

基于等级模型的考洲洋石油烃污染状况

蔡文贵, 林 钦*, 贾晓平, 甘居利, 吕晓瑜, 李纯厚

(农业部渔业生态环境重点开放实验室, 广东省渔业生态环境重点实验室, 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300)

摘要:通过等级模型的创建,在 GIS 的支持下,对 1999 年 2 月(枯水期)和 8 月(丰水期)考洲洋表层海水和表层沉积物的石油烃水平进行了综合的分析和评价。枯水期湾内表层海水的石油烃含量为 0.036~0.060mg/L,水平为 2~3 级,已受到一定程度的石油烃污染;丰水期表层海水的石油烃含量均低于 0.050mg/L,为 1~2 级水平,整个水域石油烃污染程度较轻。枯水期湾内表层沉积物石油烃含量的变化范围较大,为 $16.0\times10^{-6}\sim657.0\times10^{-6}$ (干重),处于 1~3 级水平,其中湾中部至北部沿岸大部分水域表层沉积物的石油烃水平相对较高,为 2~3 级水平,表明该片水域表层沉积物已受到一定程度的石油烃污染;丰水期湾内表层沉积物的石油烃污染程度较枯水期轻,整个水域的石油烃含量均低于 500.0×10^{-6} (干重),其中除吉隆河口附近水域的含量稍高,为 2 级水平外,其余绝大部分水域均为 1 级水平。通过 GIS 的加权运算,分别将表层海水和表层沉积物的石油烃水平进行综合的分级评价,评价结果显示考洲洋石油烃的综合水平在 2 个调查季节的变化趋势分别与表层沉积物石油烃的变化趋势极为相似,调查期间整个水域石油烃的综合污染水平较低,为 1~2 级水平。2 个调查航次相比,表层海水和表层沉积物石油烃平均含量均为枯水期>丰水期。而从各个站位石油烃的含量水平来看,除个别站位外,绝大多数站位表层海水和表层沉积物石油烃含量的季节变化趋势均表现为枯水期>丰水期。

关键词:等级模型;表层海水;表层沉积物;石油烃;GIS

文章编号:1000-0933(2005)10-2669-07 中图分类号:X131.2,X171 文献标识码:A

Integrated model-based analysis on the pollution status of petroleum hydrocarbons in Kaozhou Bay

CAI Wen-Gui, LIN Qin*, JIA Xiao-Ping, GAN Ju-Li, LÜ Xiao-Yu, LI Chun-Hou (Key Laboratory of Fishery Ecology Environment, Ministry of Agriculture & Guangdong Province, South China Sea Fisheries Research Institute, CAFS, Guangzhou 510300, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2669~2675.

Abstract: Supported by GIS, the concentration of petroleum hydrocarbons in the surface water and surface sediment, collected in February (dry season) and August (wet season) of 1999 in Kaozhou Bay, was analyzed and evaluated through the establishing of an integrated model.

In the dry season the concentration of petroleum hydrocarbons in the surface water ranged from 0.036 to 0.060 mg/L with the level from grade 2 to 3, indicating that the waters was polluted moderately. While in the wet season the concentration in the whole bay was lower than 0.050 mg/L with the level from grade 1 to 2, and it showed a slight degree of pollution in the waters.

For the surface sediment, the concentration of petroleum hydrocarbons in the dry season varied largely from 16.0×10^{-6} to

基金项目:广东省惠州市海洋渔业资源评价与规划资助项目(1998);广东省自然科学基金资助项目(033101);农业部渔业生态环境重点开放实验室开放基金资助项目(2003-1);农业部海洋与河口渔业重点开放实验室开放基金资助项目(开-03-07)

收稿日期:2004-08-26;修订日期:2005-01-12

作者简介:蔡文贵(1965~),男,广东省阳春市人,副研究员,主要从事渔业生态环境及 GIS 研究. E-mail: wenguicai@tom.com

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: nhscsq@tom.com

Foundation item: Marine Fisheries resources estimation and programming project of Huizhou City, Guangdong Province (1998); Guangdong Provincial Foundation of Natural Science (No. 033101); Opening Key Laboratory Foundation of Fishery Ecology Environment, Ministry of Agriculture (No. 2003-1); Opening Key Laboratory Foundation of Ocean and Estuary Fisheries, Ministry of Agriculture (No. Open-03-07)

Received date: 2004-08-26; **Accepted date:** 2005-01-12

Biography: CAI Wen-Gui, Associate professor, mainly engaged in fishery ecological environment and GIS application. E-mail: wenguicai@tom.com

657.0×10^{-6} (dry weight) with the level from grade 1 to 3. In most area from middle bay to north shore, the level was relatively higher with the grade of 2~3, which indicated the surface sediment was polluted moderately. The pollution level in the wet season was lower than that in the dry season. In the wet season, the concentration in the whole bay was lower than 500.0×10^{-6} (dry weight), and the pollution level in all area was grade 1 except in the nearby waters of Jilong estuary with grade 2 pollution level.

