾内海水温度周年范围为 $15.3\text{--}32 \text{ }^\circ\text{C}$, 平均 $25.8 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右, 年平均气温 $24.1 \text{ }^\circ\text{C}$, 年平均日照时数 2104.8 h ^[10]。湾内养殖主要以贝类、鱼类和虾蟹类为主, 其中贝类养殖面积为 12.5 km^2 , 占流沙湾水域养殖面积的 91.9% ^[11]。春季是经济贝类的繁殖季节^[10], 渔船的作业活动较为频繁, 产生较多的含油污水, 使海水中石油烃质量浓度增加; 另一方面, 此时光照不强, 石油烃的蒸发较弱, 所以春季的石油烃质量浓度达到最高。夏季时, 出现最高温($6\text{--}8$ 月平均水温 $30.4 \text{ }^\circ\text{C}$)^[10], 光照强度明显增大, 一方

面,石油烃蒸发、分解和溶解速率增大,同时平衡吸附量减小^[3],蒸发和分解使海水石油烃质量浓度降低,溶解和吸附量减小使石油烃质量浓度增大。而蒸发对于石油烃的去除起着重要的作用,在正常海表条件下,石油溶解的速率仅是蒸发的0.1%^[3],所以前者对石油烃质量浓度的影响要远大于后者;另一方面,石油烃可以被微生物降解,例如细菌、真菌、酵母菌、微藻类^[12-13],生物降解是石油烃从海水中去除的一个重要方式^[14],夏季海水出现最高温,微生物的活动能力随之提高,对石油烃的降解能力增强^[15],致使夏季海水石油烃质量浓度降低,且夏季流沙湾多出现暴雨天气,大量降雨可以稀释海水,所以夏季流沙湾海水石油烃质量浓度相对较低。到了秋季,一方面,鱼虾贝类的摄食活动会吸收部分石油烃,且石油烃的蒸发、分解和生物降解仍然较强,使海水石油烃质量浓度降低;另一方面,吸附沉降过程是海洋中石油烃的主要归宿之一,尤其是在浅海水域,吸附沉降过程尤为重要^[16]。秋季水温逐渐降低,海洋浮游生物逐渐开始死亡,其遗骸成为海洋颗粒物,石油烃被吸附沉降海底,从而使海水中的石油烃质量浓度降低,所以在秋季石油烃质量浓度达到最低。在冬季,一方面,海水温度降低,微生物的活动能力降低,生物降解减弱^[17],同时海水蒸发强度大幅度减弱;另一方面,冬季是珍珠收获的季节,相对繁忙的渔船作业引入含油污水,致使冬季的石油烃质量浓度又有所增高。

4 结论

(1) 在2008年度流沙湾表层海水中石油烃的质量浓度为0~1.930 mg·L⁻¹,平均值0.080 mg·L⁻¹,季节差异比较明显,呈春、冬、夏、秋依次减小的趋势,冬、春季节海水呈现不同程度石油污染,夏、秋季节属 I、II 级水质。

(2) 在内外湾分布上,冬、春、秋季节外湾大于内湾,而夏季节内湾大于外湾。

(3) 从全年来看,整个流沙湾海域表层海水石油烃的平面分布相对比较均匀。

(4) 流沙湾的水产养殖活动是其海水石油烃时空分布的主要影响因素。

参考文献:

- [1] MARTA R, NIKOS P, NICOLAS K. Bioremediation and toxicity determination of natural seawater polluted with weathered crude oil by salt-tolerant consortia in a SBR[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2006, 52: 1490-1493.
- [2] GONZALEZ J J, VIÑAS L, FRANCO M A, et al. Spatial and temporal distribution of dissolved/dispersed aromatic hydrocarbons in seawater in the area affected by the *Prestige* oil spill[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2006, 53: 250-259.
- [3] MOHAMMAD R R, MOHSEN E. Prediction of the rate of oil removal from seawater by evaporation and dissolution[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 1996, 16: 291-300.
- [4] KOUICHI O, MASAHIKO N, MINORU W, et al. Study of the effect of water-soluble fractions of heavy-oil on coastal marine organisms using enclosed ecosystems, mesocosms[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2003, 47: 78-84.
- [5] IN-YOUNG CHUNG, KYUNG-JIN CHO, KIYONORI HIRAOKA, et al. Effects of oil spill on seawater infiltration and macrobenthic community in tidal flats[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, 49: 959-963.
- [6] CHEONG C J, LEE J G, NISHIMA W, et al. Seawater infiltration into tidal flat or sandy beach sediment by wave action in enclosed bay[J]. *Journal of Japan Society on Water Environment*, 2000, 23: 619-623.
- [7] 国家质量监督局. GB17378.4-2007 海洋监测规范[s]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
General Administration of Quality Supervision of the People's Republic of China. GB17378.4-2007 The specification for marine monitoring[s]. Beijing: China Standard Press, 2007.
- [8] 国家海洋局. GB097-1997海水水质标准[s]. 北京: 海洋出版社, 1998.
State Oceanic Administration China. GB097-1997 Sea water quality standard[s]. Beijing: Oceanographical Press, 1998.
- [9] 张静, 孙省利, 吴灶和, 等. 广东流沙湾4个测站2个周日潮流观测的准调和分析[J]. *台湾海峡*, 2010, 29(3): 408-413.
ZHANG Jing, SUN Xingli, WU Zaohe, et al. Quasi-harmonic analysis of tidal current data collected over two days from four anchored stations in Liusha Bay, Guangdong Province[J]. *Taiwan Straits*, 2010, 29(3): 408-413.
- [10] 谢恩义, 申玉春, 叶宁. 流沙湾的底栖大型海藻调查[J]. *广东海洋大学学报*, 2009, 29(4): 30-35.
XIE Enyi, SHEN Yuchun, YE Ning. Benthic marine macroalgae survey in Liusha Gulf[J]. *Guangdong Ocean University Journal*, 2009, 29(4): 30-35.
- [11] 申玉春, 李再亮, 黄石成. 流沙湾海域水产养殖结构与布局调查分析[J]. *中国渔业经济*, 2010, 28(1): 105-109.
SHEN Yuchun, LI Zailiang, HUANG Shicheng. Analysis on the aquaculture structure and distribution in the Liusha Bay sea area[J]. *Chinese Fisheries Economics*, 2010, 28(1): 105-109.
- [12] ATLAS R M. Microbial hydrocarbon of petroleum hydrocarbon: an environmental perspective. *Microbial Rev*, 1981, 45: 180-209.
- [13] LEAHY J G, COLWELL R R. Microbial degradation of hydrocarbon in the environment. *Microbiol Rev*, 1990, 54: 305-309.
- [14] S. Khodijah C, Kazue T, Ryuji A, et al. Bioremediation of coastal areas 5 years after the *Nakhodka* oil spill in the Sea of Japan: isolation and characterization of hydrocarbon-degrading bacteria[J]. *Environment International*, 2004, 30: 911-922.
- [15] Moonkoo Kim, Un Hyuk Yim, Sang Hee Hong, et al. Hebei Spirit oil spill monitored on site by fluorometric detection of residual oil in coastal waters off Taean, Korea[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, 60: 383-389.
- [16] 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. The study of influence factors of mineral particulate matter absorbing oil hydrocarbon in seawater[J]. *Marine Environmental Science*, 1991, 10(2): 42-45.
- [17] Liv-Guri Faksness, Per Johan Brandvik. Distribution of water soluble components from Arctic marine oil spills—A combined laboratory and field study[J]. *Cold Regions Science and Technology*, 2008, 54: 97-105.

Temporal and spatial distribution of oil hydrocarbon in seawater in Liusha Bay

LI Xueying, SUN Xingli*, ZHAO Lirong, ZHANG Yubin

Monitoring Center for Marine Resources and Environments, Gangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China

Abstract : The seawater samples of Liusha Bay were separately collected in February (winter), May (spring), August (summer) and December (autumn) during 2008. The characteristic of plane distribution and seasonal variation of oil hydrocarbon in surface seawater was analyzed. The result showed that the value of oil content in surface seawater of Liusha Bay was 0~1.930 mg·L⁻¹ during 2008, with the average of 0.080 mg·L⁻¹, and oil content changed with a trend of spring > winter > summer > autumn . Seawater of Liusha Bay showed different degree oil pollution in winter and spring, and seawater quality belonged to I、II level in summer and autumn. The plane distribution of oil was relatively even in one year in surface seawater. Oil content of outer bay was higher than inner bay in winter, spring and autumn, and contrary in summer. The aquaculture activity was the primary factor which influence temporal and spatial distribution of oil hydrocarbon in seawater of Liusha Bay.

Key words : Liusha Bay; oil hydrocarbon; temporal and spatial distribution

更 正

我刊于 2011 年第 20 卷第 3 期刊登了《焚烧源二噁英的排放对周边土壤和植被污染的研究进展》一文，其中，有一笔误，“2 垃圾焚烧厂挥发性重金属的排放对周围土壤和植被的污染现状”应更改为“2 垃圾焚烧厂二噁英的排放对周围土壤和植被的污染现状”，特此更正，并向读者致歉。