Through the weight calculation by GIS, the level of the petroleum hydrocarbons in the surface water and surface sediment was evaluated synthetically in classification, respectively. The result showed the variation trend of the synthetic level in the 2 seasons was almost the same as that in the surface sediment, respectively. The synthetic level in the whole bay was low with the grade from 1 to 2.

In the comparison between the 2 cruises of survey, the average concentration of petroleum hydrocarbons in surface water and surface sediment in the dry season was higher than that in the wet season. Except for several sampling stations, the concentration in surface water and surface sediment at most of the stations also showed the same trend.

Key words:integrated model, surface water, surface sediment, petroleum hydrocarbons, GIS

当前日趋严重的海洋石油污染,已引起世界各国的广泛关注。有关石油污染对海洋环境所造成的直接或潜在性的危害,也已成为国内外众多学者研究的重点对象^[1~3]。有关研究表明^[4~6],石油污染直接影响着海洋生物正常的生长发育,从而对海洋生态系统造成一定程度的危害;当环境中石油烃含量达到一定浓度时,海洋生物即发生致畸、致突变甚至致癌等“三致”效应;如果石油烃含量超过对仔虾幼鱼的安全浓度,则会严重杀伤仔虾幼鱼,而且可能危害某些贝类的胚胎幼体,在此范围内耐受力较差的浮游动物和浮游植物亦可能遭受明显伤害,甚至某些经济鱼、虾和贝类有可能因沾油污而失去其经济价值。

目前对石油污染的研究已经从海水环境和沉积物环境深入到海洋生物体内,其研究的广度和深度均得到了迅速的发展。但对于特定水域中石油污染水平的研究,则多侧重于分别对海水环境、沉积物环境或海洋生物个体进行评价^[7~9],而利用等级模型将上述 3 种因素综合起来进行评价的研究,则较为少见。因此本文拟从这一角度出发,通过等级模型的创建,在地理信息系统(GIS)的支持下,对考洲洋水域表层海水和表层沉积物石油烃的综合污染水平进行评价,旨在为该湾水产养殖业的合理化规划和可持续性发展提供科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 站位布设与样品采集

考洲洋位于粤东沿岸,是广东省重要的渔业养殖水域之一。1999 年 2 月(枯水期)和 8 月(丰水期)分别对考洲洋进行了 2 个航次的调查,调查站位的布设如图 1 所示。每个航次均分别采集各个站位的表层海水和表层沉积物。样品经预处理后带回实验室内保存待测定,样品的保存温度为 4℃,保存时间不超过 10d。

1.2 分析方法

1.2.1 样品分析和测定 各种样品的采集、分析和测定均按《海洋监测规范》^[10]所规定的方法进行。其中海水样品使用采样瓶采集,并注入加有 0.5ml 浓硫酸固定液的棕色瓶中保存。海水样品和沉积物样品均采用紫外分光光度法进行测定^[10]。

1.2.2 等级模型 我国《海水水质标准》(GB3097-1997)^[11]、《渔业水质标准》(GB11607-89)^[12]和《海洋沉积物质量》(GB18668-2002)^[13]根据石油烃含量将海水和沉积物划分为 3 类:第 1 类(渔业水质标准)分别为 $\leq 0.05\text{mg/L}$ (海水,下同)和 $\leq 500 \times 10^{-6}$ (沉积物,干重,下同),第 2 类分别为 $\leq 0.30\text{mg/L}$ 和 $\leq 1000 \times 10^{-6}$,第 3 类分别为 $\leq 0.50\text{mg/L}$ 和 $\leq 1500 \times 10^{-6}$ 。有关研究表明^[14~16],未受污染的海水和沉积物其石油烃含量一般分别小于 0.01mg/L 和 50×10^{-6} ;当海水石油烃含量为 $0.01 \sim 0.10\text{mg/L}$ 时,在 24h 内即可使鱼、虾和贝类产生异味;当海水石油烃含量达到 0.04mg/L 时,该浓度已达到或超过对某些生物产生亚致死效应的阈值;受污染的底质石油烃含量范围较宽,一般为 $n \times 10^2 \times 10^{-6} \sim n \times 10^3 \times 10^{-6}$ (干重, $n < 10$)。

在参照上述标准及有关文献的基础上,提出 1 个等级模型,将海水和沉积物中的石油烃水平按污染程度分为 5 个等级:清洁、较清洁、污染、较强污染和严重污染。各评价等级的具体划分见表 1。

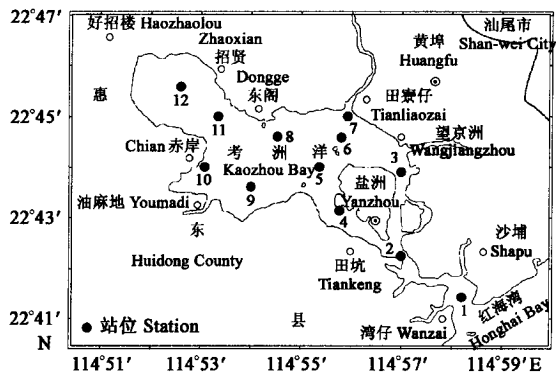


图 1 考洲洋养殖水域调查站位示意图

Fig. 1 Sampling stations in Kaozhou Bay

表 1 石油烃污染等级模型

Table 1 Grade model for the pollution of petroleum hydrocarbons

项目 Item	污染等级 Pollution grade				
	1	2	3	4	5
表层海水 Surface water (mg/L)	<0.01	0.01~0.05	005~0.30	0.30~0.50	>0.50
表层沉积物(×10 ⁻⁶ ,干重) Surface sediment(×10 ⁻⁶ ,DW)	<100	100~500	500~1000	1000~1500	>1500
污染效应 Pollution effect	清洁 Clear	较清洁 Relative clear	污染 Polluted	较强污染 Strong polluted	严重污染 Serious polluted

1.2.3 总石油烃水平综合评价 采用 ArcGIS 的空间分析模块(Spatial Analysis)^[17]对考洲洋石油烃污染水平进行综合评价。评价过程中首先采用 Kriging 插值法^[18]对调查水域的表层海水和表层沉积物的石油烃含量水平分别进行插值计算,同时调用模块的加权平均复合程序和数学运算模型^[19],按照上述等级模型所划分的污染等级标准,分别对海水和沉积物石油烃进行分级评价,然后赋予这 2 种因子相应的权重值,在此基础上对其分级评价结果进行加权平均和整合,从而确定调查水域石油烃的综合分级水平。公式如下^[19]:

$$G_{\rho} = W_i C_{ip}$$

式中, G_{ρ} 表示 ρ 点的最终结果值, W_i 表示第 i 个要素的权重(本文中海水石油烃和沉积物石油烃取相等的权重值,均为 0.5), C_{ip} 表示第 i 个要素在 ρ 点的类别的分级。综合评价流程如图 2 所示。

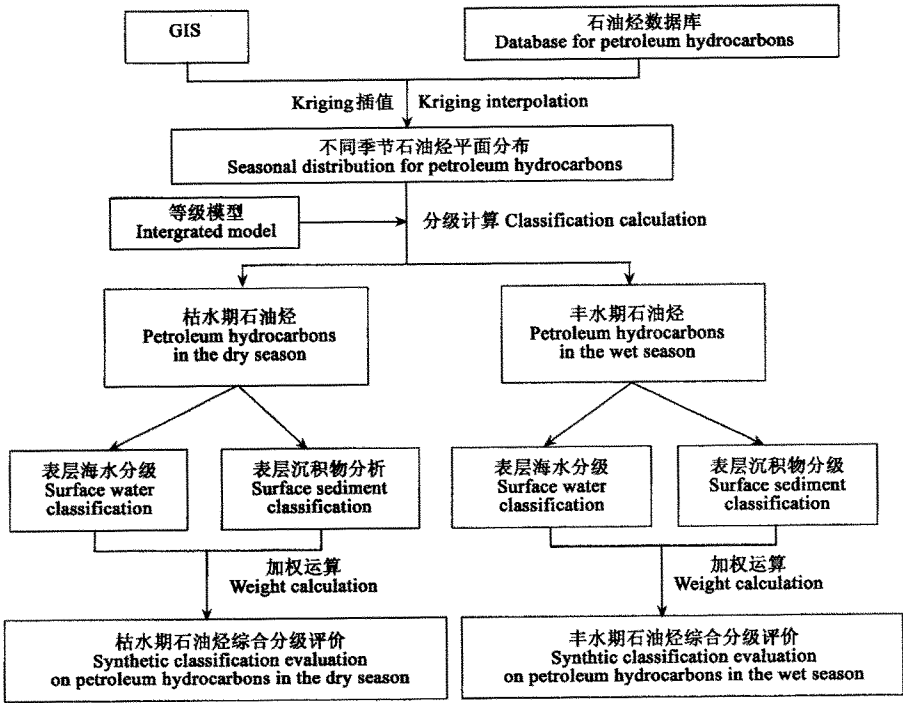


图 2 石油烃综合评价流程示意图

Fig. 2 Synthetic evaluation procedure for petroleum hydrocarbons

2 结果

表 2 列出了考洲洋枯水期和丰水期石油烃含量的测定结果。

表 2 考洲洋表层海水和表层沉积物中石油烃的含量

Table 2 Concentrations of petroleum hydrocarbons in surface water and surface sediment of Kaozhou Bay

项目 Item	枯水期 Dry season	丰水期 Wet season
表层海水 Surface water (mg/L)	0.036~0.060 (0.046)	0.018~0.050 (0.030)
表层沉积物 Surface sediment (×10 ⁻⁶ , dry weight)	16.0~657.0 (175.9)	3.0~403.2 (98.5)

括号内数据为平均值 Data in the brackets are mean value

2.1 海水石油烃

枯水期绝大部分水域表层海水的石油烃水平为 2 级,最高达 3 级,分布于湾口和湾内河口附近的小片水域中,整个湾内石油烃的污染程度为较清洁至污染水平,表明表层海水已受到一定程度的石油烃污染(图 3)。丰水期石油烃的变化趋势与枯水期相似,但污染程度要轻得多,其含量均低于 0.05mg/L,除湾西北部水域为 1 级水平外,其余绝大部分水域均为 2 级水平,整个水域呈清洁或较清洁水平,未受到明显的石油烃污染(图 3)。

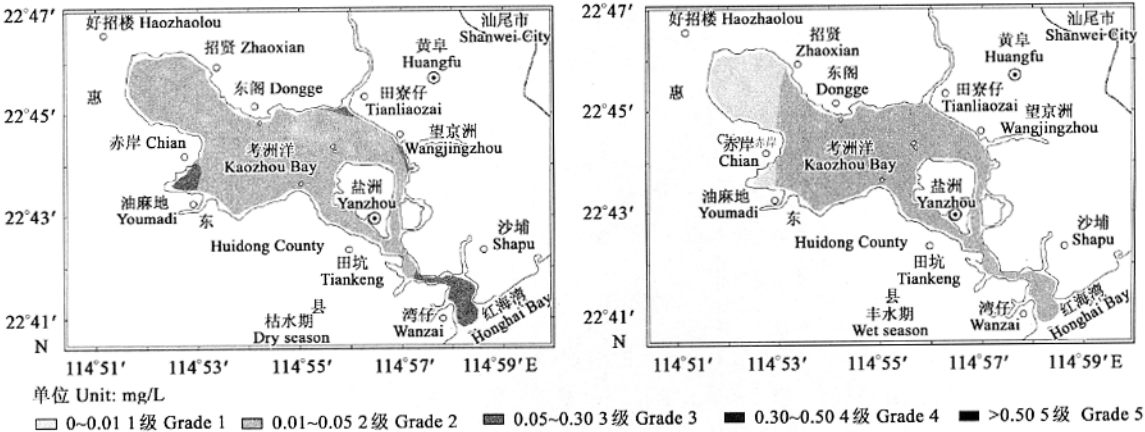


图 3 考洲洋表层海水石油烃平面分布

Fig. 3 Horizontal distribution of the petroleum hydrocarbons in the surface water of Kaozhou Bay

2.2 沉积物石油烃

图 4 显示了考洲洋表层沉积物石油烃在枯水期和丰水期的平面分布趋势。在枯水期,湾中部至北部沿岸大部分水域表层沉积物的石油烃水平相对较高,为 2 级水平,个别水域达 3 级水平,表明该片区水域表层沉积物的石油烃为较清洁至污染水平,已受到一定程度的石油烃污染,其余水域表层沉积物的石油烃水平为 1 级,处于清洁状态。与枯水期相比较,丰水期湾内表层沉积物的石油烃污染程度较轻,除吉隆河口附近水域的表层沉积物为 2 级水平,处于较清洁状态外,其余绝大部分水域的表层沉积物均为 1 级水平,处于清洁状态。

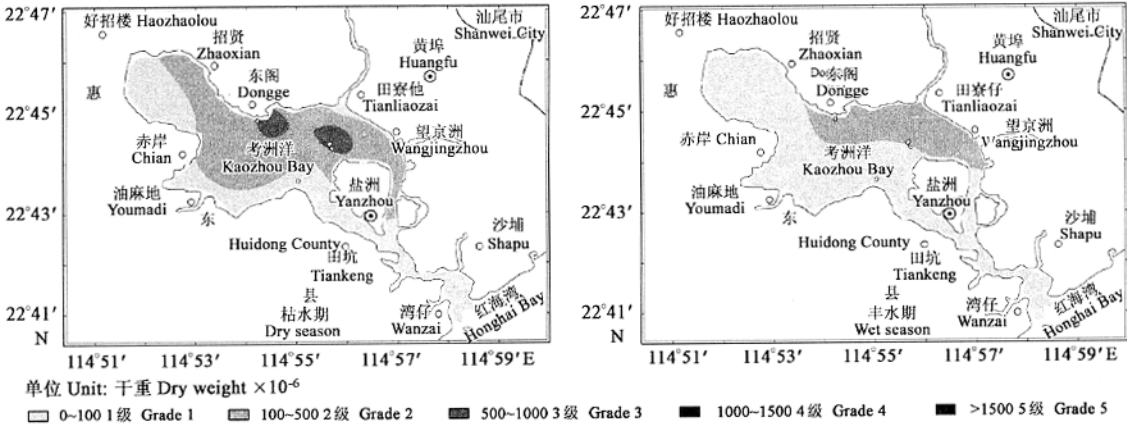


图 4 考洲洋表层沉积物石油烃平面分布

Fig. 4 Horizontal distribution of the petroleum hydrocarbons in the surface sediment of Kaozhou Bay

2.3 石油烃综合评价

通过 GIS 的加权运算,分别将枯水期和丰水期表层海水和表层沉积物的石油烃水平进行综合的分级评价,评价结果如图 5 所示。从图 5 可以看出,经过综合分级评价,考洲洋石油烃的综合水平在 2 个调查季节的变化趋势分别与表层沉积物石油烃的变化趋势极为相似,其等级水平均在 2 级以下。枯水期除湾的西北侧部分水域和湾南侧沿岸水域石油烃的综合水平为 1 级,处

于清洁状态外,其余大部分水域均为2级,为较清洁状态,而丰水期石油烃的综合水平更低,除湾口的小片水域和吉隆河口附近水域的石油烃达2级水平,处于较清洁状态外,其余水域均为1级水平,处于清洁状态。总体上来看,2个航次的分析结果表明考洲洋石油烃的综合污染等级较低,处于清洁或较清洁水平。

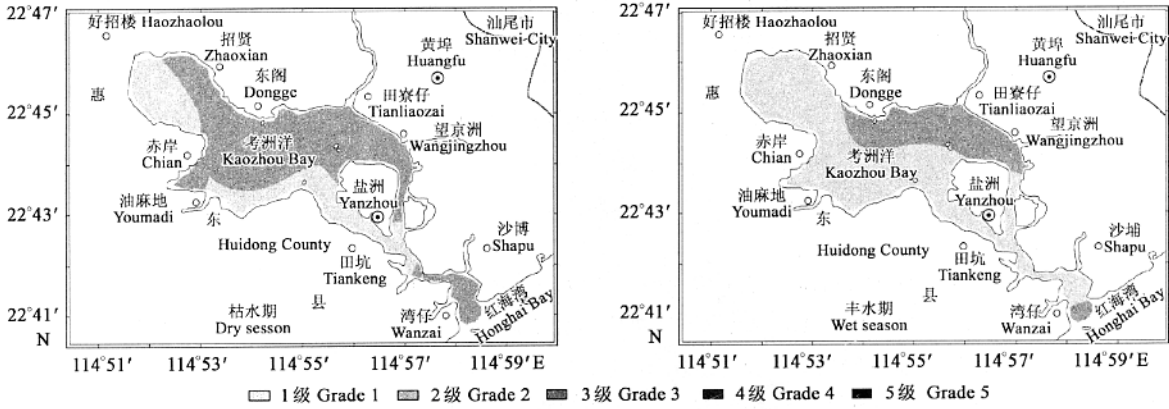


图5 考洲洋石油烃综合评价

Fig. 5 Synthetic evaluation on the petroleum hydrocarbons in Kaozhou Bay

2.4 石油烃季节变化

无论是表层海水或表层沉积物,其石油烃平均含量的季节变化趋势均表现为枯水期>丰水期(表2和图6)。从各个站位的石油烃含量水平来看,在表层海水中除4号站和8号站的石油烃含量在2个调查季节中相差不大外,其余站位石油烃含量的变化趋势均为枯水期>丰水期(丰水期12号站没有采集表层海水样品),同时各站位的含量水平都较为接近;而表层沉积物也表现出与此相似的变化趋势,仅在4号站和7号站中出现丰水期>枯水期的现象,其余站位均为枯水期>丰水期,同时在靠近吉隆河口的6、7号站和8号站,其石油烃含量均远高于其它站位。

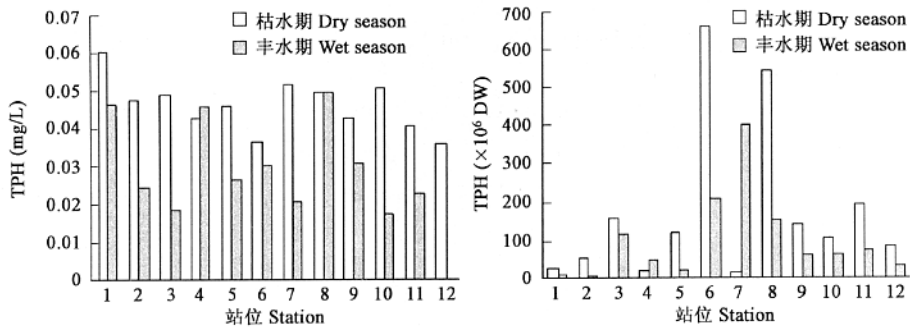


图6 考洲洋各站位石油烃的季节变化

Fig. 6 Seasonal variation of the petroleum hydrocarbons at the various stations in Kaozhou Bay

3 讨论和结语

3.1 陆源径流的影响

考洲洋是一个近乎封闭的海湾,其地理特征十分独特,来自沿岸的陆源排放物对湾内环境的影响较大。同期进行的污染源调查分析表明,考洲洋及其主要河流沿岸并无规模化的石油化工企业,经沿岸河流(如吉隆河)带入考洲洋的污染源主要有城镇生活污水、工业污水和皮革厂的固体废弃物等,其污染物的主要成分为氮、氮、有机物、COD以及皮革厂的固体废弃物。因此陆源径流所含石油烃相对较少,湾内石油烃主要来自运输船舶所排放的含油污水(如压舱水)和突发性的漏油,其含量和分布趋势受涨、落潮和雨汛的影响较大。根据有关资料,考洲洋及其附近地区丰水期的降雨量较多,占全年的82.8%,与枯水期相比,其陆源径流量大幅增大,因此明显地对湾内的石油烃起到了一定的稀释和迁移至湾外的作用。由陆源径流所携带的悬浮物及其吸附的石油烃在吉隆河口因流速减弱而发生大量沉积或沉降^[20],因此导致该区域表层沉积物中石油烃的含量高于湾内其他水域,这一现象与图3所显示的表层沉积物石油烃的分布趋势相吻合。至于4号站和7号站沉积物中石油烃含量为丰水期>枯水

期,表现出与其他站位不同的变化趋势,应为偶然现象,其具体原因尚需进一步研究。

3.2 水温的影响

有关研究表明^[21,22],日照时间的增长以及水温的升高有助于石油组分的光反应作用,从而促进石油烃的降解。在同期的调查中,丰水期的平均水温为 28.9℃,枯水期为 21.0℃,由此可见丰水期的日照时间和平均水温均远高于枯水期。因此,丰水期湾内石油烃除受到陆源径流的“稀释”和“扩散”作用外,光反应对石油组分的降解也一定程度降低了该时期湾内的石油烃水平。

3.3 船舶运输的影响

由于考洲洋水产养殖业的迅速发展,整个湾内遍布了各种类型的养殖品种。在养殖过程中,机动船只成为最主要的交通运输工具,在涨、落潮和水流的作用下,船舶所排放的含油污水对湾内水质及沉积物产生了不同程度的影响,特别是枯水期在降雨量大大幅减小的情况下,湾内石油烃出现“浓缩”,其含量较丰水期高。

3.4 沉积物类型的影响

沉积物类型不一样,其吸附石油烃的能力也有很大的差异,因此沉积物石油烃的分布也随着沉积类型的不同而有所变化。有关研究表明^[23,24],粘土型沉积类型区,其底质富含以细颗粒物为主的有机质,对石油烃有显著的吸附作用;而砂质、砾石或含大量碎石贝壳的沉积类型,其底质吸附石油烃的能力较弱,石油烃含量很低。同期的调查表明,考洲洋的底质中既有以细颗粒物为主的粘土型沉积物,也有以砂质、砾石和碎石贝壳等为主的粗颗粒沉积物,因此表层沉积物的石油烃含量出现不均匀分布的现象,其变化趋势与表层海水存在一定程度的差异(如图 3 和图 4 所示)。

3.5 权重值的影响

海水石油烃和沉积物石油烃对整个海洋环境石油污染的影响程度及贡献率,目前尚无相关的报道。权重值不同,经加权的石油烃综合水平的分布趋势也出现一定的差异。本文在 GIS 加权过程中对表层海水石油烃和表层沉积物石油烃取相同的权重值,是作者在这一方面的尝试,其有效性和合理性尚有待进一步的验证和深入的探讨。

3.6 管理对策与建议

对考洲洋石油烃污染趋势的综合分析结果表明,枯水期湾内部分水域已受到一定程度的污染,应引起足够的重视,加强湾内运输船舶的监督和管理,以避免污染的进一步加剧而影响湾内水产养殖业的健康发展。

References:

- [1] Dana L W, Edward S V V. Accumulation and distribution of petroleum hydrocarbons found in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) in the canals of Venice, Italy. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, **48**: 927~936.
- [2] LAWRENCE P R, THOMAS J M, CHARLES B H. An Assessment of Potential Oil Spill Damage to Salt Marsh Habitats and Fishery Resources in Galveston Bay, Texas. *Marine Pollution Bulletin*, 2000, **40**(12): 1148~1160.
- [3] Readman J W, Fillmann G, Tolosa I, *et al.* Petroleum and PAH contamination of the Black Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 2002, **44**: 48~62.
- [4] Jia X P, Lin Q, Cai W G, *et al.* Study on the reference assessment standard for marine organisms polluted by petroleum hydrocarbon. *Journal of Zhanjing Ocean University*, 1999, **19**(3): 33~37.
- [5] Richard F L, David S P. Petroleum hydrocarbons and their effects in subtidal regions after major oil spill. *Marine Pollution Bulletin*, 1997, **34**(11): 928~940.
- [6] Li Y Q, Ding M L. *Marine pollution biology*. Beijing: Oceanic Press, 1980.
- [7] Li K Q, Wang X L, Yan J, *et al.* Calculation on environmental capacities of petroleum hydrocarbon in Jiaozhou Bay. *Marine Environmental Science*, 2003, **22**(4): 13~17.
- [8] Wu Y, Zhang J. Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Core Sediments of the Bohai Straight. *Environmental Science*, 2001, **22**(3): 74~77.
- [9] Jia X P, Lin Q, Cai W G, *et al.* Toxicity of crude oil and fuel oil to important mariculture and multiplication organisms of South China Sea. *Journal of Fisheries of China*, 2000, **24**(1): 32~36.
- [10] State Oceanography Administration. *Marine survey criterion*. Beijing: Oceanography Press, 1991.
- [11] Environmental Protection Bureau of China, Technique Supervision Bureau of China. *Sea water quality standard* (GB3097-1997). Beijing: China Standards Press, 1997.
- [12] Environmental Protection Bureau of China, Technique Supervision Bureau of China. *Water quality standard for fisheries* (GB11607-89). Beijing: China Standards Press, 1989.
- [13] National Quality Supervision, Inspection and Quarantine Bureau, P. R. China. *Marine sediment quality* (GB18688-2002). Beijing: China

Standards Press, 2002.

[14] NRC. *Oil in the sea*. Washington D C: National Academy Press, 1985. 248~250.

[15] Malins D C. *Effects of petroleum on arctic and subarctic marine environment and organisms*. Washington D C: Academy Press Inc, 1997. 256~260.

[16] Sammut M, Nicleless G. Petroleum hydrocarbons in marine sediment and animals from the island of Malta. *Marine Environment Pollution*, 1978, **16**(1): 17~30.

[17] Dang A R, Jia H F, Yi S Z, *et al.* *Application manual for the geographic information system of ArcGIS 8 Desktop*. Beijing: Qinghua University Press, 2003.

[18] Wu X C, Guo J Y, Zheng G Z, *et al.* *The theory and technique for the geographic information system*. Beijing: Electronic Industry Press, 2002.

[19] Xu Z J. *The rudiment and improvement for GIS*. Chongqing: Chongqing University Press, 2001.

[20] Chen Y T. Characteristic of heavy mineral in the sediments of Lingdingyang of Pearl River Estuary and its reflection to the invasion of the water from land. *Journal of Zhongshan University (Natural Science Edition)*, 1994, **33**(3): 103~110.

[21] Qi J L, Yang G P. Photochemical degradation of oil in marine oil pollution. *Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas*, 2000, **18**(2): 83~89.

[22] Yang Q X, Xu J Y, Li W S. Study on the oil spills and the dissolution on the sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 1994, **16**(2): 50~56.

[23] Pan J M, Hu C Y, Liu X Y, *et al.* Distribution of oil content in sediment of Zhujiang Estuary andrelation with estuarine environment. *Marine Environmental Science*, 2002, **21**(2): 23~27.

[24] Weng H X, Zhu Y M, Peng X T, *et al.* Accumulation differences of organic pollutants in variouscoastal depositional environments. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, **26**(2): 45~51.

参考文献:

[4] 贾晓平, 林钦, 蔡文贵, 等. 海洋动物体石油烃污染评价标准参考值的探讨. 湛江海洋大学学报, 1999, **19**(3): 33~37.

[6] 李永祺, 丁美丽. 海洋污染生物学. 北京: 海洋出版社, 1980.

[7] 李克强, 王修林, 阎菊, 等. 胶洲湾石油烃污染物环境容量计算. 海洋环境科学, 2003, **22**(4): 13~17.

[8] 吴莹, 张经. 多环芳烃在渤海海峡柱状沉积物中的分布. 环境科学, 2001, **22**(3): 74~77.

[9] 贾晓平, 林钦, 蔡文贵, 等. 原油和燃料油对南海重要海水增殖生物的急性毒性试验. 水产学报, 2000, **24**(1): 32~36.

[10] 国家海洋局. 海洋监测规范. 北京: 海洋出版社, 1991.

[11] 国家环境保护局, 国家技术监督局. 海水水质标准(GB3097~1997). 北京: 中国标准出版社, 1997.

[12] 国家环境保护局, 国家技术监督局. 渔业水质标准(GB11607~89). 北京: 中国标准出版社, 1989.

[13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 海洋沉积物质量(GB18668~2002). 北京: 中国标准出版社, 2002.

[17] 党安荣, 贾海峰, 易善桢, 等. ArcGIS 8 Desktop 地理信息系统应用指南. 北京: 清华大学出版社, 2003.

[18] 吴信才, 郭际元, 郑贵洲, 等. 地理理系统原理与方法. 北京: 电子工业出版社, 2002.

[19] 徐祖舰. GIS 入门与提高. 重庆: 重庆大学出版社, 2001.

[20] 陈耀泰. 珠江口伶仃洋表层沉积物的重矿物特征及其对陆架水入侵的反映. 中山大学学报(自然科学版), 1994, **33**(3): 103~110.

[21] 戚佳琳, 杨桂朋. 海洋石油光化学降解的研究. 黄渤海海洋, 2000, **18**(2): 83~89.

[22] 杨庆霄, 徐俊英, 李文森. 海上溢油溶解过程的研究. 海洋学报, 1994, **16**(2): 50~56.

[23] 潘建明, 扈传昱, 刘小涯, 等. 珠江河口沉积物中石油烃分布及其与河口环境的关系. 海洋环境科学, 2002, **21**(2): 23~27.

[24] 翁焕新, 朱扬明, 彭晓彤, 等. 有机污染物在不同沿海沉积环境中积累的差异性. 海洋学报, 2004, **26**(2): 45~51.